

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ ТА ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет МТЗ

КУРС ЛЕКЦІЙ

(проект)

по спеціалізованому курсу з оцінки ефективності інженерних рішень

для спеціалістів за напрямком

0914 “Комп’ютеризовані системи, автоматика та управління” з урахуванням
професійної орієнтації на спеціальність “

денної та заочної форм навчання

доцент кафедри економіки підприємства,

к.е.н. Власенко В.В.

Харків-2008

Зміст

Лекція 1. Загальні положення теорії ефективності

Лекція 2. Загальний алгоритм процесу розробки технічних систем та стадії їх

життєвого циклу

Лекція 3. Організація експлуатації технічних систем

Лекція 4. Основні та специфічні показники якості інженерних рішень

Лекція 5. Методи визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості інженерних рішень

Лекція 6. Визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості інженерних рішень методом експертних оцінок

Лекція 7. Визначення вартості інженерних рішень

Лекція 8. Визначення витрат на модернізацію з урахуванням режимів експлуатації системи

Лекція 9. Методика розрахунку оцінок ефективності інженерних рішень

Список літератури

Лекція 1. Загальні положення теорії ефективності

Більшість реальних процесів, тобто процесів додаючих якість продукту природним чином або згідно вже відомому і вживаному технологічному циклу, протікає згідно евристичеським законам розвитку і має наступні основні стадії життєвого циклу: зародження, зростання, уповільнення, спад і загасання (вимирання). Якщо представити будь-який природний процес, тобто самостійний процес, що характеризується конкретними властивостями цілісності, диференціація, емерджентності і т.п., що описують його як самодостатню систему, що розвивається абстраговано від дії зовнішніх чинників і ізольований від інших зовнішніх процесів, за умови деякої визначеності протікання внутрішніх процесів, то результативність її функціонування з часом пройде наступний цикл: спад, зростання, пік, спад і загасання прагнуче до нескінченності наближеної до 0. В подібній системі (процесі) еластичність і хід протікання процесу визначається взаємодією внутрішніх елементів, а величини результативності приречені певним чином і без зовнішньої управляючої дії їх зміни неможливі, відповідно подібна система характеризується однонаправленою.

Подібна поведінка системи описується фізиком-теоретиком Р.Клаузіусом ще в 1865 р. і називається ентропією системи – міру деградації якої-небудь системи: «Природною поведінкою будь-якої системи є збільшення ентропії».

Проте суть даної концепції спочатку відносилася до технічних систем (фізична ентропія), які достатньо прості, бо є однонаправленим процесом: якщо ентропія має тенденцію до зростання, то система втрачає інформацію і деградує, а її результативність прагне до нуля. Більш того, фізичні системи описуються конкретними результативними чинниками, залежними від обмеженої кількості впливаючих чинників. Вживання висловленої концепції до систем нетехнічного рівня, яким спочатку властиво безліч різноманітності елементів складових її і процесів її що описують, значно ускладнює трактування її ества.

Сформульована І.Прігожіним теорія диссипативних структур, заснована на теорії В.М. Глушкова, згідно якої фундаментальне ество природи представляється у вигляді усюдисущої інформації, затверджує, що протікання будь-якого процесу, як якась інформація, є набором окремих подій з певною мірою невизначеності, тобто ентропії конкретної події або забезпеченості інформацією про протікання тієї або іншої події певною мірою. З чого виходить висновок: щоб система не деградувала, необхідно внести в неї додаткову

інформацію (негентропію). Негентропія – це деякий, спочатку локальний стан порушення стійкості процесу зростання ентропії в певним чином структурованій матерії (інформаційній структурі), що приводить до лавиноподібного процесу зменшення ентропії, отже, ентропія системи – міра дезорганізації, а інформація є міра організованості. Таким чином, всякий раз, коли в результаті нагляду (вивчення) система одержує яку-небудь інформацію, ентропія цієї системи зменшується, а ентропія джерела інформації збільшується.

Отже, кількість інформації

У даному зв'язку простежується певний парадокс. З одного боку, ніж більш природна, самостійна, система, тобто ізольована від зовнішньої інформації, тим вищий рівень ентропії в даній системі з часом, і, отже, з метою самозбереження вона вимушена сприймати інформацію зовнішнього середовища, а значить взаємодіяти із зовнішніми системами (процесами). З другого боку, у разі перенасиченості системи інформацією ззовні, виникаючої як ентропія або втрата інформації інших зовнішніх систем (процесів), настає, так званий, момент зовнішньої ентропії, при якому дана система усилиє втрату внутрішньої інформації через зміну внутрішніх елементів під впливом зовнішньої інформації, процесів (подій), при цьому збільшуючи власну невизначеність, отже, ще збільшуючи ентропію самої себе. В реальності будь-яка сфера вивчення і процеси (системи) пов'язані з нею існують і функціонують саме за таким парадоксальним принципом. Тому для будь-якої управляючої системи як суб'єкта, що зовні впливає на будь-який процес або систему з метою збільшення рівня результативності останнього, важливим є визначення ступеня впливу зовнішньої і внутрішньої ентропії керованої системи, і тим самим скорочення рівня її невизначеності.

Основна задача або ж основним критерієм при ухваленні управлінського рішення щодо конкретного процесу виступає доведення результативність даного процесу якомога до вищого результату якомога в коротші терміни і збереження їх на найтриваліший період функціонування процесу, для чого необхідно привернути якнайменшу кількість зовнішніх носіїв інформації, а, отже, використовувати якнайменшу кількість ресурсів.

Виходячи із загальної теорії ризиків – ніж менше ресурсів привернуто відповідно до якнайменшої кількості інформації, тим менш ризиковий є подібна система. Проте при цьому і рівень результативності процесу, що описує дану систему, буде низьким.

Зменшення різноманітності елементів системи зменшує невизначеність системи, значить збільшує вірогідність прогнозування даної системи, яка прагне до 1, але при цьому і скорочує кількість інформації в системі, отже зменшує результативність функціонування системи. І навпаки, чим більше в системі різноманітності, тим більше за невизначеність в поведінці даної системи, нижчий ступінь впливу кожного з елементів, відповідно нижча вірогідність прогнозування поведінки кожного з елементів системи (см.формулу 1), складніше управління ними, але кількість інформації в даному випадку має максимальне значення, а значить розвиток системи максимальний, тобто результативність її також максимальна.

$$p = 1/N$$

У загальному вигляді формула ступеня невизначеності системи (ступінь ентропії) або по К.Шеннону абсолютної негентропії, кількості інформації в бітах необхідного для відновлення системи N представлена у формулі 2.

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

де p_i – вірогідність появи деякої події S_i .

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1$$

$$\log_2 p_i \leq 0$$

$$p_i < 1$$

$$p_{(Rf)} = p_i^*$$

$$p_i = \sum_{i=1}^N f_i \left(\frac{1}{N} \right)$$

Відомо, що ефективність встановлюється як співвідношення результатів до витрачених ресурсів, за рахунок яких і були одержані ці результати. Проте, завжди існує можливість збільшити рівень результативності функціонування системи, якщо її ентропія буде подолана в певний відповідний момент часу і направлена на конкретні деградували чинники, що найбільшою мірою впливають на деградацію всієї системи. Більш того, визначення цього моменту,

надає можливість оптимізувати кількість ресурсів, що витрачається, необхідне для подолання ентропії системи, а значить і збільшення результативності її функціонування. Що відповідно збільшує ефективність функціонування системи.

Виходячи з вище висловленого в управлінському аналізі з метою підвищення ефективності управління системою, тобто збільшення результативності функціонування системи Встановлення рівня ентропії системи в цілому і її окремих елементів (безліч впливаючих чинників на результат функціонування системи) на конкретний момент часу моменту.

Ефект прийняття або впровадження рішення визначається як ступінь зміни протікання процесу або його результатів, що змінилися за основним результативним чинником в наслідок прийняття рішення, у певній момент годині від природного протікання процесу або очікуваних результатів. Ефект є статичним показником, що характеризує абсолютну розбіжність протікання зміненого та природного процесу в певній момент годині, та тому обчислюється за модулем. Він не надає характеристики позитивності або негативності подібних змін відносно вхідної інформації (прийнятого рішення) або перспектив розвитку процесу в цілому у майбутньому, отже не дає можливості прогнозувати достатній чи ні був вплив рішення (зовнішньої інформації) для змінення результативності процесу. Тобто він вказує - має вплив така інформація або рішення на природній хід процесу або ні - і все.

Більш інформативним, дозволяючим розглядати вплив рішення на процес у динаміці, що є достатньо характерізуючим зміни результативності процесу під впливом вхідної інформації від прийнятого рішення щодо даного процесу є ефективність. Згідно із загально прийнятим трактуванням

Цей показник представляє собою інтегральний показник взаємодії двох функцій, що описують природній та змінений під впливом прийнятого рішення процесу у часі відносно їх результативності, з урахуванням додаткових параметрів коонкретного моменту впровадження інформації (прийняття рішення) та кінцевої точки розрахунку щодо даного процесу (системі). Графічно цей показник виглядає як площа між двома кривими функцій, що описують зазначені процеси. До того ж, якщо площа утворена ніжче кривої функції, що описує природній або початковий процес, те ефективність рахується як негативна і відповідно із знаком «-», якщо ж вище такої кривої - із знаком «+». Критеріальною величиною показника ефективності вважається величина більше за нуль обчислена у вартовому періоді з моменту прийняття рішення до граничної точки розрахунку по даній системі (процесу). Відповідно у разі

наявності декількох варіантів зміни природнього процесу, найбільш придатним (позитивним) вважається найбільший за абсолютною величиною.

Ефективність змін у статистиці, тобто на момент прийняття рішення, не має позитивного або негативного прийняття, а обчислюється за модулем. А це значить, що на практиці одне і теж рішення може викликати різноспрямовані результати зміни протікання процесу, але ефективність рішення буде виглядати як торба таких відхилень. Якщо провести аналогію, тобто під впливом рішенням розуміти різик певної зміни природнього протікання процесу або його результатів, то слід оцінювати у вигляді наслідків настання цих ризиків не ймовірні результати змінених процесів, а ефект зміни протікання процесу. Сумарна величина ймовірності настання таких ризиків, що враховуються за певним процесом буде дорівнювати одиниці. Отже спроба економістів у ризик-менеджменті врахувати всі різики пов'язані із процесом або рішенням позбавлена сенсу, бо рівень сукупного різіку впливу на результати протікання процесу дорівнюватимуть нулю.

