

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Інститут інноваційних технологій і змісту освіти  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**О.Є. Федорович, А.В. Попов, К.О. Западня, Ю.І. Сергєєва**

**КОМПОНЕНТНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів вищих  
навчальних закладів, які навчаються за напрямом  
підготовки «Комп'ютерні науки»

Харків «ХАІ» 2009

УДК 65.012.34

Компонентне проектування інформаційних управляючих систем / О. Є. Федорович, А.В. Попов, К. О. Западня, Ю. І. Сергєєва. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2009. – 118 с.

ISBN 978-966-662-195-8

Викладено сучасні методи управління проектами створення складних систем управління, які ґрунтуються на перспективному компонентному підході. Описано компоненти складних систем управління. Висвітлено досвід застосування минулих розробок у вигляді компонентів повторного використання. При розв'язанні нових функціональних задач управління розглянуто нові компоненти, які впливають на життєвий цикл створеної системи та мають підвищений ризик при проектуванні. Виконано структурний аналіз архітектури систем управління для формування й вибору раціональних варіантів проекту. Наведено основні поняття ризиків для оцінювання реалізованості проектів створення складних систем управління.

Для студентів, що навчаються за напрямом «Комп'ютерні науки» при вивченні дисциплін «Управління ІТ-проектами», «Проектування інформаційних систем», «Компонентне програмування», «Технології комп'ютерного проектування», а також при виконанні курсових і дипломних проектів. Корисно для магістрів та аспірантів, що займаються науковими дослідженнями проблем створення складних інформаційних управляючих систем.

Іл. 30. Табл. 14. Бібліогр.: 137 назв

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В.М. Томашевський,  
д-р техн. наук, проф. М.Д. Годлевський,  
д-р техн. наук, проф. В.М. Левикін

Гриф надано Міністерством освіти і науки України  
(лист № 1/11-4011 від 10.06.09)

ISBN 978-966-662-195-8

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2009 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Розділ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ .....	7
1.1. Особливості проектів і програм зі створення складних систем управління.....	7
1.2. Методи системного проектування складних систем управління.....	9
1.3. Аналіз існуючих методів і технологій проектного аналізу складних систем.....	10
1.4. Управління проектами створення складних систем управління на основі компонентного підходу.....	12
Розділ 2. ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ СТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.....	18
2.1. Класифікація компонентів у проектах створення складних систем управління.....	19
2.2. Виділення множини компонентів на основі досвіду минулих розробок.....	22
2.3. Формування множини компонентів для повторного використання в проекті створення складної системи управління.....	29
2.4. Інтегрована модель компонентного проектування склад- них систем управління.....	33
Розділ 3. ФОРМУВАННЯ КОМПОНЕНТНОЇ АРХІТЕКТУРИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.....	39
3.1. Структурний аналіз компонентної архітектури складної системи управління.....	40
3.2. Формування множини варіантів компонентної архітек- тури складної системи управління.....	44
3.3. Оптимізація витрат на створення компонентної архітек- тури систем управління.....	53
Розділ 4. КОМПОНЕНТНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІУС.....	58
4.1. Подання компонентів ІУС.....	59
4.2. Обґрунтування компонентів ІУС.....	68
4.3. Методи порівняння й вибору компонентів ІУС.....	76
4.4. Модель аналізу та вибору компонентів постачальників і споживачів для логістичного управління виробництвом....	84
4.5. Вибір компонентів ІУС.....	90

Розділ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗОВНОСТІ ПРОЕКТІВ СТВО-	
РЕННЯ СКЛАДНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ.....	100
5.1. Ризики в компонентному проектуванні складних виробів..	100
5.2. Дослідження реалізованості проектів створення	
складних управляючих комплексів.....	104
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	108

## ВСТУП

Підготовку фахівців за напрямом «Комп'ютерні науки» пов'язано з вивченням ряду дисциплін, у яких викладаються сучасні методи проектного аналізу і управління проектами. Особливу увагу приділено вивченню питань, пов'язаних зі створенням архітектури інформаційної управляючої системи (ІУС), тому що від обґрунтування її вибору істотно залежать характеристики ІУС: стійкість роботи, надійність функціонування й довговічність системи. У навчальному плані підготовки фахівців є дисципліни «Управління ІТ-проектами», «Проектування інформаційних систем», «Технології комп'ютерного проектування», де розглядаються основні питання створення ІУС. Останнім часом розроблено нові науково обґрунтовані підходи управління проектами, ґрунтовані на компонентній технології й врахуванні досвіду минулих розробок. Впровадження їх у практику проектування ІУС є актуальним завданням фахівцям, що випускаються за напрямом «Комп'ютерні науки».

Сучасні підходи до створення наукоємної техніки спрямовано, в основному, на систематизацію проектних дій розроблювачів і не враховують повною мірою досвід минулих розробок і технічний рівень складного виробу. Тому фахівці в області проектного аналізу велику увагу стали приділяти компонентному підходу, ґрунтованому на виділенні відносно ізольованих елементів у створюваній системі, частина яких може бути використана з досвіду минулих розробок. Управління проектами створення ІУС для складних систем (наприклад аерокосмічних комплексів) на основі компонентного підходу є актуальним науково-практичним завданням, виконання якого пов'язано з вивченням і застосуванням комплексу методів і моделей, спрямованих на успішну реалізацію проектів.

Метою цього навчального посібника є допомога при вивченні питань, пов'язаних з управлінням проектами створення ІУС на основі активного використання методів компонентного підходу. У посібнику розглянуто такі завдання:

- проаналізувати існуючі підходи, методи й технології проектного аналізу для створення складних систем управління;
- подати структуру ІУС у вигляді багаторівневої компонентної архітектури;
- ознайомитись з класифікацією компонентів проекту складної системи;
- навчитись виділяти множину компонентів повторного використання, які дозволяють підвищити реалізованість проектів створення ІУС;
- вивчити інтегровану модель проектування складних ІУС, осно-

вану на компонентному підході;

- набути навичок виконання структурного аналізу компонентної архітектури ІУС;

- засвоїти метод оптимізації архітектури ІУС з урахуванням складу компонентів і виділених ресурсів на реалізацію проекту, а також методи оцінювання реалізованості проектів створення ІУС;

- вивчити ризики, пов'язані зі створенням складних систем управління з урахуванням компонентного підходу.

Для вивчення компонентного підходу використано: теорію системного аналізу для формування багаторівневої архітектури ІУС; теорію перерахування щодо аналізу варіантів архітектури виробу; методи прийняття рішень для оцінювання реалізованості проектів ІУС; методи теорії ризиків для оцінювання ризиків, пов'язаних зі створенням нових компонентів, що використовуються в архітектурі ІУС; методи компонентного підходу для підвищення реалізованості проектів ІУС; методи оптимізації ресурсів і мінімізації ризиків при створенні ІУС.

Цей навчальний посібник є основою для формування умінь проектувати складні ІУС, а саме:

- виділяти компоненти повторного використання з досвіду минулих розробок;

- формувати компонентну багаторівневу архітектуру ІУС;

- управляти життєвим циклом створення ІУС, а також ризиками при формуванні інноваційних компонентів;

- оцінювати реалізованість проектів створення ІУС з використанням багаторівневої компонентної архітектури.

Матеріал навчального посібника дозволить удосконалити й доповнити знання з основної дисципліни «Управління ІТ-проектами», а також із суміжних дисциплін: «Проектування інформаційних систем» і «Технології комп'ютерного проектування».

## **Розділ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

У розділі розглянуто особливості проектів створення складної техніки. Проаналізовано структуру програм, що містять взаємозв'язані проекти щодо створення окремих складових систем управління складними виробами. Виконано аналіз існуючих підходів і методів управління науково-технічними проектами й програмами. Описано математичні методи й моделі для дослідження автоматизованого проектування складних систем.

### **1.1. Особливості проектів і програм створення складних систем управління**

Наша держава володіє одним з найбільших у світі науково-технічним, технологічним і виробничим потенціалом зі створення ракетно-космічної техніки, дослідження й використання космічного простору. Організації й підприємства України можуть виготовляти всі елементи космічної техніки: рушійні рідинні й твердопаливні установки – головні частини й системи їх розділення й розведення, ємності, бортову автоматику, приводи рульових механізмів, вузли загального складання ракет і космічних апаратів з повним циклом наземних випробувань.

В Україні є ряд провідних організацій з кооперації щодо створення стартових комплексів і технічних пристроїв, бортової й наземної апаратури систем управління, а також вимірювальних комплексів. Важливий напрямок розвитку української ракетно-космічної галузі – це створення й виробництво систем управління різних класів для всіх поколінь ракет-носіїв, що виготовляються в Україні, а також ракет-носіїв «Енергія-Буран», «Протон», «Союз», станції «Мир», функціональних модулів «МКС» і цілої серії космічних апаратів. Це складні, як правило, багатопроцесорні обчислювальні комплекси з потужним програмним продуктом, наземними засобами їх створення й відпрацьовування. Виробничий потенціал щодо систем управління зосереджено на підприємствах виробничих об'єднань: «Комунар», «Київський радіозавод», «Моноліт» і «Харківський завод електроапаратури», «Чернігівський радіоприладний завод», «Смілянський радіоприладний завод» та ін.

На території України розміщено унікальні наземні засоби командно-вимірювальної апаратури, що забезпечують управління космічними апаратами зв'язку й ретрансляції даних, розташованих на геостаціонарних орбітах, функціонування навігаційних систем (космічних

апаратів, що створюють глобальне навігаційне поле) та космічних апаратів оптико-електронного й радіотехнічного зондування Землі. Вони також відіграють основну роль при управлінні пілотованими й вантажними кораблями при виведенні їх на орбіту, стикуванні з орбітальними комплексами й приземленні спускних апаратів.

Сучасний рівень створюваних систем управління космічної техніки потребує пошуку ефективних методів аналізу і управління проектами й програмами щодо їхнього виробництва. Такі програми й проекти систем управління космічної техніки характеризуються:

- інноваційністю змісту проектів;
- ієрархічною організаційною структурою виконавців;
- складним компонентним змістом, багаторівневою деталізацією систем;
- високим ступенем паралельного виконання робіт при створенні окремих підсистем;
- значними обсягами проектної й управляючої інформації;
- складними зв'язками основних виконавців зі співвиконавцями проектів;
- тривалими строками створення космічних комплексів;
- складністю фінансування, пов'язаного з великими обсягами необхідних ресурсів для створення нових виробів;
- високим рівнем ризику при виробництві космічних систем внаслідок інноваційності проектів й обмеженості виділених ресурсів;
- наявністю невизначеності й великої кількості випадкових факторів, що впливають на проект.

У роботах вітчизняних і зарубіжних фахівців з проблематики управління складними проектами в умовах невизначеності [1, 30] мало уваги приділено проблемі, пов'язаній з обмеженістю ресурсів, виділених для виконання проектів. Вважається, що на прикладі виконання попереднього проектного аналізу визначено необхідний обсяг ресурсів і в процесі створення проектів вони надходять у необхідному обсязі й у запланований термін. Через специфічність політико-економічного стану України застосування зарубіжних підходів і методів досить обмежене.

Аналіз показав, що вирішення задач управління проектами створення складних систем управління з урахуванням обмеженості ресурсів системно не досліджено, мало структуровано, погано формалізовано й в основному здійснюється інтуїтивно, на рівні існуючого досвіду. Тому використання сучасних підходів, методів, математичних моделей та інформаційних технологій дозволить уникнути грубих помилок на початкових етапах створення космічних комплексів, прийняти коректні рішення з мінімальним ризиком при управлінні проектами з



обмеженими ресурсами.

Перелічені обставини обумовлюють актуальність вивчення нових системних методів аналізу архітектури систем управління складними космічними виробами, процесів управління державними проектами й програмами в умовах обмеженості ресурсів.

## **1.2. Методи системного проектування складних систем управління**

Методи системного аналізу широко використовують на початкових стадіях створення проекту [3]. Як відомо, архітектура систем управління складного виробу являє собою велику кількість ієрархічно зв'язаних між собою підсистем, агрегатів, блоків та інших пристроїв, аж до окремих елементів. Вона описується багаторівневою математичною моделлю [5, 6, 22].

Проаналізуємо основні особливості системного проектування при створенні складних виробів, до яких належать системи управління космічною технікою.

### **1. Декомпозиція архітектури системи управління.**

Архітектуру ІУС космічної техніки описують за допомогою ієрархічного багаторівневого подання [5]. Повністю цей процес на початкових стадіях проектування є неформалізованим, тому часто використовують евристичні прийоми, які ґрунтуються на досвіді та інтуїції розроблювачів. Особливу увагу приділяють поділенню систем на підсистеми так, щоб підсистеми були відносно самостійними, але їх кількість була б невеликою. Процес декомпозиції триває на всіх етапах реалізації проекту створення складної системи.

Результатом дослідження архітектури ІУС складного виробу є оформлена багаторівнева ієрархічна структура, яку будуть використовувати на наступних етапах проектування.

### **2. Стратифікація стосовно систем управління.**

Стратифікація припускає подання ІУС у багатьох аспектах. Часто використовують такі страти подання [12]: цільові, функціональні, математичні, інформаційні, управлінські, алгоритмічні, технічні, а також програмні засоби.

Цільову страту спрямовано на формування глобальної мети системи, що пов'язано з її призначенням і загальною метою проекту. Глобальну мету поділяють на підцілі й формують дерево цілей.

Функціональна страта пов'язана з реалізацією мети у вигляді багатьох функцій, які реалізуються у вимогах відносно кожної мети. Для кожної функції необхідно сформувані формалізовані подання у вигляді математичної моделі, що відповідає математичному опису системи у математичній страті подання.

Інформаційна страта дозволяє описати інформаційні потоки між окремими елементами системи. Вона є основою при виконанні завдань управління складної системи і являє собою ієрархічно розподі-

лену систему управління складного виробу. Для космічних виробів це є наземний комплекс управління, що містить центральний пункт і розподілені наземні пункти управління, а також бортові комплекси, які забезпечують управління космічними апаратами й зв'язок з наземними пунктами управління [15].

Алгоритмічна страта припускає опис алгоритмів функціонування систем, у першу чергу, алгоритмів управління.

Комп'ютерна реалізація алгоритмів управління здійснюється за допомогою розробленого програмного комплексу на етапі програмного проектування.

Стратифікація дозволяє реалізувати завдання проектування відносно самостійно та за допомогою фахівців, які мають досвід роботи в цих напрямках.

### 3. Багатоваріантність проектування.

Створення складного виробу має безліч варіантів, що є результатом творчості колективу розроблювачів. Чим більше варіантів, тим вище ймовірність одержання оптимального рішення з мінімальним ризиком проектування. Вибір найкращого варіанта (варіантів) з багатьох можливих є предметом системного аналізу.

### 4. Ітераційність процесу проектування.

Ітераційність початкових етапів пов'язана з їх повторенням у випадку невиконання часткової або повної вимоги технічного завдання на даному етапі проектування.

Зазначені особливості застосування системного аналізу є об'єктивними. Вони склалися на основі досвіду створення складних космічних виробів [19]. Невизначеність початкових етапів проектування космічних систем пов'язана зі складністю розв'язуваних задач, дефіцитом первісної інформації, обмеженням часу на прийняття проектних рішень і ресурсів, виділених на створення проекту.

## **1.3. Аналіз існуючих методів і технологій проектного аналізу складних систем**

Існуючі методи й технології проектного аналізу, в основному, пов'язані з реалізацією окремих проектів створення складних систем. Недостатньо вивчено методи управління складними проектами й програмами створення наукоємної техніки. Сучасні стратегії проектування зосереджено на двох основних напрямках: «зверху вниз» і «знизу вгору» [22].

Проектування «знизу вгору» базується на готових проектних рішеннях, причому елементи, з яких створюється система, є відомими. Завдання полягає в їх комплектуванні на кожному рівні деталізації си-

стеми відповідно до поставленої мети і задачі. Недоліком такої стратегії є те, що значно збільшується кількість ітерацій проектування, що подовжує його строки. Крім того, може виникнути ситуація, коли не всі функціональні завдання будуть виконані при застосуванні існуючої елементної бази, що обумовить виникнення ризиків при проектуванні.

Сучасною є стратегія проектування «зверху вниз». При цьому створення складних систем управління починається з побудови їхньої архітектури, а вимоги до елементної бази формуються наприкінці етапу системного проектування. Деталізація системи здійснюється на кожному етапі проектування й відповідає багаторівневій архітектурі, побудованій на системному етапі проектування. Проектні рішення контролюються відповідно до вимог деталізації системи на кожному рівні створення складного виробу. Така стратегія дозволяє істотно зменшити трудомісткість верифікації проектів, тому що оцінювання коректності проектних рішень поділяється за рівнями (етапами) проектування, починаючи із самих верхніх, і не ускладнюється деталями нижніх рівнів.

Методи евристичного проектування [23] дозволяють за допомогою групових оцінок, оснований на точках зору окремих експертів, сформувати технічні рішення, які впливають з досвіду розроблювачів та їхньої інженерної інтуїції.

Велика увага при створенні складних систем приділяється раціональності проектних рішень. Вибір і формування стратегії прийняття рішень ґрунтується на знаннях розроблювачів. Використання моделей знань і нечіткої логістики [24, 27] дозволяє підвищити вірогідність рішень, вибрати найкраще за наявності багатьох обмежень і критеріїв їх прийняття. Застосування аналогів і прототипів дозволяє прискорити процес проектування, зменшити ризик завдяки використанню досвіду минулих розробок [38].

Для управління складними проектами й програмами користуються сучасними технологіями проектного менеджменту. Умовами проектування є вміння управляти ресурсами проекту, його якістю й мінімізувати строки виконання. Особливу увагу слід приділяти ризикам проектування [39]. Ризики оцінюються на початкових етапах проекту, коли формуються вимоги до бюджету проекту при активній взаємодії замовника й виконавця. Ризик проектування складних космічних систем залежить від великої кількості факторів: економічної й політичної стабільності, достатнього фінансування проектів з бюджету, ресурсного забезпечення проекту та ін. Найчастіше ризик оцінюється на основі ймовірнісних оцінок з використанням інформаційної статистики минулих розробок.

Сіткові методи планування дозволяють сформувати план проек-

ту й плани-графіки робіт, що виконуються. Вимоги проектного менеджменту ускладнили подання сіткових планів шляхом введення фінансових профілів проектування, прогнозування дефіциту запланованих строків, оцінювання ризику окремих етапів та ін.

Методи імітаційного моделювання дозволяють заздалегідь, на початкових етапах проектування, уявити динаміку управління та функціонування складної системи. Рівень деталізації цих методів не обмежено, він залежить від знань розроблювачів на даному етапі проектування.

Моделювання організаційної структури проекту дозволяє перевірити координацію взаємодій учасників проекту. Окремі функціональні завдання проекту потребують управлінського впливу у вигляді відповідних наказів, указівок і керівних дій. Складність таких взаємодій виникає з масштабністю проекту й програми. Необхідно вибрати відповідні протоколи управління, щоб в організаційній структурі проекту управлінські дії згідно з часом і ресурсами, що виділяються, не перевищували основні функціональні завдання проекту [26,27].

У сучасних технологіях проектного аналізу значне місце займають технології, основані на аналізі життєвого циклу (ЖЦ) майбутнього виробу. В основі CALS-технологій лежать прогресивні інформаційні технології [28]. Доступність своєчасної, точної і достовірної інформації дозволяє не тільки поліпшити результати проектних рішень, але й забезпечити конкурентоспроможність наукоємних космічних виробів завдяки використанню:

- нових підходів і способів проектування в єдиному інтегрованому інформаційному середовищі;
- уніфікованих способів опису цифрових даних при проектуванні окремих елементів системи і їхньому комплектуванні;
- врахування особливостей кожного етапу проектування і етапу ЖЦ.

Інформаційні технології проектування основані на агрегатному (блоковому) поданні системи, її структуризації й декомпозиції. Методи інформаційних технологій IDEF і SSDAM дозволяють створити і оцінити архітектуру майбутньої складної системи і взаємодію функціональних завдань і завдань управління, що прискорюється шляхом автоматизації первісних етапів проектування складної системи.

#### **1.4. Управління проектами створення складних систем управління на основі компонентного підходу**

Складність виробів космічної техніки обумовлює використання сучасних підходів до проектування систем управління космічних апаратів, до яких відносять підхід, оснований на компонентному поданні складних систем управління [21, 30]. У цьому випадку метою проекту є створення складного продукту з архітектурою, що відображає ієрар-

хію структурних елементів, виділених у вигляді простих і складних компонентів. Прості компоненти є елементами нижнього рівня деталізації виробу, а складні – елементами середніх і верхніх рівнів. Усі управлінські рішення проекту зосереджені на одержанні компонентної архітектури виробу, тому проект теж має компонентну архітектуру, у якій його компонент і компонент виробу нерозривно зв'язані й підпорядковані глобальній меті проекту. Під компонентом проекту розуміють сукупність управлінських, організаційно-технічних і виробничих дій, спрямованих на створення окремого структурного елемента (компонента) складного технічного виробу. З погляду проектної діяльності компонент являє собою процес, пов'язаний з певним елементом архітектури складного виробу, де в процесі проектування відбувається створення й комплектування простих компонентів й інтеграція складних. Особливістю компонентного підходу є те, що компонент проекту одночасно характеризує складний продукт (виріб), а також процес, пов'язаний з його створенням. Компонент проекту в інформаційному уявленні є елементарним інформаційним елементом проекту. Його можна розглядати як мікропроект, що входить до складу більш складного проекту виробу. Таке інформаційне уявлення пов'язує архітектуру виробу та структуру проекту при його створенні. У цьому випадку ЖЦ проекту створення складного наукоємного виробу на основі компонентної моделі можна подати таким чином: при узгодженні вимог замовника й виконавця формується технічне завдання (ТЗ), у якому викладено основні вимоги й характеристики виробу, а також наведено дані, необхідні для формування компонентної архітектури космічного виробу. На основі даних, наведених в ТЗ, виконавець розпочинає етап управління проектом створення виробу (внутрішнє проектування).

На рис. 1.1 показано процес проектування [28]. Першим етапом реалізації проекту є розроблення його концепції, яку необхідно реалізувати в задані директивні строки. На цьому етапі аналізуються відомості, що містяться в ТЗ, і на їх основі визначається архітектура виробу. Структурні елементи виробу надалі є основою для виявлення й формування компонентів проекту відповідно до наведеного раніше визначення компонента проекту. Правильна структуризація виробу є гарантією правильного подання проекту у вигляді ієрархічного дерева компонентів.

На цьому етапі на основі дерева компонентів формується команда виконавців з урахуванням їхньої спеціалізації й нагромадженого досвіду. В остаточному підсумку, закінчивши етап розроблення, дерево структури виробу, побудованого на основі даних ТЗ і специфікацій, що до нього входять, трансформується в дерево компонентів проекту, причому компоненти певним чином розподіляються між учасниками проекту. При цьому наявні зв'язки між структурними елементами у виробі, за виконання яких відповідають різні виконавці у складі



кооперації, не розриваються, а перетворюються у міжкомпонентні зв'язки (показано на рис. 1.1 пунктиром), роль яких полягає у синхронізації дій щодо виконання компонентів проекту.

Починаючи з наступного етапу проекту – планування робіт з виконання компонентів, вся робота зі створення елементів виробу відповідно до результатів попереднього етапу виконується виконавцями самостійно до остаточної реалізації виробу. Тут основна увага приділяється чіткому плануванню строків закінчення виконавцями робіт з реалізації компонента (компонентів) і своєчасному передаванню результатів головному виконавцеві. З одного боку, проектний компонент не може бути реалізованим пізніше призначеного строку, оскільки це призведе до істотних затримок при реалізації всього проекту, непередбачених витрат і фінансових ризиків. З іншого боку, дострокова реалізація компонента проекту призведе до простою в роботі виконавця компонента, що також може знизити економічну ефективність дій проектувальників. Крім цього, при достроковій реалізації проектного компонента елемент виробу зберігатиметься доти, доки він буде затребуваним, тобто для цього необхідно мати достатню кількість складських приміщень, а також це потребує додаткових певних витрат. У цьому зв'язку особливого значення набуває точне планування строків реалізації проектного компонента й своєчасне доставлення елемента виробу головному виконавцеві, крім складського зберігання як можливого негативного фактора.

При цьому важливою є методика планування «зверху вниз», тобто планування строків шляхом зворотного відліку від кінцевого строку робіт над проектом у цілому. Це дає можливість визначити строки закінчення робіт щодо окремих компонентів проекту з урахуванням необхідних строків постачання елементів, комплектації й тестування у складі виробу, а також його ієрархічної структури. Принципова важливість такого планування полягає в тому, що кінцевий виконавець може визначити для себе строк початку робіт щодо реалізації компонента з урахуванням його своєчасного закінчення. Це дає йому можливість так планувати свою діяльність, щоб забезпечити повне завантаження своїх потужностей, наприклад, беручи участь в інших проектах.

На рис. 1.1 показано динаміку розвитку компонентного проекту, стрілками позначено послідовні етапи реалізації проектних компонентів і виробу в цілому, а площинами, перпендикулярними часовій шкалі – кінцеві стани компонентів і виробу. Умовно ці площини являють собою переходи між етапами реалізації компонентів – закінчення попередніх і початок наступних етапів.

Необхідно зазначити, що моменти початку й закінчення основ-

них етапів виконання різних проектних компонентів і субкомпонентів можуть не збігатися. Важливе лише те, щоб відповідний компонент після закінчення етапу його виконання і обов'язкового тестування елемента виробу (контролю якості) вчасно було передано основному виконавцеві для комплектації й тестування виробу в цілому з подальшою його передачею замовникові. Таким чином, особливість компонентної моделі проекту полягає в тому, що для неї не можна заздалегідь визначити моменти переходу між основними етапами проекту, крім першого й заключного, оскільки для різних компонентів, що складають проект, ці моменти рознесено в часі.

Етап планування набуває особливої важливості ще й у зв'язку з тим, що ієрархія виконавців не обмежується схемою, зображеною на рис. 1.1, а може бути як завгодно складною. При цьому, наприклад, для виготовлення компонента K1 і його субкомпонентів K11 і K12 можуть бути вибрані різні виконавці. Тут існуватиме відношення «предок-нащадок», що є характерним для об'єктних моделей, причому застосування таких відносин не має обмежень.

Закінчивши етап виготовлення компонента, слід розпочати етап тестування елемента виробу, де можуть виявитися його невідповідності вимогам ТЗ і основні проектні ризики.

Додаткові ризики можна оцінити шляхом відслідковування міжкомпонентних зв'язків на попередніх етапах до закінчення виготовлення компонента. Завдання мінімізації ризиків, обумовлених міжкомпонентними зв'язками, виконує основний виконавець.

Етап реалізації кінцевого виробу завершується тільки після того, як всі його складові реалізовано та протестовано, а сам виріб повністю устатковано ними відповідно до наведеної в ТЗ комплектації.

Завершальним етапом проекту є тестування виробу (або виробів) у цілому, після чого результат передається замовникові й проект завершує свій ЖЦ.

Великий інтерес становить ЖЦ окремого компонента проекту. На рис. 1.2 показано ЖЦ компонента K<sub>n</sub>, що входить до складу проекту, зображеного на рис. 1.1. Згідно зі сказаним раніше перший етап ЖЦ компонента (розроблення концепції) триває приблизно стільки ж, скільки й ЖЦ всіх компонентів проекту, оскільки його планування й виконання не можуть початися доти, доки не буде визначено виконавця й затверджено всі основні проектні рішення, характерні для цього етапу. Етап планування робіт з реалізації проектного компонента дозволяє визначити строки його виконання, тестування й передачі елемента виробу. Причому при проектуванні шляхом зворотного відліку, як зазначено раніше, можна визначити строк початку робіт з реалізації компонента, щоб елемент було передано для подальшої ком-



плектації виробу у необхідний момент часу, без затримок, але бажано не передчасно. Таким чином, у розпорядженні виконавця є проміжок часу від початку планування робіт до моменту передачі їх результатів головному виконавцеві.

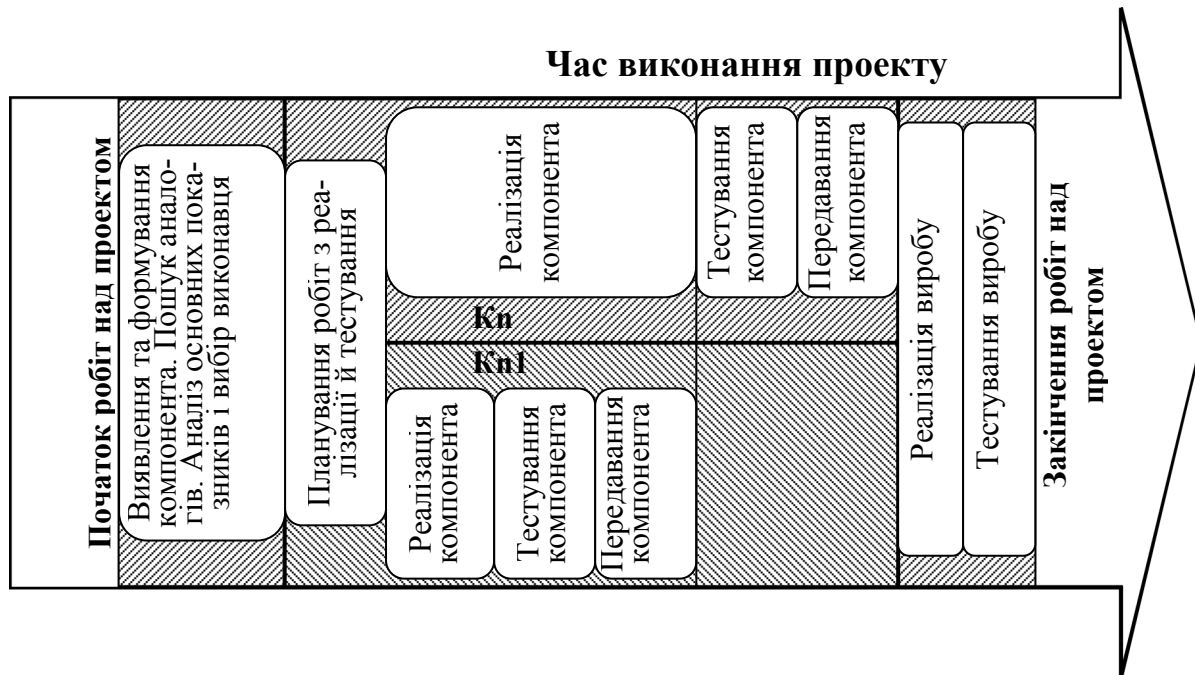


Рис. 1.2. Життєвий цикл компонента проекту

Зважаючи на те, що строк реалізації проекту залежить від строку виконання окремих компонентів, на що звичайно витрачається найбільша кількість часу, деякі виконавці проекту можуть бути не повністю завантаженими. Тут можливими є два варіанти:

- додаткова робота для недостатньо завантажених виконавців за рахунок інших робіт, не пов'язаних з даним проектом;
- скорочення строків виконання найбільш критичного щодо строків реалізації компонента.

Очевидно, що перший варіант, хоча й можливий, але супроводжується рядом недоліків. У першу чергу, виконавець втрачає гнучкість у прийнятті економічних рішень. Крім того, строк виконання проекту, у якому бере участь виконавець, виявляється більш тривалим, що також може негативно впливати на економічні показники проекту.

У розділі виділено особливості проектів і програм створення складної наукоємної космічної техніки, що пов'язано з інноваційністю змісту проектів, ієрархічною структурою виконавців, компонентним складом і багаторівневою архітектурою нового виробу, послідовно-паралельним характером виконання проекту (програми), складними взаємовідносинами виконавців, тривалими строками створення, перепроєктуванням, високим рівнем ризику і обмеженістю наявних ресурсів.

Розглянуто системний етап проектування складних систем

управління космічних виробів та особливості застосування на цьому етапі методів системного підходу. Виконано аналіз підходів і технологій проектування. Велику увагу приділено технології проектування «зверху вниз», що відповідає системному підходу до проектування складних систем і допомагає впорядкувати дії проектувальників.

Запропоновано компонентний підхід до проектування систем управління складних космічних виробів, який також оснований на технології «зверху вниз», що дозволяє локалізувати дії проектувальників через відносну самостійність компонентів багаторівневої архітектури систем управління.

### **Контрольні запитання**

1. Якими є основні особливості проектів створення складних систем управління?
2. Які існують основні складові системного аналізу, що використовуються при проектуванні ІУС?
3. Які існують основні стратегії проектування складних систем? Поясніть їх.
4. У чому суть компонентного підходу при проектуванні складних систем?

### **Завдання**

1. Визначити життєвий цикл проекту.

## **Розділ 2. ІНТЕГРОВАНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ СТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

У розділі розглянуто класифікаційне подання багаторівневої компонентної архітектури складної системи управління. Виділено три основних типи компонентів, які використовуються при створенні складної системи управління:

- «старі» компоненти, які оформлюються у вигляді компонентів повторного використання;
- «нові», які забезпечують інноваційність проекту, але мають підвищений ризик при створенні;
- «змішані», що являють собою «середні» рівні архітектури виробу, отримані шляхом комплектування «нових» і «старих» компонентів.

На основі використання компонентної архітектури побудовано інтегровану модель управління проектами створення нових систем управління космічної техніки.

## 2.1. Класифікація компонентів у проектах створення складних систем управління

При створенні нових зразків систем управління багато розроблювачів інтуїтивно використовують досвід минулих розробок у вигляді позитивних проектних рішень. Сюди відносять підсистеми, агрегати, вузли й блоки, а також елементи систем, які успішно експлуатувались і шляхом нескладної модифікації можуть бути адаптовані й використані в новій космічній системі. Аналіз показав, що в сучасному виробі застосовується не менше 50% «старих» елементів. З одного боку, це полегшує процес проектування, зменшує трудомісткість, фінансові витрати, скорочує строки проектування, що позитивно впливає на реалізованість проекту створення нового космічного виробу. З іншого боку, використання одних «старих» рішень не виправдано, тому що при виготовленні нового виробу з'являються нові функціональні завдання, які не завжди можна виконати із застосуванням «старих» компонентів. Тому розроблювач незмінно стикається з проблемою створення «нових» компонентів, які потребують тривалого циклу розроблення, відповідних витрат і збільшення строку виконання проекту. Крім того, «нові» компоненти забезпечують інноваційність проекту, його привабливість, конкурентоспроможність і можливість розширити коло споживачів сучасної космічної техніки. Тому в сучасному космічному виробі можна виділити:

– **«старі» компоненти** – являють собою проектні рішення, які містять позитивний досвід проектування і експлуатації складної системи управління. Ці компоненти надалі будемо називати компонентами повторного використання (КПВ). Їх можна поділити на КПВ без додаткових змінень (КПВ БДЗ) і КПВ з модифікацією й частковими зміненнями (КПВ МЧЗ);

– **«нові» компоненти (НК)** – найчастіше мають інноваційні рішення, але й підвищений ризик, що впливає на реалізованість усього проекту, тому мають пройти повний цикл випробувань, перед тим як потрапити до архітектури проектованого виробу;

– **«змішані» компоненти (ЗК)** – містять як «нові», так і «старі» компоненти.

Як було зазначено, найбільш ефективним з погляду реалізації проекту в певний термін, із запланованими обсягами ресурсів (витрат) є використання КПВ, що дозволяє застосувати в новому проекті готові й перевірені в попередніх проектах базові проектні рішення, які у сукупності є базовою платформою виробу. Ризик створення складного компонента зменшується завдяки наявності в його складі КПВ. Тому для побудови складної архітектури виробу (складних і простих компонентів у його складі) застосування КПВ дозволяє скоротити тривалість етапів проекту (від планування компонента до його передавання для комплектації виробу) й тим самим зменшити строк виконання всього проекту створення складного космічного виробу. Використання КПВ

припускає спеціалізацію компонентів при певній проектній діяльності й наявність великого досвіду виконавців, що спрощує завдання проектування. Виділимо характерні властивості КПВ:

**1. Інкапсуляція** – можливість ефективно ізолювати характеристики компонента й супутній комплекс організаційно-технічних заходів від іншого проекту. Розробивши один раз КПВ, виконавши тестування на правильність, надійність і стабільність пов'язаних з ним заходів і характеристик, що визначають стан компонента, реакції на змінення зовнішніх для КПВ умов (по суті – властивостей, методів і подій), виконавець може впевнено застосовувати його надалі, зменшивши строки реалізації, витрати й ризики. Побічний ефект полягає в тому, що виконавець ізолює процеси, які відбуваються з КПВ, від сфери іншого проекту, тим самим підвищуючи його стабільність.

**2. Спадковість** – можливість створення нових компонентів на базі існуючих. При цьому нові КПВ успадковують характеристики й рішення базових компонентів, розширюючи їхні можливості. Така властивість дозволяє знизити ризик помилкових дій при модифікації КПВ.

**3. Поліморфізм**, який дозволяє багаторазово визначати альтернативні управлінські рішення щодо компонентів, розширюючи їхню функціональність й область застосування, причому прийняте рішення залежатиме від використаної версії компонента.

Таким чином, складові проекту у вигляді КПВ повною мірою відповідають класичним поняттям, характерним для компонентно-об'єктних моделей.

У процесі виконання проекту є можливими три шляхи використання компонента:

- застосування готового компонента проекту;
- виконання мікропроекту, спрямованого на відновлення компонента проекту (розширення функціональності, розроблення нової версії на базі існуючої та ін.);
- розроблення нових, на даний момент не існуючих, але необхідних у подальших проектах компонентів.

Розроблені компоненти проекту можуть бути використані надалі при виконанні нових проектів.

Зобразимо проект у вигляді деревоподібної ієрархічної структури, кожний з елементів якої являє собою «простий», «складний» або «змішаний» компонент (рис. 2.1). Аналіз реалізованості такого проекту можна виконувати, використовуючи згортку «горизонтальної» й «вертикальної» проекцій.

«Горизонтальний» напрямок являє собою згортку за етапами ЖЦ компонентів і всього проекту в цілому. Згортка може реалізовуватися на основі досвіду розроблювачів (експертів) з урахуванням оцінок кожного етапу ЖЦ компонентів і потім уточнюватися при виконанні

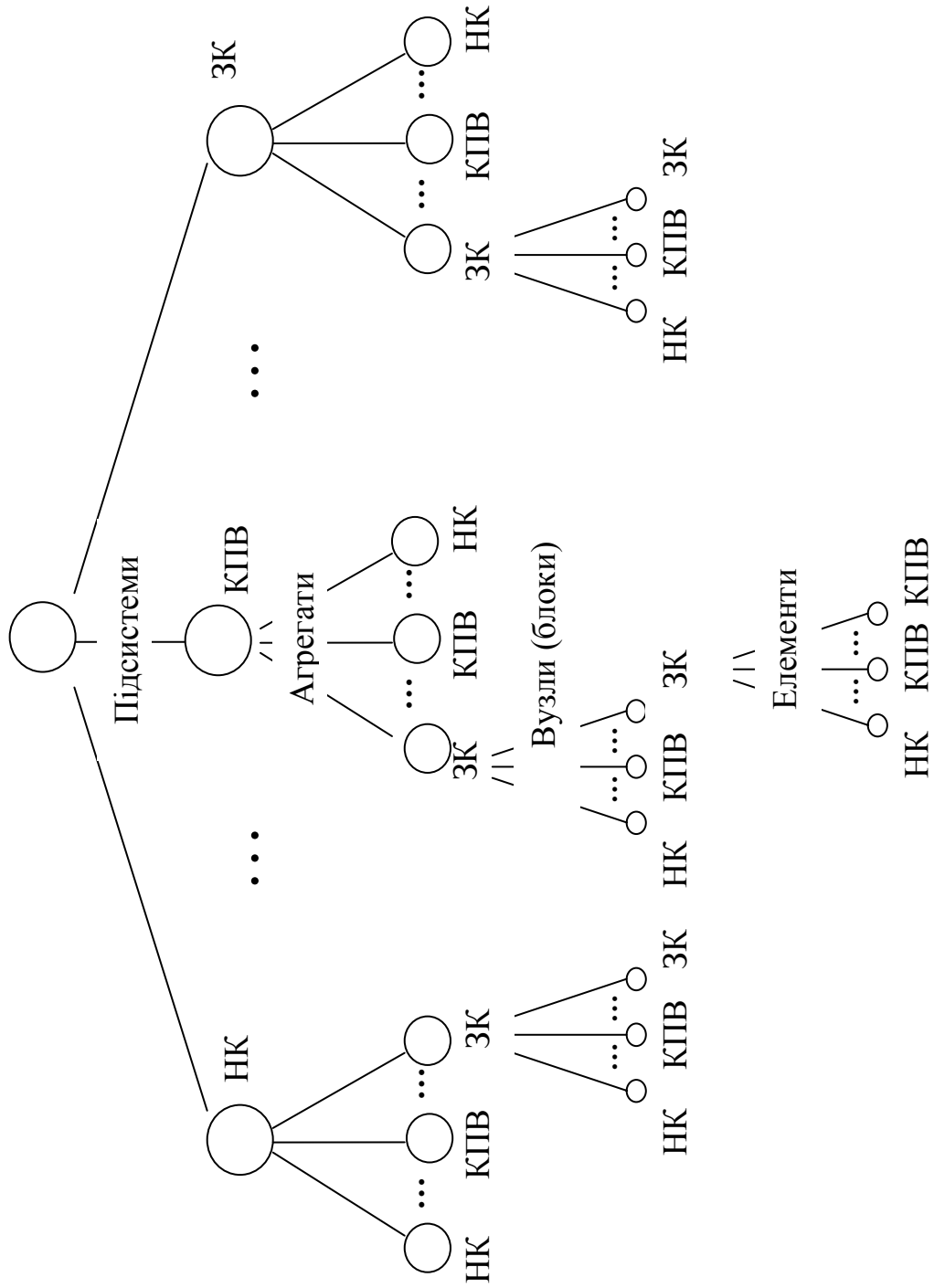


Рис. 2.1. Ієрархічна компонентна архітектура складного виробу

конкретного етапу ЖЦ всієї системи. «Вертикальна» згортка пов'язана з деталізацією складної системи й допомагає оцінювати реалізованість всього проекту космічної системи. Згортка виконується ітераційно з урахуванням реалізованості, у першу чергу, нових компонентів, що входять до складу виробу.

Зазначимо, що актуальність компонентної моделі проекту й використання в ньому КПВ визначається такими перевагами: скороченням строків реалізації проекту в цілому, що пов'язано з планованими витратами і оцінюваними ризиками, можливістю обґрунтованого вибору складу виконавців, природною пристосованістю компонента до реалізації в корпоративних проектах. Однозначний зв'язок компонента проекту з конкретним структурним елементом виробу знижує ймовірність помилок на етапах планування проекту. Крім того, проект можна досить легко розширити уже в процесі реалізації шляхом змінення структури виробу й пов'язаних із цим заходів, також поданих у вигляді компонента проекту, або допоміжних заходів, наприклад навчання персоналу або проведення рекламних кампаній, що забезпечується гнучкістю компонентної моделі проекту.

## **2.2. Виділення множини компонентів на основі досвіду минулих розробок**

У цьому підрозділі розглянуто підхід до виділення множини КПВ при проектуванні наукоємної космічної техніки, основаної на виборі класів близьких компонентів з минулих розробок, і з урахуванням майбутніх проектів, думок експертів, а також лексикографічного упорядкування варіантів.

При створенні нової техніки реалізованість проектів залежить від новизни проектних рішень. «Нові» компоненти мають найбільший ризик, пов'язаний з проведенням циклу робіт, що відповідають етапам ЖЦ виготовлюваних елементів складної системи управління (СУ). Тому дослідження, пов'язані з виділенням КПВ при проектуванні, є актуальними. У цьому випадку за рахунок завчасних дій з формування КПВ можна підвищити реалізованість проектів створення космічної техніки шляхом використання множини КПВ у складі СУ. При цьому знижується ризик, пов'язаний з упровадженням нових проектних рішень (ризик «нового») у вигляді знову створюваних компонентів СУ. Цей ризик переноситься не на замовника (реальний проект), а на команду, що згрупована в проектній організації для формування й використання множини КПВ в майбутніх проектах.

Розглянемо більш докладно дії проектної команди з формування множини КПВ. Цей процес можна поділити на два напрямки:

I. Відбирання компонентів, кандидатів на множини КПВ, з виконаних (попередніх) проектів створення нової техніки.

II. Формування множини КПВ з урахуванням прогнозу щодо майбутніх проектів (замовлень).

Для першого напрямку (I) є характерною наявність детальної інформації про окремі компоненти виконаних проектів не тільки конкретної організації, але й інших, про проекти яких існує відкрита інформація. Враховуючи, що розглядається процес створення СУ, архітектура якої має ієрархічну структуру, кандидатів в КПВ необхідно відбирати на окремих рівнях деталізації СУ. При цьому доцільно за допомогою системного підходу здійснювати пошук і відбір кандидатів у КПВ «униз», починаючи з верхніх рівнів деталізації й закінчуючи нижніми. Зазначимо, що компоненти верхніх рівнів мають більше значення ризику «нового», ніж компоненти нижніх рівнів, які надалі у процесі проектування нових необхідно інтеграційно зв'язувати (комплектувати) для одержання компонентів верхнього рівня.

Проаналізуємо системну методику виділення й формування множини КПВ (множини  $P$ ):

1. Розглянемо перший рівень деталізації СУ (рівень підсистем).

Припустимо, що є  $U$  виконаних проектів СУ. Для кожного  $k$ -го проекту виділимо множину  $M_k$  підсистем. Загальна кількість підсистем (компонентів першого рівня)  $M_I = \bigcup_k M_{Ik}$ . У свою чергу, для кожного проекту СУ

$$M_{Ik} = \bigcup_j m_{Ikj},$$

де  $m_{Ikj}$  –  $j$ -та підсистема  $k$ -го виконаного проекту СУ;

$j = \overline{1, r_{Ik}}, r_{Ik}$  – кількість підсистем в  $k$ -му проекті.

2. Знайдемо подібні близькі проекти (аналоги), які будемо вибирати за допомогою експертів шляхом виділення класів аналогів (класів еквівалентності) за такими ознаками:

- однаковість функціонального призначення підсистем;
- аналогічність розв'язуваних завдань (операцій);
- схожість архітектури (структури та складу елементів);
- подібність характеристик (параметрів).

Перелік зазначених ознак можна розширити для більш точного відбору множини аналогів.

Проведемо стратифікацію множини  $M_I$  (підсистем) виконаних проектів щодо перелічених ознак у такій послідовності подавань, що відповідають важливості ознак:

- функціональність (F);

- операційність (O);
- архітектурність (A);
- параметричність (H).

Ця послідовність відповідає ієрархії стратифікованого розподілу проектів на першому (підсистемному) рівні декомпозиції (рис. 2.2).

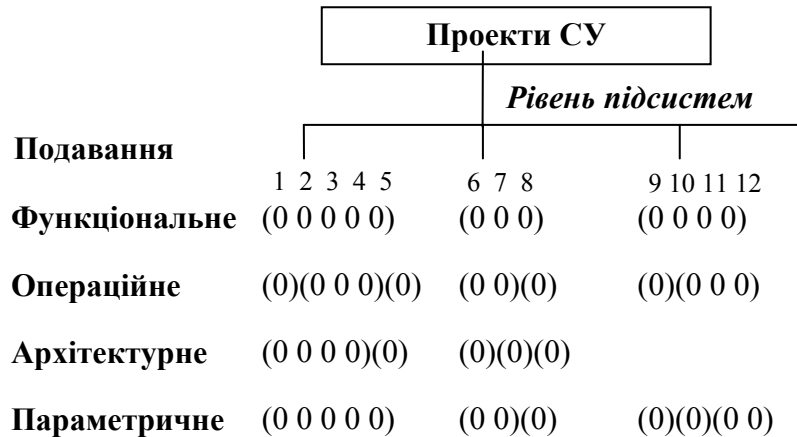


Рис. 2.2. Стратифіковане подавання проектів на рівні підсистем СУ

Структуруємо спочатку проекти за функціональною ознакою і одержимо функціональний розподіл першого рівня СУ:

$$P(F_1) = \{P(F_{11}), P(F_{12}), \dots, P(F_{1\theta})\}.$$

Усередині кожної підмножини  $P(F_{1\beta})$  поділимо підсистеми за операційною ознакою:

$$P(F_{1\beta}, O_1) = \{P(F_{1\beta}, O_{11}), P(F_{1\beta}, O_{12}), \dots, P(F_{1\beta}, O_{1\gamma})\}.$$

Далі одержимо розподіл за архітектурною ознакою:

$$P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_1) = \{P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{11}), P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{12}), \dots, P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{1\mu})\}.$$

Виконаємо остаточний розподіл за параметричною ознакою:

$$P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{1h}, H_1) = \{P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{1h}, H_{11}), P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{1h}, H_{12}), \dots, P(F_{1\beta}, O_{1\lambda}, A_{1h}, H_{1\gamma})\}.$$

Як приклад розглянемо розподіл, показаний на рис. 2.2.

Тут вибрано підсистеми, які створено в минулих проектах, поділені на три підмножини. З урахуванням важливості ознак виконаємо



розподіл підсистем на підмножини за операційною ознакою, далі – за архітектурною і наприкінці – за параметричною. Відповідно до важливості ознак оцінимо кожну підсистему в такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 & S_1(5,1,4,5), \quad S_6(3,2,1,2), \quad S_9(4,1,2,1), \\
 & S_2(5,3,4,5), \quad S_7(3,2,1,2), \quad S_{10}(4,3,2,1), \\
 & S_3(5,3,4,5), \quad S_8(3,1,1,1); \quad S_{11}(4,3,2,2), \\
 & S_4(5,3,4,5), \quad S_{12}(4,3,2,2), \\
 & S_5(5,1,1,5);
 \end{aligned}$$

де, наприклад,  $S_4(5,3,4,5)$  означає, що 4-та підсистема за функціональною ознакою потрапила у підмножину з п'ятьма близькими елементами, за операційною – у підмножину з трьома близькими елементами, за архітектурною – у підмножину з чотирма близькими елементами, за параметричною – у підмножину з п'ятьма близькими елементами. Розмір  $q_{r_j}, r_j = \{1,2,3,4\}$  кожної підмножини характеризує типовість і показність  $i$ -ї підсистеми за  $r_j$ -ю ознакою. Чим вище значення  $q_{r_j}$ , тим більше впевненість експерта у виборі  $i$ -ї підсистеми як елемента множини КПВ.

З урахуванням важливості ознак усі підсистеми всередині підмножин лексикографічно впорядкуємо і отримаємо три стовпці (рис. 2.2):

$$\begin{aligned}
 & S_2(5,3,4,5), \quad S_6(3,2,1,2), \quad S_{11}(4,3,2,2), \\
 & S_3(5,3,4,5), \quad S_7(3,2,1,2), \quad S_{12}(4,3,2,2), \\
 & S_4(5,3,4,5), \quad S_8(3,1,1,1); \quad S_{10}(4,3,2,1), \\
 & S_1(5,1,4,5), \quad S_9(4,1,2,1), \\
 & S_5(5,1,1,5);
 \end{aligned}$$

Другий напрямок (II) стосується формування множини КПВ:

1. На початку кожного стовпця розміщуються підсистеми, що мають більшу перевагу за виділеними ознаками для введення в множини елементів КПВ. Виключимо явно непридатні варіанти щодо їхньої важливості й залишимо варіанти з однаковими характеристиками:

$$\begin{aligned}
 & S_2(5,3,4,5), \quad S_6(3,2,1,2), \quad S_{11}(4,3,2,2), \\
 & S_3(5,3,4,5), \quad S_7(3,2,1,2); \quad S_{12}(4,3,2,2), \\
 & S_4(5,3,4,5);
 \end{aligned}$$

2. З варіантів, що залишилися, необхідно вибрати по одному представнику за функціональною ознакою, що найбільш повно характеризує даний клас і потім може ввійти як кандидат у формовану множину КПВ. При цьому надалі можливим є додаткове проектування вибраного компонента, якщо експерти вважатимуть, що наявних його властивостей недостатньо для використання підсистеми як КПВ. Припустимо, що додатковою експертизою на рівні підсистем виявлено такі кандидати у КПВ:

$$S_3(5,3,4,5); S_7(3,2,1,2); S_{11}(4,3,2,2).$$

3. Далі експерти оцінюють корисність (вагу)  $V_{m_i}$   $i$ -ї підсистеми з урахуванням  $q_{m_i}$  витрат на додаткове проектування для формування множини КПВ. Оцінювання корисності  $V_{m_i}$  експерти можуть виконувати як кількісно (наприклад від 0 до 1), так і якісно.

Таким чином, якісні значення корисності  $V_{m_i}$  компонентів можна оцінювати, наприклад, можливістю їх застосування у ролі КПВ, тобто:

- обов'язково;
- можливо, але з допрацюванням;
- прийнятно, але з більшими допрацюваннями;
- малоймовірно;
- не використовувати як КПВ.

Далі введенням функцій належності [33] та використанням процедури фазифікації можна перевести якісні оцінки експертів у кількісні (від 0 до 1) для одержання кількісного значення ваги  $V_{m_i}$ .

4. Сформуємо ряд  $T_1$  з кандидатів у множини КПВ з урахуванням корисності варіантів, де на початку ряду розміститься підсистема з найбільшим значенням ваги  $V_{m_i}$ , наприклад  $S_3, S_{11}, S_7$ .

5. Формування множини КПВ здійснюється з урахуванням призначеного експертами порога корисності  $\hat{V}_1$ . Остаточно одержимо підмножину КПВ на рівні підсистем:  $\hat{T}_1 = \bigcup_{\rho} m_{1\rho}$ ,  $\rho=1, \overline{\hat{W}_1}$ , де  $\hat{W}_1$  відповідає

потужності множини  $\hat{T}_1$ , отриманої з урахуванням порога  $\hat{V}_1$  з множини кандидатів  $T_1$ , наприклад  $S_3, S_{11}$ .

6. У множині  $U$  проаналізованих і виконаних проектів розглянемо компоненти першого рівня (підсистеми), які не потрапили до скла-

ду сформованої множини КПВ. Виконаємо декомпозицію цих підсистем на компоненти другого рівня СУ. Одержимо множину  $M_{2k}$  для кожної  $k$ -ї підсистеми у вигляді компонентів другого рівня  $M_2 = \bigcup M_{2k}$ . Виділимо множину аналогів у вигляді класів еквівалентності з урахуванням функціональних ознак (п. 2) і нових ознак, які можна додати при декомпозиції компонентів першого рівня. Виконавши пп. 2–5, одержимо підмножину КПВ другого рівня:

$$\hat{T}_2 = \bigcup_i \overline{\omega}_{2i}, i = 1, \overline{W}_2.$$

7. Ітераційно повторимо виконання пп. 1–6, поки не сформуємо підмножини КПВ для всіх  $n$ -рівнів (рис. 2.3). У результаті одержимо множину КПВ у вигляді підмножин окремих рівнів декомпозиції СУ:

$$\hat{T}_{КПВ} = \bigcup_{\alpha} \hat{T}_{\alpha},$$

де  $\alpha = \overline{1, n}$ .

Для проведення дій за цим напрямком, пов'язаним з формуванням нових КПВ, з урахуванням прогнозу щодо виконання майбутніх замовлень необхідно проаналізувати функціональний склад компонентів майбутніх проектів. Схожість функціональних компонентів таких проектів буде однією з основних ознак при формуванні кандидатів у КПВ, якщо відсутня докладна інформація щодо архітектури СУ.

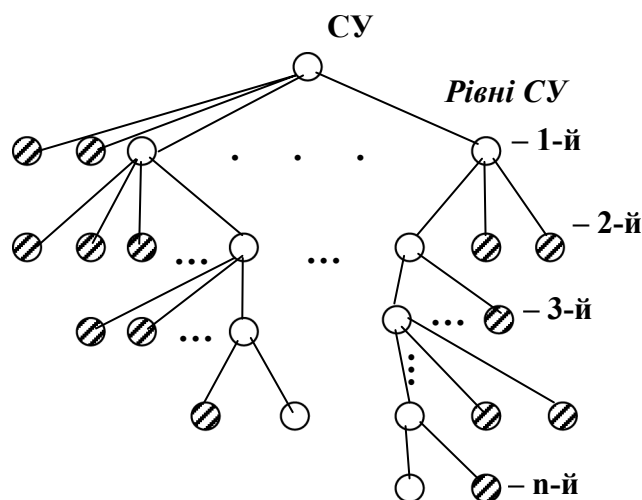


Рис. 2.3. Багаторівнева деталізація компонентної архітектури складної системи управління: ⊗ – КПВ, ○ – НК

Виконуючи функціональну декомпозицію проектів й ітераційно

повторюючи пп. 1–6, одержимо

$$\hat{Q}_{КПВ} = \bigcup_{\beta} \hat{Q}_{\beta},$$

де  $\beta = \overline{1, l}$ ;

$\hat{Q}_{КПВ}$  – множина КПВ, виділена в процесі аналізу майбутніх проектів СУ;

$\hat{Q}_{\beta}$  – підмножина КПВ у  $\beta$ -му рівні деталізації майбутніх проектів СУ;

$l$  – кількість рівнів виконаної декомпозиції майбутніх проектів СУ.

Остаточно, з урахуванням обох напрямків, використавши для формування множини  $A$  КПВ, одержимо

$$A = T_{КПВ}^{\wedge} + Q_{КПВ}^{\wedge}.$$

Розглянемо докладніше ЖЦ КПВ. На першій його стадії виділяються КПВ, що застосовувались у минулих (виконаних) проектах створення СУ. Далі, якщо необхідно, КПВ допрацьовуються для забезпечення відносної універсальності при використанні їх в майбутніх проектах.

На наступному етапі ЖЦ КПВ здійснюється адаптація окремих КПВ до конкретного проекту, у якому вони будуть використовуватися. Після виконання ряду проектів актуальність (корисність)  $i$ -го КПВ може виявлятися менш важливою, що оцінюється розроблювачами й експертами. Зрештою, якщо корисність  $V_{m_i}$   $i$ -го компонента досягне деякого порогового значення  $V_{пор}$ , цей компонент необхідно виключити з множини  $A$ . На рис. 2.4 зображено ЖЦ КПВ компонентів, отриманих у результаті аналізу досвіду минулих розробок.



Рис. 2.4. Формування ЖЦ КПВ за результатами минулих розробок

У випадку виділення КПВ за другим напрямком, пов'язаним з майбутніми проектами СУ, ЖЦ цих КПВ може різко збільшитися в часі й відповідно до споживаних ресурсів (витрат). Це пов'язано з необхідністю виконання повного циклу проектних робіт для одержання зразка

КПВ. У цьому випадку його ЖЦ має вигляд, показаний на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Життєвий цикл КПВ з урахуванням майбутніх проектів

Як видно, тут відсутнім є етап допрацювання, але додано дуже важливі (ризикові) для проектувальників етапи: науково-дослідні роботи (НДР) і дослідно-конструкторське розроблення (ДКР).

У цьому підрозділі вирішено проблему формування множини КПВ, що забезпечує підвищення реалізованості проектів і мінімізацію ризику, пов'язаного з новими проектними рішеннями.

Виділено два основних напрямки, які дозволяють обґрунтовано підходити до формування множини варіантів КПВ:

- аналіз минулих розробок;
- прогноз майбутніх замовлень.

Запропонований підхід доцільно використовувати в проектних організаціях, пов'язаних зі створенням складних систем управління космічних виробів, при постійному виконанні досить великої кількості замовлень.

### **2.3. Формування множини компонентів для повторного використання в проекті створення складної системи управління**

У сучасних умовах розвитку складної космічної техніки особливої значущості й актуальності у процесі її створення набуває застосування КПВ, що забезпечує мінімізацію строків, ризиків і фінансових витрат на реалізацію проекту. У цьому підрозділі розглянуто метод формування множини КПВ для подальшого застосування в нових проектах.

Для реалізації компонентної технології в управлінні проектами необхідно сформулювати й систематизувати множини КПВ з урахуванням результатів минулих розробок. Обов'язковою умовою успішного використання компонентної моделі проекту є оцінювання ризиків, строків і вартості реалізації компонента в межах нового проекту. Очевидно, що КПВ має бути хоча б один раз реалізовано у минулій практиці, перш ніж його можна використати в новому проекті. При створенні множини базових КПВ із заздалегідь відомими характеристиками КПВ синтезуються на основі досвіду вже реалізованих проектів.

Етапи формування множини КПВ зображено на рис. 2.6.

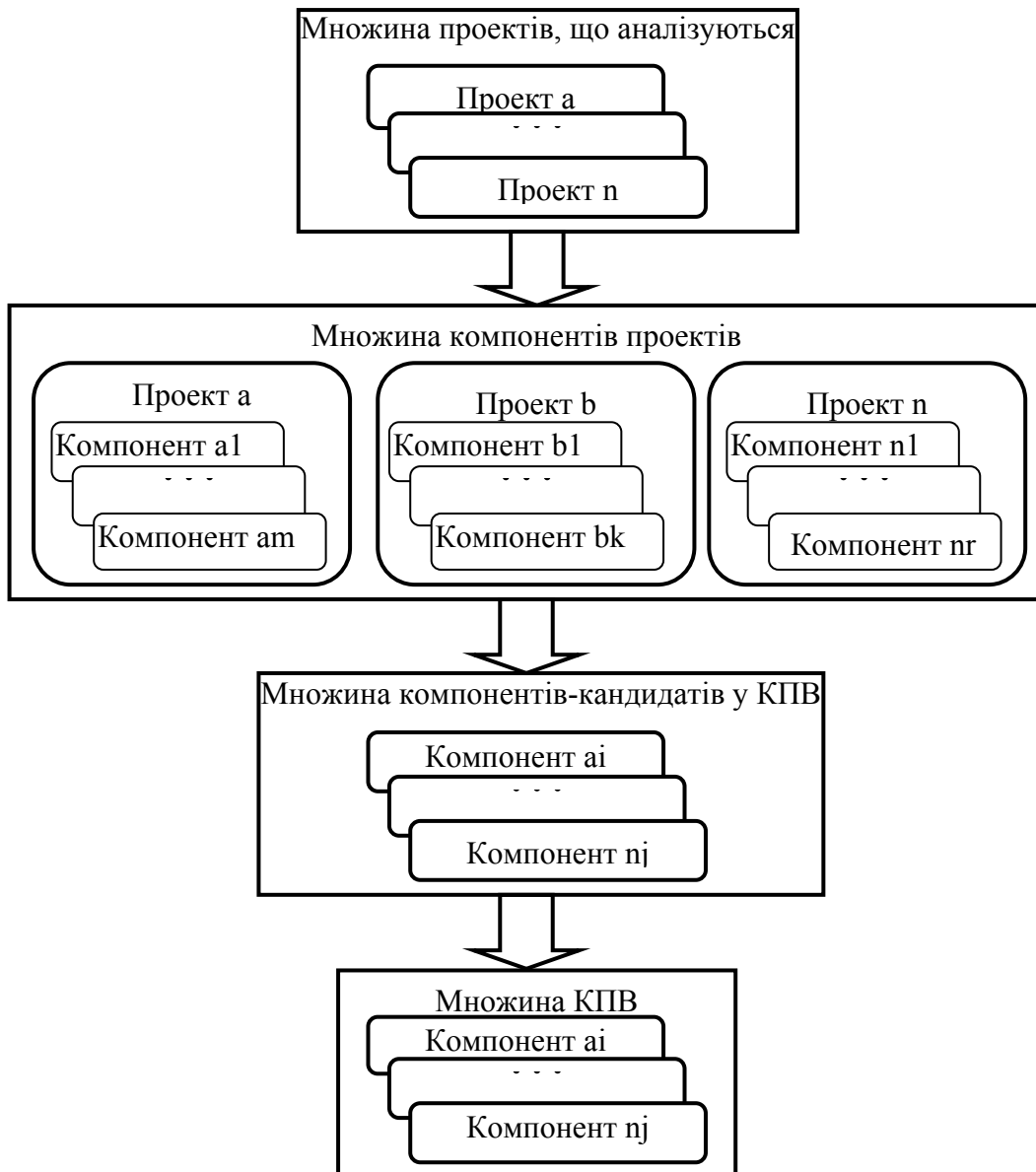


Рис. 2.6. Етапи формування множини КПВ

Етап вибору базових проектів з метою їх аналізу реалізується таким чином, щоб забезпечити достатню кількість матеріалу для наступного дослідження. Для цього такі проекти за своєю спрямованістю мають бути різними, щоб забезпечити формування досить широкого спектра компонентів для використання у наступних розробках. Однак при цьому проекти для виконання аналізу неодмінно мають належати якій-небудь одній предметній області, тій, для якої формується множина КПВ. Природною умовою є також те, що вибраним для аналізу проектам необхідно мати прийнятні економічні показники та належати до числа позитивних проектів.

На наступному етапі аналізу виконується структуризація проектів, що полягає в тому, щоб кожний з них, що входить до базової множини, подати у вигляді компонентів. Для цього проект можна уявити багатопотоковим процесом шляхом попереднього розподілу на потоки, що складаються з проектних дій певного змісту й спрямованості. Оскільки кожна з проектних дій пов'язана з певним об'єктом, стає можливим виявити всі заходи, спрямовані на створення певного об'єкта, що є складовою частиною складного виробу. Завдання полегшується тим, що будь-який проект ґрунтується на ТЗ, що може відрізнитися за своєю структурою, складом й оформленням, але в кожному разі достатньою мірою несе інформацію про структуру виробу та його склад. Таким чином, спираючись на відомості, що містяться в ТЗ, зокрема на специфікації виробів, можна виявити належність кожної з проектних дій до якої-небудь структурної одиниці виробу. Причому саме специфікація, що відображує структуру виробу, дозволяє варіювати ступень деталізації при виявленні й формуванні компонентів.

Всі проектні дії, що ставляться до певної структурної одиниці виробу, становлять її ЖЦ. Стає можливим визначити початок і закінчення ЖЦ, склад і тривалість його етапів [31] і далі проаналізувати потенційно можливі в проекті простоти, помилки виконання, ризики та невиправдані витрати засобів з метою їх мінімізації при застосуванні КПВ.

Результатом цього етапу є створення множин компонентів, кожна з яких пов'язана з вихідним проектом (див. рис. 2.6). При цьому самі компоненти подаються як незалежні повноцінні проекти, а етапи ЖЦ компонентів наповнюються змістом і кількісними характеристиками, достатніми для подальшого аналізу.

Очевидно, що не всі компоненти з тих, що входять до складу проаналізованих минулих проектів, будуть придатними для застосування як КПВ. Вище згадувалося, що КПВ слід мати передбачувані та прийнятні характеристики, у першу чергу, строк реалізації, вартість і досить високий ступінь реалізованості. Через це наступний етап складається з відбору компонентів-кандидатів у КПВ.

На цьому етапі вже є відомими основні кількісні й якісні характеристики компонентів. Стає можливим виконати сортування компонентів за необхідними критеріями (особливо актуальним це є для складних проектів з більшим числом компонентів). У результаті сортування визначається рейтинг компонентів за найбільш важливими критеріями (строками, ризиками, вартістю, строками окупності або економічною ефективністю), які мають характерні значення для кожної предметної області створення нової техніки.

У зв'язку з цим вводиться поняття «ідеальний компонент», що є прийнятною (або бажаною) характеристикою певної предметної області. Далі наявні у базовій множині компоненти порівнюються з «ідеальним компонентом» таким чином, що якщо порівнюваний компонент хоча б за одним з критеріїв не задовольняє «ідеальний компонент», то надалі його не розглядають.

Компоненти, що залишилися, мають задовільні оцінки за всіма критеріями й становитимуть множину компонентів-кандидатів у КПВ. Наступним етапом є створення множини КПВ з числа кандидатів (рис. 2.7).