Однак, така характеристика як динамічна ефективність та її похідна динамічна інтенсивність зміни процесу можуть бути і позитивною, і негативною. Більш за ті, якщо розглядати реальний процес, до якого застосоване певне рішення, і воно викликає певні зміни протікання процесу або зміну результатів від очікуваних і сморід стовідсотково не можуть бути зпрогнозовані, те ми маємо типову різикову ситуацію, а таке рішення може призвести до зміни не одного певного процесу, а кількох, і навіть іноді до зміни протікання тихий процесів, що ми не враховуємо. Таким чином, основною проблемою стає які саме процеси можуть бути змінені під впливом певного рішення і які негативні або позитивні наслідки можуть бути від цього. Отже, як наслідок такого аналізу впливу рішення, має виступати розрахунок та подальша оцінка ймовірності настання або зміни таких процесів, а також аналіз ймовірних їх результатів, а не навпаки – оцінка ефективності рішення складається з ймовірних величин результатів ймовірної зміни процесів.

У подібній системі, де можливо надати вічерпній опіс поведінки (зміни) природнього процесу під впливом зовнішньої інформації (прийнятого рішення), значно легше формалізувати саму систему прийняття рішень, а відповідно і оцінку його ефекту.

Таким чином, при оцінці ефективності прийнятого (впровадженого) рішення ми маємо визначити:

- 1) основні результати основного процесу системи, що аналізується, які з огляду на задачі зміни процесу завдяки такого рішення вважаються за визначаючими цей процес або вважаються необхідними для досягнення певних цілей існування системи;
- 2) фактори (параметри), що впливають на зазначені основні результати і на протікання процесу взагалі;
- 3) які процеси системи можуть бути змінені під впливом рішення (окрім основного) або які процеси можуть розпочатися під впливом рішення;
- 4) параметри (фактори), що визначають зміну, появу зазначених процесів;
- 5) які негативні або позитивні наслідки (результати) можуть бути від зміни або появи таких процесів для основного процесу, наскільки останній зміниться за схемою протікання та за результатами. Тобто проводиться розрахунок величині ефекту та ефективності впливу подібних процесів на кінцевий (керуємий) результат основного процесу з моменту впровадження рішення до кінцевої точки розрахунку (тобто не з моменту виникнення та зникнення таких процесів). Сукупність яких є інтегральний показник ефективності, що власно і вказує на загальну ефективність прийнятого рішення стосовно основного визначального процесу системи;

величині ймовірності отримання певних результатів або змін протікання процесів як побічних, так і основного. Відносно змін та результатів основного процесу загальна сукупність цих ймовірностей дорівнює одиниці, а, згідно із теорією ентропії системи, торба результатів нескінченно прямує до нуля. Але процеси можуть бути і як доповнюючі і як взаємовиключаючі, так і різновекторні, і навіть послідовні, тобто коли один процес своїм результатом сприяє виникненню наступного, нового процесу, результат якого також має певний вплив, тому отримання результату за кожним з процесів, що оцінюється, має певну невизначеність. Отже виникає система ризиків з певною вірогідністю їх виникнення при прийнятті рішення відносно процесу, що керується з метою підвищення ефективності аналізованої системи.

ЛЕКЦІЯ №2

Тема 2 Загальний алгоритм процесу розробки технічних систем та стадії життєвого циклу виробу(інженерного рішення)

План лекції

1. Загальні визначення
2. Стадії життєвого циклу виробу(інженерного рішення).
3. Ефективність інженерних рішень

1.Загальні визначення

Під інженерним рішенням (ІР) будемо розуміти частину мехатронного комплексу, що складається з функціонально пов'язаних зразків і призначену для виконання певної функціональної задачі як самостійно, так і в складі комплексу.

Зразок це виріб, що являє собою сукупність складових частин і комплектуючих елементів, об'єднаних загальним конструктивним (схемним) рішенням і призначений для виконання певної задачі як самостійно, так і в складі системи (комплексу). Зразок має умовне позначення.

Виріб - предмет або набір предметів, виготовлених на промисловому підприємстві.

Технічне завдання - нормативно-технічний документ, що містить вимоги до виробу, його виготовлення, контролю, приймання, постачання і т.п.

Макет - виріб, що являє собою спрощене відтворення виробу, що розробляється або його складової частини і призначений для перевірки технічного рішення.

Експериментальний зразок - виріб, виготовлений при проведенні науково-дослідних робіт для перевірки основних технічних рішень, параметрів, характеристик, що підлягають включенню в технічне завдання на розробку виробу.

Дослідний зразок - виріб, виготовлений по розробленій конструкторській документації і технології дослідного виробництва для перевірки його відповідності технічному завданню і правильності прийнятих технічних рішень в ході проведення випробувань.

Головний зразок - виріб, призначений для експлуатації, порядок створення якого аналогічний порядку створення дослідного зразка.

Життєвий цикл - процес послідовної зміни стану зразка даного типу, зумовлений впливом на нього.

2. Стадії життєвого циклу виробу(інженерного рішення)

Будь-який виріб (система) виникає не відразу, а проходить стадії розвитку. Весь період часу від задуму про розробку виробу до моменту зняття з експлуатації останнього примірника цього виробу складає його життєвий цикл. Протягом цього періоду відбувається зміна стану виробу під впливом виконання різних робіт. Різні види робіт проводяться в різних тимчасових і просторових межах, мають різний зміст і матеріально-технічне забезпечення. Таким чином життєвий цикл не є однорідним процесом. Він розділяється на стадії (рис.1) 1, 2, 3, 4, 5.

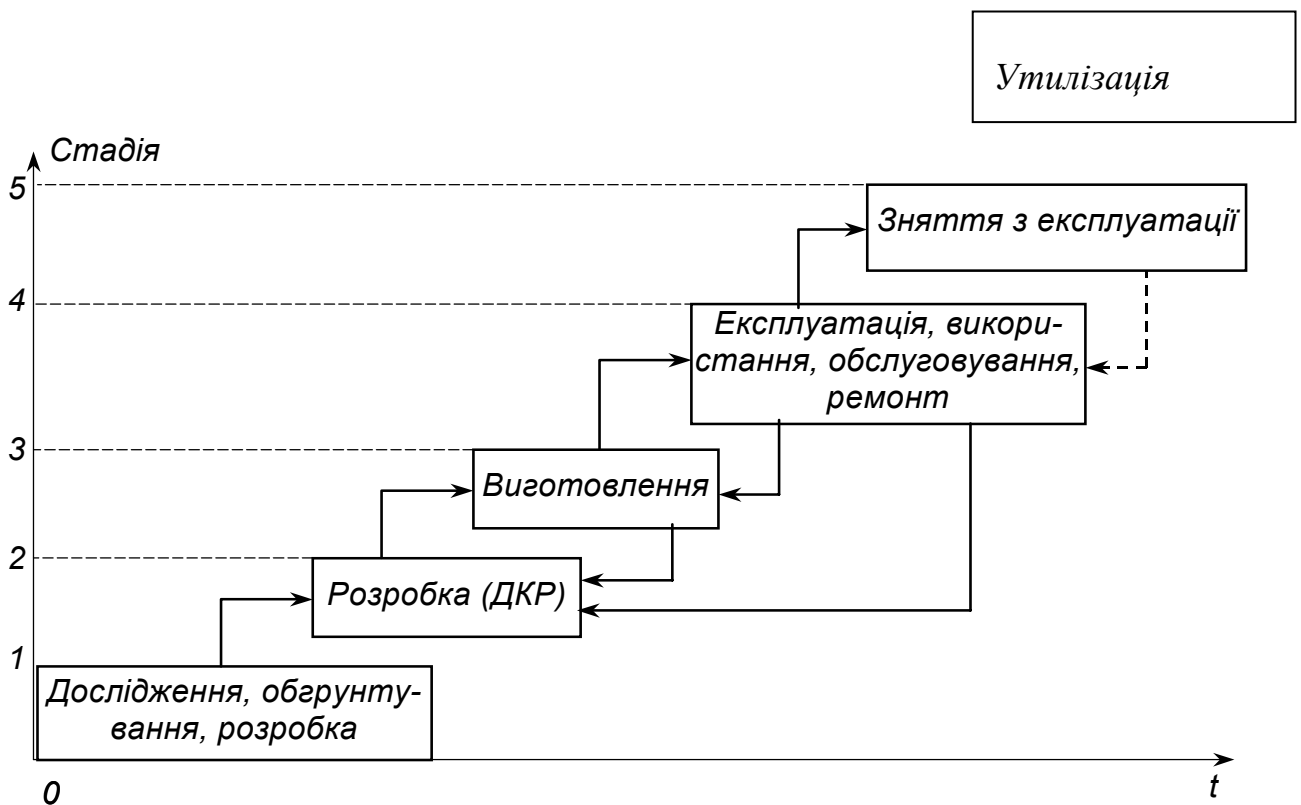


Рисунок – 2.1. Взаємозв'язок стадій життєвого циклу системи

Стадія це частина життєвого циклу, що характеризується певним станом виробу, сукупністю видів передбачених робіт і їх кінцевими результатами.

Структура життєвого циклу (в просторі і часі) формується за послідовно-паралельним принципом реалізації його станів. Виконання подальших стадій може починатися до повного завершення робіт на попередній стадії.

Для типового життєвого циклу виділяють наступні стадії виробу (системи):

- дослідження і обґрунтування розробки;
- розробка;
- виробництво;
- експлуатація;
- зняття з експлуатації.

На стадії «Дослідження і обґрунтування розробки» виконуються наступні роботи:

1) по обґрунтуванню можливості і доцільності створення виробу;

2) по формуванню рівня якості виробу (проекту технічного завдання або технічних пропозицій), відповідного сучасним досягненням науково-технічного прогресу, тенденціям розвитку виробів за даними вітчизняної та зарубіжної інформації;

3) по вишукуванню принципів (методів) створення виробу, відповідного п.2.