На цьому етапі компоненти, що претендують на одну під-область, що є частиною предметної області, вибирають на конкурсній основі з урахуванням перелічених вище критеріїв, причому для одержання найбільшої вірогідності результатів порівняння виконують не за глобальними характеристиками, а за критеріями, що характеризують кожний з етапів ЖЦ компонента-кандидата. При цьому можливим є вибір одного кращого за рейтингом компонента або декількох компонен-

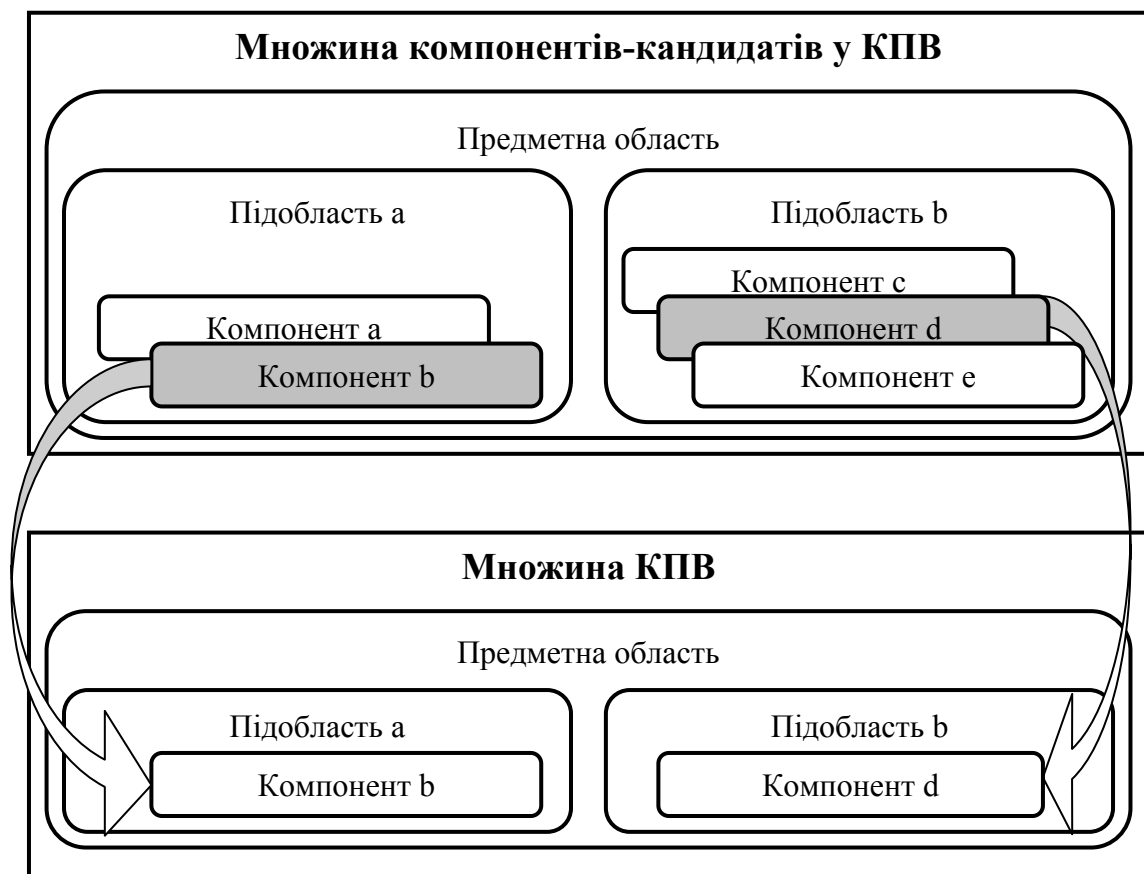


Рис. 2.7. Вибір КПВ з множини кандидатів з урахуванням належності компонента



тів-дублерів, серед яких, наприклад, один може мати мінімальну вартість, а інший – менший строк реалізації.

Заключним етапом є параметризація КПВ, складових отриманої множини, що дозволить розширити область використання компонентів і полегшити їх застосування в корпоративних проектах за рахунок приведення до єдиних корпоративних стандартів в області управління і області інформаційних потоків.

Вище було описано спосіб формування множини КПВ із заздалегідь відомими характеристиками. Однак цей спосіб є придатним не тільки для створення множини КПВ, а й для їхнього розширення або модифікації. При цьому на передостанньому етапі компоненти-кандидати в КПВ порівнюються не тільки між собою, але й зі складовими множини – наявними КПВ, розширюючи множину, заповнюючи порожні підобласті або витісняючи собою існуючі КПВ, тим самим обновлюючи множину шляхом природного добору, що дозволить завжди мати в розпорядженні готовий до застосування, перевірений набір рішень з наявністю компонентів, які мають найкращі характеристики й придатні для реалізації проекту із застосуванням компонентної технології.

#### **2.4. Інтегрована модель компонентного проектування складних систем управління**

У підрозділі запропоновано схему ЖЦ й інтегровану модель проектування складних систем управління, основу на компонентному підході.

З одного боку, при створенні нових зразків космічної техніки проєктувальники намагаються перенести досвід минулих розробок у виготовлення нового виробу. Це дозволяє мінімізувати ризик, пов'язаний з проєктуванням «з нуля» нових компонентів складного виробу. З іншого боку, інноваційність і конкурентоспроможність нового зразка космічної техніки залежить від наявності у складі космічного виробу інноваційних компонентів, тобто нових систем управління й нових принципів їх функціонування. Нові проєктні рішення мають найбільший ризик, пов'язаний з проведенням циклу робіт, що відповідають етапам ЖЦ виготовлюваних елементів (компонентів) СУ. Тому актуальні дослідження пов'язано з виділенням КПВ при проєктуванні. У такому випадку за рахунок завчасних дій з формування КПВ можна підвищити реалізованість проєктів створення космічної техніки шляхом використання не одного, а багатьох КПВ у складі СУ. При цьому зни-

жується ризик, пов'язаний із застосуванням нових проектних рішень (ризик «нового») у вигляді знову створюваних компонентів СУ. Цей ризик переноситься не на замовника (реальний проект), а на команду, що групується в проектних організаціях для формування й використання множини КПВ в майбутніх проектах.

У цьому підрозділі розглянуто формування ЖЦ створення складної системи управління космічним виробом на основі компонентного підходу й нової інтегрованої моделі управління проектом.

Структуру проектного складного зразка СУ можна подати системно у вигляді багаторівневого графа, де верхній рівень – новий виріб, середній – складні компоненти, що містять прості компоненти нижніх рівнів, а нижній – окремі елементи системи (прості компоненти).

З урахуванням виконаної в підрозд. 2.1 класифікації компонентів проектного виробу було виділено:

1. Компоненти повторного використання (КПВ). Вони позитивно зарекомендували себе в минулих розробках і залежно від вимог ТЗ на новий виріб з використанням методу модифікації адаптуються й переносяться в новий проект, а також характеризуються мінімальним ризиком проектування й найменшими фінансовими тимчасовими витратами.

2. Інноваційні (нові) компоненти (ІК). Характеризуються максимальним ризиком створення, більшими фінансовими тимчасовими витратами. Позитивним моментом їх використання є прогресивність і конкурентоспроможність проекту, що може зацікавити потенційного замовника й розширити ринок споживання виробів космічної техніки.

3. Комбіновані компоненти (КК). Звичайно являють собою складні компоненти, які складаються як з простих компонентів, так і з КПВ й ІК. Рівень ризику при їх використанні в проектуванні залежить від наявності простих компонентів у їхньому складі (якщо їхня кількість перевищує кількість КПВ або ІК) й трудомісткості процесу комплектування простих компонентів у складні.

З виконаної класифікації видно, що багаторівнева модель складного космічного виробу містить як КПВ, ІК, так і КК, що потребує попереднього аналізу, а також створення відповідної моделі ЖЦ й інтегрованої моделі проектування.

Вимоги до створення нового зразка космічної техніки можна поділити на три групи: економічні, організаційні й технологічні.

Економічні вимоги пов'язані з оптимізацією витрат на розроблення нового виробу з урахуванням активного використання компонентного підходу (пошуку оптимального за витратами багаторівневого

компонентного складу виробу).

Організаційні вимоги обумовлено створенням нової структури управління проектом, яка обов'язково містить команду проектувальників, що займаються аналізом і вибором компонентного складу нового виробу з урахуванням простих і складних компонентів (КПВ, ІК, КК).

Технологічні вимоги пов'язані з розробленням нової технології проектування, основаної на компонентному підході та інтеграційній моделі, за допомогою якої оптимізується ЖЦ нового виробу.

Для організації процесу проектування складного виробу доцільно використовувати високорівневу модель, що підтримує технологічний процес розроблення. У ході створення нового зразка множини КПВ можуть поповнюватися новими елементами, які з'являються у реальних проектах. Основна увага розроблювачів концентрується на виробленні багаторівневої архітектури та множини КПВ. Для полегшення настроювання на конкретні користувальницькі оточення (нові проекти) формуються механізми гнучкої адаптації. Таким чином, поява нової компонентної моделі розроблення докорінно змінює весь процес створення складного виробу. Для ефективної його реалізації необхідно інтегрувати (у рамках багаторівневої архітектури) високорівневу організаційну модель управління проектом і технологічний процес розроблення (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Інтегрована модель проектування

Інтегровану модель проектування можна подати у вигляді трьох взаємозв'язаних частин: багаторівневої архітектури нового виробу, організаційної моделі проектування, компонентної технології проектування (див. рис. 2.8).

В існуючій традиційній схемі управління проектом створення нового виробу проектні роботи виконуються без глибокого аналізу структури виробу й складу компонентів. Досвід минулих розробок використовується інтуїтивно, без формального виділення КПВ. Традиційну схему проектування зображено на рис. 2.9.

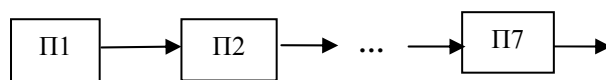


Рис. 2.9. Традиційна схема проектування

При побудові цієї схеми використано такі позначення:

П1 – формування вимог до створення проекту;

П2 – системне проектування й формування архітектури космічного комплексу;

П3 – розроблення «нових» елементів і модифікація «старих»;

П4 – комплектування елементів у складний виріб;

П5 – випробування;

П6 – експериментальна експлуатація;

П7 – передача замовникові, впровадження.

Недоліки такого підходу пов'язано з відсутністю аналізу й виділення «старих», «нових» і комбінованих елементів у вигляді закінчених компонентів, а також з інтуїтивними процесами створення, проектуванням «з нуля».

При компонентному підході спочатку аналізуються вимоги потенційних замовників, потім виділяються множини КПВ, які можна застосовувати в новому проекті з урахуванням їхньої адаптації та модифікацій, далі визначаються інноваційні компоненти й формуються їхній ЖЦ та інтеграційний процес створення складного виробу. При такому підході можна заздалегідь сформувати базову архітектуру виробу, а потім шляхом модифікації й адаптації КПВ перейти до нових версій і розробок. Вибір і відбір КПВ здійснюють досвідчені розроблювачі, які є експертами на системному етапі проектування.

На рис. 2.10 зображено нову схему створення складної СУ, оснoвану на компонентному підході.

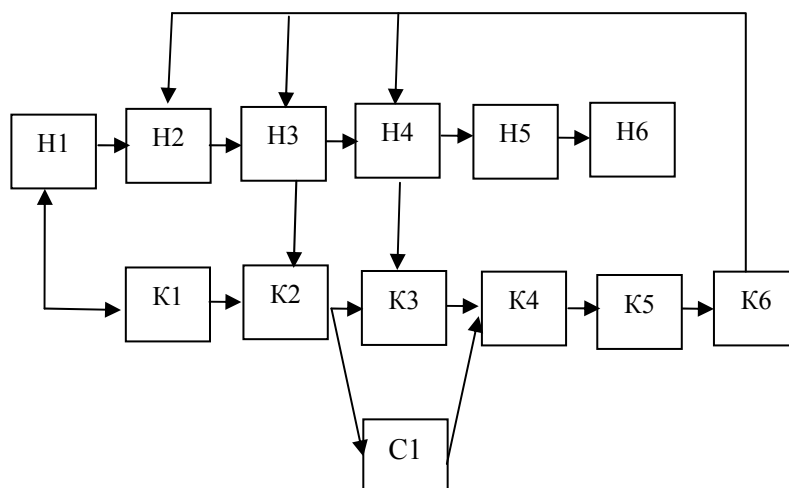


Рис. 2.10. Компонентний підхід до проектування складних виробів

- На цьому рисунку використано такі позначення:
- H1 – аналіз вимог потенційних замовників;
  - H2 – аналіз й узагальнення досвіду минулих розробок;
  - H3 – створення базової архітектури складного виробу;
  - H4 – формування множини використовуваних компонентів, виділення КПВ;
  - H5 – інтеграція компонентів в архітектуру базового виробу;
  - H6 – випробування базового виробу;
  - K1 – формування вимог до виконання конкретного проекту, узгодження їх із замовником;
  - K2 – адаптація базової архітектури до конкретного замовлення;
  - K3 – модифікація КПВ та їх адаптація до конкретного замовлення;
  - K4 – інтеграція компонентів в архітектуру конкретного замовлення;
  - K5 – випробування;
  - K6 – експериментальна експлуатація, передача замовникові.

Якщо буде потреба у створенні нових компонентів, додасться блок С1, що може призвести до збільшення ризику, додаткових фінансових і тимчасових витрат.

Уявимо формальну модель створення космічного комплексу на основі компонентного підходу. Припустимо, що архітектура складного космічного виробу складається з багатьох ієрархічно зв'язаних між собою рівнів:

$$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\},$$

де  $Y_1$  відповідають верхньому рівню (виробу),  $Y_m$  – найнижчому рівню (елементарним компонентам).

Для  $i$ -го рівня формується множина компонентів (простих і складних), які інтегровано комплектуються у виріб:

$$K_i = \{K_{i_1}, K_{i_2}, \dots, K_{i_n}\}.$$

Системна модель створення складного космічного виробу містить

$$M = \{ST, W, N, WN, A, KT, IP, IT\},$$

- де
- $ST$  – вимоги замовника (можуть бути узагальнені);
  - $W$  – множина КПВ, виділених з минулих розробок;
  - $N$  – множина «нових» інноваційних компонентів;
  - $WN$  – множина «змішаних» компонентів ( $N+W$ );
  - $A$  – базова адаптована архітектура, що надалі використовується

у межах конкретного замовлення;

*КТ* – компонентна технологія проектування;

*ІР* – інтегрований процес формування нового виробу;

*ІТ* – прогресивна інформаційна технологія автоматизованого компонентного проектування.

У даному підрозділі розглянуто підхід до створення складних виробів космічної техніки, оснований на компонентному проектуванні. Подано нову схему управління проектом з урахуванням високорівневої моделі проектування, основаної на компонентному підході, новій організаційній структурі й інтеграційній моделі проектування.

У даному розділі на основі компонентної архітектури складної СУ виконано класифікацію компонентів і виділено три основних їхніх типи:

1. Компоненти повторного використання. За їх допомогою забезпечується високий рівень реалізованості проекту, тому що позитивний досвід минулих розробок переноситься на виготовлення нового виробу.

2. Інноваційні компоненти. За їх допомогою забезпечуються інноваційність проекту і його конкурентоспроможність. Негативним моментом є підвищений ризик, пов'язаний зі створенням компонента, а також повний ЖЦ проектування, що може збільшити строки створення космічного виробу.

3. Змішані (комбіновані) компоненти, які отримані шляхом комплектування КПВ й інноваційних компонентів. Такі компоненти є складними й теж мають підвищений ризик створення.

Розглянуто метод виділення й формування КПВ у проектах створення складної космічної техніки. Основу методу становлять процедури лексикографічного підпорядкування порівнюваних кандидатів у КПВ з урахуванням важливості основних ознак класифікації: функціональних, операційних, архітектурних і параметричних. За допомогою експертних оцінок здійснюється розподіл множини компонентів на підмножини з близькими за своїми значеннями характеристиками, що дозволяє сформувати КПВ на різних рівнях деталізації багаторівневої архітектури складного виробу. Побудовано життєві цикли проектування при застосуванні КПВ, які вибирають з минулих проектів, якщо є необхідність їхньої появи в нових.

Розглянуто інтегровану модель проектування, основану на компонентному підході. Модель містить багаторівневу архітектуру складного виробу, організаційну структуру управління проектом, а також компонентну технологію проектування. На основі поданої моделі розглянуто нову схему виготовлення складного космічного виробу, у якій

виділено цикл створення і адаптації КПВ, для чого в проектній організації формується команда з проектування КПВ. Розглянуто системну модель виготовлення складного космічного виробу, що містить: вимоги замовника, множину компонентів (КПВ, НК, ЗК), що використовують при створенні проекту, базову архітектуру, що адаптується в межах конкретного проекту, компонентну технологію проектування, інтегрований процес формування нового виробу.

### **Контрольні запитання**

1. Які основні типи компонентів використовуються для створення складних ІУС?
2. Які особливості мають КПВ?
3. Які існують причини створення нових компонентів?
4. Які компоненти є складними?
5. Які задачі вирішує команда з проектування, використовуючи компонентний підхід?

### **Завдання**

1. Подати ієрархічну компонентну архітектуру складної системи управління.
2. Описати життєвий цикл КПВ.
3. Описати життєвий цикл «нових» компонентів.
4. Навести методику виділення КПВ.
5. Навести методику формування множини КПВ.
6. Проаналізувати інтегровану модель компонентного підходу проектування ІУС.

## **Розділ 3. ФОРМУВАННЯ КОМПОНЕНТНОЇ АРХІТЕКТУРИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

У цьому розділі розглянуто структурний аналіз компонентної архітектури складних систем управління. На основі методів теорії графів і теорії перерахування здійснюється відображення множини можливих компонентів у вузли архітектури СУ, поданої у вигляді деревоподібного графа.

Розраховано варіанти архітектури з урахуванням типів компонентів. Розглянуто метод формування варіантів, оснований на твірних функціях. Для вибору раціональних варіантів, що задовольняють замовника, використано цілочислову структурну оптимізацію.

### 3.1. Структурний аналіз компонентної архітектури складної системи управління

У цьому підрозділі розглянуто комбінаторний аналіз варіантів високорівневої архітектури СУ космічних виробів (КВ) з використанням компонентного підходу. Вивчено аналітичні вирази для перерахування компонентної архітектури СУ КВ з урахуванням типів компонентів і топології структури зв'язків.

Складність сучасних виробів космічної техніки привела до створення нових методів побудови архітектури СУ КВ, основаної на компонентному підході [33]. При цьому позитивні рішення оформляються у вигляді КПВ, їх можна застосовувати при виготовленні нових СУ, знижуючи тим самим ризик проектування, скорочуючи строки розроблення й зменшуючи фінансові витрати. Тому є актуальними завдання щодо створення перспективних КВ на основі компонентного підходу.

При обговоренні багатьох можливих проектних рішень розглядається комбінаторний аналіз побудови архітектури СУ КВ з використанням теорії перерахування [34].

Велика увага приділяється вибору структурних зв'язків між окремими компонентами при розробленні компонентної архітектури СУ. Від неї залежать такі основні характеристики СУ КВ, як час, продуктивність, надійність та ін. Вибір типу топології структурних зв'язків визначається призначенням СУ, специфікою предметної області, де використовуються КВ. При виборі певної конфігурації структурних зв'язків розміщуються компоненти й конкретизується структура СУ.

У даному підрозділі вивчаються методи теорії перерахування для визначення множини варіантів компонентної архітектури СУ КВ. Розглядаються багаторівневі моделі компонентної архітектури СУ.

Для прикладу розглянемо архітектуру СУ у вигляді деревоподібного ациклічного графа  $G$  з кореневим модулем і листами – окремими модулями КВ. Комбінаторно-групові властивості цієї структури є необхідними для перерахування:

$$\Gamma(G) = S_i + S_{n-1}, \quad (3.1)$$

де  $n$  – загальне число компонентів, включаючи кореневий модуль;

$\Gamma(G)$  – група графа  $G$  структури СУ;

$S_i$  – симетрична група ступеня  $i$ .

Припустимо, що є відомим набір компонентів для побудови СУ:  $p_1, p_2, \dots, p_s$ , де  $i = \overline{1, S}$  означає  $i$ -й тип модуля, а  $p_i$  – кількість модулів  $i$ -го типу, які є в розпорядженні розроблювача СУ. Склад СУ КВ можна описати за допомогою суми симетричних груп [36]:



$$H = S_{p_1} + S_{p_2} + \dots + S_{p_s}.$$

Використовуючи відомі результати теорії перерахування, можна розраховувати всілякі варіанти розміщення компонентів на вершинах архітектури СУ:

$$\begin{aligned} K &= IZ \left( \Gamma(G); \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots \right) \times \\ &\times Z(H; 1 + Z_1, 1 + 2Z_2, \dots) |_{Z_1=Z_2=\dots=0} = \\ &= IZ \left( S_1 + S_{n-1}; \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots \right) \times \\ &\times Z(S_{p_1} + S_{p_2} + \dots + S_{p_s}; \\ &1 + 2Z_1, 1 + 2Z_2, \dots) |_{Z_1=Z_2=\dots=0}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де  $Z(H; \dots)$  – цикловий індекс групи підстановок  $H$ .

Варіанти архітектури СУ будуть залежати як від топології зв'язків, так і від характеристик вихідного набору компонентів. Як приклад наведемо дворівневу структуру СУ у вигляді складного графа, який назвемо графом компонентної архітектури СУ. На верхньому рівні декомпозиції кожна вершина графа являє собою окремий компонент, зв'язаний з іншими за допомогою структурних зв'язків. У середині окремого складного компонента міститься підграф другого (нижнього) рівня декомпозиції. Цей підграф характеризує структуру внутрішніх зв'язків між окремими компонентами нижнього рівня деталізації СУ. Таким чином, нижній рівень декомпозиції структури СУ складається з об'єднання підграфів, розташованих на вершинах верхнього рівня.

Введемо позначення:

$G^{1,2}$  – граф компонентної декомпозиції СУ;

$G^1$  – граф верхнього рівня декомпозиції архітектури СУ;

$G^2$  – граф нижнього рівня декомпозиції архітектури СУ,

$$G^2 = \bigcup_{j_2} G^2_{j_2},$$

де  $G^2_{j_2}$  – підграф нижнього рівня декомпозиції структури СУ,  $j_2 = \overline{1, r_2}$ ;

$B^2$  – множина вихідних модулів нижнього рівня декомпозиції СУ,  
 $n_2 = |B^2|$ .

Для одержання варіантів дворівневої декомпозиції компонентної архітектури КВ відобразимо множину вершин графа  $G^2$  у множині  $B^2$ :

$$K^2 = [Z \left( \Gamma(G^2); \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots \right) \times \\ \times Z(H_{B^2}; 1 + Z_1, 1 + 2Z_2, \dots)]_{Z_1=Z_2=\dots=0} \quad (3.3)$$

за умови  $n^2 < n_2$ . Тут  $n^2$  – число вершин графа  $G^2$ ,

$$n^2 = \sum_{j_2=1}^{r_2} n_{j_2},$$

де  $n_{j_2}$  – число вершин  $j$ -го підграфа  $G_{j_2}^2$ .

Через наявність типів структур топології компонентної архітектури СУ (ієрархічної, лінійної, кільцевої, зіркоподібної й ін.) одержимо

$$\Gamma(G^2) = S_{p_1^2} [\Gamma(G_1^2)] + S_{p_2^2} [\Gamma(G_2^2)] + \\ + \dots + S_{p_{l_2}^2} [\Gamma(G_{l_2}^2)], \quad (3.4)$$

де  $p_{\mu_2}^2$  – число підграфів  $\mu_2$ -го типу другого рівня декомпозиції структури КВ;

$$\sum_{\mu_2=1}^{l_2} p_{\mu_2}^2 = r_2.$$

Множина  $B^2$  складається з типів компонентів другого рівня декомпозиції архітектури СУ:

$$B^2 = \bigcup_{\sigma_2} \rho_{\sigma_2}^2 B_{\sigma_2}^2,$$

де  $\rho_{\sigma_2}^2$  – число модулів  $\sigma_2$ -го типу другого рівня декомпозиції;

$$\sum_{\sigma_2=1}^{l_2} \rho_{\sigma_2}^2 = n_2.$$

Таким чином,  $H_{B^2} = S_{\rho_1} + S_{\rho_2} + \dots + S_{\rho_{l_2}^2}$ .

Тоді

$$K^2 = [Z \left( S_{p_1^2} \right) [\Gamma(G_1^2)] + S_{p_2^2} [\Gamma(G_2^2)] + \dots$$

$$\begin{aligned}
& +S_{p_{l_2}^2} \left[ \Gamma(G_{l_2}^2) \right]; \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots \times \\
& \times Z(S_{p_1^2} + S_{p_2^2} + \dots + S_{p_{l_2}^2}; 1 + \\
& + Z_1, 1 + 2Z_2, \dots) |_{Z_1=Z_2=\dots=0}.
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Якщо  $n^2 = n_2$ , то

$$\begin{aligned}
\widehat{K}^2 &= [Z(S_{p_1^2} \Gamma(G_1^2)) + S_{p_2^2} \Gamma(G_2^2)] + \dots \\
& + S_{p_{l_2}^2} \Gamma(G_{l_2}^2) |; \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots \times \\
& \times Z \left( S_{p_1^2} + S_{p_2^2} + \dots + S_{p_{l_2}^2}; Z_1, 2Z_2, \dots \right) |_{Z_1=Z_2=\dots=0}.
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Побудувавши всі  $K^2$  варіантів другого рівня декомпозиції структури КВ, одержимо множину варіантів архітектури  $T^2$ . Кожний з варіантів  $t_{b^2} \in T^2$  являє собою позначений граф  $G^2$ , де як мітки використаємо номери типів компонентів другого рівня декомпозиції СУ. Позначимо множину вказаних підграфів графа  $G^2$  для варіанта  $t_{b^2}$  через  $M_{b^2}$ . У загальному випадку  $M_{b^2}$  складається з типів

$$\begin{aligned}
M_{b^2} &= \bigcup_{\mu_{b^2}} p_{\mu_{b^2}}^2 M_{\mu_{b^2}}, \\
H_{M_{b^2}} &= S_{p_{1,b^2}^2} + S_{p_{2,b^2}^2} + \dots + S_{p_{l,b^2}^2},
\end{aligned}$$

де  $p_{\mu_{b^2}}^2$  – число елементів  $\mu_{b^2}$ -го типу множини  $M_{b^2}$ . Тип елементів  $M_{b^2}$  залежить як від типів елементів множини  $B_2$ , так і від типів підграфів графа  $G^2$ . У випадку однотипності елементів  $B_2$  типи елементів  $M_{b^2}$  залежать тільки від типів графа  $G^2$ . І, навпаки, якщо підграфи графа  $G^2$  є ізоморфними, то типи  $M_{b^2}$  залежать тільки від типів вихідних модулів.

Відобразимо множину вершин графа  $G^1$  у множині позначених

підграфів  $M_{b^2}, t_{b^2} \in T^2$ . Тоді число варіантів дворівневої декомпозиції компонентної архітектури СУ за умови, що фіксується варіант  $t_{b^2}$ , буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
 K_{b^2}^{1,2} &= [Z(\Gamma(G^1)); \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots) \times \\
 &\times Z(H_{M_{b^2}}; 1+Z_1, 1+2Z_2, \dots)]_{Z_1=Z_2=\dots=0} = \\
 &= [Z(\Gamma(G^1)); \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots) Z(S_{p_{1,b^2}^2} + S_{p_{2,b^2}^2} + \dots \\
 &+ S_{p_{l,b^2}^2}; 1+Z_1, 1+2Z_2, \dots)]_{Z_1=Z_2=\dots=0}, \tag{3.7}
 \end{aligned}$$

де  $n^1 < r_2$ .

Загальне число варіантів дворівневої декомпозиції компонентної архітектури СУ

$$K^{1,2} = \sum_{b^2=1}^{K^2} K_{b^2}^{1,2}.$$

Якщо  $n^1 = r_2$ , то

$$\begin{aligned}
 \widehat{K}_{b^2}^{1,2} &= [Z(\Gamma(G^1)); \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, \dots) Z(S_{p_{1,b^2}^2} + \\
 &+ S_{p_{2,b^2}^2} + \dots + S_{p_{l,b^2}^2}; Z_1, 2Z_2, \dots)]_{Z_1=Z_2=\dots=0}. \tag{3.8}
 \end{aligned}$$

Розглянутий підхід дозволяє на ранніх етапах розроблення проаналізувати альтернативні варіанти компонентної архітектури для вибору і обґрунтування раціональної структури й складу компонентів СУ.

### 3.2. Формування множини варіантів компонентної архітектури складної системи управління

У даному підрозділі з урахуванням можливого складу компонентів СУ, різних конфігурацій структурних зв'язків та інформаційних потоків вивчається задача формалізації синтезу можливих архітектур СУ, побудованих на компонентній основі.

Розглянемо компонентний склад СУ. Шляхом комплектування компонентів можна одержати окремі підсистеми, що входять до складу СУ.

Припустимо, що маємо  $n$  компонентів. Введемо цілочислові змінні  $x_j$ , що являють собою кількість, наприклад, функціональних підсистем у СУ, отриманих за допомогою комплектування  $j$ -х компонентів. Тоді, використавши рівність

$$\sum_{j=1}^n jx_j = n, \quad (3.9)$$

можна перебором одержати всі варіанти складу СУ, кількість яких підрахована раніше. Якщо число утворених функціональних підсистем буде не більше  $r$ , то додається обмеження

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq r. \quad (3.10)$$

При заданому числі підсистем у складі СУ

$$\sum_{j=1}^n x_j = r. \quad (3.11)$$

Для одержання варіантів компонентного складу СУ слід перебрати значення змінних  $x_j$ , прагнучи виконати умови (3.9), (3.10) або (3.9), (3.11). Для скорочення числа комбінацій, що мають бути перебрані, виберемо значення  $x_n$  з множини  $\{0,1\}$ ,  $x_{n-1} - \{0,1,2\}, \dots$ ,  $x_1 - \{0,1,2, \dots, n\}$ . Крім того, як тільки одержимо  $K$  підрахованих у підрозд. 3.1 варіантів складу, перебір  $x_j$  закінчимо.

Візьмемо окремий варіант архітектури СУ, що задовольняє умови (3.9), (3.10). Припустимо, що у цьому варіанті  $x_j$  дорівнює одиниці або нулю. Тоді всі функціональні підсистеми КВ будуть мати різну кількість компонентів у своєму складі. Пронумеруємо системи так, що

$$S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_r,$$

де  $S_i$  – число компонентів в  $i$ -й підсистемі.

Введемо такі обмеження:

$$\sum_{i=1}^r x_{\mu_i} \leq p_{\mu}, \quad \mu = \overline{1, l}, \quad (3.12)$$

$$\sum_{\mu=1}^l x_{\mu_i} = S_i, \quad i = \overline{1, r}, \quad (3.13)$$

виконання яких означає одержання варіанта компонентного складу КВ. Тут  $x_{\mu_i}$  – цілочислові змінні, що показують кількість компонентів

$\mu$ -го типу в  $i$ -й системі. Задавши значення змінних  $x_{\mu_i}$ , які виберемо з множини  $\{0,1,2,\dots,p_{\mu}\}$ , побудуємо варіанти СУ, що задовольняють умови (3.9), (3.10). Щоб побудувати всі варіанти компонентного складу СУ, необхідно переглянути всі реалізації підсистем і для кожної одержати всі комбінації  $x_{\mu_i}$ , що задовольняють умови (3.12), (3.13).

Розглянемо процес формування компонентного складу СУ, для якого хоча б одна змінна  $x_j > 1$ . У цьому випадку необхідно визначити список представників і перевірити кожний отриманий варіант компонентного складу з метою встановити, чи буде він представником нового класу еквівалентності, чи вже є представник цього класу.

Уведемо відношення порядку на множині компонентів у розглядуваній архітектурі СУ. Для  $i$ -ї підсистеми СУ побудуємо кодову групу, на перше місце в якій поставимо число компонентів у складі підсистеми  $S_i$ , а потім розташуємо номери типів компонентів у міру їх зростання. Назвемо цю кодову групу «складом». Тоді «слово» (варіант компонентного складу СУ) буде являти собою сукупність «складів», які розміщено таким чином:

$$S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_r,$$

причому, якщо  $S_{i-1} \leq S_i$ , то такі «склади» розташовано за абеткою (лексикографічне упорядкування) з урахуванням номерів типів компонентів у кожному складі. Лексикографічне подання компонентного складу СУ можна використати для порівняння варіантів архітектури СУ. Варіанти, які мають однакові «слова», належать одному й тому ж класу еквівалентності.

Сформуємо варіанти компонентного складу СУ за допомогою твірних функцій (енумераторів).

Перелік класів еквівалентності має вигляд

$$\sum_F W(F) = Z(H_R; \sum_{\mu=1}^l \varpi(\mu), \sum_{\mu=1}^l [\varpi(\mu)]^2, \dots), \quad (3.14)$$

де  $W(F)$  – «вага» класу еквівалентності  $F$ ;  $\varpi(\mu)$  – «вага» компонента  $\mu$ -го типу;  $H_R$  – група підстановок для окремої реалізації системи;

$$H_R = S_{S_1} + S_{S_2} + \dots + S_{S_r};$$

$$\begin{aligned} \sum_F W(F) &= Z(S_{S_1} + S_{S_2} + \dots + S_{S_r}; x[1;1], x[2;1], \dots, x[1;2], x[2;2], \dots \\ &\dots, x[1;r], x[2;r], \dots) = Z(S_{S_1}; x[1;1], x[2;1], \dots) \times Z(S_{S_2}; x[1;2], x[2;2], \dots) \times \dots \\ &\dots \times Z(S_{S_r}; x[1;r], x[2;r], \dots). \end{aligned}$$

Тут у загальному випадку  $S_{S_i} = S_{S_j}, i \neq j, i, j = \overline{1, r}$ .

**Приклад.** Маємо такий склад компонентів:  $p_1 = 3, p_2 = 3$ , тобто є три компоненти першого типу (КПВ) і три компоненти другого типу (нових). Реалізацію СУ подано у вигляді  $S_1 = 1, S_2 = 2, S_3 = 2$ , тобто в першій системі – один компонент, у другій – два, в третій – 2.

Позначимо  $\varpi(1) = x, \varpi(2) = y$ . Одержимо

$$H_R = S_{S_1} + S_{S_2} + \dots + S_{S_r},$$

$$Z(H_R) = x[1;1](x[1;2]^2 + x[2;2]) \times x[2;2](x[1;3]^2 + x[2;3]).$$

Перелік класів еквівалентності:

$$\begin{aligned} \sum_F W(F) &= (x_1 + y_1)[(x_2 + y_2)^2 + (x_2^2 + y_2^2)] \times [(x_3 + y_3)^2 + (x_3^2 + y_3^2)] = \\ &= x_1 x_2^2 x_3^2 + x_1 y_2^2 x_3^2 + x_1 x_2 y_2 x_3^2 + x_1 y_2^2 x_3 y_3 + x_1 x_2 y_2 x_3 y_3 + y_1 x_2^2 x_3^2 + y_1 y_2^2 x_3^2 + \\ &+ y_1 x_2 y_2 x_3^2 + x_1 y_2^2 y_3^2 + x_1 x_2 y_2 y_3^2 + x_1 x_2 x_3 y_3 + x_1 y_2^2 x_3 y_3 + y_1 x_2^2 y_3^2 + y_1 y_2^2 y_3^2 + \\ &+ y_1 x_2 y_3^2 + y_1 x_2^2 x_3 y_3 + y_1 y_2^2 x_3 y_3 + y_1 x_2 y_2 x_3 y_3, \end{aligned}$$

де  $x_j$  – вага  $\varpi$ , віднесена до  $i$ -ї підсистеми. Відкинемо члени, що не задовольняють вихідні умови  $p_1 = 3, p_2 = 3$ , і одержимо

$$\begin{aligned} \sum_{F'} W(F') &= x_1 y_2^2 x_3^2 + x_1 x_2^2 y_3^2 + x_1 x_2 y_2 y_3^2 + x_1 y_2^2 x_3 y_3 + x_1 x_2 y_2 x_3 y_3 + \\ &+ y_1 y_2^2 x_3^2 + y_1 x_2 y_2 x_3^2 + y_1 x_2^2 y_3^2 + y_1 x_2^2 x_3 y_3 + y_1 x_2 y_2 x_3 y_3. \end{aligned}$$

Лексикографічно впорядкуємо варіанти компонентного складу СУ й запишемо всі «слова»:

- |    |     |      |      |     |     |      |      |
|----|-----|------|------|-----|-----|------|------|
| 1. | 11; | 211; | 222. | 6.  | 12; | 211; | 222. |
| 2. | 11; | 211; | 222. | 7.  | 12; | 211; | 212. |
| 3. | 11; | 212; | 222. | 8.  | 12; | 211; | 222. |
| 4. | 11; | 212; | 222. | 9.  | 12; | 211; | 212. |
| 5. | 11; | 212; | 212. | 10. | 12; | 212; | 212. |

З огляду на еквівалентність варіантів 1 і 2; 3 і 4; 6 і 8; 7 і 9 одержимо остаточний список представників (варіантів компонентного складу СУ):

- |    |     |      |      |    |     |      |      |
|----|-----|------|------|----|-----|------|------|
| 1. | 11; | 211; | 222. | 4. | 12; | 211; | 212. |
| 2. | 11; | 212; | 212. | 5. | 12; | 211; | 222. |
| 3. | 11; | 212; | 222. | 6. | 12; | 212; | 212. |

Зобразимо компонентну структуру архітектури СУ у вигляді графа (рис. 3.1).

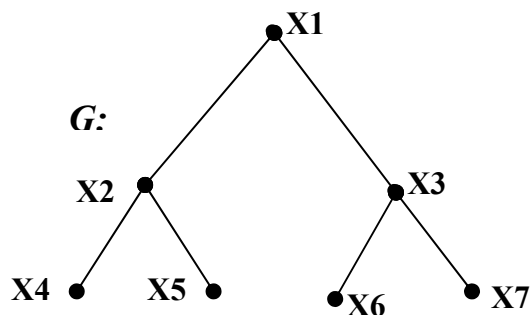


Рис. 3.1. Топологічний граф системи управління

Граф можна описати матрицею суміжності. Рядки та стовпці цієї матриці відповідають вершинам графа, а її елементи для простого графа (без циклів і кратних ребер) дорівнюють нулю або одиниці. Припустимо, що граф компонентної структури СУ має таку матрицю суміжності:

$$\begin{array}{c}
 X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_5 \quad X_6 \quad X_7 \\
 \begin{array}{c}
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3 \\
 X_4 \\
 X_5 \\
 X_6 \\
 X_7
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Подамо матрицю суміжності у вигляді списку. Для цього з матриці випишемо кожен вершину графа й суміжні їй вершини:  $X_1, X_2, X_3$ ;  $X_2, X_1, X_4, X_5$ ;  $X_3, X_1, X_6, X_7$ ;  $X_4, X_2$ ;  $X_5, X_2$ ;  $X_6, X_3$ ;  $X_7, X_3$ .

Потім на початку кожної  $i$ -ї групи запишемо число, що вказує на кількість символів у цій групі, і лексикографічно впорядкуємо групи в порядку зростання цих чисел:

$2X_4, X_2$ ;  $2X_5, X_2$ ;  $2X_6, X_3$ ;  $2X_7, X_3$ ;  $3X_1, X_2, X_3$ ;  $4X_2, X_1, X_4, X_5$ ;  $4X_3, X_1, X_6, X_7$ .

Застосуємо отриманий список для розпізнавання ізоморфізмів позначених графів, де як мітки використаємо номери типів вихідної множини компонентів СУ. Наприклад, є три розподіли компонентів за вершинами графа структури СУ (рис. 3.2), причому I і II – це ізоморфні графи.



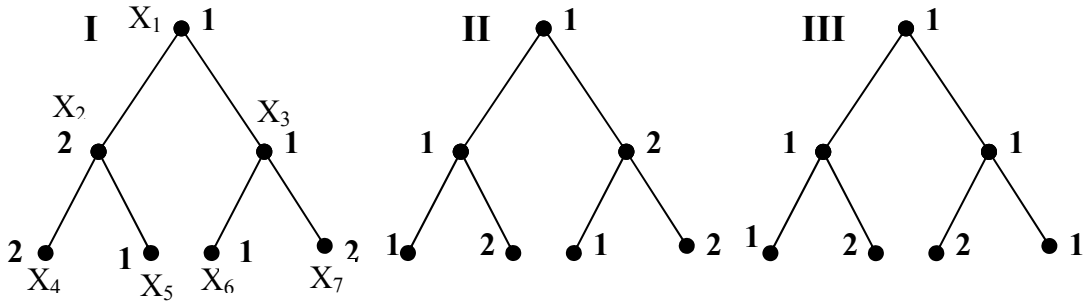


Рис. 3.2. Варіанти розподілу компонентів у структурі СУ

Подамо списки цих графів:

1. 222; 212; 211; 221; 3121; 42121; 41112.
2. 211; 221; 212; 222; 3112; 41112; 42112.
3. 211; 221; 221; 211; 3111; 41112; 41121.

Лексикографічно впорядкуємо кодові групи, не торкаючись двох перших позицій у кожній  $i$ -й групі (ці позиції відносяться до числа одиниць в  $i$ -му рядку матриці суміжності плюс символ  $i$ -ї вершини, а також до типу модуля в  $i$ -й вершині графа). Одержимо

1. 211; 212; 221; 222; 3112; 41112; 42112.
2. 211; 212; 221; 222; 3112; 41112; 42112.
3. 211; 211; 221; 221; 3111; 41112; 41112.

«Слова» 1 і 2 однакові, тобто структури 1 і 2 розміщено в одному класі еквівалентності.

Проаналізуємо метод формування варіантів структур архітектури СУ. Для цього визначимо комбінаторно-групові властивості графа структури СУ. Розглянемо випадок, коли група графа складається із суми симетричних груп (рис. 3.3):

$$\Gamma(G) = E_3 + S_2 = S_1 + S_1 + S_1 + S_2, \text{ тому що } E_3 = S_1 + S_1 + S_1.$$

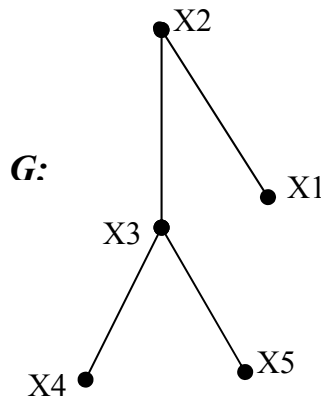


Рис. 3.3. Граф структури СУ

Введемо цілочислові змінні  $X_{\mu_i}$ , що показують число модулів  $\mu$ -го типу, які ввійшли в  $i$ -мі підмножини вершин, де міститься симетрична група  $S_{P_i}$ . Тут  $P_i$  – ступінь симетричної групи, тобто кількість модулів, які ввійшли в  $i$ -мі підмножини вершин.

Тоді виконання обмежень (3.9), (3.10) означає одержання варіанта компонентної структури СУ.

Нехай для випадку на рис. 3.4

$$\Gamma'(G) = S_1 + S_1 + S_1 + S_1 + S_1.$$

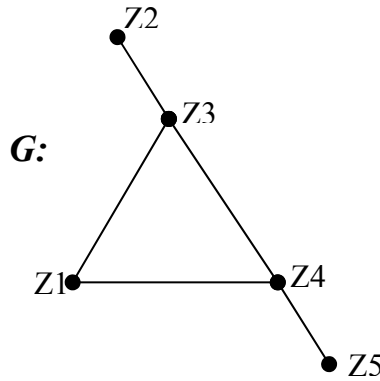


Рис. 3.4. Граф структури СУ

Сформуємо варіанти компонентної структури СУ за допомогою твірної функції (3.14) [35]. При цьому використаємо отриманий метод лексикографічного упорядкування для виключення однакових варіантів.

Існує такий склад компонентів:  $p_1 = 4, p_2 = 2$ . Для структури СУ (див. рис. 3.4)

$$Z(\Gamma'(G)) = X[1;1]X[1;2]X[1;3]X[1;4]X[1;5].$$

Скористаємося твірною функцією (3.14). Позначимо  $\omega(1) = X, \omega(2) = Y$ .

Одержимо перелік класів еквівалентності

$$\begin{aligned} W(F) &= (X_1 + Y_1)(X_2 + Y_2)(X_3 + Y_3)(X_4 + Y_4)(X_5 + Y_5) = \\ &= X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 + X_1 X_2 X_3 X_4 Y_5 + X_1 X_2 X_3 Y_4 X_5 + X_1 X_2 Y_3 X_4 X_5 + \\ &+ X_1 X_2 Y_3 X_4 Y_5 + X_1 X_2 Y_3 Y_4 X_5 + X_1 X_2 Y_3 Y_4 Y_5 + X_1 Y_2 X_3 X_4 X_5 + \\ &+ X_1 Y_2 X_3 X_4 Y_5 + X_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5 + X_1 Y_2 X_3 Y_4 Y_5 + X_1 Y_2 Y_3 X_4 X_5 + \\ &+ X_1 Y_2 Y_3 X_4 Y_5 + X_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 + X_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 + Y_1 X_2 X_3 X_4 X_5 + \\ &+ Y_1 X_2 Y_3 X_4 Y_5 + Y_1 X_2 Y_3 Y_4 X_5 + Y_1 X_2 Y_3 Y_4 Y_5 + Y_1 Y_2 X_3 X_4 X_5 + \\ &+ Y_1 Y_2 X_3 X_4 Y_5 + Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5 + Y_1 Y_2 X_3 Y_4 Y_5 + Y_1 Y_2 Y_3 X_4 X_5 + \\ &+ Y_1 Y_2 Y_3 X_4 Y_5 + Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 + X_1 X_2 X_3 Y_4 Y_5. \end{aligned}$$

Виключимо члени, що не задовольняють вихідні умови ( $p_1 = 4, p_2 = 2$ ), тоді

$$\sum_{F'} W(F') = X_1 X_2 X_3 X_4 Y_5 + X_1 X_2 X_3 Y_4 X_5 + X_1 X_2 X_3 Y_4 Y_5 + \\ + X_1 X_2 Y_3 X_4 X_5 + X_1 X_2 Y_3 Y_4 X_5 + X_1 Y_2 X_3 X_4 X_5 + X_1 Y_2 X_3 X_4 Y_5 + \\ + X_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5 + X_1 Y_2 Y_3 X_4 X_5 + Y_1 X_2 X_3 X_4 X_5 + Y_1 X_2 X_3 X_4 Y_5 + \\ + Y_1 X_2 X_3 Y_4 X_5 + Y_1 X_2 Y_3 X_4 X_5 + Y_1 Y_2 X_3 X_4 X_5.$$

Побудуємо матрицю суміжності графа (див. рис. 3.4)

$$\begin{array}{ccccc} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & Z_5 \\ \begin{array}{c} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \\ Z_5 \end{array} & \left[ \begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right]. \end{array}$$

З неї одержимо

$$Z_1, Z_3, Z_4; Z_2, Z_3; Z_3, Z_1, Z_2, Z_4; Z_4, Z_1, Z_3, Z_5; Z_5, Z_4.$$

Лексикографічно впорядкуємо

$$2Z_2, Z_3; 2Z_5, Z_4; 3Z_1, Z_3, Z_4; 4Z_3, Z_1, Z_2, Z_4; 4Z_4, Z_1, Z_3, Z_5.$$

Використавши  $\sum_{F'} W(F')$  й отримане лексикографічне впорядкування, запишемо «слова»:

1. 211; 221; 3111; 41111; 41112.
2. 211; 212; 3112; 41112; 42111.
3. 211; 222; 3112; 41112; 42112.
4. 211; 212; 3112; 41112; 42111.
5. 212; 212; 3122; 42112; 42112.
6. 211; 221; 3111; 41111; 41112.
7. 221; 221; 3111; 41112; 41112.
8. 212; 221; 3112; 41122; 42111.
9. 211; 222; 3112; 41112; 42112.

10. 211; 211; 3211; 41112; 41112.
11. 211; 221; 3211; 41112; 41122.
12. 211; 212; 3212; 41122; 42112.
13. 211; 212; 3212; 41122; 42112.
14. 211; 221; 3211; 41112; 41122.

З огляду на еквівалентність варіантів 1 і 6; 2 і 4; 3 і 9; 11 і 14; 12 і 13 одержимо список представників (остаточних варіантів компонентних структур СУ) та побудуємо їх (рис. 3.5):

1. 211; 221; 3111; 41111; 41112.
2. 211; 212; 3112; 41112; 42111.
3. 211; 222; 3112; 41112; 42112.
4. 212; 212; 3122; 42112; 42112.
5. 221; 221; 3111; 41112; 41112.
6. 212; 221; 3112; 41122; 42111.
7. 211; 211; 3211; 41112; 41112.
8. 211; 221; 3211; 41122; 41122.
9. 211; 212; 3212; 41122; 42112.

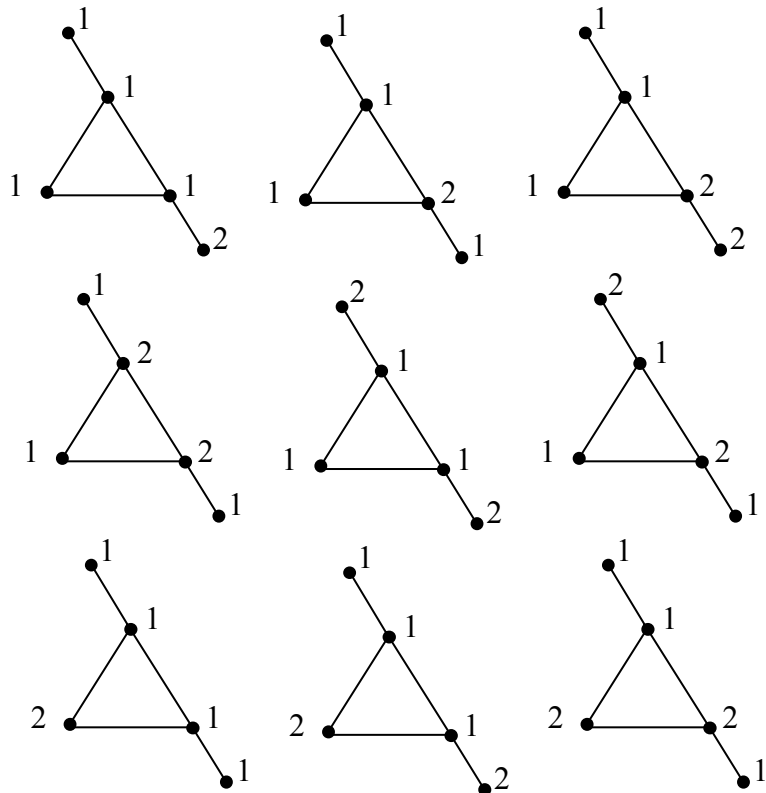


Рис. 3.5. Варіанти компонентних структур СУ

### 3.3. Оптимізація витрат на створення компонентної архітектури систем управління

Використання компонентного підходу дозволяє оптимізувати витрати, пов'язані зі створенням складних СУ КВ. З одного боку, нові компоненти забезпечують інноваційність проекту, його конкурентоспроможність, але їх створення з урахуванням тривалого життєвого циклу потребує багато часу й досить значних фінансових витрат, що може вплинути на підсумкові оцінки проекту і його реалізованість.

З іншого боку, застосування КПВ знижує ризик проекту, фінансові тимчасові витрати, але призводить до необхідності використання додаткових ресурсів, пов'язаних з модифікацією і адаптацією КПВ до умов нового проекту. Крім того, виконавець проекту найчастіше застосовує «зовнішні» КПВ (ЗКПВ), які використовуються у проекті створення СУ, що теж потребує виділення відповідних фінансових ресурсів.

Можливий додатковий дохід від реалізації стороннім організаціям ліцензій і документації на КПВ і НК буде використано на процес створення й виконання проекту. Тому виконавцю слід урахувувати як витрати, так і можливий додатковий дохід від реалізації ліцензій на виготовлення КПВ і НК. Все це приводить до необхідності створення оптимізаційної моделі, у якій витрати й доходи в одних постановках будуть цільовими функціями, а в інших – обмеженнями.

Розглянемо критеріальне подання витрат і доходів, пов'язаних зі створенням СУ:

1.  $L$  – кількість компонентів, які мають бути використані при виробленні КВ:

$$L = L_1 + L_2 + L_3,$$

де  $L_1$  – кількість КПВ;  $L_2$  – кількість НК;  $L_3$  – кількість ЗКПВ.

2. Витрати, пов'язані з адаптацією та модифікацією КПВ, створенням НК і придбанням ЗКПВ:

$$B = B_1 + B_2 + B_3,$$

де  $B_1$  – витрати на адаптацію та модифікацію КПВ;  $B_2$  – витрати на створення НК;  $B_3$  – витрати на придбання ЗКПВ.

3. Тимчасові витрати на модифікацію КПВ і створення НК:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2,$$

де  $\Delta T_1$  – час на модифікацію і адаптацію КПВ;  $\Delta T_2$  – час на створення НК.

4. Дохід від продажів ліцензій і документації на створені компоненти проекту:

$$R = R_1 + R_2,$$

де  $R_1$  – дохід від продажів ліцензій на КПВ;  $R_2$  – дохід від продажів ліцензій на НК.

З урахуванням перелічених критеріїв витрат і доходу для розв'язання задачі оптимізації витрат при створенні СУ введемо булеві змінні:

$x_{i_k}$  – булева змінна, пов'язана з використанням  $i$ -ї КПВ в  $k$ -й підсистемі СУ:

$$x_{i_k} = \begin{cases} 0, \\ 1. \end{cases}$$

$x_{e_k}$  – булева змінна, обумовлена створенням  $e$ -ї НК у  $k$ -й підсистемі СУ:

$$x_{e_k} = \begin{cases} 0, \\ 1; \end{cases}$$

$x_{j_k}$  – булева змінна, пов'язана з придбанням  $j$ -ї ЗКПВ для  $k$ -ї підсистеми СУ:

$$x_{j_k} = \begin{cases} 0, \\ 1. \end{cases}$$

Наведемо цільові функції для оптимізації витрат, пов'язаних з використанням різних компонентів у проекті створення СУ:

1. Цільова функція, що характеризує різноманітність компонентного складу створюваного КВ:

$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 + L_3 = \\ &= \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k}. \end{aligned}$$

2. Цільова функція фінансових витрат на модифікацію КПВ, виготовлення НК і придбання ЗКПВ:

$$\begin{aligned} B &= B_1 + B_2 + B_3 = \\ &= \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \times b_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \times b_{e_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k} \times b_{j_k}, \end{aligned}$$

де  $b_{i_k}$  – витрати на адаптацію й модифікацію  $i$ -ї КПВ в  $k$ -й підсистемі СУ;

$b_{e_k}$  – витрати на створення  $e$ -ї НК для  $k$ -ї підсистеми СУ;

$b_{j_k}$  – витрати на придбання  $j$ -ї ЗКПВ для  $k$ -ї підсистеми СУ.

3. Цільова функція тимчасових витрат, пов'язаних з модифікацією КПВ і створенням НК для проекту СУ:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \Delta T_1 + \Delta T_2 = \\ &= \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \Delta t_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \Delta t_{e_k}, \end{aligned}$$

де  $\Delta t_{i_k}$  – витрати часу на модифікацію  $i$ -ї КПВ для  $k$ -ї підсистеми СУ;

$\Delta t_{e_k}$  – витрати часу на створення  $e$ -ї НК у складі  $k$ -ї підсистеми СУ.

4. Цільова функція доходу від продажу ліцензій і документації на КПВ і створені НК:

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 = \\ &= \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} r_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} r_{e_k}, \end{aligned}$$

де  $r_{i_k}$  – дохід від продажу ліцензій і документації на  $i$ -й КПВ, який було застосовано в  $k$ -й підсистемі СУ;

$r_{e_k}$  – дохід від продажу ліцензій і документації на  $e$ -й НК, який було використано в  $k$ -й підсистемі СУ.

Можливі обмеження в задачах оптимізації витрат на виготовлення СУ подамо у такому вигляді:

$L^*$  – потрібна кількість компонентів у проекті створення СУ:

$$L^* = \sum_{k=1}^N L_k^*,$$

де  $L_k^*$  – потрібна кількість компонентів для  $k$ -ї підсистеми СУ;

$B^*$  – максимально припустимі витрати на модифікацію КПВ, створення НК і придбання ЗКПВ;

$\Delta T^*$  – максимально припустимий час, пов'язаний зі збільшенням часу на створення проекту із застосуванням модифікації або адаптації КПВ і виготовленням НК для проекту СУ.

Вивчимо такі можливі постановки задачі оптимізації витрат, пов'язаних з побудовою компонентної архітектури КВ:

1. Мінімізувати витрати на створення компонентної архітектури КВ

$$\min B,$$

$$B = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \times b_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \times b_{e_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k} \times b_{j_k}$$

з урахуванням обмежень кількості компонентів і витрат часу, пов'язаних з модифікацією КПВ і створенням НК:

$$L_k = \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} + \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} + \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k},$$

$$L_k = L_k^*, \quad \sum_{k=1}^N L_k^* = L^*,$$

$$\Delta T \leq \Delta T^*,$$

$$\Delta T = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \Delta t_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \Delta t_{e_k}.$$

2. Мінімізувати витрати на виготовлення НК у складі архітектури СУ

*min B<sub>2</sub>*,

$$B_2 = \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \times b_{e_k}$$

з урахуванням обмежень потрібної кількості компонентів  $L^*$

$$L_k = \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} + \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} + \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k},$$

$$L_k = L_k^*, \quad \sum_{k=1}^N L_k^* = L^*$$

і часу  $\Delta T \leq \Delta T^*$ ,

$$\Delta T = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \Delta t_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \Delta t_{e_k}.$$

3. Мінімізувати витрати на купівлю ЗКПВ для проекту СУ

*min B<sub>3</sub>*,

$$B_3 = \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k} \times b_{j_k}$$

з урахуванням обмежень потрібної кількості компонентів

$$L_k = \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} + \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} + \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k},$$



$$L_k = L_k^*,$$

$$\sum_{k=1}^N L_k^* = L^*$$

і часу  $\Delta T \leq \Delta T^*$ ,

$$\Delta T = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \Delta t_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \Delta t_{e_k}.$$

4. Максимізувати дохід від продажу ліцензій і документації на КПВ і НК

$$\max R,$$

$$R = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} r_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} r_{e_k}$$

з урахуванням обмежень витрат

$$B \leq B^*,$$

$$B = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \times b_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \times b_{e_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{l_k} x_{j_k} \times b_{j_k}$$

і часу на створення компонентної архітектури СУ

$$\Delta T \leq \Delta T^*,$$

$$\Delta T = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{n_k} x_{i_k} \Delta t_{i_k} + \sum_{k=1}^N \sum_{e=1}^{q_k} x_{e_k} \Delta t_{e_k}.$$

Розглянутий метод оптимізації витрат дозволяє на початкових етапах формування компонентної архітектури визначити необхідну кількість КПВ, НК і ЗКПВ у складі СУ.

У розділі розглянуто структурний аналіз компонентної архітектури СУ космічного виробу. Враховуються три основних типи компонентів, що використовуються для створення СУ: КПВ, НК і ЗКПВ. Архітектуру СУ подано у вигляді графа, вершини якого – компоненти, а дуги – зв'язки між ними. Описано комбінаторно-групові характеристики графа компонентної архітектури, які дозволяють перелічити варіанти складу архітектури СУ.

Далі розглянуто метод формування множини варіантів компонентної архітектури СУ, оснований на твірних функціях і лексикографічному порівнянні варіантів, що використовуються для формування варіантів складу й структури СУ.

Вивчено метод оптимізації витрат на створення компонентної архітектури СУ, де враховано основні складові витрат і можливий до-

хід від продажу ліцензій і документації на створені компоненти СУ. При цьому використано математичний апарат лінійного цілочислового програмування з булевими змінними.

### **Контрольні запитання**

1. Що є суттю структурного аналізу компонентної архітектури ІУС?
2. У чому полягають основні подання теорії перерахування для аналізу множини варіантів компонентної архітектури ІУС?
3. Як можна описати основні постановки задач, пов'язані з перерахуванням компонентного складу ІУС?
4. Як можна подати основні постановки задач, пов'язані з перерахуванням компонентної структури ІУС?
5. Що таке цільові функції та обмеження оптимізації компонентної архітектури ІУС?

### **Завдання**

1. Подати задачу формування множини варіантів компонентного складу ІУС у термінах теорії перерахування.
3. Описати задачу формування множини компонентних структур за допомогою теорії перерахування.
4. Подати задачу оптимізації архітектури ІУС у вигляді цільової функції і обмежень.

## **Розділ 4. КОМПОНЕНТНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІУС**

У цьому розділі проаналізовано теоретико-множинне подання компонентів ІУС, освоєно декомпозицію виробничої системи у вигляді оточення, а також функціонального й ресурсного описів. Розглянуто цілі основних етапів і методів аналізу й синтезу ІУС, а також перелічено основні методи дослідження інформаційних потоків.

З метою обґрунтування компонентів ІУС описано методи вибору основних компонентів ІУС із застосуванням цілого ряду критеріїв. При порівнянні й виборі компонентів ІУС застосовано експертні оцінки з використанням коефіцієнтів конкордації. Розглянуто схему аналізу поставачальників і споживачів у виробничій системі.

Для вибору найкращої альтернативи з ряду можливих описано метод генетичного пошуку.

## 4.1 Подання компонентів ІУС

Розглянемо системну модель, суть якої полягає в такому: виробнича система (ВС) подається у вигляді компонентної архітектури  $S$  і її оточення  $G$ , так що  $BC = \langle S, G \rangle$ .

У свою чергу,  $S$  є об'єднанням виробничо-технічної системи (ресурсів  $D$ ) і процесу  $C$ , тобто  $S = (C, D)$ . ВС можна подати також у вигляді сукупності управляючої системи й системи, якою управляють:  $S = (УС, СУ)$ . Розглянемо систему, якою управляють (УС), як виконавчу частину ВС, а управляючу систему (СУ) – як сукупність управлінського персоналу та ІУС. Система характеризується трьома основними потоками: матеріальним, фінансовим, інформаційним:  $C = (C_1, C_2, C_3)$ . Для цих потоків існують відповідні структурно-речові ресурси  $D = (D_1, D_2, D_3)$ , які є носіями цих потоків. Для ІУС як фрагмента управляючої системи використовуємо аналогічну інтерпретацію:  $IUC = (A, B)$ , де  $A$  – управлінські процеси й дії, які в основному здійснює персонал ( $B$ ) і керівництво організації, які є ресурсно-речовими елементами ( $b_i \in B$ ), що реалізують управлінські процеси (рис. 4.1).

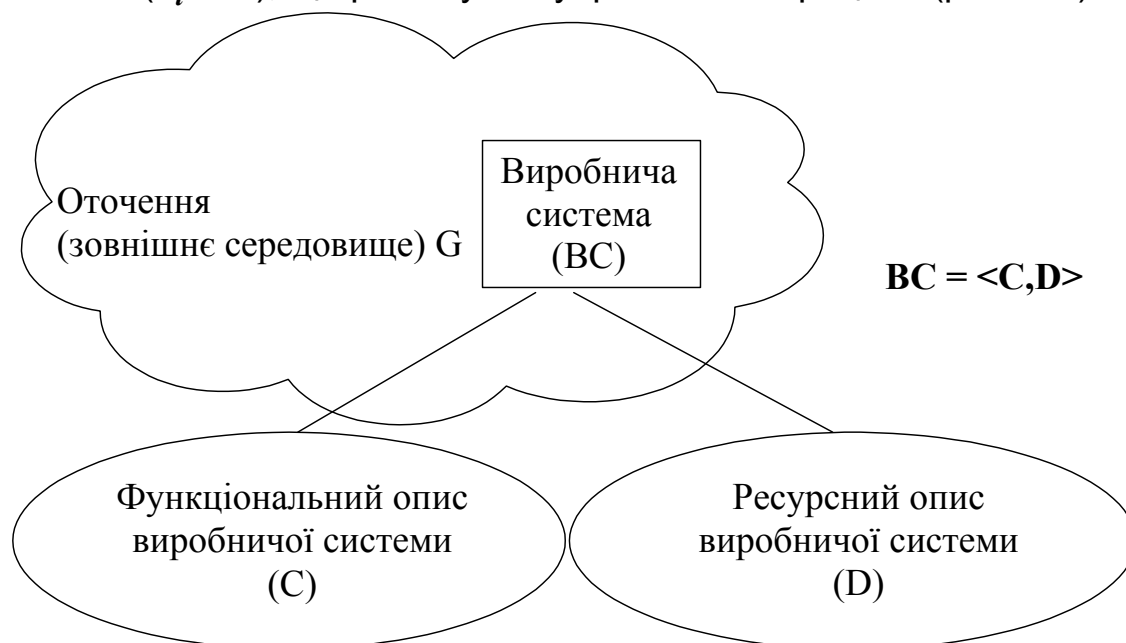


Рис. 4.1. Укрупнена декомпозиція ВС

Виробнича система, як було зазначено, містить три основних процеси:  $C_1$  – матеріальний, який є сукупністю постачань, виробництва та збуту;  $C_2$  – фінансовий, який підтримує процес  $C_1$ ;  $C_3$  – інформаційний, який підтримує процеси  $C_1$  і  $C_2$ . Слід зазначити, що ін-

формаційним процесом  $C_3$  є процес передачі ділової інформації, тобто він є аналогом подання в системах передачі даних.

Розглянемо функціональний і морфологічний описи виробничих систем [44]. Загальна модель ВС може бути подана як об'єднання двох описів системи — функціонального й морфологічного. З позиції функціонального опису інтегрована функція може бути подана за допомогою цілого ряду рівнів, від найбільшого до найдокладнішого. Число рівнів деталізації й самі рівні обумовлюються особливостями даної системи, метою системного аналізу, що проводиться, і можуть бути визначені із застосуванням методу експертних оцінок. Наприклад, можна ввести такі ієрархічні рівні функціонального опису: функціональні області, процеси, дії, операції.

У аспекті компонентної архітектури можна розглядати різні рівні функціонального й відповідного морфологічного описів, наприклад на основі схеми Ф. Котлера [118]. Крім того, всю систему можна подати у вигляді об'єднання ВС і її оточення [110]. Зрозуміло, що ВС за описаними вище правилами може бути подана як сукупність або суперпозиція функціонального й морфологічного описів.

З розглядуваних позицій можна подати реальну систему у вигляді двох основних фрагментів: виконавчого ВС й ІУС, яка наділяється функціями інформаційного підтримування системи управління і основної діяльності (основна діяльність у ВС подається трьома головними видами потоків) (рис. 4.2).

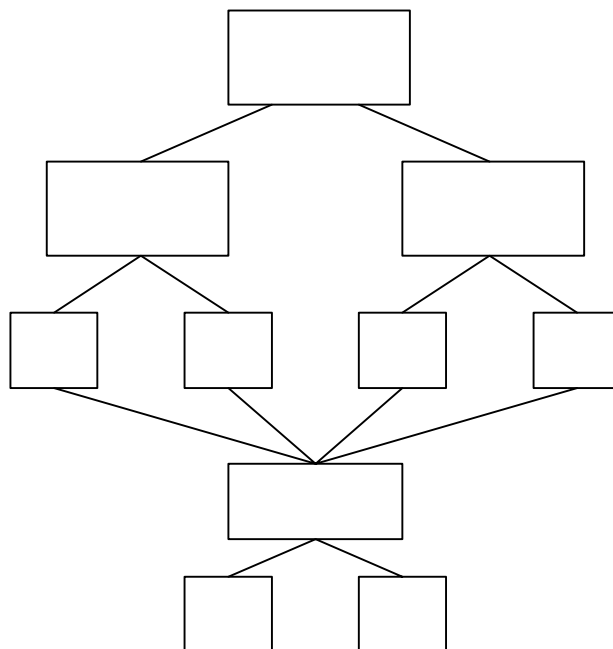


Рис. 4.2. Декомпозиція логістичної ВС на управляючу систему, систему, якою управляють, і виділення ІУС

Функції управління можна подати у вигляді таких основних рівнів: планування (стратегічний рівень), аналізу (тактичний рівень), контролю і обліку, а також системи операцій (технічний рівень).