На стадії «Розробка» виконуються наступні заходи:

1) розробка робочої конструкторської документації (РКД), технологічної документації (ТД) для виготовлення і випробування дослідного (головного) зразка виробу (або дослідної партії);

2) виготовлення дослідного зразка виробу;

3) проведення попередніх, приймальних (державних, міжвідомчих) випробувань;

4) коректування РКД, ТД і доробка дослідного зразка виробу за результатами приймальних випробувань;

5) затвердження РКД і ТД для організації серійного (масового) виробництва та виготовлення виробів.

На стадії «Виробництво» виконуються наступні заходи:

1) організаційні заходи щодо підготовки виробництва до виготовлення виробів на промисловому підприємстві;

2) виготовлення виробів по РКД і ТД відповідно до планових завдань і з рівнем якості, сформованими на стадії «Розробка»;

3) підвищення якості виробів на основі досвіду (результатів) експлуатації;

4) вдосконалення технології виробництва і конструкції виробу при дотриманні встановлених техніко-економічних показників.

На стадії «Експлуатація» виконуються наступні заходи:

1) введення (приймання) в експлуатацію виробів, що поступили (монтаж, наладка, випробування);

2) приведення виробів у встановлений стан готовності до застосування за призначенням;

3) підтримка виробів у встановленому стані готовності до застосування за призначенням протягом встановлених термінів;

4) застосування виробу за призначенням відповідно до їх функціонального призначення;

5) зберігання виробів в заданому стані і забезпечення збереження протягом встановлених термінів;

6) модернізація (покращення характеристик) виробу в процесі експлуатації;

7) перевезення або переміщення виробів з використанням транспортних засобів.

На стадії «Зняття з експлуатації» морально і фізично застарілі вироби знімаються з експлуатації та утилізуються. Вже на стадії «Дослідження і обґрунтування розробки» повинна бути закладена концепція утилізації виробу.

3.Ефективність інженерних рішень

Мета визначення ефективності системи — оптимізувати систему в процесі розробки(модернізації) або вибрати варіант системи для реалізації, найбільш близький до оптимального за вибраним показником ефективності.

Особливістю складних систем є необхідність їх оцінки за декількома частковими показниками якості: точності, надійності, вартості і т.інш. Відповідно до принципу однозначності, показник ефективності системи в цілому як критерій оптимальності повинен бути представлений у вигляді одного загального показника, що включає всі часткові показники якості, що враховуються. У загальному випадку ефективність впровадження або модернізації системи оцінюється показником

$$E = \frac{D}{C}, \quad (1.1)$$

де D - ефект, тобто величина, що показує доцільність застосування нової системи або модернізації існуючої;

C - витрати на розробку, впровадження і експлуатацію або модернізацію системи.

Теоретично показник ефективності нової системи E враховує всі витрати та доцільність від її введення, витрати суспільної праці, задоволення якісне нових потреб, поліпшення якості продукції і т.інш. Проте не всі ці показники можуть бути виміряні. Тому в промисловості найчастіше користуються поняттям економічної ефективності, яка оцінюється економією витрат суспільної праці. Якщо ефект від впровадження системи може бути визначений в грошовому виразі, то абсолютне значення економічної ефективності, наприклад річний економічний ефект, оцінюється як різниця

$$E = E_{\text{рік}} - E_{\text{н}}C, \quad (1.2)$$

де $E_{\text{рік}}$ — річний приріст прибутку в результаті впровадження нової системи;

E_n — нормативний коефіцієнт капітальних витрат у даній галузі техніки. В цьому випадку ефективність впровадження системи визначається показником економічної ефективності

$$E = E_{\text{рік}} / C, \quad (1.3)$$

Впровадження нової системи (або модернізації існуючої) буде доцільним, якщо фактичний показник економічної ефективності E буде вищий за нормативний коефіцієнт капітальних вкладень E_n , який забезпечується при використанні капітальних вкладень на впровадження вже освоєних в даній галузі систем:

$$E > E_n \quad (1.4)$$

Перевага в реалізації надається варіанту системи, для якого показник економічної ефективності E найбільший в порівнянні зі всіма іншими розробленими варіантами системи (IP). Якщо повний ефект від впровадження нової системи не може бути представлений в грошовому виразі, то використовується поняття техніко-економічної ефективності, яке крім економії витрат суспільної праці враховує вимірювані технічні показники нової системи

$$E = F(y_1, y_2, \dots, y_l, C), \quad (1.5)$$

де y_1, y_2, \dots, y_l - вимірювані технічні показники (часткові показники якості);

l — кількість часткових показників якості, що враховуються.

Витрати C на розробку, впровадження і експлуатацію нової техніки можна розглядати як один з часткових показників якості, тому формулу (1.5) можна записати в загальному вигляді наступним чином

$$E = F(y_1, y_2, \dots, y_n), \quad (1.6)$$

де n — загальна кількість часткових показників якості, що враховуються, включаючи витрати $C = y_n$.

Часткові показники якості залежать від структурних і конструктивних параметрів, які можна змінювати в процесі розробки і впровадження системи:

$$y_i = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad i = (1, n), \quad (1.7)$$

де x_1, x_2, \dots, x_m — структурні і конструктивні параметри системи та її елементів.

Якщо функції φ_i та F відомі, тобто виражені аналітично, то не представляє труднощів визначення показника ефективності E , оскільки параметри x_1, x_2, \dots, x_m відомі для кожного варіанту системи. Саме вони є об'єктами управління при оптимізації системи в процесі її розробки та модернізації, оскільки розробка і модернізація системи зводяться до вибору структури і елементів системи, що забезпечують її максимальну ефективність.

Якщо функція F невідома, іноді обмежуються оцінкою ефективності системи по одному з найбільш важливих часткових показників (наприклад, по y_i), а на інші накладають обмеження, щоб вони не виходили за певні межі

$$E = y_i, \quad (1.7)$$

$$y_{ni} < y < y_{vi}, \quad i = 2, 3, 4, \dots, n$$

де y_{ni} та y_{vi} - нижня і верхня межі i -го часткового показника якості. Залежно від показника якості одна з меж (верхня або нижня) може бути не обмеженою.

Оцінка ефективності системи по окремому частковому показнику при обмеженні решти показників має той недолік, що рішення задачі оптимізації або вибору для реалізації практично оптимального варіанту системи буде неоднозначним. Можна отримати багато варіантів систем з однаковим або приблизно однаковим основним частковим показником якості y_i при тому, що істотно розрізняються інші часткові показники, значення яких задовольняють обмеженням. В цьому випадку не можна з упевненістю визначити, який варіант системи буде ближчий до оптимального. Тому як один з методів визначення ефективності було запропоновано для визначення практично оптимального варіанту складної системи замінювати функцію показника ефективності (1.6), якщо не відомий її аналітичний вираз, лінійною функцією, що включає всі основні часткові і показники якості

$$E = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_n y_n, \quad (1.8)$$

де b_1, b_2, \dots, b_n - вагові коефіцієнти.

За наявності обмежень $y_{ni} \leq y \leq y_{vi}$, лінійна форма (1.8) показника (критерію) ефективності складних систем є найбільш простою функцією, що враховує всі основні часткові показники якості. Її використовують для

виділення практично оптимального (з тих, що конкурують) варіанту без особливих труднощів.

Самостійним завданням при використанні лінійної функції (1.8) є визначення переліку часткових показників якості системи y_i та їх вагових коефіцієнтів b_i .

Контрольні запитання.

1. Дайте визначення термінів: зразок, виріб, дослідний зразок.
2. Назвіть стадії життєвого циклу інженерних рішень.
3. Дайте характеристику взаємозв'язку стадій життєвого циклу системи.
4. Наведіть приклад показника ефективності.
5. Дайте обґрунтування значенням вагових коефіцієнтів.
6. Наведіть характеристику показника практичної оптимальності системи.
- 7.3 якою метою вводяться безрозмірні форми часткових показників якості?

1. Дослідження та обґрунтування розробки системи

Всі роботи на стадії «Дослідження і обґрунтування розробки» можна умовно розділити на три взаємопов'язаних етапи (рис.2.1):

- 1) опрацювання заявок на розробку виробу замовником і промисловістю;
- 2) НДР по створенню нового виробу;
- 3) попереднє проектування. На етапі опрацювання замовником і промисловістю заявок на розробку виробу виконуються роботи по формуванню початкових вимог