З викладеного випливає така послідовність основних укрупнених етапів аналізу ВС і побудови ІУС:

1) розроблення функціонального опису системи і виділення основних матеріальних, фінансових та інформаційних потоків;

2) аналіз зазначених потоків, визначення їхніх параметрів і пошук раціональних носіїв цих потоків (ланок, ланцюгів, каналів), що дозволяє описати раціональну реалізацію необхідних потоків за допомогою відповідних технічних та інших ресурсів;

3) виділення з ВС і побудова функції для ІУС, що дозволяє визначити необхідну апаратну й програмну реалізацію в умовах сіткової або розподіленої інформаційної системи із застосуванням стандартів CALS, MS ISO та ін.

Далі процес системного аналізу ІУС являє собою такі етапи:

- декомпозиція ІУС на складові (підсистеми або елементи), які є більш доступними для дослідження;

- вибір і використання найбільш відповідних спеціальних методів для вирішення окремих завдань аналізу;

- об'єднання окремих рішень так, щоб була досягнута глобальна мета ІУС; в процесі аналізу ІУС важливим є дотримання впорядкованої процедури визначення цілей, тобто з'ясування їхніх пріоритетів та ієрархії, взаємної підпорядкованості і взаємного зв'язку.

Наведемо цілі основних етапів і методів аналізу й синтезу ІУС в умовах логістичної виробничої системи (ЛВС):

1) чітке визначення цілей створення ІУС;

2) збирання даних щодо конкретної ІУС для розроблення комплексу заходів її дослідження і аналізу;

3) виявлення призначення елементів ІУС з тим, щоб визначити їхні склад, методи, форми й способи взаємодії з іншими елементами;

4) розроблення декількох варіантів розвитку ІУС під впливом різних чинників зовнішнього середовища;

5) визначення основних цілей розвитку ІУС;

6) виявлення критеріїв ефективності функціонування ІУС;

7) встановлення ступеня взаємозв'язку цілей ІУС із засобами їх досягнення;

8) розроблення програми розвитку ІУС;

9) перевірка ефективності взаємодії елементів ІУС, виявлення і усунення «вузьких місць»;

10) визначення конкретних показників функціонування ІУС.

На основі аналізу літературних джерел виділимо й зробимо порівняльне оцінювання таких основних методів дослідження інформаційних потоків [109]:

1. Графічний метод. Потоки інформації тут зображено у вигляді графічної схеми. Основні елементи потоку – документи. Зв'язок між ними зображується у вигляді процедури послідовного перетворення елементів потоку (оброблення документів).

2. Сіткове моделювання. В цьому випадку будується сітковий графік інформаційних процесів. Параметри графіка: робота – певне завдання управління; подія – певний документ, складений у ході виконання роботи (кінцева подія) або використаний у процесі виконання роботи (початкова подія). Аналіз й оптимізація сіткової моделі виконуються традиційними методами (критичний шлях, резерви часу, перерозподіл ресурсів).

3. Графоаналітичний метод. Базується на побудові інформаційного графа і аналізі його матриці суміжності. Вершинами інформаційного графа є компоненти потоку інформації, які поєднуються дугами в тому випадку, якщо перехід між ними здійснюється без яких-небудь проміжних результатів (інакше вершина буде недовизначеною). Дуги орієнтуються у напрямі результатів вищого порядку.

4. Функціонально-операційний аналіз. Призначається для організації, синтезу і оброблення інформації, необхідної для управління яким-небудь об'єктом. Цей метод застосовується для аналізу структури інформаційного потоку. Для кожного фіксованого повідомлення складається типова картка, яка потім прямує по визначеному інформаційному каналу. Під часу руху на картці наголошуються всі операції оброблення інформації у цьому каналі: знімання, відображення, передавання, перероблення, подання інформації й вироблення рішень.

5. Матричне моделювання. Формалізуються основні процедури і операції з оброблення матеріалів аналізу існуючих потоків інформації. Матрична інформаційна модель є таблицею, що відображає відповідні взаємозв'язки підрозділів організації і її зовнішнього оточення (через рух документів і показників), а також формування нових даних у процесі функціонування системи управління. Створюється модель виявлення потоків інформації будь-якого підрозділу організації, що кількісно і якісно відображає всі зовнішні й внутрішні характеристики.

6. Метод семіотичного аналізу. Він містить синтаксичний, семантичний і прагматичний види аналізу. За допомогою синтаксичного аналізу встановлюється відповідність змісту документів правилам їх формування й переформування (документ будується з набору висловів), а також правилам побудови показників. За допомогою семантич-

ного аналізу усвідомлюється смислове значення елементів мови, а за допомогою прагматичного – розглядається зв'язок документа з його розроблювачами й користувачами.

7. Метод інформаційних зв'язків. Графічно відображаються склад, джерела й приймачі інформації, напрями її подальшого використання.

8. Метод реквізитів. Дозволяє проаналізувати детальний склад інформаційних потоків з метою їхньої ув'язки й реалізації системного підходу при проектуванні інформаційних систем. Метод припускає аналіз проектування інформаційних потоків за допомогою транспортної моделі й застосовується для розв'язання задач оптимізації документопотоків за допомогою алгоритму відповідної моделі.

**Структура ІУС.** Її можна визначити як інтерактивну структуру, що складається з персоналу, устаткування й процедур (технологій), об'єднаних інформацією, що використовується менеджментом для планування, регулювання, контролю і аналізу функціонування ВС [40].

Як видно з рис. 4.3, організаційну структуру ІУС можна укрупнено сформулювати з чотирьох підсистем управління: процедур замовлень, наукових досліджень і зв'язку, підтримання рішень, генерування вихідних форм і звітів. Ці взаємозв'язані підсистеми здійснюють інформаційно-комп'ютерну підтримку всіх функцій менеджменту, а також і зв'язок з мікро- і макронавколишнім середовищем.

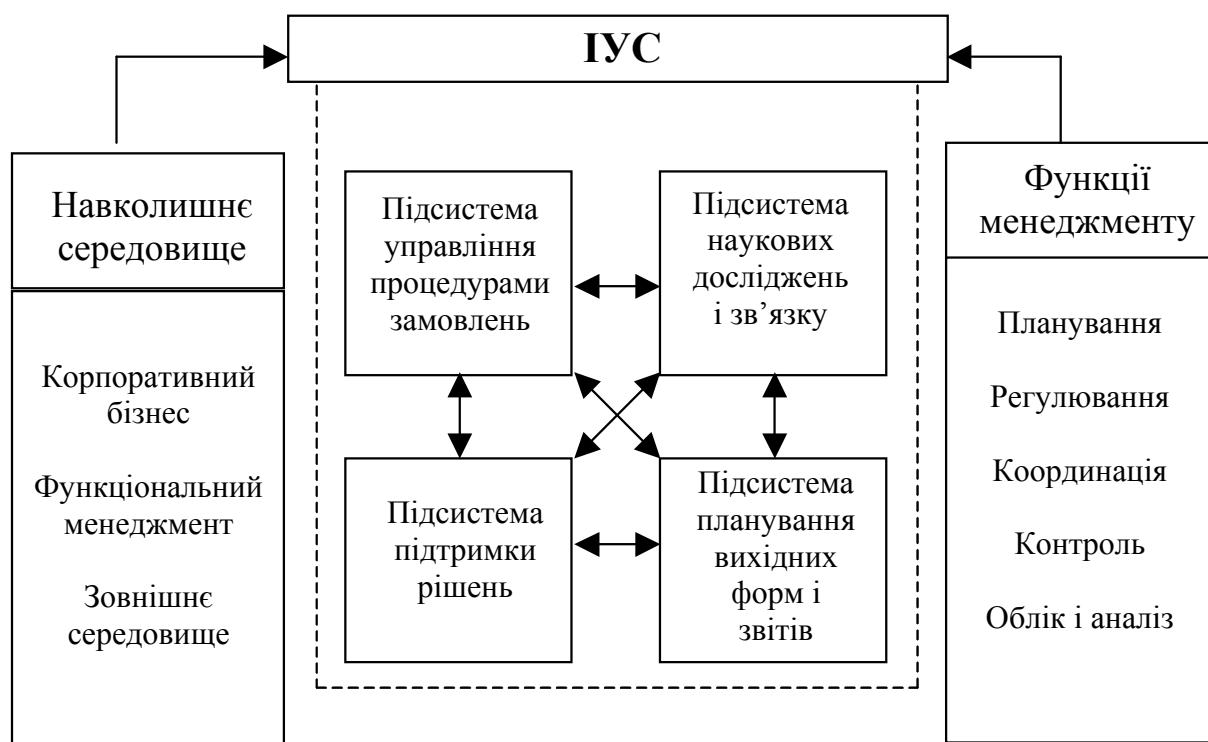


Рис. 4.3. Організаційна структура ІУС

Функціональну структуру ІУС традиційно подано в зарубіжній літературі з менеджменту у вигляді піраміди (рис. 4.4). В основі цієї «піраміди» ІУС лежить система трансакцій між ланками ВС, що визначають взаємовідносини між підрозділами фірми з метою реалізації їхніх функцій посередниками й користувачами продукції фірми. Можна ідентифікувати безліч специфічних функцій, які мають виконувати ІУС, зокрема функції інформаційного обслуговування користувача, планування, управління й координування (див. рис. 4.4).

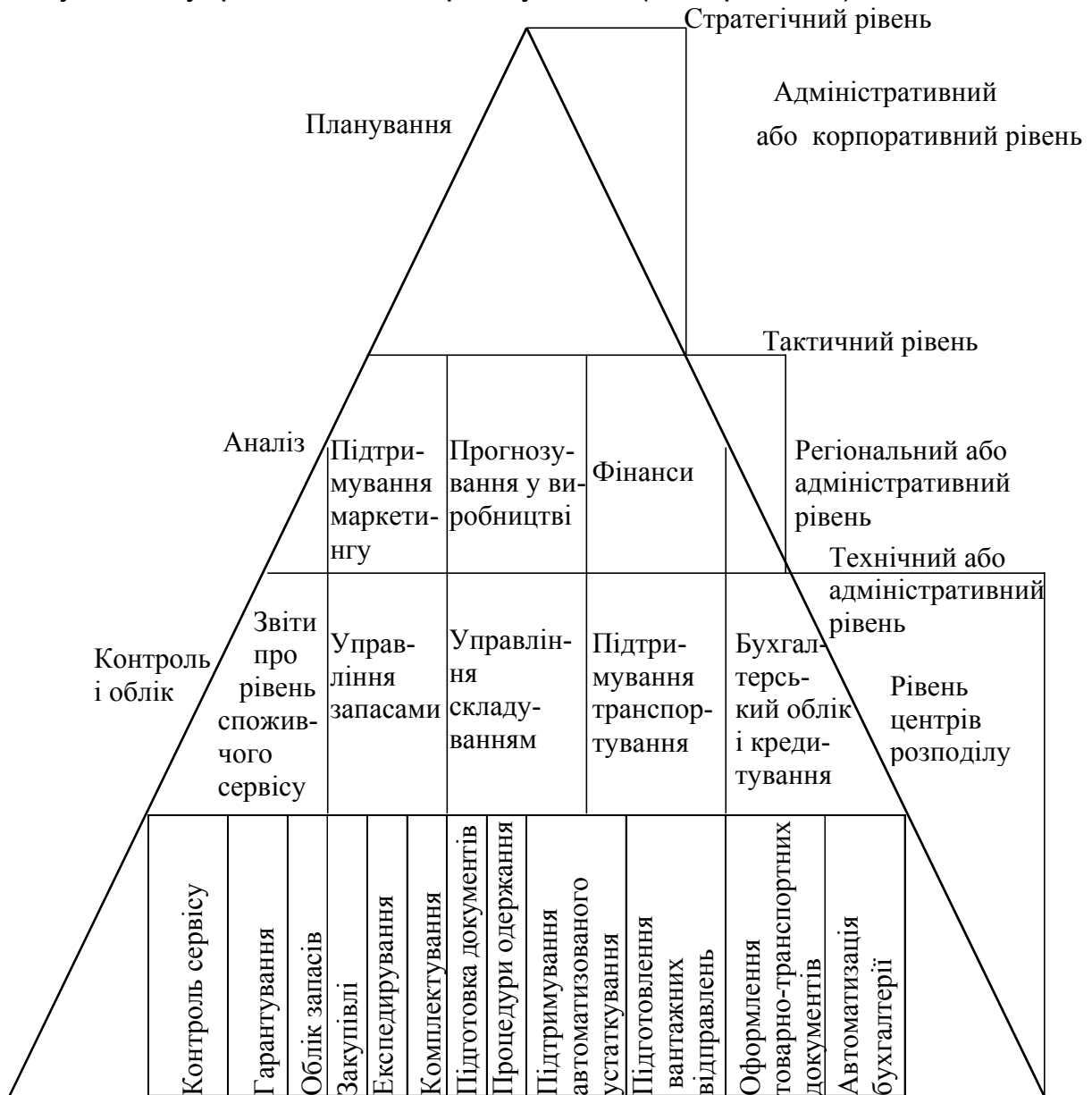


Рис. 4.4. Функціональна структура ІУС

Необхідно зазначити, що на практиці ІУС складається з безлічі взаємозв'язаних підсистем (рис. 4.5), які є складною системою, що



об'єднує елементи ІУС та їхній зв'язок з елементами навколишнього середовища і є інформаційною основою для ухвалення рішень у процесі управління підприємством як ВС.

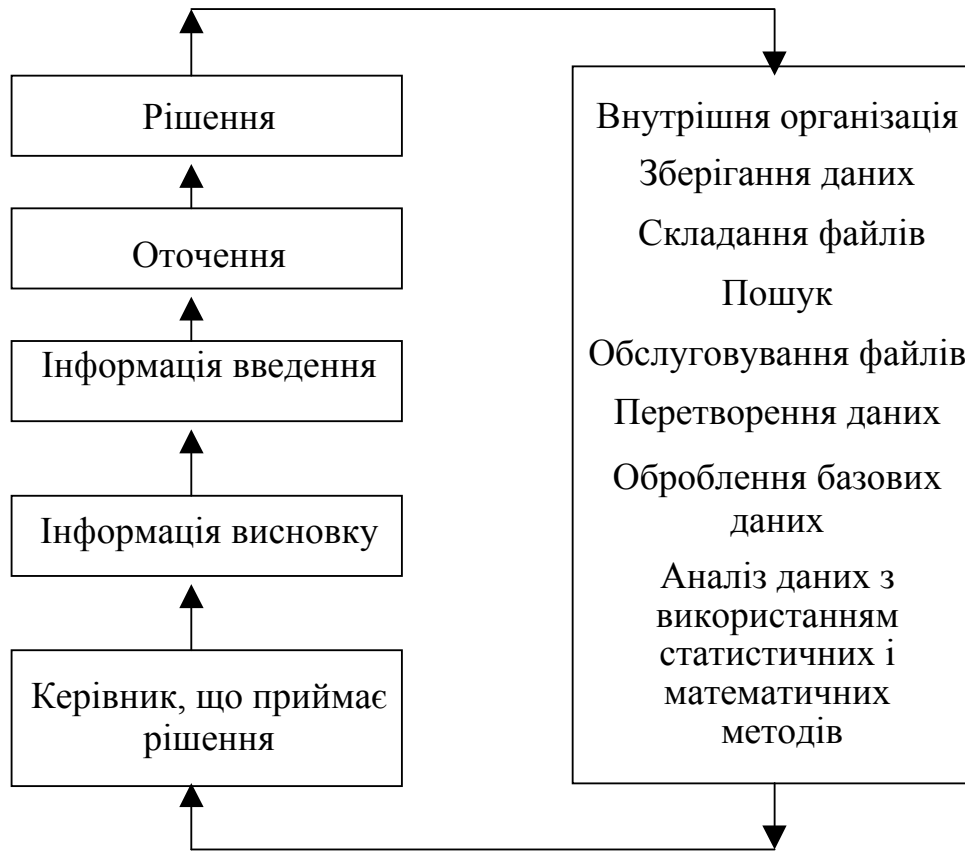


Рис. 4.5. Елементи ІУС і їх зв'язок з оточенням і особою, що приймає рішення

**Критерії ІУС.** Виконаний аналіз декількох літературних джерел [40 - 46] свідчить, що при побудові ІУС використовуються такі критерії:

1. Повнота й придатність інформації для користувача. Менеджеру слід мати в наявності необхідну й повну (достатню) інформацію для ухвалення рішень, причому в необхідному йому вигляді (рис. 4.6) в умовах петлі постачання й петлі користувача (рис. 4.7).

2. Точність. Точність початкової інформації має принципове значення для прийняття правильних рішень.

3. Своєчасність. Інформацію слід доставляти в систему менеджменту вчасно, як цього потребують багато технологій, особливо основаних на концепції JIT (Just-in-time) «Вчасно».

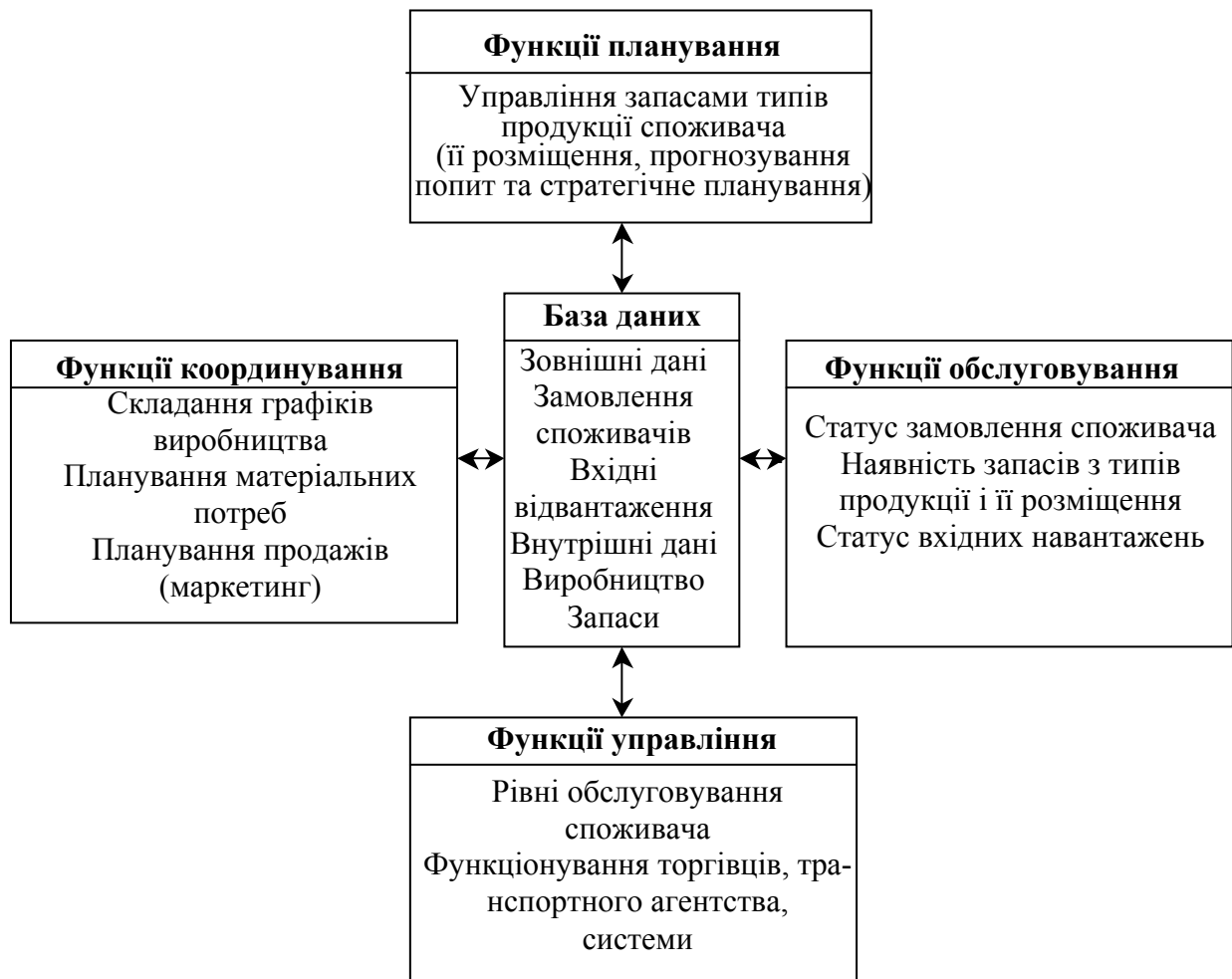


Рис. 4.6. Функції ІУС

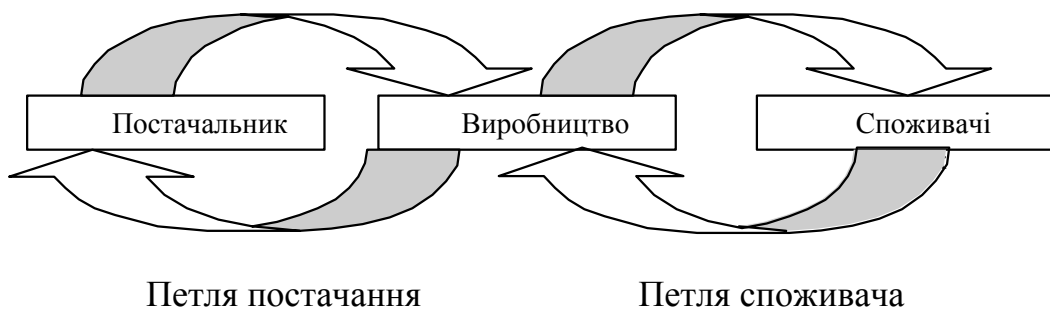


Рис. 4.7. Петлі постачання й користувача в ІУС

Вимога своєчасності надходження й оброблення інформації реалізується сучасними технологіями сканування, супутникової навігації, штрихового кодування, а також упровадженням стандартів EDI/EDIFACT.

4. Орієнтовність. Інформація в ІУС має бути спрямована на виявлення додаткових можливостей поліпшення якості продукції, сервісу, зниження витрат.

5. Гнучкість. Інформація, що циркулює в ІУС, має бути пристосована до потреб конкретних користувачів і мати найбільш зручний вигляд для застосування.

6. Відповідний формат даних. У форматах даних і повідомлень, що вживаються в комп'ютерних і телекомунікаційних мережах ІУС, слід максимально ефективно використовувати продуктивність технічних засобів.

Відомо, що при створенні ІУС слід застосовувати такі принципи [40]:

1) побудова суцільного ланцюга автоматизованого управління закупівлями, запасами і збутом дозволяє управляти бізнес-процесами на всіх етапах функціонування ВС;

2) поєднання зустрічних потоків фінансових і товарних трансакцій дає можливість оперативно контролювати стан взаємних розрахунків з постачальниками й користувачами;

3) автоматизація документообігу (оброблення товарних, фінансових і податкових документів в ІУС) одночасно з дотриманням певного регламенту дозволяє будувати різні схеми документообігу;

4) зберігання інтеграції й забезпечення узгодженості дій фінансового й виробничого менеджменту, тобто ІУС має містити підсистеми: "Управління рухом товару", "Управління фінансами" і "Управління виробництвом";

5) можливість одночасного управління декількома організаціями, коли ІУС виконує паралельний облік й управління операціями в організаціях, що входять до єдиної ВС;

6) розподілене оброблення інформації дає можливість управляти територіально розподіленим підприємством; як засоби передавання даних можуть бути комутовані з'єднання (телефонні лінії), електронна пошта, Інтернет;

7) масштабування й гнучке настроювання ІУС має дозволяти збільшувати кількість робочих місць без зниження ефективності роботи;

8) дотримання відвертості й інтегрованості з програмними продуктами інших фірм; ІУС слід найтісніше інтегрувати з такими популярними офісними програмами, як Microsoft Word і Microsoft Excel, працювати спільно з іншими програмами, наприклад, створеними фахівцями підприємства, на якому передбачається її впровадження;

9) можливість глибокого й багатобічного аналізу процесів; вся інформація, нагромаджена в базі даних ІУС, може бути видана корис-

тувачеві у будь-який момент у повному обсязі й формі, зручній для проведення аналізу; ІУС має бути забезпечена великою кількістю засобів підготовки даних для аналізу оперативної інформації про рух товарів і стан взаємних розрахунків з постачальниками і покупцями.

Таким чином, ІУС можна розглядати як компонентну систему, яка має вирішувати проблемно-орієнтований клас завдань щодо підтримки ВС на всіх етапах проходження товарних, фінансових й інформаційних потоків. Для оцінювання ефективності компонентів ІУС можна використовувати окрім указаних вище цілий ряд техніко-економічних критеріїв.

#### 4.2. Обґрунтування компонентів ІУС

Важливим етапом у побудові ІУС є вибір найбільш придатних технологій управління і обґрунтування базових компонентів. Управління бізнес-процесами потребує достатньо високого ступеня організації менеджменту компанії й стимулюється наявними корпоративними інтегрованими інформаційними системами класу ERP/CSRP/ASP (табл. 4.1) [133].

Таблиця 4.1

Основні концепції, технології та відповідні їм базові інтелектуальні системи й підсистеми

Технологія	Базова інтелектуальна система, підсистема (модуль)
RP-«requirements/resource planning» (планування потреб/ресурсів)	MRP I — «Material requirements planning» (підсистема планування потреб у матеріалах); MRP II — «Manufacturing resource planning» (система виробничого планування ресурсів); DRP I — «Distribution requirements planning» (підсистема планування розподілу потреб); DRP II — «Distribution resource planning» (підсистема планування розподілу ресурсів); OPT — «Optimized Production Technology» (оптимізована виробнича технологія); MRP III (комбінація MRP II и KANBAN); Модуль «Логістика» в ERP «Enterprise resource planning» (система планування ресурсів виробництва);

Закінчення табл. 4.1

Технологія	Базова інтелектуальна система, підсистема (модуль)
	<p>Модуль «Логістика» в CSRP – «Customer Synchronized Resource Planning» (система планування ресурсів, орієнтована на споживача);</p> <p>Модуль SCM – «Supply Chain Management» (управління ланцюгом поставок / логістичним ланцюгом).</p> <p>Хронологія розроблення й впровадження: MRP I =&gt; MRP II =&gt; OPT =&gt; MRP III =&gt; модулі «Логістика» ERP/CSRP =&gt; «SCM — модуль» ERP/CSRP;</p> <p>DRP I =&gt; DRP II =&gt; модулі «Логістика» ERP/CSRP=&gt;«SCM-модуль» ERP/CSRP</p>
<p>LP — «Lean Production», ( «струнке» виробництво )</p>	<p>Хронологія розроблення й впровадження: RBR у підсистемі DRP I =&gt; QR в підсистемі DRP II =&gt; CR та AR у підсистемах DRP II / модулі «Логістика» ERP, MRP II, KANBAN / модуль LP в ERP системах.</p> <p>Хронологія розроблення і впровадження: MRP II и KANBAN =&gt; LP =&gt; модуль «Виробництво» ERP</p>
<p>SCM — «Supply Chain Management» (управління ланцюгом постачань / логістичним ланцюгом )</p>	<p>«SCM — модуль» ERP/CSRP.</p> <p>Хронологія розроблення й впровадження: «SCM-модуль» ERP =&gt; «SCM — модуль» CSRP/ASP</p>

Базисну платформу ієрархічної структури ІУС компанії (рис. 4.8) становлять функції і операції. Будь-яку операцію (тим паче функцію), що виділяється, слід урахувувати й контролювати в системі моніторингу фірми з позицій витрат, трудомісткості, часу виконання й закріплювати за відповідним персоналом менеджменту (рис. 4.9).

Вибір перспективних напрямів розвитку ІС можна розглядати як завдання ухвалення рішень, що в загальному вигляді можна записати таким чином [117]:  $R=F(\Pi_0, T, R, \Pi, \mathcal{C}, P, f, K)$ , де  $\Pi_0$  – опис початкової проблемної ситуації;  $T$  – передбачений час ухвалення рішень;  $R$  – ресурси;  $\Pi = (\Pi_1, \dots, \Pi_n)$  – множина можливих ситуацій;  $\mathcal{C} = (\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots, \mathcal{C}_k)$  – множина цілей, яких необхідно досягти в результаті усунення проблемної ситуації;  $f = f(\Pi, P, \mathcal{C})$  – функція переваги осо-

би, що ухвалює рішення; за допомогою цієї функції особа оцінює ситуації та рішення стосовно ступеня досягнення множини цілей;  $P = (P_1, P_2, \dots, P_m)$  – множина можливих рішень;  $K$  – критерій вибору найкращого рішення.

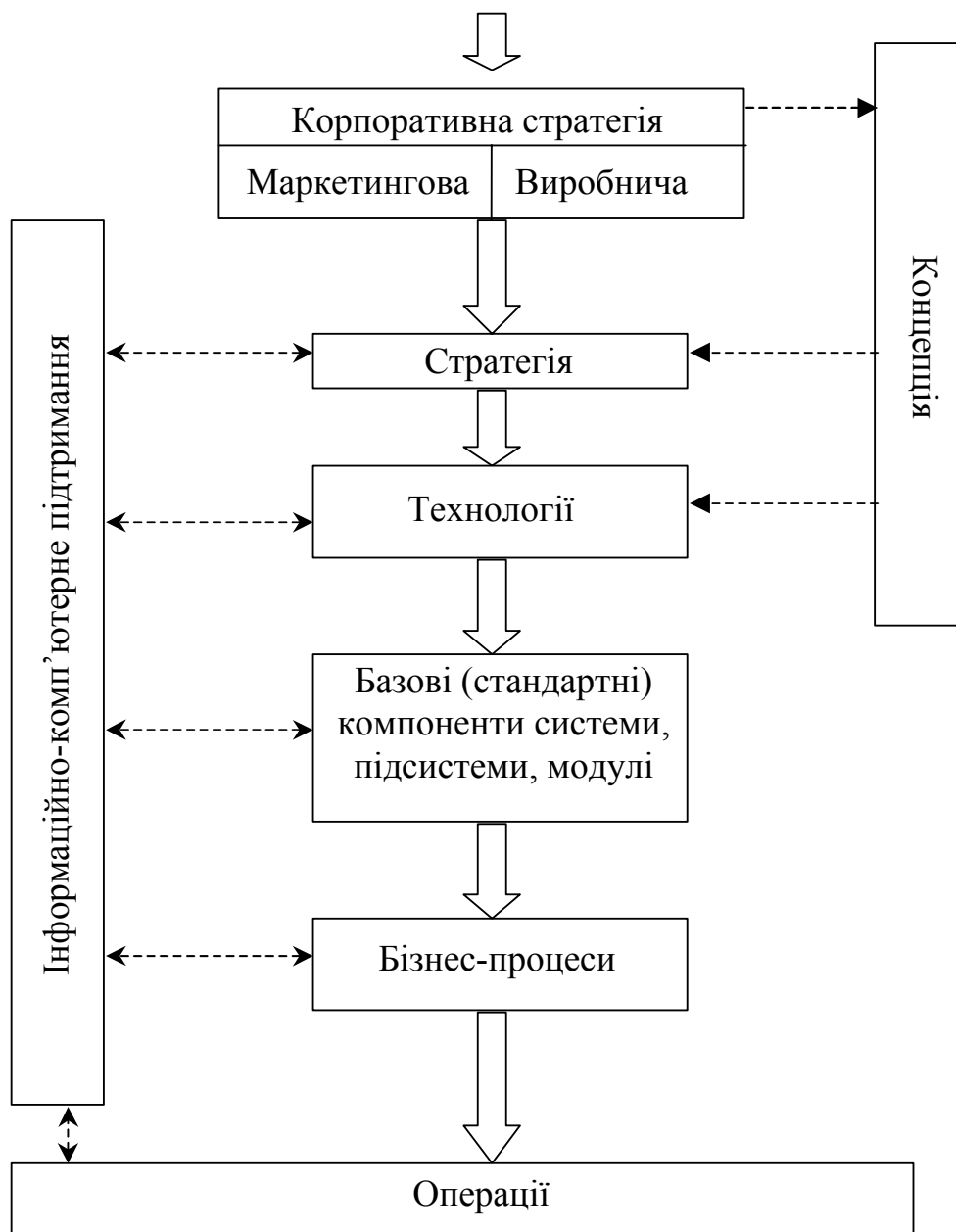


Рис. 4.8. Схема створення системи підприємства

З метою формалізації виділення найбільш важливих підсистем, що створюються ІУС на початковому етапі вирішення задачі вибору, корисно використовувати три графічних їх подання:

1. Граф ресурсів підприємства (будівлі, споруди, устаткування та ін.).
2. Структурний граф адміністративної системи управління.

### 3. Структурний граф ІУС.

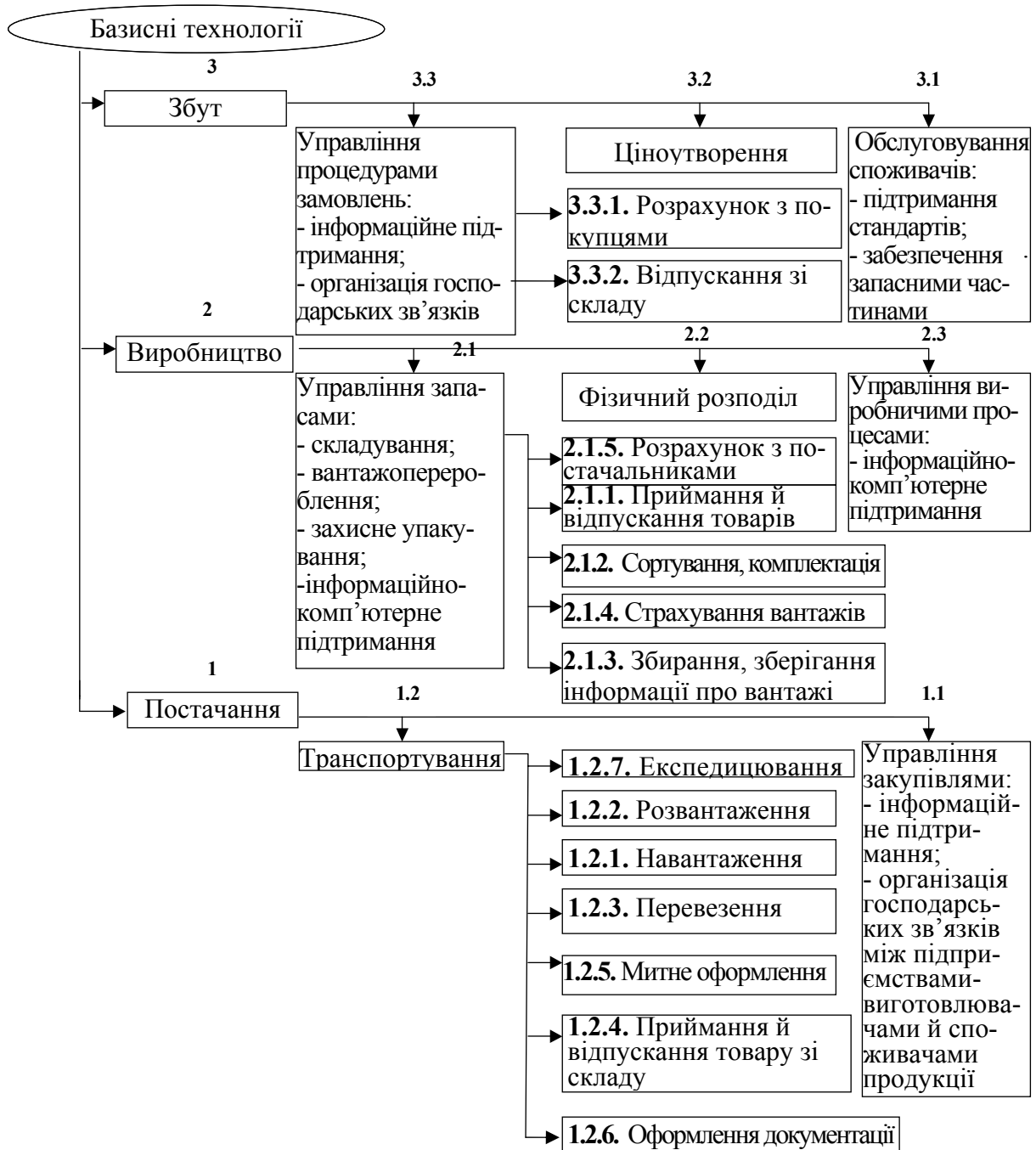


Рис. 4.9. Функціональна частина підтримання життєвого циклу виробу в системах корпоративного управління

На основі пп. 1, 2 відобразимо основні інформаційні потреби в елементах ІУС – вершини відповідного графа. Як відомо, формування, оцінювання та вибір альтернативних варіантів складається з ряду етапів.

**Етап 1.** Будується дерево функцій, за допомогою якого генеральна мета поділяється на ряд підцілей.

**Етап 2.** Виконується попередній аналіз підсистем ІС з погляду можливостей і особливостей їхньої реалізації (див. рис. 4.9). При цьому аналізуються інформаційний взаємозв'язок завдань, особливості їхньої програмної й технічної реалізації. В результаті формується скоректований список завдань, що є альтернативними напрямками розвитку ІС або її функціональних підсистем (ІІІ рівень на рис. 4.2).

**Етап 3.** Оцінюється відносна важливість функцій кожного рівня. Будується матриця, елементами якої є експертні оцінки. Побудову матриці оцінок наведено в табл. 4.2. У цій таблиці  $S_j^y$  – відносна вага  $j$ -го елемента за критерієм  $\gamma$ , що характеризує, наскільки важливим є  $j$ -й елемент для задоволення критерію  $\gamma$ ;  $r_i^j$  – коефіцієнт відносної важливості елемента  $j$  рівня  $i$ .

При цьому мають виконуватися умови  $\sum_{\gamma=1}^v q_\gamma = 1, \dots \sum_{j=a}^n S_j^\gamma = 1$ .

Коефіцієнти відносної важливості елементів розраховуються за формулою  $r_i^j = \sum_{\gamma=1}^v q_\gamma^y S_j^y$ , де виконується умова нормування  $\sum_{j=a}^n r_i^j = 1$ .

Узагальнену оцінку  $R$  будь-якого елемента дерева функцій на будь-якому рівні одержують шляхом множення коефіцієнтів відносної важливості знизу доверху вздовж даної гілки:  $R = \prod_{i=1}^G r_i$ , де  $G$  – кількість рівнів дерева функцій.

**Етап 4.** Розв'язується задача формування оптимального набору завдань, що визначають напрями розвитку ІУС. Ця задача описується таким чином:

$$\sum_{i=1}^N R_i x_i \rightarrow \max; \quad \sum_{i=1}^N T_{ij} x_i \leq \Phi_j;$$

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо задача реалізується в } i\text{-й підсистемі,} \\ 0, & \text{якщо задача не реалізується в } i\text{-й підсистемі,} \end{cases}$$



де  $R_i$  – узагальнена оцінка, що характеризує відносну важливість  $i$ -го завдання з погляду досягнення основної мети;  $T_{ij}$  – витрата  $j$ -го виду ресурсів системи, пов'язана з розв'язанням  $i$ -ї задачі;  $\Phi_j$  – наявність ресурсу  $j$ -го виду в системі.

Таблиця 4.2

Матриця експертних оцінок

Крите- рій	Вага критерію	Елементи рівня					
		a	b	...	J	...	n
1	$q_1$	$S_a^1$	$S_b^1$	...	$S_j^1$	...	$S_n^1$
2	$q_2$	$S_a^2$	$S_b^2$	...	$S_j^2$	...	$S_n^2$
...	...	...	...	...	...	...	...
$\gamma$	$q_\gamma$	$S_a^\gamma$	$S_b^\gamma$	...	$S_j^\gamma$	...	$S_n^\gamma$
...	...	...	...	...	...	...	...
$\nu$	$q_\nu$	$S_a^\nu$	$S_b^\nu$	...	$S_j^\nu$	...	$S_n^\nu$
		$r_i^a$	$r_i^b$	...	$r_i^j$	...	$r_i^n$

Розглянемо приклад аналізу, оцінювання й вибору перспективних напрямів розвитку підсистем ІС з виділенням чотирьох етапів:

1. Заповнимо таблицю елементів III рівня (табл. 4.3), в яку експертним шляхом вибираємо з рис. 4.2 дев'ять підсистем: 1.2.1 – завантаження; 1.2.2 – розвантаження; 1.2.3 – перевезення; 1.2.4 – приймання й відпущення товару зі складу; 2.1.2 – сортування й комплектація; 2.1.3 – збирання, зберігання, передавання інформації про вантажі; 2.1.5 – розрахунок з постачальниками; 2.1.1 – приймання й відпущення товарів зі складу; 3.3.1 – розрахунок з покупцями.

Таблицю заповнимо на основі експертного досвіду.

2. Запишемо коефіцієнти відносної важливості для елементів II рівня (табл. 4.4) й виберемо тільки три підсистеми:

1.2 – транспортування; 2.1 – управління запасами; 3.3 – управління процедурами замовлення.

3. Виберемо коефіцієнти відносної важливості для елементів I рівня (табл. 4.5) і виконаємо аналіз трьох підсистем: постачання, виробництва, збуту.

Таблиця 4.3

Елементи III рівня

Критерій	Вага критерію	1.2.1	1.2.2	1.2.6	1.2.3	2.1.2	2.1.3	2.1.5	2.1.1	3.3.1
Підсумкова вартість	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Якість продукції	0.2	0.2	0.2	0.05	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1
Ефективність	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.05	0.1	0.05
Функціональні можливості	0.3	0.1	0.1	0.3	0.05	0.3	0.05	0.02	0.03	0.05
$r^3$		0.12	0.12	0.17	0.08	0.22	0.08	0.05	0.07	0.07

Таблиця 4.4

Елементи II рівня

Критерій	Вага критерію	1.2	2.1	3.3
Вартість продукції	0.3	0.4	0.3	0.3
Якість продукції	0.4	0.2	0.4	0.4
Спільність та інтеграція САПР	0.3	0.3	0.3	0.4
$r^2$		0.29	0.34	0.37

Таблиця 4.5

Елементи I рівня

Критерій	Вага критерію	1	2	3
Вартість продукції	0.4	0.2	0.4	0.4
Якість продукції	0.6	0.4	0.4	0.2
$r^1$		0.32	0.4	0.28

4. Розв'яжемо задачу вибору раціональної сукупності завдань, що визначають напрям розвитку ІУС.

4.1. Підрахуємо узагальнену оцінку R елементів дерева функцій (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Узагальнена оцінка R елементів дерева функцій

Задача	1.2.1	1.2.2	1.2.6	1.2.3	2.1.2	2.1.3	2.1.5	2.1.1	3.3.1
Узагальнена оцінка, R	0.011	0.011	0.016	0.008	0.03	0.012	0.007	0.011	0.007

4.2. Визначимо витрати ресурсів на автоматизацію вирішення цього завдання (табл. 4.7, 4.8).

Таблиця 4.7

Витрата матеріальних ресурсів на вирішення завдань (  $\Phi_1 = 6$  )

Завдання	1.2.1	1.2.2	1.2.6	1.2.3	1.1.2	2.1.3	2.1.5	2.1.1	3.3.1
Обсяг ресурсу, що витрачається, $T_{i1}$	2	1	1	1	3	2	1	1	1

Таблиця 4.8

Витрата часу на впровадження (  $\Phi_2 = 3$  )

Завдання	1.2.1	1.2.2	1.2.6	1.2.3	2.1.2	2.1.3	2.1.5	2.1.1	3.3.1
Обсяг часу на впровадження, $T_{i2}$	0.2	0.2	0.5	0.5	1	0.8	0.7	1	0.7

4.3. Розв'яжемо задачу вибору:

$$\sum_{i=1}^N R_i x_i \rightarrow \max, \begin{cases} x_i = 0, \text{ якщо задача реалізується в } i\text{-й підсистемі;} \\ x_i = 1 \text{ у протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^N T_{ij} x_i \leq \Phi_j, \text{ де } i = \overline{1,9}; j = \overline{1,2}.$$

Застосуємо евристичний спосіб для розв'язання цієї задачі.

### Варіант 1.

Виберемо всі задачі  $L = \overline{1,9}$ .

$$R = 0.011 + 0.011 + 0.016 + 0.008 + 0.030 + 0.012 + 0.007 + 0.011 + 0.007 = 0.113.$$

$$\Phi_1 = 2 + 1 + 1 + 1 + 3 + 2 + 1 + 1 + 1 = 13 > 6.$$

$$\Phi_2 = 0.2 + 0.2 + 0.5 + 0.5 + 1 + 0.8 + 0.7 + 1 + 0.7 = 5.6 > 3.$$

Обидва обмеження не задовольняються.

### Варіант 2.

$$R = \sum_{i \in L} R_i x_i = 0.011 + 0.016 + 0.030 + 0.011 = 0.068.$$

$$L = (2, 3, 5, 8).$$

$$\Phi'_1 = 1 + 1 + 3 + 1 = 6 < 6, (\Phi'_1 = \Phi_1 = 6);$$

$$\Phi'_2 = 0.2 + 0.5 + 1 + 1 = 2.7 < 3, (\Phi'_2 = 2.7 < \Phi_2 = 3).$$

Обмеження задовольняються.

Таким чином, найбільш раціональним для автоматизації є набір таких завдань:

$R_{1.2.2}$  – розвантаження (інформаційне забезпечення процесу розвантаження),  $l = 2$ ;

$R_{1.2.6}$  – оформлення транспортної документації й укладення договорів на перевезення,  $l = 3$ ;

$R_{2.1.2}$  – сортування й комплектація,  $l = 5$ ;

$R_{2.1.1}$  – приймання й відпущення товарів зі складу,  $l = 8$ .

### 4.3. Методи порівняння й вибору компонентів ІУС

При розв'язанні задач вибору в унікальних ситуаціях доводиться усувати істотні перешкоди:

- 1) багатоаспектне оцінювання якості альтернатив;
- 2) труднощі виявлення всіх аспектів порівняння альтернатив;
- 3) складність зіставлення різнорідних якостей;
- 4) суб'єктивний характер багатьох оцінок якості альтернатив;
- 5) трудність організації роботи експертів;
- 6) труднощі отримання повного списку альтернатив.

Проблеми унікального вибору розрізняються своєю складністю, що наростає зі збільшенням кількості альтернатив й аспектів оцінювання альтернатив, а також кількості осіб і організацій.

Особливе місце займає системний підхід, за допомогою якого виділяють такі етапи вирішення:

- з'ясування завдання й вибір цілей;
- перерахування або генерація альтернатив;

- аналіз альтернатив;
- вибір найкращого результату;
- подання результатів.

Основні дії, відповідні етапам, показано на рис. 4.10.

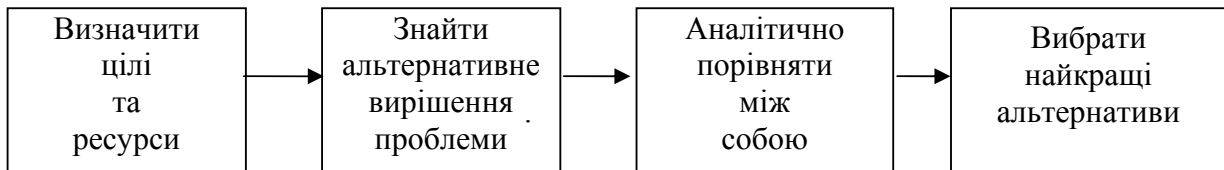


Рис. 4.10. Основні етапи порівняння альтернатив

При застосуванні більшості етапів виникають дві основні проблеми: як отримати оцінки за окремими критеріями і як об'єднати їх в загальну оцінку корисності альтернативи. Консультанти розробляють перелік критеріїв. Експерти оцінюють кожну альтернативу за шкалою кожного критерію. Якщо працюють декілька експертів, то їхні оцінки слід узагальнити.

Одним із методів ухвалення рішення за багатьма критеріями є прямий метод, де форма залежності результуючої корисності альтернативи від її оцінок за багатьма критеріями задається без всяких теоретичних підстав.

Прямі методи можна поділити на п'ять груп:

1. Найголовніша формула корисності багатокритеріальної альтернативи, як і всі її параметри.

2. Вибір особою, що приймає рішення (ОПР), одного із способів визначення корисності альтернатив при невідомій інформації про вірогідність різних зовнішніх умов.

3. Постулат форми залежності, але її параметри безпосередньо призначаються ОПР.

4. Основна форма залежності, що задається, а її параметри визначаються на основі оцінювання дій ОПР шляхом обчислень корисності деяких альтернатив.

5. Формула максимізації очікуваної корисності й визначення ОПР вірогідності оцінювання різних результатів на деревах рішень [131].

Передбачено ряд принципів, за якими вибираються певні залежності між значенням корисності багатокритеріальної альтернативи і її оцінками за окремими критеріями. Прикладом може бути такий вигляд залежності [132]:

$$U = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{x_i - x_i^*}{x_i^*} \right]^2,$$

де  $x_i^*$  – найкраще значення за і-м критерієм.

Можливі різні варіанти вибору глобального критерію. Початкову інформацію наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Вибір глобального критерію

Альтернативи	Варіанти зовнішніх умов			
	$B_1$	$B_2$	...	$B_N$
$A_1$	$U_{11}$	$U_{12}$		$U_{1N}$
$A_2$	$U_{21}$	$U_{22}$		$U_{2N}$
...				
$A_m$	$U_{m1}$	$U_{m2}$		$U_{mN}$

У таблицю заносять значення корисностей альтернатив. Альтернативу, якій надається перевага, вибирають на основі одного з таких критеріїв [117]:

1. Максмінний критерій (найбільша обережність)

$$U^* = \min_i \max_j U_{ij}.$$

2. Критерій мінімаксу. Вводять поняття корисності для і-ї альтернативи при j-му варіанті зовнішніх умов:

$$U^* = \max_i \min_j U_{ij}.$$

3. Критерій максимаксу (крайній оптимізм)

$$U^* = \max_i \max_j U_{ij}.$$

4. Критерій Лапласа

$$U_{icp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m U_{ij}, U^* = \max_i U_{icp}.$$

5. Метод зваженої суми

$$U = \sum_{i=1}^N \omega_i x_i,$$

де  $\omega_i$  – вага (важливість) і-го критерію, що призначається ОПР;  
 $x_i$  – оцінка альтернативи за і-м критерієм.

6. Мультиплікативний метод

$$U = \prod_{i=1}^N \omega_i \cdot f(x_i), \sum_{i=1}^N \omega_i = 1.$$

Найчастіше застосовують  $f(x_i) = x_i$ . Логічним обґрунтуванням цього є уявлення про оцінки за критеріями як про вірогідність досягнення певних показників якості.

Очевидно, що параметри  $\eta_{jl}$  ( $j$  – номер системи,  $l$  – номер параметра) починають впливати на результат порівняння систем, коли між ними з'являються істотні відмінності:

$$\text{Вага } \beta_{il} = k_i D_{il}, (l = 1, \dots, L_i), \quad (4.1)$$

де  $L_i$  – число параметрів в  $i$ -й групі.

Мірою розкиду  $l$ -го параметра  $i$ -ї групи може бути величина [99]

$$D_{il} = \frac{\Delta \bar{\eta}_{il}}{\bar{\eta}_{il}}, \quad (4.2)$$

$$\text{де } \Delta \bar{\eta}_{il} = \frac{|\eta_{1il} - \bar{\eta}_{il}| + \dots + |\eta_{Jil} - \bar{\eta}_{il}|}{J}, \quad (4.3)$$

$$\bar{\eta}_{il} = \frac{\eta_{1il} + \eta_{2il} + \dots + \eta_{Jil}}{J}, \quad (4.4)$$

де  $J$  – число порівнюваних систем.

Оскільки вагові коефіцієнти (4.1) задовольняють умову

$$\sum_{l=1}^{L_i} \beta_{il} = 1, \quad (4.5)$$

то коефіцієнт пропорційності

$$K_i = \frac{1}{\sum_{l=1}^{L_i} D_{il}}. \quad (4.6)$$

Тоді з рівнянь (4.1) і (4.6) випливає, що

$$\beta_{il} = \frac{D_{il}}{\sum_{l=1}^{L_i} D_{il}}. \quad (4.7)$$

Узагальнені показники ефективності (групові коефіцієнти успіху)  $j$ -ї системи за  $i$ -ю групою такі:

$$g_{ji} = \sum_{l=1}^{L_i} \beta_{il} \eta_{jil}, \quad (4.8)$$

які з врахуванням рівняння (4.3) мають вигляд

$$g_{ji} = \sum_{l=1}^{L_i} \frac{D_{il}}{\sum_{l=1}^{L_i} D_{il}} \eta_{jil}. \quad (4.9)$$

Значення ефективності  $j$ -ї системи за  $i$ -ю групою параметрів оцінюють за допомогою виразу

$$\gamma_{ji} = \beta_i g_{ji}, \quad (4.10)$$

де  $\beta_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -ї групи параметрів, установлений при експертному дослідженні.

Узагальнена оцінка ефективності системи складається з оцінок параметрів усіх груп:

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^I \gamma_{ji}, \quad (4.11)$$

де  $I$  – число груп параметрів.

З рівнянь (4.9) – (4.11) маємо

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^I \beta_i \sum_{l=1}^{L_i} \frac{D_{il}}{\sum_{l=1}^{L_i} D_{il}} \eta_{jil}. \quad (4.12)$$

З виразів (4.12) і (4.2) випливає, що для оцінювання ефективності необхідно мати результати експертного дослідження пріоритету груп параметрів і даних про величину параметрів всіх порівнюваних систем. При цьому використовують і нелінійні залежності, наприклад у вигляді [99]

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^I \beta_i \prod_{l=1}^{L_i} \eta_{jil}^{\beta_{il}}. \quad (4.13)$$

Далі визначають вагові коефіцієнти на основі експертного дослідження. Цю процедуру можна поділити на три стадії:

- складання таблиці експертного дослідження й додатка до неї;
- визначення кола експертів і проведення безпосереднього експертного дослідження;
- оброблення даних: обчислення середніх оцінок і встановлення ступеня узгодженості думок експертів.

Необхідний кількісний склад групи експертів можна визначити з такого виразу [131]:

$$K = \frac{r^2(p) \cdot V^2}{\varepsilon^2}, \quad (4.14)$$

де  $r(p)$  – аргументи інтеграла вірогідності,  $V$  – коефіцієнт варіації,  $\varepsilon$  – відносна помилка вибірки.

Спочатку оцінюють одержані експертами дані, які нормуються за формулою



$$\beta_{kn} = \frac{C_{kn}}{\sum_{n=1}^N C_{kn}}, \quad (4.15)$$

де  $C_{kn}$  – оцінка  $k$ -м експертом  $n$ -го параметра,  $N$  – число параметрів.

Потім обчислюють середні значення оцінок кожного параметра:

$$\bar{\beta}_n = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \beta_{kn}, \quad (4.16)$$

де  $K$  – число експертів.

Відповідне значення середньоквадратичного відхилення

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\beta_{kn} - \bar{\beta}_n)^2}. \quad (4.17)$$

Після цього визначають коефіцієнти варіації

$$v_n = \frac{\sigma_n}{\bar{\beta}_n}, \quad (4.18)$$

що характеризують ступінь узгодженості думок експертів про важливість окремих параметрів.

Ступінь узгодженості думок експертів за всіма параметрами оцінюють коефіцієнтом конкордації [99]

$$\omega = \frac{12 \times \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 (N^3 - N) - K \sum_{k=1}^K T_k}, \quad (4.19)$$

де  $S_n = \sum_{k=1}^K R_{kn}$  – сума рангів, присвоєних експертами  $n$ -му параметру;

$R_{kn}$  – ранг  $n$ -го параметра, призначений  $k$ -м експертом;

$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n$  – середнє значення сум рангів;

$$T_k = \sum_{m=1}^{M_k} (t_{km}^3 - t_{km}), \quad (4.20)$$

де  $t_{km}$  – число однакових рангів  $m$ -го типу в оцінках  $k$ -го експерта;  $M_k$  – кількість груп параметрів за рангами, що збіглися, в оцінках  $k$ -го експерта.

Значення  $\omega = 1$  відповідає повній узгодженості думок експертів.

Як міру кількісного оцінювання ступеня узгодженості думок експертів використовують рівень значущості коефіцієнта конкордації. Цей рівень визначають згідно з таблицями на основі зіставлення числа ступенів вільності  $N-1$  з величиною  $\chi^2$  (критерій Пірсона), що обчислюють за формулою

$$\chi^2 = \frac{12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S}_n)^2}{K \cdot N \cdot (N+1) - \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^K T_k} \quad (4.21)$$

Якщо знайдений рівень значущості є низьким, то узгодженість думок експертів (для конкретного  $\omega$ ) не є випадковою.

При обробленні даних за групами експертів обчислюють коефіцієнт рангової кореляції [131]

$$r = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{n=1}^N (R_{ni} - R_{nj})}{N(N^2 - 1)}, \quad (4.22)$$

що показує зв'язок між оцінками, призначеними експертами  $i$ -ї і  $j$ -ї груп.

Рівень значущості  $r$  при  $N \geq 10$  може бути перевірений за формулою [131]

$$r_o = \frac{r(p)}{\sqrt{N-1}} \left\{ 1 - \frac{0.19}{N-1} [\chi^2(p) - 3] \right\}. \quad (4.23)$$

Коефіцієнт рангової кореляції є значущим, якщо  $r > r_o$ . Перевірка зазвичай виконується для одно- або п'ятипроцентного рівня значущості.

Уявлення про істотність відмінностей двох систем при знайдених у результаті експертного дослідження вагових коефіцієнтах можна отримати, зіставивши величину [131]

$$t = \frac{M[\gamma_1] - M[\gamma_2]}{D[\gamma_1] + D[\gamma_2]} \sqrt{k}, \quad (4.24)$$

де  $M[\gamma_1], M[\gamma_2]$  – математичні сподівання;  $D[\gamma_1], D[\gamma_2]$  – дисперсії оцінок ефективності, з порогом  $t_o$ , отриманим з таблиць розподілу

Стьюдента при числі ступенів вільності  $K-1$ . При  $t > t_0$  аналізовані системи статистично розрізняються.

Узагальнений алгоритм аналізу й вибору систем містить такі етапи:

1. Нормування показників системи одним із наведених способів:

$$\text{а) } \eta_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ij \max}},$$

$$\text{б) } \eta_{ij} = \frac{\alpha_{ij} - \alpha_{ij \min}}{\alpha_{ij \max} - \alpha_{ij \min}},$$

де  $\alpha_{ij \max} = \max_j \alpha_{ij}$ ,  $\alpha_{ij \min} = \min_j \alpha_{ij}$ .

2. Визначення середнього арифметичного нормованих показників щодо кожного узагальненого показника (4.4).

3. Знаходження усередненого значення абсолютних відхилень нормованих показників  $\Delta \bar{\eta}_{il}$  від середнього арифметичного значення (САЗ) (4.3).

4. Обчислення міри розкиду величин  $D_{il}$  для кожного узагальненого показника  $i$ -ї групи (4.2).

5. Визначення суми розкиду величин  $D_i$  узагальнених показників за формулою

$$D_i = \sum_{l=1}^{L_i} D_{il}, \quad l = \overline{1, L_i}.$$

6. Визначення групових коефіцієнтів успіху з урахуванням розкиду узагальнених показників (4.9).

7. Нормування оцінок, зроблених експертами (4.15).

8. Знаходження середніх значень вагових коефіцієнтів щодо кожної групи параметрів за формулою (4.16).

9. Визначення середніх квадратичних оцінок (СКО) вагових коефіцієнтів за формулою (4.17).

10. Обчислення коефіцієнтів варіації за формулою (4.18).

11. Оцінювання за групами показників за формулою (4.10).

12. Узагальнене оцінювання ефективності систем за формулою (4.11).

13. Визначення суми рангів, що збіглися, встановлених кожним з експертів, з формули (4.20).

14. Знаходження загальної суми рангів, що збіглися, за формулою (4.20).

15. Визначення суми рангів, призначених експертами щодо кожної групи параметрів.

16. Установлення САЗ суми рангів за всіма групами параметрів за формулою

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n.$$

17. Обчислення квадратичних відхилень сум рангів від їхнього середнього значення.

18. Визначення суми квадратичних відхилень.

19. Розрахування коефіцієнтів конкордації за формулою (4.19).

20. Визначення величини  $\chi^2$  за формулою (4.21).

21. Обчислення числа ступенів вільності рівня  $K-1$ .

22. Знаходження рівня значущості коефіцієнта конкордації у таблиці значень  $\chi^2$  для певного числа ступенів вільності.

23. Визначення дисперсій узагальнених оцінок ефективностей систем на основі даних експертного дослідження за формулою [99]

$$\sigma^2(\gamma_j) = \sigma_1^2 g_{j1}^2 + \sigma_2^2 g_{j2}^2 + \dots, j = \overline{1, J},$$

де  $g_j$  – групові коефіцієнти успіху.

24. Обчислення параметрів статистичної достовірності за критерієм Стюдента (4.24).

#### 4.4. Модель аналізу та вибору компонентів постачальників і споживачів для логістичного управління виробництвом

Розглянемо спрощену схему ВС (рис. 4.10).

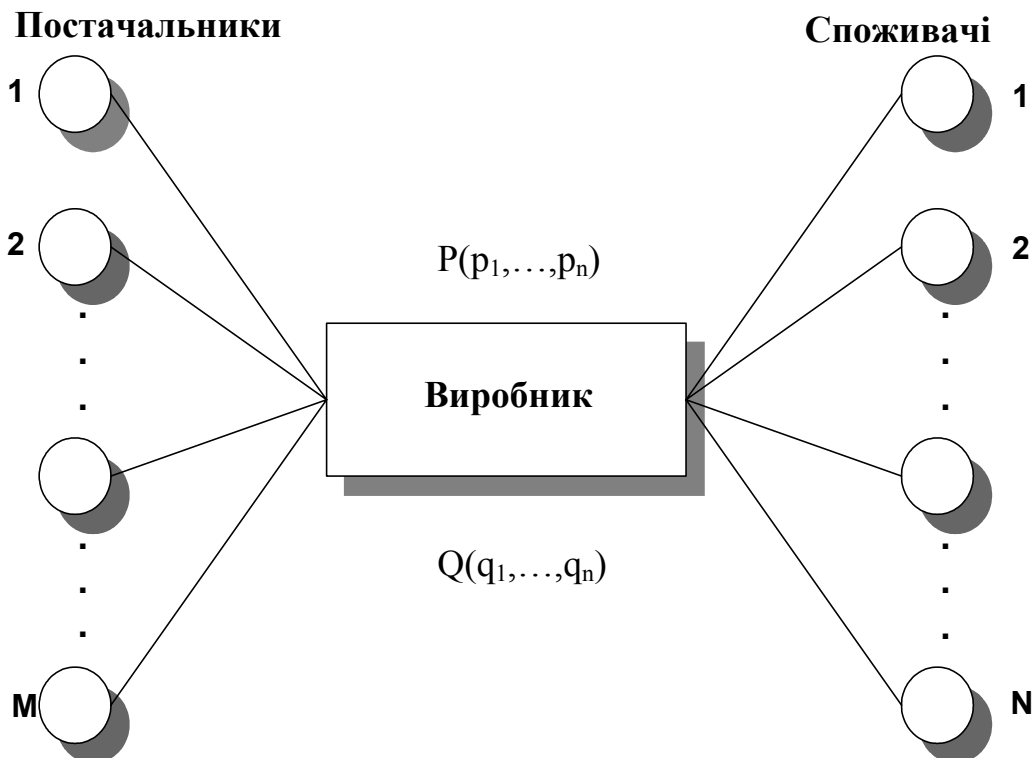


Рис. 4.11. Спрощена схема виробничої системи

Тут прийнято такі позначення:

$P(p_1, \dots, p_i, \dots, p_n)$  – номенклатура і обсяг продукції, що випускається,  $i = \overline{1, n}$ ;

$P_i$  – кількість продукції, що випускається,  $i$ -го типу;

$Q(q_1, \dots, q_j, \dots, q_m)$  – номенклатура і обсяг необхідних постачань сировини й матеріалів, необхідних для випуску продукції  $P$ ;

$q_j$  – кількість сировини (матеріалів)  $j$ -го типу,  $j = \overline{1, m}$ ;

$Post_k$  –  $k$ -й постачальник,  $k = \overline{1, M}$ ;  $Potr_l$  –  $l$ -й споживач,  $l = \overline{1, N}$ ;

$P_r$  – виробник продукції  $P$ .

Проаналізуємо можливі схеми постачання, виробництва й розподілу продукції, що випускається, з урахуванням числа залучених постачальників і споживачів та їхніх потенційних можливостей.

Аналіз можна виконати в інтересах виробника, постачальника або споживача. В кожному з цих трьох випадків можна розглянути один елемент логічного ланцюга (ЛЛ) як активний, два інших – як пасивні [121].

Проаналізуємо ЛЛ з указаних позицій. Очевидно, що тут виникають інші завдання аналізу трьох елементів ЛЛ з урахуванням їхніх пасивності й активності в інтересах одного з них, двох або трьох одночасно.

**Випадок 1.** Активний виробник, постачальники й споживач є пасивними. Тут виробник вибирає постачальників і споживачів без урахування їхніх інтересів і можливих варіантів взаємодій.

**Випадок 2.** Активний споживач не тільки вибирає виробника продукції, але й враховує постачальників сировини й тих, хто комплектує продукцію.

**Випадок 3.** Активний постачальник широко рекламує свою продукцію з метою її просування кінцевому споживачеві. Цей випадок є аналогічним випадку 1, оскільки будь-який виробник може відігравати роль постачальника для більш інтегрованої системи.

**Випадок 4.** Активні постачальник і виробник. Тут виникає необхідність проведення діалогу між ними з урахуванням загальної схеми, яка містить безліч постачальників і виробників. Така схема виникає при активній парі виробник-споживач, потребує використання достатньо складних математичних моделей (теорії ігор та інших).

**Випадок 5.** Активні постачальники сировини і активні споживачі кінцевої продукції. У такій ситуації виникає необхідність пошуку споживачів сировини постачальників і пошук виробників продукції для кінцевих споживачів.

Занепокоєність менеджерів з постачання викликає обсяг замовлень, які можна розмістити в одному джерелі постачання, особливо

якщо постачальник – невелика компанія. Існує небезпека того, що раптова відсутність закупівель може поставити постачальника на межу виживання. Просте практичне правило свідчить, що постачальникові не слід здійснювати більше 20-30% свого бізнесу з одним клієнтом.

У разі існування декількох постачальників виникає необхідність поділити обсяг замовлення між ними. Якщо ухвалено рішення про поділ замовлення, то виникає питання, на основі чого це виконується. На практиці це робиться по-різному. Один метод полягає в рівномірному поділенні обсягу замовлення, інший – у розміщенні більшої частини замовлення у головного постачальника, а решту – в невеликих фірмах постачання. Проте загальні потреби можна оцінити, але не можна гарантувати, як і мінімальний обсяг потреб. Кожний постачальник знає, якою є його частка, але не може знати, хто його конкурент або який обсяг замовлення отримав кожен конкурент, якщо існує більше двох джерел постачання.

Усе викладене приводить до ухвалення рішень в умовах невизначеності. Вибір постачальника можна розглядати як рішення, що приймається в умовах невизначеності. На рис. 4.12 показано просту одноетапну ситуацію з двома постачальниками й двома одержаними результатами.