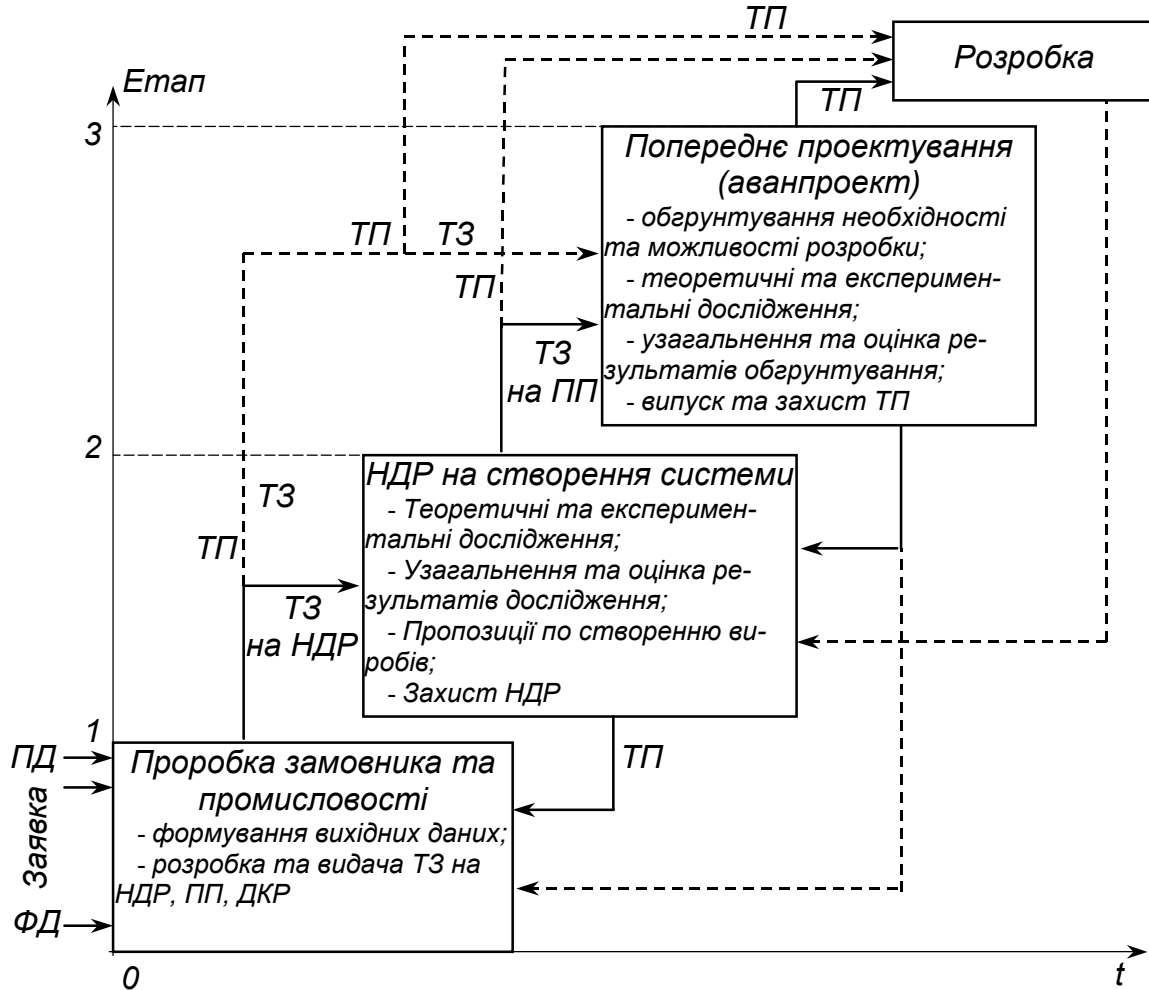


Рисунок- 2.2. Етапи робіт та їх взаємозв'язок на стадії дослідження та обґрунтування розробки

до зразків виробу та їх складових частин відповідно до фундаментальних і пошукових досліджень, вітчизняної і зарубіжної інформації про стан і досягнення науки і техніки і тенденціями розвитку техніки. За цими результатами замовник здійснює розробку і видачу відповідних завдань промисловості: ТЗ на НДР, технічних пропозицій (ТП), ТЗ на ДКР. При формуванні цих вимог використовуються результати фундаментальних і пошукових досліджень.

Фундаментальні дослідження (ФД) направлені на відкриття і вивчення нових явищ і законів природи і суспільства. Результати фундаментальних досліджень, що являють собою систему наукових знань, орієнтовані лише для використання в певній області діяльності і, як правило, непридатні для безпосереднього застосування в практичних цілях. Пошукові дослідження (ПД) за своєю змістом близькі до фундаментальних досліджень, але відрізняються вузькою областю досліджень і направлені на виявлення можливостей, доцільності, шляхів використання науково-технічних відкриттів і результатів фундаментальних досліджень в різних областях. Метою пошукових досліджень є пошук принципово нових шляхів створення техніки, речовин, матеріалів, технологічних процесів і т. д., на основі узагальнення і систематизації приватних рішень і розробок нових принципових рішень побудови систем,

комплексів, елементів. Фундаментальні і пошукові дослідження направлені на створення перспективних зразків техніки на нових принципах, на істотне підвищення їх ефективності і рівня якості. Такі дослідження дають науковий заділ для розробки нових зразків або для проведення подальших прикладних НДР. Фундаментальні і пошукові дослідження в життєвий цикл виробу конкретного типу не включаються.

Прикладні НДР виконуються на стадії дослідження і обґрунтування розробки виробу по ТЗ замовника. Внаслідок цих досліджень повинні бути отримані достатні теоретичні і достовірні експериментальні дані, які дозволяють:

- зробити однозначний висновок про доцільність розробки виробу;
- вказати принципи і шляхи вирішення задачі розробки та виробництва виробу із заданими ТТХ;
- знайти оптимальні способи застосування виробу за призначенням;
- знайти оптимальні режими експлуатації і ін.

Виконавець НДР по дослідженню і обґрунтуванню розробки виробу на основі ТТЗ на НДР виконує наступні основні роботи:

- 1) визначає метод досліджень;
- 2) виконує розрахунки, техніко-економічний аналіз стану питання, що досліджується;
- 3) виконує теоретичні дослідження по темі роботи;
- 4) створює при необхідності макети, моделі, експериментальні зразки виробу (системи) і проводить їх випробування і експериментальні дослідження;
- 5) зіставляє результати експериментальних робіт з результатами теоретичних досліджень;
- 6) проводить роботи по стандартизації, уніфікації і метрологічному забезпеченню нової системи;
- 7) проводить оцінку ТТХ зразка, що створюється з аналогічними тчизняними і зарубіжними зразками;
- 8) складає звітну науково-технічну документацію (ЗНТД) і ін.

Виконавець НДР несе відповідальність за якість, науковий рівень роботи, рекомендації, що видаються, за терміни і вартість роботи, за дотримання встановленого режиму виконання робіт.

Макети, моделі та експериментальні зразки системи або її частин створюються для перевірки правильності результатів теоретичних досліджень; перевірки можливості технічного і конструкторського розв'язання окремих

питань і вибору оптимального рішення; уточнення вимог до системи, що створюється загалом або її частин; експериментальної перевірки можливості створення зразка і визначення його ТТХ.

Результатом НДР є видача технічних пропозицій замовнику на проведення або попереднього проектування (аванпроекта), або дослідно-конструкторської розробки (див. рис.2.1).

Результати НДР, оформлені у вигляді ЗНТД, представляються і захищаються у замовника. Приймання НДР останнім оформляється актом.

Якщо результатів НДР не досить для виконання ДКР, то виконується етап попереднього проектування, для:

- опрацювання і аналізу різних варіантів побудови зразка системи і його частин;
- виявлення повного об'єму вимог до системи і її частин.

2. Попереднє проектування

Процес розробки систем є ітеративним, багатокроковим. На кожному кроку ітерації розробник системи намагається знайти більш довершене (краще, оптимальне) рішення. На рис.2.2 приведений загальний алгоритм процесу розробки системи, що охоплює основні етапи від формулювання мети проектування до технічного проектування (комплекту технічної, конструкторської і технологічної документації). На етапах попереднього і ескізного проектування, коли початкові передумови ще недостатньо чітко визначені, використовуються наближені методи, розрахунки і випробування, нехтуючи другорядними чинниками. Пізніше, коли будуть виявлені і зрозумілі головні явища і чинники, в розробку включають і другорядні раніше невраховані чинники з тим, щоб забезпечити упевненість в тому, що на подальших етапах проектування не виникне ніяких несподіванок і, загалом, будуть отримані найбільш задовільні рішення.

Процес розв'язання проблем, виникаючих при розробці системи, є еволюційним процесом поступового переходу від постановки проблеми (мети, задачі) в термінах завдання до створення зразків, технічної документації реальної системи і опису її технічних і тактичних можливостей.

Необхідно зазначити, що для етапів (див. рис.2.3) попереднього, ескізного і технічного проектування є загальні обов'язкові операції (процедури): аналіз, оптимізація, прийняття рішення, синтез. При переході від етапу до етапу міняється зміст операцій (процедур), уточнюється їх зміст, змінюються критерії оптимізації, але наявність зв'язків, послідовність операцій (процедур) залишається аналогічною.

Операція (процедура) синтезу виконується:

- при створенні абстрактної моделі у вигляді математичних або графічних моделей (формул, схем, ескізів, креслень);
- при розробці (виборі) критеріїв оптимізації моделей, процесів.

При синтезі формуються принципи і рішення технічних задач проектування апаратури.

Операція (процедура) аналізу виконується:

- при аналізі технічного завдання;
- при аналізі абстрактних моделей

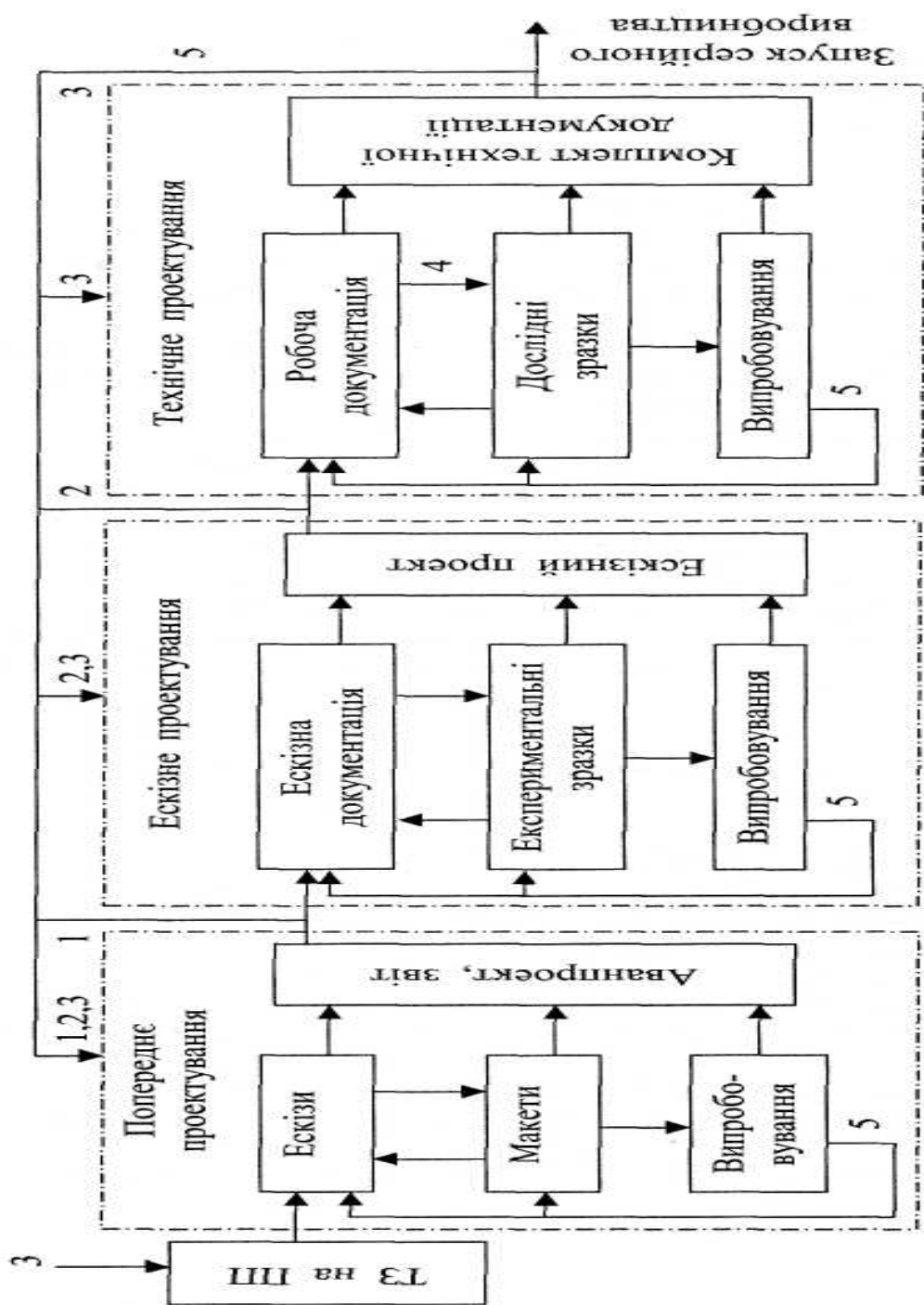
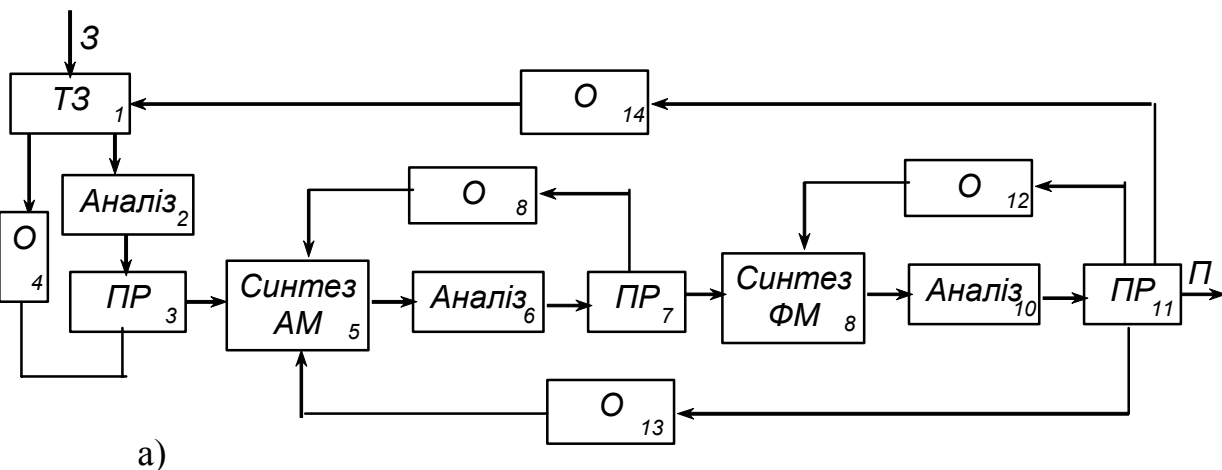
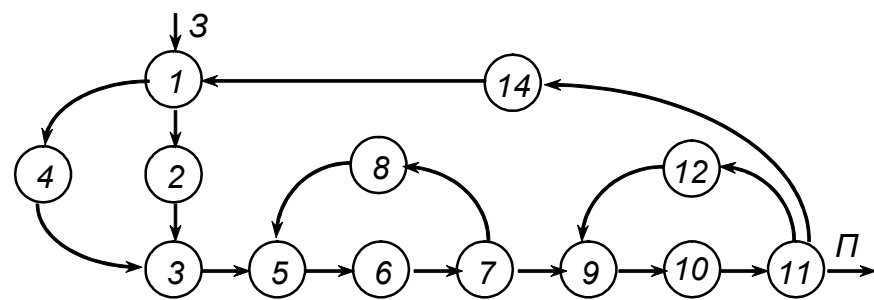


Рисунок-2.2. Загальний алгоритм процесу розробки системи: З - замовник; ТЗ — технічне завдання

- при аналізі фізичних моделей (експерименти, випробування);



а)



б)

З – замовник; ТЗ – технічне завдання; ПР – прийняття рішення;

О – оптимізація; А – абстрактна модель (формули, ескізи, схеми, креслення);

ФМ – фізична модель (макети, зразки); П – перехід до наступного етапу

Рисунок -2.3. Схема основного (загального) алгоритму проектування (а) та відповідна йому сіткова модель (б)

- при оцінці результатів аналізу.

Прийняття рішення є необхідною операцією (процедурою) процесу розробки системи і пов'язане з пошуком компромісних рішень. Ця операція (процедура) може виконуватися після кожної операції аналізу, оптимізації і синтезу.

Процес розробки системи пов'язаний з оптимізацією:

- принципів побудови системи;
- структури системи;
- методів і засобів побудови моделей системи і її частин;
- технічних засобів реалізації;
- програмних засобів;
- методів аналізу моделей і випробування системи.

Операція (процедура) оптимізація дозволяє знайти оптимальне рішення, тобто досягнення заданих характеристик на апаратуру і програми при найменших витратах або найкращих характеристиках системи при обмежених витратах і ресурсах, що є.

Для виконання перерахованих операцій (процедур) потрібні знання по фізиці, математиці, технічній електроніці, теорії імовірностей, технічній діагностиці, теорії автоматів, ЕОМ, надійності та інш.

Викладена послідовність процесу розробки систем відображає лише найзагальніші риси цього складного ітеративного процесу. Ітеративний характер цього процесу від етапу до етапу відображений на рис. 2.3,а у вигляді зворотних зв'язків 1, 2, 3. Наявність ітерацій в рамках кожного етапу показане у вигляді зворотних зв'язків 4, 8(рис.2.3,а) або 12, 13, 14 (рис.2.3,б). Процес розробки системи загалом або його частин або етапів можна представити у вигляді відповідної мережевої моделі (див. рис.2.3,б). Використання таких моделей дозволяє представити процес розробки у вигляді математичних моделей, на яких проводять дослідження і оптимізацію характеристик системи, що розробляється.

Початковим документом для попереднього проектування є ТТЗ замовника на його виконання.

На етапі попереднього проектування, як правило, вирішуються наступні задачі:

1. Пошук (розробка) принципів побудови системи, що відповідають заданим або передбачуваним вимогам.

2. Вибір критеріїв оцінки системи; розробка і оптимізація структури системи по основних критеріях.

3. Розробка принципів побудови апаратних і програмних засобів, що забезпечують створення системи з кращими характеристиками.

4. Розробка методів оптимізації характеристик системи і її частин (складових).

5. Розробка методів проектування системи, що забезпечують досягнення системою заданих характеристик з найменшою витратою часу і сил.

Рішення цих задач забезпечує не тільки виконання найближчих по термінах конкретних проектів, але і створення заділу для перспективних розробок.

Попереднє проектування системи починається з вибору структурної схеми і технічних засобів її реалізації, визначення основних статичних і динамічних характеристик системи і складаючих її частин.

Структурна схема визначає основні функціональні частини (елементи, вузли) системи, їх призначення і взаємозв'язки. Вона розробляється (вибирається) виходячи з алгоритму обробки (обертання) інформації в системі та алгоритму обробки інформації. Система, що проектується може будуватися з включенням до її складу ЕОМ, мікропроцесорів або мікропроцесорних систем або декількох ЕОМ. На структурній схемі ці елементи будуть відображатися у вигляді функціональних частин системи.

Надзвичайно відповідальним моментом попереднього проектування є вибір технічних і програмних засобів реалізації системи, що проектується. До технічних засобів реалізації відносять систему елементів, яка включає основні функціональні, допоміжні і спеціальні комплектуючі елементи.

До програмних засобів реалізації системи відносять програмне забезпечення ЕОМ. При виборі комплекту елементів враховують сукупність їх характеристик - функціональну повноту, швидкодію, надійність, заводо захищеність, масу, габарити, споживану потужність, вартість, технологічність виготовлення. Кожний з цих параметрів має велике значення для характеристик системи, що проектується. При виборі тієї або іншої сукупності елементів необхідно оцінювати значущість різних характеристик елементів, даючи пріоритет тим, які визначають основні параметри системи, що проектується. Одним з основних параметрів системи є надійність і живучість. Забезпечення надійності і живучості системи, що проектується складає одну із задач попереднього проектування, бо рішення цієї задачі на наступних етапах може привести до значних витрат.

На етапі попереднього проектування проводиться попереднє оцінювання. На основі структурної схеми системи, алгоритмів обробки інформації в ній, вибраних технічних і програмних засобів, розробляються моделі і ескізи окремих частин системи, що проектується або системи загалом і визначаються основні статичні і динамічні характеристики системи і складаючих її складових частин. Для визначення цих характеристик використовуються методи математичного моделювання на ЕОМ або аналого - цифрових комплексах. Крім математичних моделей досліджуються і фізичні моделі окремих, принципово важливих, частин системи, представлених у вигляді лабораторних макетів або макетів, виконаних (виготовлених) по ескізах на експериментальному виробництві.

На рис.2.4 представлена загальна схема процесу попереднього проектування системи.

Підсумки попереднього проектування знаходять відображення або в технічних пропозиціях на систему, або в аванпроекті, або в звіті по НДР.

Склад і зміст документів, які представляються замовнику після попереднього проектування, визначаються замовником у відповідності з ДСТ 2.118-73.