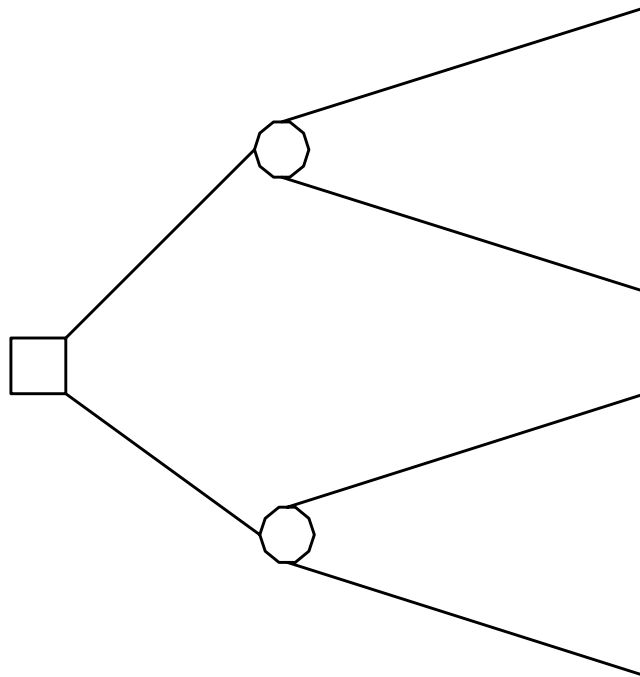


Рис. 4.12. Просте одноетапне рішення про вибір постачальника

Для того, щоб ефективно застосувати схему рішення, покупець має визначити варіанти, критерії оцінки і оцінити вірогідність успіху і невдачі.

Закупівлі, що повторюються, потребують іншої схеми. Приклад більш стандартної ситуації з повторними закупівлями показано на рис. 4.13.

Наприклад, якщо замовлення розміщено у постачальника С і він виявляється нездатним його виконувати, це може означати, що наступного разу як джерело постачань розглядатиметься тільки постачальник А. Якщо маємо справу тільки з постачальником А без альтернативних джерел постачань і це виявляється неприйнятним, то вибір компанії С як постачальника на першому етапі не має сенсу.

Необхідно розглядати рішення про вибір постачальника як ланку в ланцюзі подій, а не як ізольований процес.

Існують два основні критерії вибору постачальника: вартість придбання продукції або послуг та якість обслуговування.

Вартість придбання містить ціну продукції або послуг (які не мають грошового виразу) та іншу вартість, до якої можна віднести, наприклад, змінення іміджу організації, соціальну значущість сфери діяльності фірми, перспективи зростання й розвитку виробництва та ін.

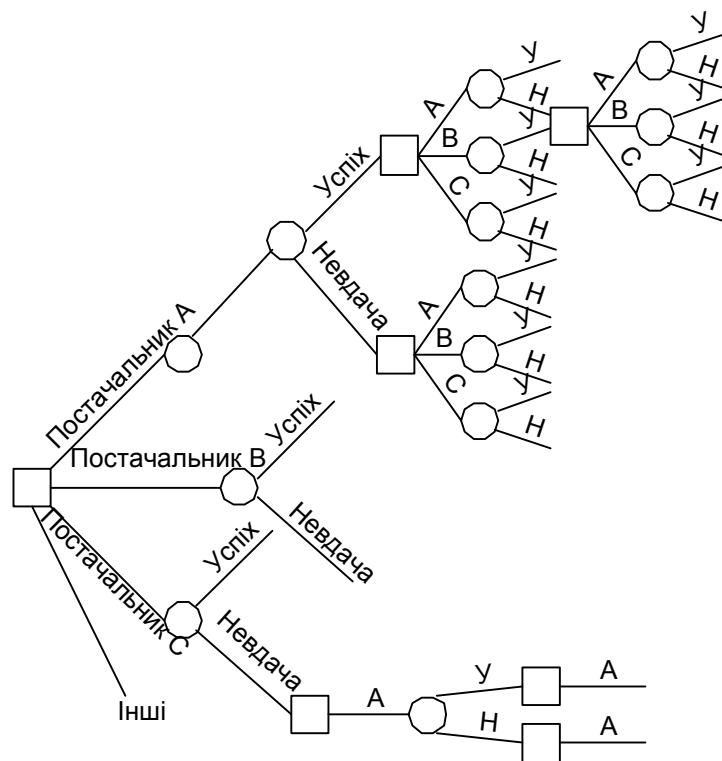


Рис. 4.13. Спрощена триетапна схема вибору постачальника

Якість обслуговування містить якість продукції або послуги й надійність обслуговування. Надійність оцінюється вірогідністю відсутності відмови в задоволенні заявки споживача. В окремих випадках

якість обслуговування, а також окремі умови постачання не відображаються на ціні придбання.

У відборі джерел інформації слід керуватися такими правилами:

1. Не можна обмежуватися одним джерелом інформації незалежно від обсягу й глибини інформації, що надається ним.
2. Як мінімум одне з використовуваних джерел має бути незалежним.

Остаточний вибір постачальника проводиться особою, що приймає рішення, і не може бути повністю формалізованим [40 - 42].

Розглянемо випадок, коли всі види сировини можуть надходити від одного виконавця й вся вироблювана продукція спрямовується одному споживачеві. Тоді отримуємо можливе число  $K_{ЛЛ}$  варіантів організації логістичного ланцюга:

$$K_{ЛЛ} = M \cdot N.$$

Кожен ЛЛ ( $Post_k, P_r, Potr_l$ ) потребує докладного аналізу із застосуванням цілого ряду критеріїв для постачальників і споживачів. Для постачальників такими критеріями можуть бути: якість, обсяг і ціна сировини, що поставляється, умови доставки і обслуговування. Крім того, важливими є характеристики самого постачальника: його попередня історія, наявність технічного обладнання й розвиненість інфраструктури, фінансовий стан, організація і управління, репутація, відповідність загальноприйнятим стандартам, ступінь співпраці, трудові стосунки й місцезнаходження.

Очевидно, що характер, обсяг і вартість закупівлі сировини впливатимуть на вагові коефіцієнти окремих критеріїв оцінювання постачальника. Так само можна оцінити споживачів з позиції виробника з метою успішної реалізації виготовленої продукції.

Припустимо, що є можливі постачальники й можливі споживачі, які можуть поставляти всю необхідну сировину  $Q(g_1, \dots, q)$  для виробництва продукції  $P_r(p_1, \dots, p)$  і споживати її. Тоді число можливих ЛЛ можна обчислити за такою формулою [83]:

$$K_{ЛЛ} = \sum_{i=0}^M \binom{M}{i} \sum_{j=0}^N \binom{N}{j}, \quad i = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, N},$$

де  $\binom{M}{i}$  – число поєднань з  $M$  за  $i$ , оскільки

$$\sum_{i=0}^M \binom{M}{i} = 2^M, \quad \sum_{j=0}^N \binom{N}{j} = 2^N, \quad \text{то } K_{ЛЛ} = 2^M \cdot 2^N = 2^{(M+N)}.$$



**Приклад.** Припустимо, що отримаємо такі можливі варіанти вибору постачальників:

00 – ігноруються обидва постачальники;

01 – вибирається постачальник  $q_1$ ;

10 – вибирається постачальник  $q_2$ ;

11 – залучаються обидва постачальники  $q_1$  і  $q_2$ .

Для двох постачальників отримаємо  $2^M = 2^2 = 4$  варіанти, так само для споживачів при  $N=2$  одержимо  $2^N = 2^2 = 4$  варіанти. Всього  $K_{ЛЛ} = 2^{(M+N)} = 2^4 = 16$  варіантів.

З одного боку, в аналізованих варіантах ЛЛ необхідно враховувати ту обставину, що сумарні постачання мають відповідати потребам виробника. З іншого боку, сумарна кількість продукції, прийнятої й реалізованої споживачами, має дорівнювати кількості випущеної продукції виробником.

Розглянемо такі кількісні оцінки:

$q_{ik}$  – кількість  $i$ -го виду сировини, що поставляється  $k$ -м постачальником;

$P_{il}$  – кількість  $i$ -го виду продукції, що надходить до  $l$ -го споживача.

Відомо, що [28]

$$q_j = \sum_{k=1}^M q_{jk}, \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, M},$$

$$P_i = \sum_{l=1}^N P_{il}, \quad i = \overline{1, n}, \quad l = \overline{1, N}.$$

За умови багатьох можливих варіантів вибору постачальників розглянемо таке оптимізаційне завдання: знайти такий склад постачальників  $M \subset N$  і відповідне значення  $q_{jk}$ , щоб вибраний критерій ефективності  $F$  набув екстремального (найкращого) значення. Очевидну складність тут становить формування критерію  $F$  як деякої функції від впливових чинників  $x_i$ , основні з яких зазначались вище.

Параметри (чинники)  $x_i$  можуть бути як кількісними, так і якісними, лінгвістичними. Тому для вибору кращого постачальника можна використовувати методику, основу на застосуванні експертних оці-

нок і нечітких множин, а сама процедура вибору основана на оцінюванні узагальненої мінімальної відстані від заданого варіанта, що може бути виконано згідно з роботами Хеммінга або Евкліда [132].

На основі зазначеного вище розглянемо основні етапи алгоритму вибору ЛЛ:

1. Збирання необхідної інформації про постачальників, виробників і споживачів.
2. Обґрунтування стратегії вибору ЛЛ на користь одного, двох або трьох її компонентів.
3. Визначення ситуації вибору в аспекті активності або пасивності учасників ЛЛ.
4. Обґрунтування критеріїв вибору постачальників і споживачів на користь виробника.
5. Направлений перебір можливих варіантів ЛЛ та їх аналіз.
6. Вибір оптимальної ЛЛ за вибраним критерієм ефективності.

#### **4.5. Вибір компонентів ІУС**

Припустимо, що з певної сукупності деяких компонентів необхідно вибрати найбільш ефективну комбінацію з урахуванням обмежень ресурсів і максимуму корисності. Розглянемо приклад з п'яти компонентів при одній функції корисності й двох обмеженнях. Кожний з компонентів можна подати у вигляді підсистеми ІУС.

Як елементи сукупності приймаємо деякі функціональні підсистеми (всього їх п'ять), з яких необхідно вибрати такі, щоб корисність була максимальною, а сумарне обмеження не перевищувало заданого.

Розглянемо алгоритм буквального перебору.

Припустимо, що обмеження будуть такими: для ресурсу – 4 і часу – 12. Алгоритм подамо у вигляді таких дій:

1. Розглянути таблицю 4.10 і з'ясувати завдання вибору.
2. Перебрати всі комбінації від 1 до  $2^5$  у двійковому коді (00000, 00001...11111). Кожну комбінацію зіставити з набором завдань у табл. 4.11. Наприклад, для набору 00011 отримаємо, що вибрано чотири й п'ять підсистем, для яких можна визначити сумарні корисності, сумарні потрібні ресурси й час (див. табл. 4.11).
3. Порівняти ресурси й час з обмеженнями (див. табл. 4.11).

Таблиця 4.10

Початкові дані для прикладу 1

Підсистема	Ефективність (корисність)	Витрати ресурсу, ум. од.	Витрати часу на впровадження, ум. од.
1	0.21	2	2
2	0.21	1	2
3	0.28	1	5
4	0.2	1	5
5	0.1	3	10

4. Вибрати комбінацію з найбільшою ефективністю, що задовольняє обмеження. Такою комбінацією є 11100 з ефективністю 0.7 й обмеженнями 4 і 9 (4=4, 9<12). Розглянемо евристичний алгоритм.

Таблиця 4.11

Розрахунок корисності й відповідності обмеженням

№ п.п.	Комбінація	Ефективність	Витрати ресурсу	Витрати часу	Задоволення обмежень
1	00000	0	0	0	+
2	00001	0.1	3	10	+
3	00010	0.2	1	5	+
5	00011	0.3	4	15	-
6	00100	0.28	1	5	+
7	00101	0.38	4	15	-
8	00110	0.48	2	10	+
9	01000	0.21	1	2	+
10	00111	0.58	5	20	-
11	01001	0.31	4	12	+
12	01010	0.41	2	7	+
13	01011	0.51	5	17	-
14	01100	0.49	2	7	+
15	01101	0.59	5	17	-
16	01110	0.69	3	12	+
17	01111	0.79	6	22	-
18	10000	0.21	2	2	+
19	10001	0.31	5	12	+
20	10010	0.41	3	7	+
21	10011	0.51	6	17	-

Закінчення табл. 4.11

№ п.п.	Комбінація	Ефективність	Витрати ресурсу	Витрати часу	Задоволення обмежень
22	10100	0.49	3	7	+
23	10101	0.59	6	17	-
24	10110	0.69	4	12	+
25	10111	0.79	7	22	-
26	11000	0.42	3	4	+
27	11010	0.62	4	9	+
28	11001	0.52	6	14	-
29	11011	0.72	7	19	-
30	11100	0.7	4	9	+
31	11101	0.8	7	19	-
32	11110	0.9	5	14	-
33	11111	1	8	24	-

У даному випадку розглянемо приклад з початковими даними в табл. 4.12, елементами сукупності є комп'ютерні виробничі підсистеми.

Таблиця 4.12

Початкові дані для прикладу 2

№ п.п.	Назва підсистеми	Вага критерію	Кількість кабелю, м	Кількість комп'ютерів, шт.	Вартість монтажу, ум. од.
1	Відділ планування	0.25	100	10	500
2	Виробництво	0.25	100	13	200
3	Дирекція	0.2	20	10	400
4	Відділ збуту	0.07	70	5	100
5	Митний відділ	0.02	60	3	50
6	Бухгалтерія	0.05	10	4	60
7	Контроль якості	0.1	20	7	100
8	Служба безпеки	0.01	35	2	50
9	Сервісний відділ	0.03	60	1	50
10	Диспетчер транспорту	0.02	15	1	50

Нехай обмеження будуть такими: кількість кабелю – не більше 250 м, кількість комп'ютерів – не більше 30 шт., вартість монтажу не

перевищує 1100 ум.од. Алгоритм подамо у вигляді такої послідовності дій:

1. Підсумовуємо кількість кабелю за всіма елементами (490), кількість комп'ютерів (56), вартість монтажу (1560) (за допомогою табл. 4.12).

2. Визначаємо критерії дефіцитності. Для цього обмеження ділимо на отримані суми:

- кабель:  $250/490 = 0.51$ ;
- комп'ютери:  $30/56 = 0.54$ ;
- монтаж:  $1100/1560 = 0.7$ .

Звідси найдефіцитнішим ресурсом є кабель.

3. Знаходимо для кожного елемента питому корисність кабелю. Для цього корисність (вагу критерію) ділимо на відповідну кількість комп'ютерів:

- відділ планування:  $0.25/100 = 0.0025$ ;
- виробництво:  $0.25/100 = 0.0025$ ;
- дирекція:  $0.2/20 = 0.01$ ;
- відділ збуту:  $0.07/70 = 0.001$ ;
- митний відділ:  $0.02/60 = 0.0003$ ;
- бухгалтерія:  $0.05/10 = 0.005$ ;
- контроль якості:  $0.1/20 = 0.005$ ;
- служба безпеки:  $0.01/35 = 0.00029$ ;
- сервісний відділ:  $0.03/60 = 0.0005$ ;
- диспетчер транспорту:  $0.02/15 = 0.0013$ .

За отриманими результатами сортуємо підсистеми за убиванням: 3,6,7,1,2,10,4,9,5,8.

4. Знаходимо кількість перших елементів, сума критеріїв яких задовольняє обмеження.

Беремо один елемент (3): кабель – 20, комп'ютери – 10, монтаж – 400.

Беремо два елементи (3,6): кабель – 30, комп'ютери – 14, монтаж – 460;

Беремо три елементи (3,6,7): кабель – 50, комп'ютери – 21, монтаж – 560;

Беремо чотири елементи (3,6,7,1): кабель – 150, комп'ютери – 31, монтаж – 1060, що виходить за межі обмежень.

Працюємо з трьома першими елементами.

5. Перебираємо вісім комбінацій цих трьох відсортованих елементів (000.111) і додаємо наступні, поки сума не перевищить обмеження:

- 1) 000: кабель – 0, комп'ютери – 0, монтаж – 0:

– додаємо четвертий елемент: кабель – 100, комп'ютери – 10, монтаж – 500, і вводимо в комбінацію;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 200, комп'ютери – 23, монтаж – 700, і вводимо в комбінацію;

– додаємо шостий елемент: кабель – 215, комп'ютери – 24, монтаж – 750, і вводимо в комбінацію;

– додаємо сьомий елемент: кабель – 285, комп'ютери – 29, монтаж – 850, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Таким чином, код комбінації становить 0001110000 або 1100000001 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.52;

2) 001: кабель – 20, комп'ютери – 7, монтаж – 100:

– додаємо четвертий елемент: кабель – 120, комп'ютери – 17, монтаж – 600;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 220, комп'ютери – 30, монтаж – 800, і вводимо в комбінацію;

– додаємо шостий елемент: кабель – 235, комп'ютери – 31, монтаж – 850, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Таким чином, код комбінації становить 0011100000 або 1100001000 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.6;

3) 010: кабель – 10, комп'ютери – 4, монтаж – 60:

– додаємо четвертий елемент: кабель – 110, комп'ютери – 14, монтаж – 560, і вводимо в комбінацію;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 210, комп'ютери – 27, монтаж – 760, і вводимо в комбінацію;

– додаємо шостий елемент: кабель – 225, комп'ютери – 28, монтаж – 810, і вводимо в комбінацію;

– додаємо сьомий елемент: кабель – 295, комп'ютери – 33, монтаж – 910, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Тут код комбінації становить 01011100000 або 1100010001 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.57;

4) 100: кабель – 20, комп'ютери – 10, монтаж – 400:

– додаємо четвертий елемент: кабель – 120, комп'ютери – 20, монтаж – 900, і вводимо в комбінацію;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 220, комп'ютери – 33, монтаж – 1100, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Тут код комбінації становить 1001000000 або 1010000000 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.45;

5) 110: кабель – 30, комп'ютери – 14, монтаж – 460:  
– додаємо четвертий елемент: кабель – 130, комп'ютери – 24, монтаж – 960, і вводимо в комбінацію;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 230, комп'ютери – 37, монтаж – 1160, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Код комбінації становить 1101000000 або 1010010000 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.5;

6) 011: кабель – 30, комп'ютери – 11, монтаж – 160:  
– додаємо четвертий елемент: кабель – 130, комп'ютери – 21, монтаж – 660, і вводимо в комбінацію;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 230, комп'ютери – 33, монтаж – 860, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Код комбінації становить 0111000000 або 10000110001 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.4;

7) 101: кабель – 40, комп'ютери – 17, монтаж – 500:  
– додаємо четвертий елемент: кабель – 140, комп'ютери – 27, монтаж – 1000, і вводимо в комбінацію;

– додаємо п'ятий елемент: кабель – 240, комп'ютери – 40, монтаж – 1200, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Таким чином, код комбінації становить 1011000000 або 1010001000 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.55;

8) 111: кабель – 50, комп'ютери – 21, монтаж – 560:  
– додаємо четвертий елемент: кабель – 150, комп'ютери – 31, монтаж – 1060, це виходить за межі обмежень, тому його в комбінацію не вводимо.

Таким чином, код комбінації становить 1110000000 або 0010011000 у невідсортованому масиві. Ефективність комбінації – 0.35.

6. З отриманих комбінацій вибираємо комбінацію з найвищою ефективністю. Це є комбінація 1100001000 з ефективністю 0.6. Скористуємося методом, оснований на генетичному алгоритмі. Цей метод містить таку послідовність кроків:

1) розглядаючи попередній приклад, випадковим чином вибираємо чотири комбінації елементів в двійковому коді, що задовольняють початкові обмеження, де кількість одиниць коду відповідає кількості елементів у табл. 4.12.

Наприклад:

0101000010

0110010001

0000110101

0011110110 – це популяція батьків;

2) знаходимо коефіцієнти схрещування особнів для кожного з батьків. Для цього:

– знаходимо ефективність кожної комбінації ( див. табл. 4.12) (підсумовуємо значення ефективності всіх елементів комбінації, відповідних одиницям): 1 – 0.35; 2 – 0.52; 3 – 0.1; 4 – 0.38.

– підсумовуємо значення ефективності всіх батьків: 1.35;

– величину ефективності першого батька ділимо на отриману суму:  $0.35/1.35 = 0.26$ ;

– величину ефективності другого батька ділимо на одержану суму:  $0.52/1.35 = 0.4$ ;

– значення ефективності третього батька ділимо на отриману суму:  $0.1/1.35 = 0.07$ ;

– значення ефективності четвертого батька ділимо на одержану суму:  $0.38/1.35 = 0.28$ .

Таким чином, отримали коефіцієнти схрещування особнів;

3) вибираємо дві пари батьків (причому один й той же батько може входити в обидві пари, коефіцієнт схрещування особнів – вірогідність входження батька в пару):

0110010001

0110010001

0011110110

0101000010;

4) вибираємо випадковим чином в кожній парі точку розриву, яка ділить елементи кожної пари на дві частини:

0110 | 010001

011 | 0010001

0011 | 110110

010 | 1000010;

5) сполучаємо (щодо точки розриву в першій парі) першу частину першого елемента з другою частиною другого, а також і першу частину другого елемента з другою частиною першого. Аналогічні дії виконуємо з другою парою. Таким чином, одержуємо популяцію нащадків:

0110110110

0111000010

0011010001

0100010001;

6) незважаючи на малу вірогідність, припускаємо, що відбулася мутація в одному з нащадків, наприклад в третьому (випадково одиниця змінює своє значення на протилежне). Таким чином, отримуємо остаточну популяцію нащадків:

0110110110

0111100010

0011010001

0100010001;



7) перевіряємо, чи задовольняє кожен з отриманих нащадків дані обмеження, а саме:

– підсумовуємо витрати ресурсів з кількістю елементів першого нащадка, що є відповідними одиниці: кабель – 285, комп'ютери – 33, монтаж – 810. Це виходить за межі обмежень;

– підсумовуємо витрати ресурсів з кількістю елементів другого нащадка, що є відповідними одиниці: кабель – 115, комп'ютери – 20, монтаж – 610. Це задовольняє обмеженням. Ефективність становить 0.34;

– підсумовуємо витрати ресурсів з кількістю елементів третього нащадка, що є відповідними одиницям: кабель – 310, комп'ютери – 32, монтаж – 800. Це виходить за межі обмежень;

– підсумовуємо витрати ресурсів з кількістю елементів четвертого нащадка, що є відповідними одиницям: кабель – 125, комп'ютери – 18, монтаж – 310. Це задовольняє обмеженням. Ефективність становить 0.32;

8) складаємо таблицю популяції всіх елементів (батьків і нащадків), що задовольняють обмеження (табл. 4.13);

9) вибираємо з табл. 4.13 чотири найефективніші комбінації елементів:

0101000010  
0110010001  
0011110110  
0011010001.

Отримано нову популяцію батьків, з якими проводимо ті ж операції, що й з попередніми.

*Таблиця 4.13*

Популяції отриманих елементів

Елементи	Ефективність
0101000010	0.35
0110010001	0.52
0000110101	0.1
0011110110	0.38
0011010001	0.34
0100010001	0.32

10) цей алгоритм повторюємо, доки нові батьки не будуть такими ж, як і попередні.

Після оброблення даних з табл. 4.10 і 4.12 отримано результати, що наведені в табл. 4.14.

Таблиця 4.14

## Результати розрахунку комп'ютерних програм

Алгоритм	Краща комбінація	Ефективність
перебору	11100	0.7
евристичний	1100001000	0.6
генетичний	1100001000	0.6

**Контрольні запитання**

1. Які існують варіанти укрупненої декомпозиції виробничої системи (ВС)?
2. Як можна подати схему декомпозиції ВС на управляючу систему й ту, якою управляють, з виділенням ІУС?
3. Які існують основні етапи системного аналізу ІУС для ВС?
4. Які існують основні методи дослідження інформаційних потоків?
5. Як можна зобразити організаційну структуру ІУС на основі схеми Ф. Котлера, а також її функціональну структуру?
6. Який вигляд має схема зв'язку компонентів ІУС з оточенням й особою, що приймає рішення?
7. Який вигляд має схема основних функцій ІУС?
8. Якими є основні програмні модулі для побудови ІУС?
9. Які існують основні етапи формування й вибору альтернативних варіантів компонентів ІУС?
10. У чому суть ролі й значень табл. 4.3 - 4.8?
11. Які існують основні етапи алгоритму порівняння альтернатив?
12. У чому полягає порівняльне оцінювання критеріїв вибору переважної альтернативи?
13. Які існують основні етапи процедури вибору найкращої альтернативи з використанням коефіцієнта конкордації й критерію Пірсона?
14. Яким є узагальнений алгоритм аналізу й вибору кращої альтернативи?
15. У чому полягають основні випадки взаємодії виробника, постачальника й споживача?
16. Як можна подати ТЗ для визначення алгоритму буквального перебору при виборі компонентів ІУС?
17. Які існують етапи алгоритму вибору компонентів ІУС на основі генетичного пошуку? Поясніть їх.

18. Як пояснити розрахунок корисності й відповідності обмежень за табл. 4.11?

19. Як пояснити зміст елементів (табл. 4.12) і сформулювати спрощений спосіб вибору кращої альтернативи?

20. У чому полягає зміст табл. 4.13, 4.14 як результатів роботи алгоритму вибору кращих компонентів ІУС?

### **Завдання**

1. Проаналізувати укрупнену декомпозицію ВС і зобразити свої варіанти декомпозиції з використанням найпростішої формалізації (див. рис. 4.1, 4.2).

2. Виконати аналіз вибраної ВС і зобразити найпростішу формалізацію методів дослідження інформаційних потоків (див. підрозд. 4.1).

3. Сформулювати критерії ІУС типової структури ВС і дати їм відповідну практичну інтерпретацію (див. підрозд. 4.1).

4. Виконати аналіз основних концепцій технології й відповідних їм базових інтелектуальних систем і підсистем (див. табл. 4.1).

5. Розглянути основні етапи оцінювання й вибору альтернативних варіантів за допомогою табл. 4.2 і рис. 4.2.

6. Виконати розрахунок і вибір перспективних напрямків розвитку підсистеми ІУС, використовуючи свої вхідні дані (див. підрозд. 4.1).

7. Розглянути табл. 4.9 і відповідні формальні подання багатокритеріальних оцінок і дати їм відповідні формальні визначення.

8. Розглянути адитивний і мультиплікативний критерії й показати спосіб їхнього обчислення на числовому прикладі.

9. Розрахувати коефіцієнт конкордації й на основі його числового значення знайти коефіцієнт рангової кореляції.

10. На основі заданих вихідних даних виконати розрахунок вибору кращої альтернативи (див. підрозд. 4.1).

11. Проаналізувати схеми постачальників, виробників і споживачів (див. підрозд. 4.1).

12. Розглянути алгоритм вибору кращої альтернативи (див. підрозд. 4.1) і виконати розрахунок альтернатив методом буквального перебору.

13. Розрахувати кращу альтернативу з такими ж вихідними даними, як у п.12, на основі генетичного алгоритму.

14. Створити програму для вибору кращої альтернативи із застосуванням методу буквального перекладу.

15. Скласти програму для визначення кращої альтернативи на основі генетичного алгоритму.

## **Розділ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗОВНОСТІ ПРОЕКТІВ СТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ**

Проаналізовано ризики, пов'язані зі створенням та інтеграцією компонентів складного управляючого комплексу. Особливу увагу приділено новим компонентам, які мають тривалий життєвий цикл проектування та найбільш високий ризик. Мінімальний вплив на загальний ризик створення управляючого комплексу здійснюють компоненти повторного використання. Для оцінювання реалізованості проекту зі створення складного управляючого комплексу розглядається метод згортання окремих локальних ризиків для розрахунку загального ризику проекту.

### **5.1. Ризики в компонентному проектуванні складних виробів**

У підрозділі вивчається ризикоорієнтований підхід до управління проектами створення СУ складної космічної техніки. При цьому активно застосовуються КПВ, вводиться поняття ризику «нового» й виконується його оцінювання.

При проектуванні складних виробів СУ часто використовуються компоненти, які зарекомендували себе в минулих розробках і тому можуть бути застосовані в нових проектах шляхом адаптації та модифікації. У проектних організаціях створюються команди розроблювачів, які займаються впровадженням КПВ, їх уніфікацією, модифікацією і адаптацією до нових проектів. Очевидно, що ризик, пов'язаний з використанням «нових» (інноваційних) елементів у проектах ІУС (ризик «нового») залежить від того, наскільки ефективно і у якій кількості будуть застосовані «нові» компоненти й КПВ у проекті. У цьому полягає актуальність проблеми аналізу ризику «нового» при побудові СУ на базі КПВ.

Розглянемо ймовірнісний аналіз варіантів СУ, проєктованих на основі КПВ з ризикоорієнтованою оцінкою кожного варіанта.

Компонентно-орієнтований склад СУ, паралелізм й асинхронність при виконанні функціональних задач, універсальність і спеціалізація використовуваних компонентів приводить до того, що виконання функцій окремими компонентами може здійснюватися різноманітними їхніми сполученнями так, що безпосередній аналіз і порівняння варіа-

нтів розроблюваної СУ вручну стає важкодоступним. Тому необхідно досліджувати множину варіантів архітектури СУ, побудованих на основі КПВ та інноваційних компонентів, й оцінювати ризик створення можливих варіантів СУ.

Розглянемо багаторівневу компонентну архітектуру СУ. Припустимо, що визначено число рівнів компонентної архітектури СУ й виконується умова  $r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_Q$ , де  $r_i$  – максимально можлива кількість компонентів  $i$ -го рівня,  $i = \overline{1, Q}$ . На початкових стадіях проектування СУ найчастіше буває відомим можливий склад тільки компонентів найнижчого  $Q$ -го рівня (зазвичай вони в основному є КПВ). Позначимо цей факт так:  $r = n$ , де  $n = |B^Q|$ ,  $B^Q$  – множина вихідних компонентів  $Q$ -го рівня деталізації СУ;

$$\sum_{\mu=1}^{l_Q} P_{\mu Q} = n_Q,$$

де  $P_{\mu Q}$  – кількість компонентів  $\mu$ -го типу  $Q$ -го рівня.

Компоненти  $(Q-1)$ -го рівня утворюються з елементів  $Q$ -го рівня шляхом відображення множини  $B^Q$  в  $R^{Q-1}$ , де  $R^{Q-1}$  – кількість місць (вузлів, блоків) у компонентній архітектурі СУ для компонентів  $(Q-1)$ -го рівня,  $r_{Q-1} = |R^{Q-1}|$ . Множина складів  $(Q-1)$ -го рівня формується шляхом відображень  $B^Q$  в  $R^{Q-1}$ .

Здійснивши процес послідовних відображень множини компонентів  $i$ -го рівня в множині компонентів  $(i-1)$ -го рівня, одержимо архітектурні рішення щодо побудови СУ на всіх рівнях деталізації; є можливим випадок використання готових компонентів не тільки на нижньому  $Q$ -му рівні. Тому необхідно врахувати наявність існуючих компонентів. Для  $i$ -го рівня

$$r_i = r'_i + n_i,$$

де  $n_i$  – кількість готових до використання КПВ  $i$ -го рівня;

$r'_i$  – кількість «складних» компонентів  $i$ -го рівня, які формуються шляхом комплектування «нових» компонентів і КПВ  $i+1, i+2, \dots$  рівнів СУ.

Розглянемо декомпозицію структури СУ. Припустимо, що конфігурація структурних зв'язків між компонентами на кожному рівні деталізації СУ є відомою. Подамо ці зв'язки у вигляді графа  $G^i, i = \overline{1, Q}$ , що є по'єднанням підграфів:

$$G^i = \bigcup_{ji} G_{ji}^i,$$

де  $G_{ji}^i$  –  $j$ -й підграф  $i$ -го рівня.

Задано склад компонентів на  $Q$ -му рівні. Необхідно одержати всі варіанти багаторівневої компонентної структури СУ.

Відобразимо множину елементів  $B^Q$  у множині вершин графа  $G^Q$  таким чином, щоб у кожній вершині графів було по одному елементу множини  $B^Q$ . Множина таких відображень визначає множину варіантів структури  $T^Q$  для  $Q$ -го рівня декомпозиції СУ. В результаті одержимо множину позначених підграфів  $M_{B^Q}$  для кожного варіанта  $t_{B^Q} \in T^Q$ . Далі відобразимо множину вершин графа  $G^{Q-1}$  у множині  $M_{B^Q}$  для всіх  $t_{B^Q}$ . Здійснивши процес послідовних відображень, одержимо всі варіанти багаторівневої структури СУ.

Наявність множин вихідних елементів, з яких конструюються компоненти СУ, є можливою на декількох рівнях деталізації. Тому при відображеннях необхідно враховувати множини позначених підграфів  $M_{B^i}$  і множини вихідних компонентів  $B^i$ , де  $i = \overline{1, Q}$ .

Компонентність складу є обов'язковим атрибутом сучасних СУ. Завдяки компонентності забезпечуються уніфікація та стандартизація розроблення структурних зв'язків, різноманітність архітектур СУ, можливість розширення й перебудови предметних областей використання. Існують всілякі типи компонентів у складі СУ. Тому у разі проектування розроблювач має справу з множиною можливих варіантів СУ. Їх можна отримати за допомогою комбінаторного аналізу компонентної архітектури СУ з використанням основних положень теорії перерахування Пойа та Де Брейна [36].

Припустимо, що багаторівневий склад СУ утворюється на основі об'єднання компонентів у підсистеми (ПС), а ПС – у СУ. Вихідну множину компонентів поділимо на три види:

1. Компоненти повторного використання.
2. Компоненти повторного використання, які необхідно модифікувати і адаптувати в рамках конкретного проекту СУ (МКПВ).
3. Нові компоненти, які необхідно розробити.

На основі думок експертів, а також з урахуванням досвіду створення окремих компонентів оцінюються ризики використання кожного виду компонентів під час створення виробів СУ:

$\alpha_1$  – ризик, пов'язаний із застосуванням КПВ; оскільки він є мінімальним, можна вважати, що  $\alpha_1 \rightarrow 0$ ;

$\alpha_2$  – ризик, пов'язаний з модифікацією КПВ і використанням МКПВ; у цьому випадку можна вважати, що  $0 < \alpha_2 \leq 0,5$ ;

$\alpha_3$  – ризик при створенні й використанні «нових» компонентів; будемо вважати, що він є максимальним:  $0,5 \leq \alpha_3 < 1$ .

Імовірність успішного створення кожного виду компонентів буде відповідно такою:

$$\begin{aligned} P_{\alpha_1} &= 1 - \alpha_1, & (P_{\alpha_1} \rightarrow 1); \\ P_{\alpha_2} &= 1 - \alpha_2, & (0,5 \leq P_{\alpha_2} < 1); \\ P_{\alpha_3} &= 1 - \alpha_3, & (0 < P_{\alpha_3} \leq 0,5). \end{aligned}$$

Імовірність успішного створення  $j$ -ї підсистеми СУ, що складається з  $n_j$  різних компонентів:

$$P_j = P_{j_1} \times P_{j_2} \times \dots \times P_{n_j} = \prod_{k_j=1}^{n_j} P_{k_j},$$

де  $P_{k_j} \in (P_{\alpha_1}, P_{\alpha_2}, P_{\alpha_3})$ ,  $k_j = \overline{1, n_j}$ .

Крім оцінювання ризику використання компонентів різного типу в проекті розглянемо ризик, пов'язаний із процесами інтеграції й комплектування компонентів при створенні кожної  $j$ -ї підсистеми –  $\alpha_{\Sigma j}$ . Очевидно, що його величина залежить від того, наскільки використовуються при створенні СУ різні види компонентів (КПВ, МКПВ, НК), а також від загальної кількості компонентів  $n_j$  у підсистемі. Відповідно ймовірність успішного створення  $j$ -ї ПС буде  $P_{\Sigma j} = 1 - \alpha_{\Sigma j}$ . Тоді ймовірність успішного формування  $j$ -ї ПС СУ, що складається з  $n_j$  модулів, з урахуванням інтеграції й комплектування компонентів матиме вигляд

$$P_j^* = P_{\Sigma j} \times P_j = P_{\Sigma n_j} \prod_{k_j=1}^{n_j} P_{k_j}.$$

Загальна ймовірність успішного створення виробу СУ з  $r$  підсистем з урахуванням їхньої інтеграції й комплектування в систему буде такою:

$$\begin{aligned} P_{СКТ} &= P_{S_r} \times P_1^* \times P_2^* \times \dots \times P_r^* = P_{S_r} P_{\Sigma n_1} \prod_{k_1=1}^{n_1} P_{k_1} \times \\ &\times P_{\Sigma n_2} \prod_{k_2=1}^{n_2} P_{k_2} \times \dots \times P_{\Sigma n_r} \prod_{k_r=1}^{n_r} P_{k_r} = P_{S_r} \prod_{j=1}^r (P_{n_j} \prod_{k_j=1}^{n_j} P_{k_j}), \end{aligned}$$

де  $P_{S_r}$  – ймовірність інтеграції всіх  $r$  ПС у систему.

## 5.2. Дослідження реалізованості проектів створення складних управляючих комплексів

Розглянемо формування архітектури СУ з різних компонентів. Припустимо, що СУ створюється тільки з компонентів одного виду (наприклад КПВ). По'єднаємо компоненти в окремі підсистеми. Число наявних компонентів позначимо  $n$ , а кількість побудованих за допомогою КПВ підсистем –  $r$ . Оскільки застосовують компоненти одного виду (КПВ), є можливою будь-яка їхня перестановка у вихідній множині  $B$ . Кількість таких перестановок –  $n!$ , тому на вихідній множині модулів діє симетрична група  $S_n$ . Множину модулів відобразимо у множині ПС. Припустимо, викликає інтерес тільки склад СУ без урахування зв'язків між окремими ПС. Тому на множині ПС, яку позначимо  $R$ ,  $|R| = r$ , також діє симетрична група  $S_r$ . Максимально можливе число ПС буде у випадку  $n = r$ .

Припустимо, що необхідно знайти всілякі варіанти побудови СУ на основні КПВ. Ця задача еквівалентна задачі розбиття числа  $n$  на не більш ніж  $r$  частин. Тоді число варіантів СУ

$$K = |H_R|^{-1} \sum_{h \in H_R} Z(H_B; \dots; \sum_{j/i} jC_i, \dots) = \\ = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z(S_n; \dots; \sum_{j/i} jC_i, \dots),$$

де  $Z(H_B; \dots)$  – цикловий індекс групи підстановок  $H_B$ .

Для кожного  $i$ -го варіанта СУ, що складається з  $r_i$  підсистем і будується за допомогою КПВ, можна оцінити ймовірність успішного створення системи у вигляді

$$P_{СКТ_i, КПИ} = P_{S_{r_i}} \times P_{1_i}^* \times P_{2_i}^* \times \dots \times P_{r_i}^* = \\ = P_{S_{r_i}} \times P_{\sum n_{1_i}} \times P_{a_1}^{n_{1_i}} \times P_{\sum n_{2_i}} \times P_{a_1}^{n_{2_i}} \times \dots \times P_{\sum n_{r_i}} \times P_{a_1}^{n_{r_i}} = \\ = P_{S_{r_i}} \prod_{k_i=1}^{r_i} P_{\sum n_{k_i}} \times P_{a_1}^{n_{1_i} + n_{2_i} + \dots + n_{r_i}}.$$

За умови  $n_{1_i} + n_{2_i} + \dots + n_{r_i} = n$  при формуванні СУ використовуються всі компоненти. Тому ймовірність створення  $i$ -го варіанта СУ, що складається тільки з компонентів КПВ, має вигляд



$$P_{СКТ_i, КПИ} = P_{S_{r_i}} \prod_{k_i=1}^{n_{r_i}} P_{\sum nk_i} \times P_{a_1}^n.$$

Аналогічно можна одержати ймовірність створення  $i$ -го варіанта СУ, що складається тільки з МКПВ:

$$P_{СКТ_i, МКПИ} = P_{S_{r_i}} \prod_{k_i=1}^{n_{r_i}} P_{\sum nk_i} \times P_{a_2}^n,$$

а також тільки з «нових» модулів

$$P_{СКТ_i, НМ} = P_{S_{r_i}} \prod_{k_i=1}^{n_{r_i}} P_{\sum nk_i} \times P_{a_3}^n.$$

Визначимо кількість варіантів складу СУ при заданому (відомому) числі ПС,  $r \leq n$ . Дія симетричної групи  $S_n$  на множині  $B$  приводить до того, що інтерес викличе тільки кількість компонентів. Тому відображення  $B$  в  $R$  можна замінити відображенням  $R$  у множині  $M = \{1, 2, \dots\}$  з обмеженням

$$\sum_{k \in R} Y(K) = n,$$

де  $Y(K)$  показує, скільки компонентів увійшло в  $K$ -ту ПС (не менше одного).

Додамо елементам множини  $M$  ваги

$$\varpi^1, \varpi^2, \varpi^3, \dots$$

і будемо шукати класи еквівалентності з вагою  $\varpi^n$ :

$$Z(S_r; \varpi + \varpi^2 + \varpi^3 + \dots, \varpi^2 + \varpi^4 + \varpi^6 + \dots, \dots).$$

Необхідно знайти коефіцієнт при  $\varpi^n$  в даному розкладі. Припустимо, що СУ будується з трьох видів компонентів (КПВ, МКПВ, НК). Загальне число компонентів

$$n = \sum_{\mu=1}^3 P_{\mu},$$

де  $P_{\mu}$  – число компонентів  $\mu$ -го типу.

Тоді на вихідній множині компонентів  $B$  діє сума симетричних груп

$$H_B = S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3},$$

а на множині ПС, як і в попередньому випадку, –  $S_r$ .

Припустимо, що необхідно визначити всілякі варіанти побудови

СУ. Тоді згідно з роботою [36]

$$K = |H_R|^{-1} \sum_{h \in H_R} Z(H_B; \dots \sum_{j/i} jC_j) = \\ = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z(S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3}; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots).$$

За цією формулою можна знайти кількість варіантів СУ, що містить  $r$  ПС і менше. Кількість можливих варіантів побудови СУ визначають при заданому числі ПС  $r \leq n$ . За допомогою попередньої формули перераховують варіанти складу СУ, починаючи з  $r$  ПС і закінчуючи однією. Якщо взяти  $r-1$  ПС, то будемо вважати, що число варіантів ПС дорівнюватиме  $r-1, r-2, \dots, 1$ . Тому для визначення кількості варіантів щодо складу СУ з  $r$  ПС необхідно знайти різницю:

$$K = K_r - K_{r-1} = \\ = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z(S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3}; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots) - \\ - \frac{1}{(r-1)!} \sum_{h \in S_{r-1}} Z(S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3}; \dots, \sum_{j/i} jC_j, \dots).$$

Припустимо, що склад кожної  $j$ -ї підсистеми формується з модулів трьох видів (КПВ, МКПВ, НК)

$$n_j = n_{j1} + n_{j2} + n_{j3} = \sum_{j_q=1}^3 n_{j_q},$$

де  $0 \leq n_{j_q} < n_j$ .

Тоді ймовірність успішного створення  $j$ -ї підсистеми без урахування наступного комплектування така:

$$P_j = P_{a_1}^{n_{j1}} \times P_{a_2}^{n_{j2}} \times P_{a_3}^{n_{j3}}.$$

З урахуванням комплектування компонентів в  $j$ -ту ПС

$$P_j^* = P_{\sum n_j} \times P_{a_1}^{n_{j1}} \times P_{a_2}^{n_{j2}} \times P_{a_3}^{n_{j3}}.$$

Для  $i$ -го варіанта СУ, що складається з  $r_i$  підсистем і будується на основі різних компонентів, ймовірність успішної реалізації проекту

$$P_{СКТ_i} = P_{S_{r_i}} \times P_{\sum n_{i1}} \times P_{a_1}^{n_{i1,j1}} \times P_{a_2}^{n_{i1,j2}} \times P_{a_3}^{n_{i1,j3}} \times \\ \times P_{\sum n_{i2}} \times P_{a_1}^{n_{i2,j1}} \times P_{a_2}^{n_{i2,j2}} \times P_{a_3}^{n_{i2,j3}} \times \dots$$

$$\begin{aligned}
& \times P_{\sum n_{r_i}} \times P_{a_1}^{n_r, j_1} \times P_{a_2}^{n_r, j_2} \times P_{a_3}^{n_r, j_3} = \\
& = P_{S_{r_i}} \prod_{k_i=1}^{n_{r_i}} P_{\sum n k_i} \times P_{a_1}^{n_1, j_1 + n_2, j_1 + \dots + n_r, j_1} \times \\
& \times P_{a_2}^{n_1, j_2 + n_2, j_2 + \dots + n_r, j_2} \times P_{a_3}^{n_1, j_3 + n_2, j_3 + \dots + n_r, j_3} .
\end{aligned}$$

Розглянутий метод оцінювання ймовірності успішної реалізації проекту доцільно застосовувати при управлінні проектами розроблення складних ІУС, коли розроблювачі застосовують компонентний підхід й активно використовують попередній досвід минулих розробок у вигляді компонентів повторного використання.

### Контрольні запитання

1. Звідки виникають ризики проекту, пов'язані зі створенням компонентів ІУС?
2. Який діапазон ризиків існує залежно від типу компонентів ІУС?
3. Чи можна мінімізувати ризики, використовуючи в проекті тільки КПВ?
4. Чи можна при створенні нової ІУС застосовувати тільки досвід минулих розробок?

### Завдання

1. Описати ймовірність успішного створення компонентів ІУС.
2. Проаналізувати загальну ймовірність успішного створення окремої підсистеми ІУС.
3. Описати ймовірність успішної реалізації проекту ІУС з використанням компонентного підходу.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Денисов А.А. Теория больших систем управления / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
2. Сергеев Л.Е. Три основных принципа для построения компонентно-ориентированного каркаса приложения / Л.Е. Сергеев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 50 – 53.
3. Петров Э.Г. Методология структурного системного анализа и проектирования крупномасштабных ИУС / Э.Г. Петров, С. И. Чайников, А.О. Овезгельдыев. – Х.: Рубикон, 1997. – 140 с.
4. Жолткевич Г.Н. Многовариантный анализ интегрированной компонентно-ориентированной информационной технологии создания автоматизированной системы управления / Г.Н. Жолткевич, Л.Е. Сергеев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2003. – № 4. – С. 189 – 192.
5. Жолткевич Г.Н. Многоуровневые структуры компонентных архитектур программного обеспечения / Г.Н. Жолткевич, Л.Е. Сергеев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 6. – С. 69 – 74.
6. Жолткевич Г.Н. Формальная модель процесса компонентной разработки семейств программных продуктов / Г.Н. Жолткевич, Л.Е. Сергеев, Т.В. Семенова // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України. – Вип. 19. – К., 2003. – С. 103 – 107.
7. Жолткевич Г.Н. Модели оптимизации многоуровневой архитектуры компонентно-ориентированного программного обеспечения / Г.Н. Жолткевич, Л.Е. Сергеев // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України. – Вип. 22. – К., 2003. – С. 93 – 98.
8. Сергеев Л.Е. Сравнительный анализ моделей разработки программного обеспечения с точки зрения соответствия компонентно-ориентированным линиям программных продуктов / Л.Е. Сергеев // Вісн. Харк. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Сер. Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – 2003. – Вип. 2. – С. 126 – 131.
9. Sergeev L. Organizational model and release strategy of a component based development / L. Sergeev // Вестник Херсон. гос. техн. ун-та: материалы V Междунар. конф. по математическому моделированию (МКММ'2002). – 2002. – Вып. 2(15). – С. 419 – 425.
10. Brown A. Large Scale, Component-Based Development/ A. Brown // Prentice Hall. – 2000. – 285 p.

11. Szyperski C. Component Software beyond Object-Oriented Programming/ C Szyperski //Addison Wesley Longman. – 1999. – 410 p.

12. Рожнов А.М. Про можливості MSF-підходу до проектування архітектур застосувань / А.М. Рожнов // Проблемы программирования. – 2002. – № 1-2. – С. 42 – 50.

13. Липаев В.В. Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем/ В.В. Липаев. - М.: СИНТЕГ, 2002. – 258 с.

14. Ткачук Н.В. Многоуровневая композиционная схема моделирования и оценки компонентных программных решений/ Н.В. Ткачук, С.В. Полковников, Захер Аль-Хассание / Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ». – 2006. – № 4. – С. 93 – 99.

15. Bachmann F. Volume II: Technical Concepts of Component-Based Software Engineering/ F. Bachmann, L Bass, C Buhman – Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA, CMU/SEI-2000-TR-008. – 2000. – P. 65 – 70.

16. Коберн А. Современные методы описания функциональных требований к системам / А. Коберн. – М.: Лори, 2002. – 263 с.

17. Ткачук Н.В. Технология эволюционного прототипирования компонентных программных решений для информационно-управляющих систем / Н.В. Ткачук, А.П. Земляной, Р.А. Гамзаев // Системный анализ и информационные технологии: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. 15-19 мая 2007 г. – К., 2007. – С. 16 – 18.

18. Смит К. Эффективные решения: практ. руководство по созданию гибкого и масштабируемого программного обеспечения: пер. с англ./ К. Смит, Л. Уильямс. – М.: Вильямс, 2003. – 448 с.

19. Smith C.U. Performance Solutions: A Practical Guide to Creating Responsive, Scalable Software / C.U. Smith, L. Williams. – Addison-Wesley. – 2001. – 286 p.

20. Клиланд Д. Системный анализ и целевое управление / Д. Клиланд, В. Кинг. – М.: Сов. радио, 1974. –279 с.

21. Web-Based Information Systems for Technological Process Control: Architectural Framework and Software Solutions / M. V. Tkachuk, H.C. Mayr, D.V. Kuklenko, K. M. Shchekotykhin // Проблемы программирования. – 2002. – №1-2 (спец. выпуск). – С. 317 – 325.

22. Грищенко В.Н. Компонентно-ориентированное программирование. Состояние направления и перспективы развития/ В.Н. Грищенко, Е.М. Лаврищева // Проблемы программирования. – 2002. – № 1-2. – С. 80 – 90.

23. Oses N. Component-based Simulation / N. Oses, M. Pidd, R.J. Brooks // In Proc. of the Simulation Study Group Two-day Workshop,

20-21 March 2002. – Birmingham, 2002. – P. 122–131.

24. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1978. – 312 с.

25. Гуд Г.Х. Системотехника: Введение в проектирование больших систем / Г.Х. Гуд, Р.Э. Маккол. – М.: Сов. радио, 1962. – 383 с.

26. Николайчук В. Е. Транспортно-складская логистика: учеб. пособие / В. Е. Николайчук. – М.: Дашков и Ко, 2005. – 452 с.

27. Ткачук Н.В. Комплекс имитационных моделей для исследования компонентных программных решений в ИУС АСУ ТП / Н.В. Ткачук, А.В. Горелый, А.А. Земляной // Вісн. НТУ «ХПІ». – 2004. – №18. – С.145 –152.

28. Маккинли Ф. Композиционная адаптация программ / Ф. Маккинли, Э. Кастен, Б. Ченг // Открытые системы. – 2004. – №9. – С. 81 – 87.

29. Ballou R.H. Business Logistics Management / R.H. Ballou – Third Edition. – Prentice-Hall International, Inc., 1993. – 211 p.

30. Технология системного моделирования / под ред. С.В. Емельянова и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520 с.

31. Алдохин И.П. Моделирование работы сложных производственных систем / И.П. Алдохин. – Х.: Вища школа, 1971. – 144 с.

32. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении: учеб. пособие / Т.А. Альперович, В.В. Баранов, А.Н. Давыдов и др.; под. ред. Б.И. Черпакова. – М.: ВИМИ, 1999. – 512 с.

33. Мазур И.И. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.

34. Клиффорд Ф. Грейк. Управление проектами: практ. руководство; пер. с англ./ Ф. Грейк Клиффорд, Эрик У. Ларсон. – М.: Дело и Сервис, 2003. – 528 с.

35. Баронов В.В. Автоматизация управления предприятием / В.В. Баронов. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 239 с.

36. Петров Э.Г. Формирование функций полезности частных критериев в задачах многокритериального оценивания / Э.Г. Петров, В.В. Бескорвайный, В.П. Пискалова // Радиоэлектроника и информатика. – 1986. –№1. – С. 71–73.

37. Харрари Ф. Теория графов: пер. с англ. / Ф. Харрари. – М.: Мир, 1973. – 300 с.

38. Пойа Д. Комбинаторные вычисления для групп, графов и химических соединений: пер. с англ. / Д. Пойа // Перечислительные задачи комбинаторного анализа: сб. переводов; под ред.

Г.П. Гаврилова. – М.: Мир, 1979. – С. 36–139.

39. Беккенбах Э. Прикладная комбинаторная математика / Э. Беккенбах. – М.: Мир, 1978. – 360 с.

40. Де Брейн Н. Обзор обобщенной перечислительной теории Пойа: пер. с англ. // Перечислительные задачи комбинаторного анализа: сб. переводов. – М.: Мир, 1979. – С. 229–256.

41. Емельянов А.А. Имитационное моделирование в управлении рисками / А.А. Емельянов. – Спб.: Инжеком, 2000. – 376 с.

42. Клейнер Г.Б. Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегии, безопасность / Г.Б. Клейнер, В.Л. Тамбовцев, Р.М. Качалов. – М.: Экономика, 1997. – 288 с.

43. Дубров А.М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе / А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталева. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 448 с.

44. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе / В.И. Сергеев. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 608 с.

45. Неруш Ю.М. Логистика: учеб. для вузов / Ю.М. Неруш. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАТА, 2000. – 389 с.

46. Основы логистики: учеб. пособие / под ред. Л. Б. Миротина и В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 200 с.

47. Кальченко А.Г. Основы логистики: учеб. пособие / А.Г. Кальченко. – К.: Знания, 1999. – 135 с.

48. Гаджинский А.М. Практикум по логистике / А.М. Гаджинский. – М.: Маркетинг, 1999. – 128 с.

49. Окландер М.А. Контуры экономической логистики / М.А. Окландер. – К.: Наук. думка, 2000. – 176 с.

50. Некрасов А.Г. Основные положения устойчивости промышленных логистических цепочек / А.Г. Некрасов // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №4. – С. 74 – 77.

51. Бром А.Е. Теоретические аспекты кибернетического подхода к моделированию логистической системы управления предприятием / А.Е. Бром // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №7. – С. 62 – 68.

52. Ташбаев Ы.Э. Подход к моделированию распределительного центра. Анализ логистических затрат. Методы оптимизации / Ы.Э. Ташбаев, А.Л. Миронов // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №9. – С. 53 – 60.

53. Newell G.F. Traffic Flow on Transportation networks / G.F. Newell. – MIT Press, Cambridge, Mass, 1980. – 345 p.

54. Eilon S. Distribution Management: Mathematical Modeling and Practical Analysis / S. Eilon. – New York: Hafner, 1988. – 284 p.

55. Карцева Е.Г. Создание логистико-ориентированной модели

финансового управления инновационной деятельностью промышленного предприятия в условиях постоянных внешних изменений / Е.Г. Карцева // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №8. – С. 64 – 68.

56. Экономическая стратегия фирмы / под ред. А.В. Градова. – 2-е изд. – Спб.: Спец. литература, 1999. – 260 с.

57. Mooze J.F. The death of Competition / J.F. Mooze. –New york: Harper Business, 1995. – P.14 – 15.

58. Бром А.Е. Разработка экономико-математической модели системы управления сбытом готовой продукции на промышленном предприятии / А.Е. Бром //Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №12. – С. 45 – 51.

59. Канчавели А.Д. Организационно-экономическое моделирование обеспечения надёжности производственно-коммерческих систем / А.Д. Канчавели // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – №6. – С. 61 – 66.

60. Омельченко И.Н. Виды стратегических альянсов и их роль в развитии международной деятельности предприятий / И.Н. Омельченко, Е.Ю. Дроздова // Наука и промышленность России. – 2001. – №2(46).– С.58 – 65.

61. Промышленная логистика. Логистико-ориентированное управление организационно-экономической устойчивостью промышленных предприятий в рыночной среде / И.Н. Омельченко, А.А. Колобов, А.Ю. Ермаков и др.; под ред. А.А. Колобова. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. –204 с.

62. Демченко О.Ф. Исследование предприятия как системы одноканальных подсистем массового обслуживания с «чистым» ожиданием / О.Ф. Демченко // Полёт. – 2003. –№11.– С. 35 – 41.

63. Кучеров В.П. Разработка высокоэффективной системы технологической подготовки серийного производства самолётов на основе современных информационных технологий / В.П. Кучеров, З.З. Шамсиев // Полёт. – 2001. – №12. – С. 39 – 44.

64. Горевич Б.Н. Методический подход к проектированию технических систем с иерархической ветвящейся структурой / Б.Н. Горевич // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2003. – №2.– С. 126 – 133.

65. Краснощеков П.С. Иерархические схемы проектирования и декомпозиционные численные методы / П.С. Краснощеков, В.В. Морозов, Н.М. Попов// Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2001. – №5. С. 50 – 57.

66. Автоматизация поискового конструирования / А.И. Половинкин, Н.К. Бобков, Г.Я. Буш и др.; под ред.



А.И Половинкина. – М.: Радио и связь, 1981. – 360 с.

67. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 402 с.

68. Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы / Ю.А. Дубов, С.И. Травкин, В.Н. Якимец. – М.: Наука, 1986. – 500 с.

69. Андрейчиков А.В. Модели и системы стратегического прогнозирования и планирования для плохо формализованных СТЭП-систем / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – №6. – С. 72 – 77.

70. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / В.М. Курейчик. – Таганрог: ТРТУ, 1998. – 180 с.

71. Поспелов Д.А. Многоагентные системы – настоящее и будущее / Д.А. Поспелов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – №1. – С.14 – 21.

72. Коршунова Е.Д. Модель иерархии жизненных циклов и её место в системе адаптивного организационного развития предприятия / Е.Д. Коршунова // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №3. – С. 67 – 72.

73. Братухин А.Г. Интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла авиационно-космической техники на принципах CALS / А.Г. Братухин, В.И. Дмитриев // Полет. – 2001. – №3. – С. 34 – 44.

74. Создание высокоэффективной авиационной техники на принципах CALS на всех этапах её жизненного цикла / А.Г. Братухин, И.С. Шевчук, Г.И. Коротнев, В.А. Братухин // Полёт. – 2001. – №8. – С. 10 – 15.

75. Братухин А.Г. Система интегрированной логистической поддержки авиационной техники на основе CALS-технологий / А.Г. Братухин // Вестн. авиации и космонавтики. – 2000. – №2. – С. 8 – 13.

76. Гуцин В.М. Информационно-компьютерная технология разработок – новое направление широкого внедрения вычислительной техники в научные исследования и проектно-конструкторские работы / В.М. Гуцин // Полёт. – №1. – 2003. – С. 10 – 16.

77. Сидельников С.А. Организационные формы и методы интеграции промышленных предприятий / С.А. Сидельников // Изв. вузов. Машиностроение. – 2004. – №3. – С. 65 – 73.

78. Коршунова Е.Д. Концептуальные основы адаптивного организационного развития промышленного предприятия / Е.Д. Коршунова // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №1. – С. 63 – 73.

79. Ташбаев Ы.Э. Метод многокритериального решения задачи синтеза системы сервиса / Ы.Э. Ташбаев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №7. – С. 55 – 61.

80. Ташбаев Ы.Э. Метод модульного синтеза системы сервиса / Ы.Э. Ташбаев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №8. – С. 56 – 63.

81. Андрейчиков А.В. Автоматизированная информационная технология для поддержки процесса выбора экономически перспективных технических решений / А.В. Андрейчиков, Р.М. Бахмудов, Д.Е. Декатов // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №4. – С. 16 – 19.

82. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

83. Андрейчикова О.Н. Программная система для формирования и выбора коллективных решений/ О.Н. Андрейчикова, Н.В. Попов // Изв. вузов. Машиностроение.– 2003.– №6.– С. 43 – 58.

84. Андрейчикова О.Н. Новый подход к проблеме коллективного выбора на базе удовлетворения взаимных требований сторон / О.Н. Андрейчикова // Программные продукты и системы.– 2001.– №3.– С. 24 – 27.

85. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные системы для поддержки концептуального проектирования / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова // Искусственный интеллект в XXI веке. – 2001. – Т.2. – С. 719 – 729.

86. Андрейчиков А.В. Автоматизированная система морфологического синтеза технических решений с использованием критериев экономической эффективности / А.В. Андрейчиков, Д.Е. Декатов, С.Ю. Кузнецов // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №5. – С. 23 – 25.

87. Андрейчиков А.В. Применение методов теории нечетких множеств в анализе деятельности предприятия / А.В. Андрейчиков, Д.П. Валенцев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №1. – С. 57 – 73.

88. Голубков Е.П. Использование системного анализа в принятии плановых решений/ Е.П. Голубков. – М.: Экономика, 1982. – 161 с.

89. Поварова В.С. Экспертная система принятия управленческого решения / В.С. Поварова // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №8. – С. 51 – 55.

90. Колобов А.А. Стратегическое управление организационно-экономической устойчивостью фирмы: логистико-ориентированное

проектирование бизнеса/ А.А. Колобов, И.Н. Омельченко. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 600 с.

91. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике / Ю.Ф. Тельнов. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 216 с.

92. Андрейчиков А.В. Интеллектуальный метод синтеза технологических инноваций / А.В. Андрейчиков // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №10. – С. 47 – 62.

93. Андрейчиков А.В. Многокритериальный выбор рациональных инновационных решений методом аналитических сетей / А.В. Андрейчиков // Изв. вузов. Машиностроение. – 2003. – №11. – С. 65 – 75.

94. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий/ Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 311 с.

95. Андрейчиков А.В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение. – 1998. – 487 с.

96. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей/ А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

97. Борисов А.Н. Диалоговые системы принятия решений на базе миниЭВМ: информационное, математическое и программное обеспечение / А.Н. Борисов, Э.Р. Вилюмс, Л.Я. Сукур. – Рига: Зинатне, 1986. – 196 с.

98. Ларичев О.Н. Количественный и вербальный анализ решений: сравнительное исследование возможностей и ограничений / О.Н. Ларичев, Р. Браун // Экономика и математические методы. – 1998. – Т. 34. – Вып. 4. – С. 97–107.

99. Saaty Thomas L. Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytic Network Process/ Thomas L. Saaty. – Pittsburgh: RWS Publications, 2001. – 376 p.

100. Норенков И.П. Генетический метод структурного синтеза на альтернативных деревьях / И.П. Норенков, Н.Э. Бауман // Информационные технологии. – 1996. – №1. – С. 22 – 25.

101. Норенков И.Н. Системы автоматизированного проектирования / И.Н. Норенков // Соч. в 9 кн. – М.: Высш. шк., 1986.– Кн. 1: Принципы построения структур.– 127с.

102. Капустян В.М. Конструктору о конструировании атомной техники / В.М. Капустян, Ю.А. Махотенко. – М.: Атомиздат, 1981. – 190 с.

103. Handbook of genetic algorithms / Ed. By L. Davis. – New York: Van Nonstrand Reinhold, 1991. – 384 p.

104. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстрема-

льных задач/ Д.И. Батищев. – Воронеж: ВГТУ, 1992.– 69 с.

105. Магидов Э.А. Некоторые проблемы проектирования сложных систем на базе новой информационной технологии / Э.А. Магидов // Конверсия в машиностроении. – 2004.– №1.– С. 15 – 19.

106. Аншаков Г.П. Корпоративная информационная сеть управления разработками космической техники в ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» / Г.П. Аншаков, А.В. Соллогуб, А.Н. Сергеев // Полёт. – 2003. – №2. – С. 26 – 30.

107. Ткачук Н.В. Перспективная архитектура и информационные технологии для разработки Internet-базированных информационно-управляющих систем АСУ ТП / Н.В. Ткачук // Управляющие системы и машины.– 2003.– №3.– С. 77 – 83.

108. Компьютерные системы управления предприятием / В.И. Кулибаба, А.А. Снигирёв, Д.В. Сосырев и др. // Приборы и системы управления.– 1999.– №8.– С. 12 – 17.

109. Колодяжний В.В. Комплексна автоматизація – стратегія майбутнього нафтогазової промисловості / В.В. Колодяжний, В.П. Соловей // Нафтова та газова промисловість. – 2000. – №3. – С. 54 – 55.

110. Тенденции развития современных корпоративных информационных систем / В.И. Выжимов, В.И. Кулибаба, А.А. Снигирев и др. // Приборы и системы управления. – 1999. – №8. – С. 17 – 20.

111. Николаев А.А. Вопросы построения распределённых информационных систем / А.А. Николаев // Приборы и системы управления. – 1995. – №8. – С. 20 – 22.

112. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа / В.Н. Спицнадель. – СПб.: Бизнес-пресса, 2000. – 326 с.

113. Модин А.А. Справочник разработчика АСУ/ А.А. Модин.– 2–е изд., перераб.и доп. – М.: Экономика, 1978.– 368 с.

114. Миротин Л.Б. Системный анализ в логистике/ Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев.– М.: Экзамен, 2002.– 480 с.

115. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику: учеб. пособие/ С.В. Яблонский.– М.: Наука, 1986.– 384 с.

116. Горбатов В.А. Основы дискретной математики: учеб. пособие для вузов/ В.А. Горбатов.– М.: Высш. шк, 1986.– 341 с.

117. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов / Ф.А. Новиков.– СПб.: Питер, 2001.– 304 с.

118. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: пер. с англ./ Н. Кристофидес; под ред. Г.П. Гаврилова. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

119. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера/ О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат,

1988. – 480 с.

120. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями/ Л. Клейнрок.– М.: Мир, 1979.– 300 с.

121. Системный анализ в экономике и организации производства / под ред. С.А. Валуева и В.Н. Волковой .–Л.: Политехника, 1991.– 398 с.

122. Котлер Ф. Управление маркетингом / Ф. Котлер.– М.: Экономика, 1980.– 532 с.

123. Системный анализ и структуры управления / под общ. ред. В.Г. Шорина.– М.: Знание, 1975. – 304 с.

124. Семенов А.И. Логистика. Основы теории/ А.И. Семенов, В.И. Сергеев. – СПб.: Союз, 2001.– 544 с.

125. Бауэрсокс Дональд Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок: пер. с англ. / Дональд Дж. Бауэрсокс, Дэвид Дж. Клосс.– М.: Олимп- Бизнес, 2001.– 640 с.

126. Современная логистика: пер. с англ. / Джеймс Джонсон, Дональд Вуд, Ворулоу Ф. и др.– М.: Вильямс, 2002.– 624 с.

127. Логистика: учеб. / под ред. Б.А. Аникина. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: ИНФРА-М, 2002. – 368 с.

128. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и её применение/ Т.Л. Саати. – М.: Сов. радио, 1971. – 520 с.

129. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель.– М.: Физматгиз, 1965. – 576 с.

130. Голенко Д.И. Статистические методы сетевого планирования и управления/ Д.И. Голенко.– М.: Наука, 1968. – 400 с.

131. Первозванский А.А. Математические модели управления производством/ А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 616 с.

132. Первозванский А.А. Канбан-система как система управления производством с обратной связью / А.А. Первозванский, И.Е. Шейнис// Техническая кибернетика. – 1993. – №2. – С. 209 – 214.

133. Организационно-технологическое проектирование ГПС /под ред. С.П. Митрофанова. – Л.: Машиностроение, 1986. – 296 с.

134. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем/ А.В. Назаров, А.И. Лоскутов. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.

135. Окунев Ю.Б. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи/ Ю.Б. Окунев, В.Г. Плотников. – М.: Связь, 1976. – 184 с.

136. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

137. Сергеев В.И. Интеллектуальная поддержка бизнес-процесса создания логистической системы / В. И. Сергеев // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – №2. – С. 20 – 23.

Навчальне видання

Федорович Олег Євгенович  
Попов Андрій В'ячеславович  
Западня Ксенія Олегівна  
Сергєєва Юлія Ігорівна

КОМПОНЕНТНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

Редактор В.М. Коваль

Зв. план, 2009

Підписано до друку 09.12.2009

Формат 60x84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 6,6. Обл.-вид. арк. 7,37.

Наклад 100 прим. Замовлення 426. Ціна вільна

---

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

[izdat@khai.edu](mailto:izdat@khai.edu)