У загальному випадку ці документи (аванпроект, або технічні пропозиції, або звіт по попередньому проектуванню) повинні містити:

1) попередній техніко-економічний аналіз шляхів вирішення задач і вибір принципів конструювання системи, що забезпечують отримання її з необхідними показниками;

2) склад системи;

3) аналіз технічного рівня передбачуваної системи і порівняння його з сучасними вітчизняними і зарубіжними досягненнями науки і техніки;

4) тенденції і перспективи розвитку вітчизняної і зарубіжної техніки в даній області;

5) методи і засоби метрологічного забезпечення системи, що розробляється;

6) план виконання розробки і виготовлення системи, включаючи проведення всіх видів випробувань і підготовку виробництва;

- 7) оцінку потрібної кількості систем даного типу;
- 8) розрахунок орієнтовної вартості дослідних і серійних зразків;
- 9) розрахунок орієнтовної вартості витрат на організацію виробництва і експлуатацію;

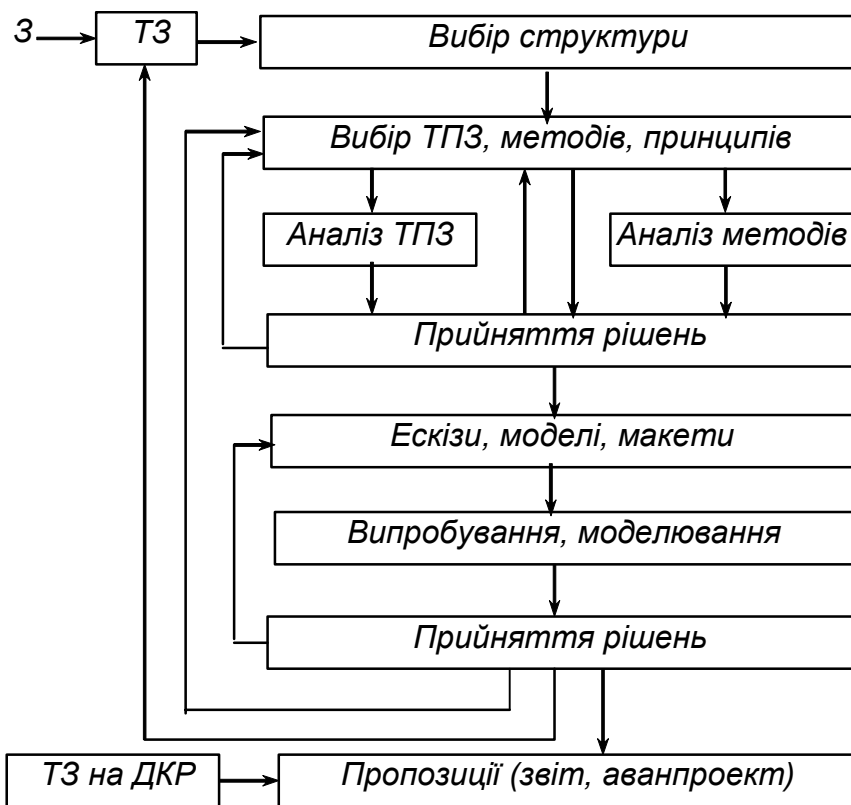


Рисунок- 2.4. Загальна схема процесу попереднього проектування

- 10) орієнтовні терміни постачання системи;
- 11) опрацювання питань використання системи за призначенням і її експлуатації, включаючи питання технічних засобів обслуговування і технічної документації;
- 12) склад виконавців (підприємств-розробників і підприємств-виготівників) і пропозиції по кооперації;
- 13) проект ТЗ на виконання ДКР.

Стадія «Дослідження і обґрунтування розробки» закінчується затвердженням і видачею замовником ТЗ на виконання ДКР.

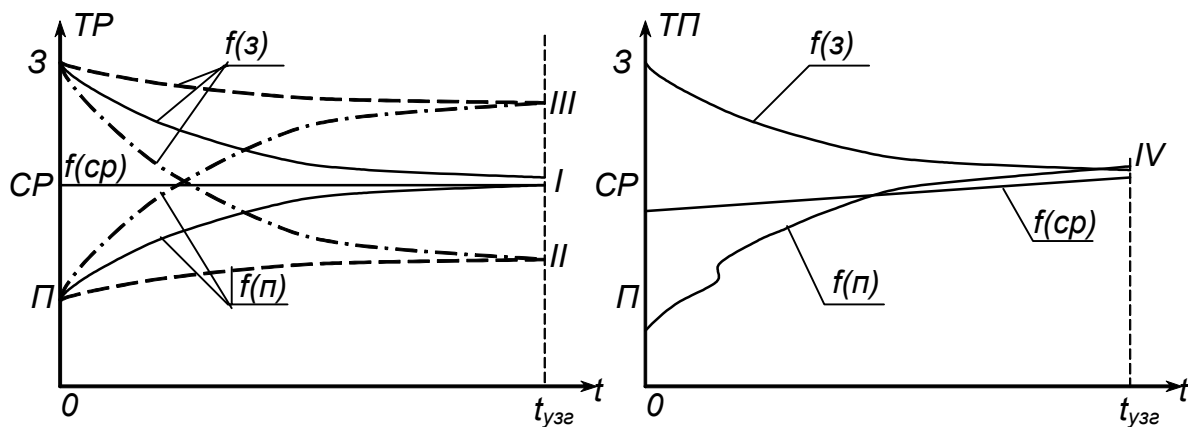
2. Розробка технічного завдання

Технічне завдання на систему є продукт тривалої спільної роботи замовника, розробника, промисловості (див. рис.2.1). Воно розвивається і удосконалюється на всіх етапах роботи з розробки (дослідження, проектування, конструювання, виготовлення, випробування, корекція) від задуму до серійного зразка.

На будь-якому етапі розробки початкове ТЗ (початкові дані) формулює замовник і видає розробнику системи для узгодження.

У своїй основі процес узгодження ТЗ містить конфліктну ситуацію. Замовник прагне, щоб в ТЗ були записані найкращі характеристики системи, що проектується і можливо короткі терміни розробки.

Розробник також прагне до високих технічних параметрів системи, однак, це прагнення стримується оцінкою ним реальних можливостей і умов розробки, відповідальністю за реалізацію заданих характеристик при виготовленні



TP – технічний рівень; CP – сучасний світовий рівень; З – рівень замовника;
П – рівень проектувальника; $t_{узг}$ – час узгодження

Рисунок- 2.5. Узгодження ТЗ на систему

системи.

Процес узгодження ТЗ носить ітеративний і в першому наближенні асимптотичний характер. Узгодження досягається не відразу. Внаслідок тривалої спільної роботи розробник і замовник приходять до компромісу (компромісного рішення). Цей процес спільної роботи можна представити графічно (рис.2.5). Якщо по осі абсцис відкласти час, а по осі ординат технічний рівень, то графіки $f(z)$, $f(sp)$, $f(pi)$ відображають зміни технічного рівня за час узгодження відповідно замовника, сучасного світового рівня і

проектувальника. На рис.2.5 показано: два варіанти зміни сучасного світового технічного рівня $f(sp) = \text{const}$ (рис.2.5.а) і $f(sp)$ функція, що зростає (рис.2.5,б) і чотири варіанти (I, II, III, IV) узгодження технічного завдання: варіант I (рис.2.5,а суцільні лінії) відповідає досягненню угоди між замовником і проектувальником на сучасному світовому рівні; варіант II (пунктирні лінії) на рівні нижче за $f(sp)$ світового, що гарантує його досягнення розробником і означає програш замовника; варіант III (штрих пунктирні лінії) на рівні вище за $f(sp)$ світового, що ставить під сумнів можливість досягнення заданих характеристик проектування, якщо розходження в рівні велике; варіант VI (рис.2.5,б) відповідає досягненню угоди між замовником і проектувальником на рівні вище світового, який постійно зростає. Це розходження незначне і розробник знайде нові технічні рішення, які істотно підвищать рівень технічних характеристик системи, що розробляється.

Необхідно зазначити, що чітке, ясне, повне, технічно обгрунтоване і кваліфіковане формулювання ТЗ багато в чому зумовлює успіх розробки і виробництва виробу (системи). Дійсно, з одного боку, технічно нездійсненні вимоги явно прирікають розробку на невдачу, з іншою, - орієнтування на низькі технічні характеристики, відсутність технічного передбачення, ігнорування передового досвіду і незнання сучасного рівня розвитку техніки неминуче приводять до створення незавершеної, неперспективної системи. До цього веде, передусім, двозначність, неповнота і неточність вимог в завданні, помилки в числових значеннях, символах і знаках.

Якщо система будується з використанням апаратних і програмних засобів, то в ТЗ повинні бути викладені вимоги на програмні засоби.

Етап формування ТЗ на систему, що розробляється є надзвичайно відповідальним. Тому до розробки ТЗ і його узгодження звичайно притягуються найбільш кваліфіковані фахівці, що добре орієнтуються в сучасному стані і науково-технічних досягненнях в області що проектується і суміжних систем. Варіант процесу формування ТЗ на систему представлений на рис.2.6. Таким чином, технічне завдання розробляється на основі результатів:

- науково-дослідних робіт (якщо проводилися);
- попередньої розробки (попереднього проектування) і експериментальних робіт (якщо проводилися);
- опрацювання пропозицій замовника;
- аналізу стану і перспектив новітніх досягнень вітчизняної і зарубіжної науки і техніки в даній області систем;
- патентного пошуку;
- досвіду попередніх розробок аналогічних систем;

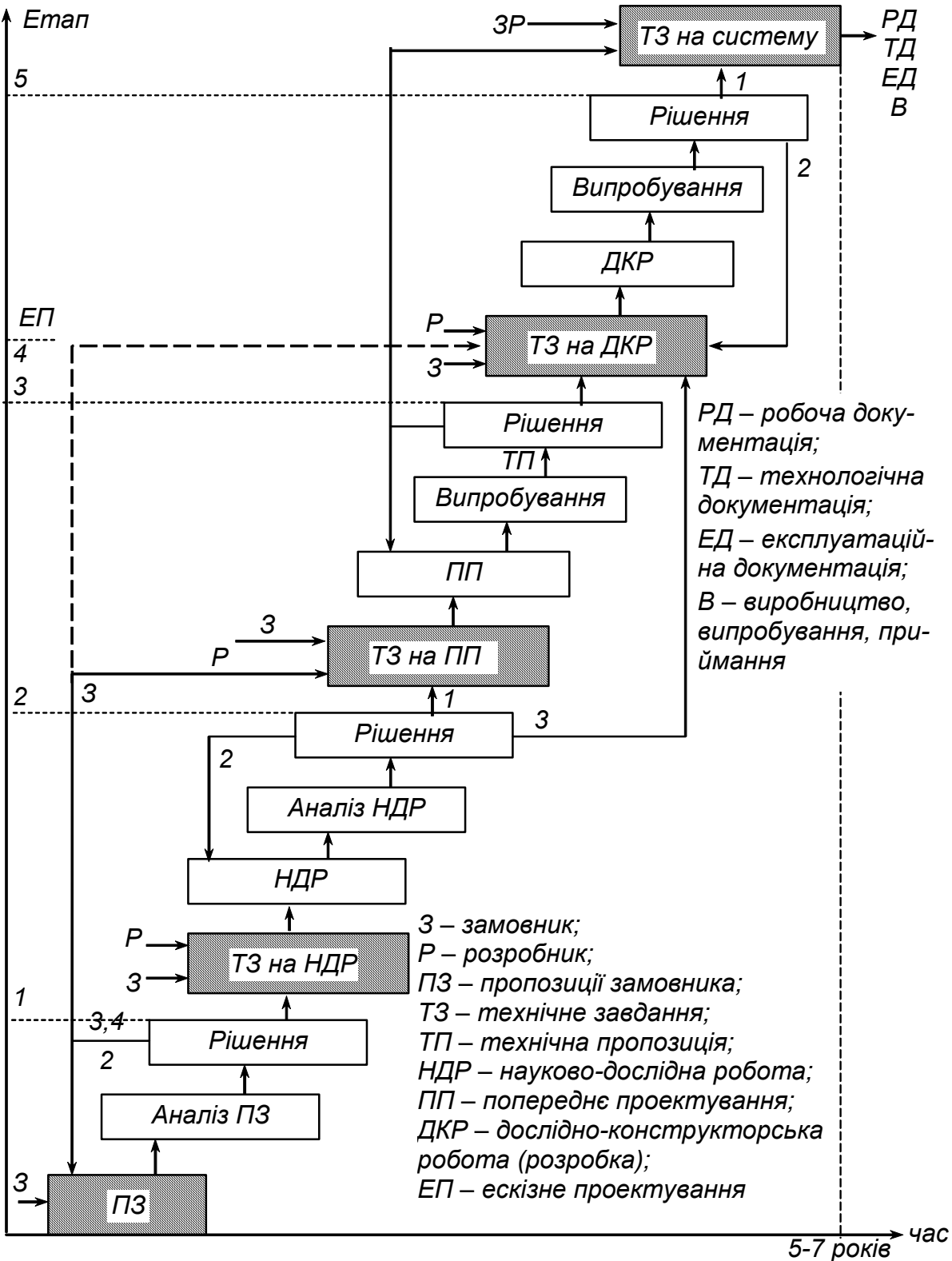


Рисунок-2.6. Алгоритм доробки (поліпшення) ТЗ на систему

- експлуатації існуючих аналогічних систем;
- обліку чинників, що впливають на систему) і обмежень на розробку системи.

При складанні ТЗ виконання вимог стандартів і інших нормативних документів і вимог замовника обов'язкове. Вимоги ТЗ повинні передбачати створення надійних і ефективних систем, з урахуванням використання прогресивних принципів конструювання, технології і обслуговування, що дозволяють реалізувати задані вимоги замовника при найменших витратах у виробництві, експлуатації і ремонті системи.

Правила складання, узгодження, твердження і об'єм змісту ТЗ регламентується стандартами серії В (наприклад, В2.907-75; В15.101-79; В15.102-84; В15.201-83; В15.210-78; В15.211-78 і ін.).

Технічні завдання згідно ДСТ В2.907-75 повинні містити:

1. Найменування і індекс розробки;
2. Основа для розробки;
3. Мета розробки і призначення системи;

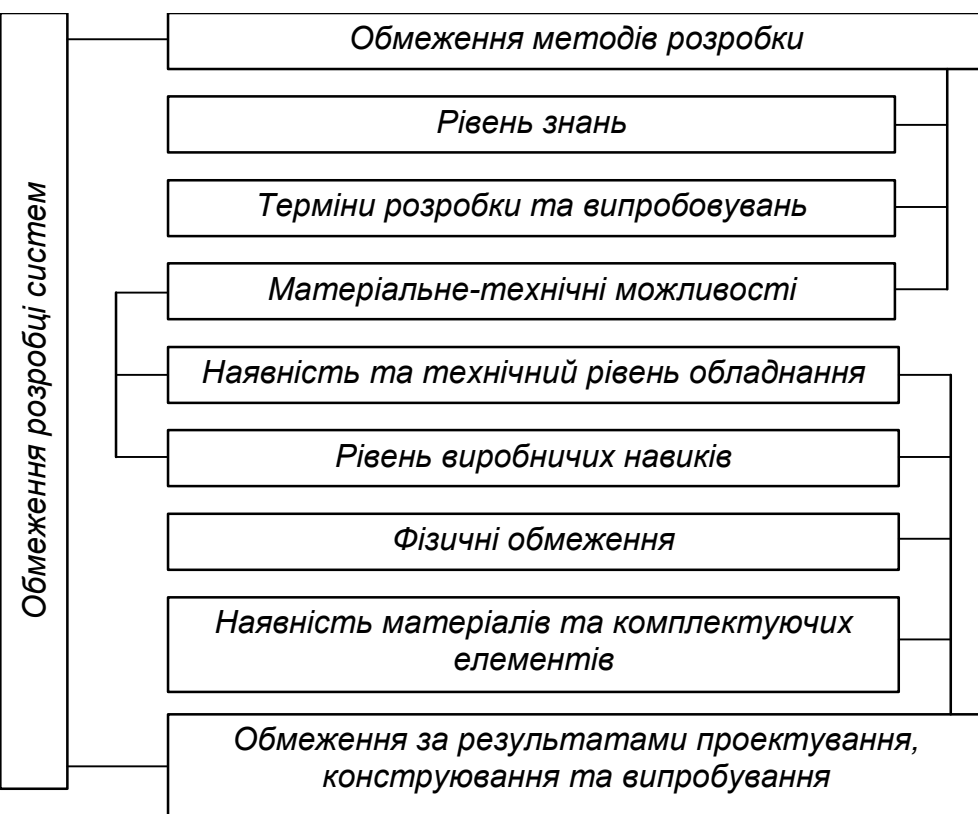
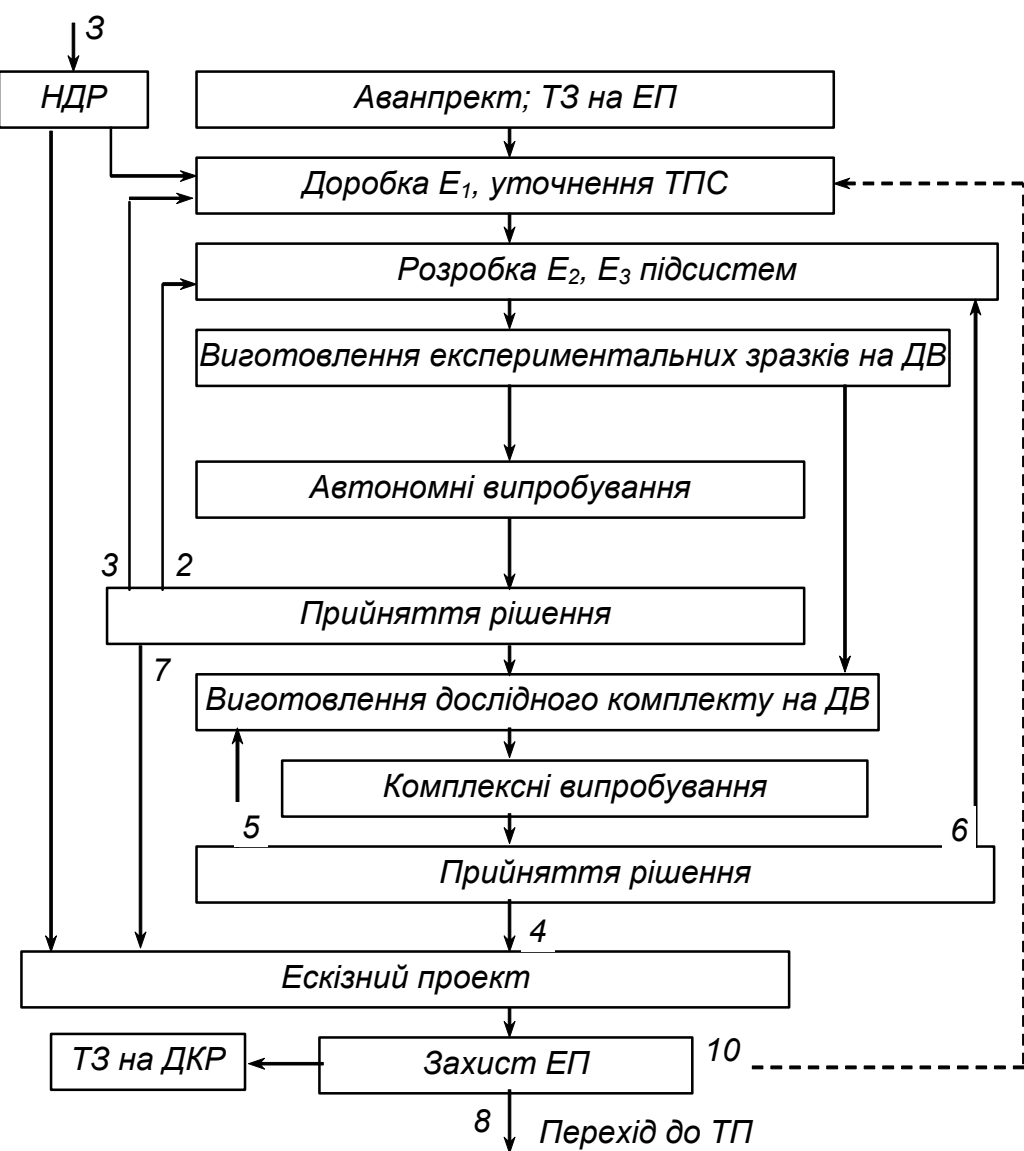


Рисунок- 2.7. Обмеження при розробці системи

4. Ескізне проектування

На етапі ескізного проектування проводиться:

- 1) уточнення і доробка алгоритму роботи системи загалом і її окремих підсистем (частин), виділення функціональних частин системи і підсистем, які можна реалізувати окремими блоками (приладами);
- 2) розробка (або доробка) структурної схеми;
- 3) розробка комплексу схем і документів для виготовлення дослідних зразків окремих приладів, блоків і експериментального комплексу системи;
- 4) розробка методик для проведення автономних і комплексних випробувань виготовлених приладів, блоків і систем загалом;
- 5) проведення автономних випробувань окремих блоків, приладів, підсистем і обробка отриманих результатів;
- 6) проведення комплексних випробувань виготовленої системи і обробки отриманих результатів;



ДВ – дослідне (експериментальне) виробництво

Рисунок 2.8. Загальна схема процесу ескізного проектування

7) випуск ескізного проекту і його захист.

На рис.2.8 представлена загальна схема процесу ескізного проектування. Уточнення і доробка алгоритму роботи системи загалом і її окремих підсистем, виділення функціональних частин системи і підсистеми, дозволяє конкретизувати структурну схему, визначити детальний приладний склад схеми. Приладний склад включає як основні, так і допоміжні (що забезпечують) системи. При визначенні приладного (блокового) складу системи важливо не упустити нічого (наприклад, апаратуру і програми,

необхідні для обслуговування системи при її експлуатації), щоб виключити необхідність розробки додаткової апаратури або програми на більш пізніх етапах проектування.

На цьому етапі розробляється і випускається повний комплект ескізної технічної документації, яка включає схемні, конструкторські, монтажні і текстові документи. Ескізна документація відноситься до документації тимчасового характеру. Вона призначена для виготовлення експериментальних (дослідних) і лабораторних зразків. Ці зразки, як правило, виготовляють на експериментальному виробництві, висококваліфікованими фахівцями.

З метою отримання більш достовірної інформації про систему, що проектується і її складові на етапі ескізного проектування виготовляють по розробленій документації дослідні зразки блоків, приладів і системи загалом. На цих зразках проводяться випробування і детальний аналіз характеристик технічних засобів і програм і їх оптимізація, уточнюється і по можливості скорочується номенклатура елементів, що використовуються в системі.

Звичайно для випробування системи і її частин створюються комплексні і приватні стенди. Комплексний стенд включає всі складові частини системи (блоки, прилади, кабелі, джерела живлення) і допоміжну апаратуру контролю параметрів системи в процесі випробувань і обробки інформації. Приватні стенди створюються для автономних випробувань особливо відповідальних підсистем.

За результатами виготовлення експериментальних зразків, автономним і комплексним випробуванням коректується раніше відпрацьована технічна документація.

Етап ескізного проектування завершується випуском і захистом ескізного проекту.

До складу ескізного проекту входять:

1) пояснювальна записка з викладом теоретичних передумов, розрахунків, матеріалів моделювання, випробувань, експериментальних досліджень і аналізу отриманих результатів;

2) ескізна технічна документація (схеми, креслення, графіки, конструкторська, монтажна, текстова);

3) висновок експертів (про відповідність отриманих результатів вимогам технічного завдання).

Ескізний проект представляється замовнику і у нього захищається. До захисту ескізного проекту притягуються проектант (розробник) і представники замовника, а в необхідних випадках і експерти. Мета захисту:

- схвалення правильності вибраних принципів і рішень;
- уточнення технічного завдання на розробку системи;
- затвердження замовників проекту.

Склад документів на стадії ескізного проекту визначається ДСТ 2.119-73 або замовником в ТЗ.

4. Технічне проектування

Початковими документами для розробки технічного проекту служить: узгоджене технічне завдання, ескізний проект, позитивний висновок замовника на ескізний проект. Кінцевим результатом технічного проектування є комплект технічної (конструкторської) документації (табл.2.1) і технологічної документації.

Конструкторська документація включає: графічні документи (креслення і схеми) і текстові документи (специфікації, пояснювальні записки, розрахунки, відомості, технічні описи, інструкції, формуляри, паспорти і ін.). Повний перелік конструкторських документів узгоджується із замовником.

На етапі технічного проектування розробляється і випускається технологічна документація (рис.2.9), необхідна для виготовлення системи в заводських умовах. Ця документація включає: перелік обладнання, технологічні інструкції, технологічні (маршрутні) карти, креслення на технологічне оснащення і пристосування і ін. документи з урахуванням виробничих умов і можливостей підприємства-виготівника системи. Облік цих умов і можливостей на ранніх етапах проектування (до випуску конструкторської документації) дозволяє спростити і скоротити процес освоєння виготовлення системи (як апаратних, так і програмних засобів).

Об'єм документації, що випускається на стадії технічного проектування великий і пов'язаний з величезними витратами сил і часу. Знизити трудовитрати і прискорити процес розробки можна за рахунок спадкоємності проектування і

широкого використання ЕОМ. На базі ЕОМ і інших технічних засобів розроблені методи машинного проектування.

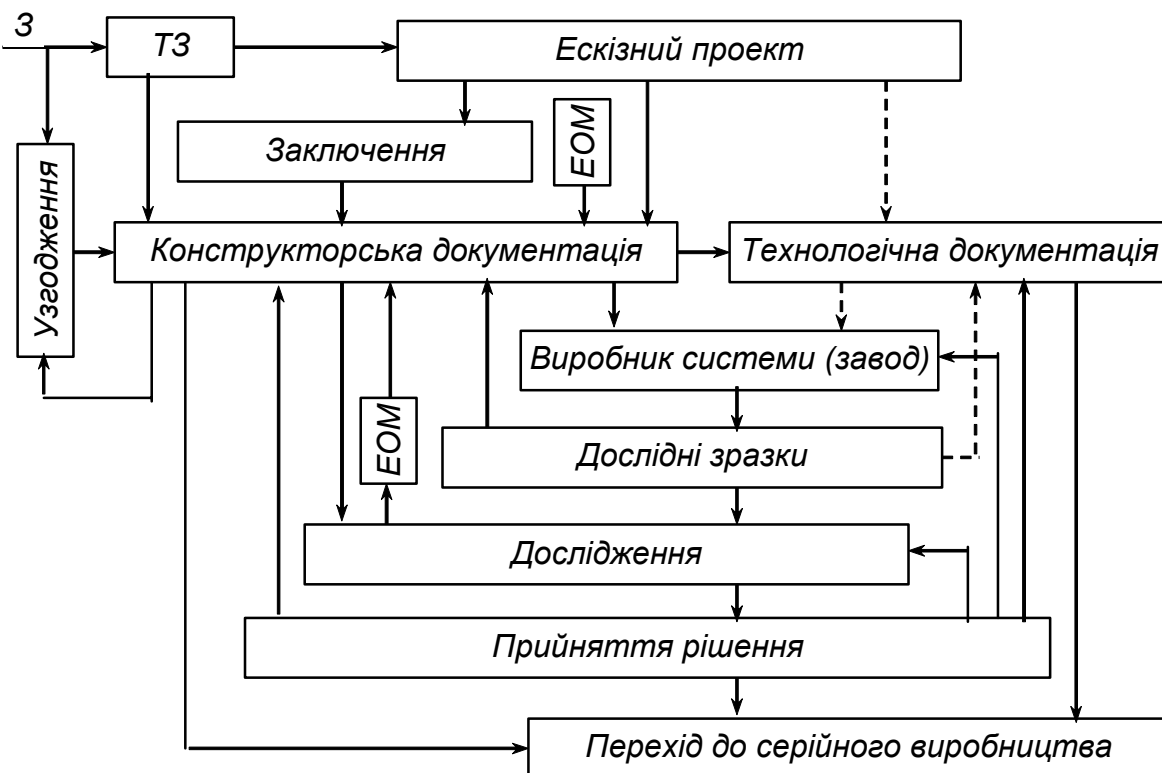


Рисунок-2.9. Загальна схема процесу технічного проектування

При виготовленні дослідних зразків системи здійснюється відроблення (коректування) конструкторської і технологічної документації. Виготовлені прилади, блоки, підсистеми і систему загалом проходять автономні і комплексні випробування. Детально питання випробувань розглянуть в наступному підрозділі. За результатами випробувань дослідних зразків приймається рішення про корекцію технічної, конструкторської і технологічної документації, про перехід до серійного виробництва системи.

Таблиця 2.1.

Номенклатура документів на систему (виріб) в залежності від етапів проектування (варіант) (повний перелік узгоджується із замовником)

Код документа	Найменування документа	Технічні пропозиції	Технічний проєкт	Ескізна проєкт	Технічний проєкт	Основа (номер ДСТУ, керівні документи)
ВЗ	П Алгоритми	~		~	~	19.002-80
	Програми					19.402-78
У	Креслення загального вигляду	~		+	+	2.118-73
						2.119-73
						2.120-73
ГЧ	Габаритне креслення				+	2.109-73
МЧ	Монтажне креслення				+	2.109-73
МЕ	Електромонтажне креслення				+	2.413-72
СБ	Складальне креслення				+	2.109-73
		-	Креслення деталей			+
Е...	Схеми електричні			~	+	2.702-80
., П..	Схеми гідравлічні, пневматичні			~	+	2.704-76
О...	Схеми кінематичні			~	+	2.703-68
ВТ	Схеми ВТ			~	+	2.708-81
-	Специфікація				~	2.108-68
З	Пояснювальна записка	+		+	+	2.106-68
						2.118-73
РР	Розрахунки				~	2.119-73
						2.120-73
ТЕ	Технічний опис	~		~	~	2.601-68
...	Інструкції	~		~	~	2.601-68
М	Програма і методика випробувань	~		~	~	19.402-78
						2.106-68
-	Документи	~		~	+	2.601-68

Умовні позначення: + обов'язковий, ~ по узгодженню (не обов'язковий)

6. Випробування в процесі розробки системи

Емпіричний і ітеративний характер процесу розробки робить необхідним проведення випробувань на всіх етапах розробки. Інформація, що отримується на кожному подальшому етапі випробувань, є більш достовірною і повною, чим та, яка була отримана на попередньому етапі. Наприклад, випробування на етапі ескізного проектування проводяться на одиничних зразках, виготовлених на дослідному (експериментальному) виробництві, не дозволяють отримати необхідний статистичний матеріал для оцінки параметрів системи, що проектується. Цей матеріал в більшій мірі може бути отриманий при випробуваннях на етапі технічного проектування.

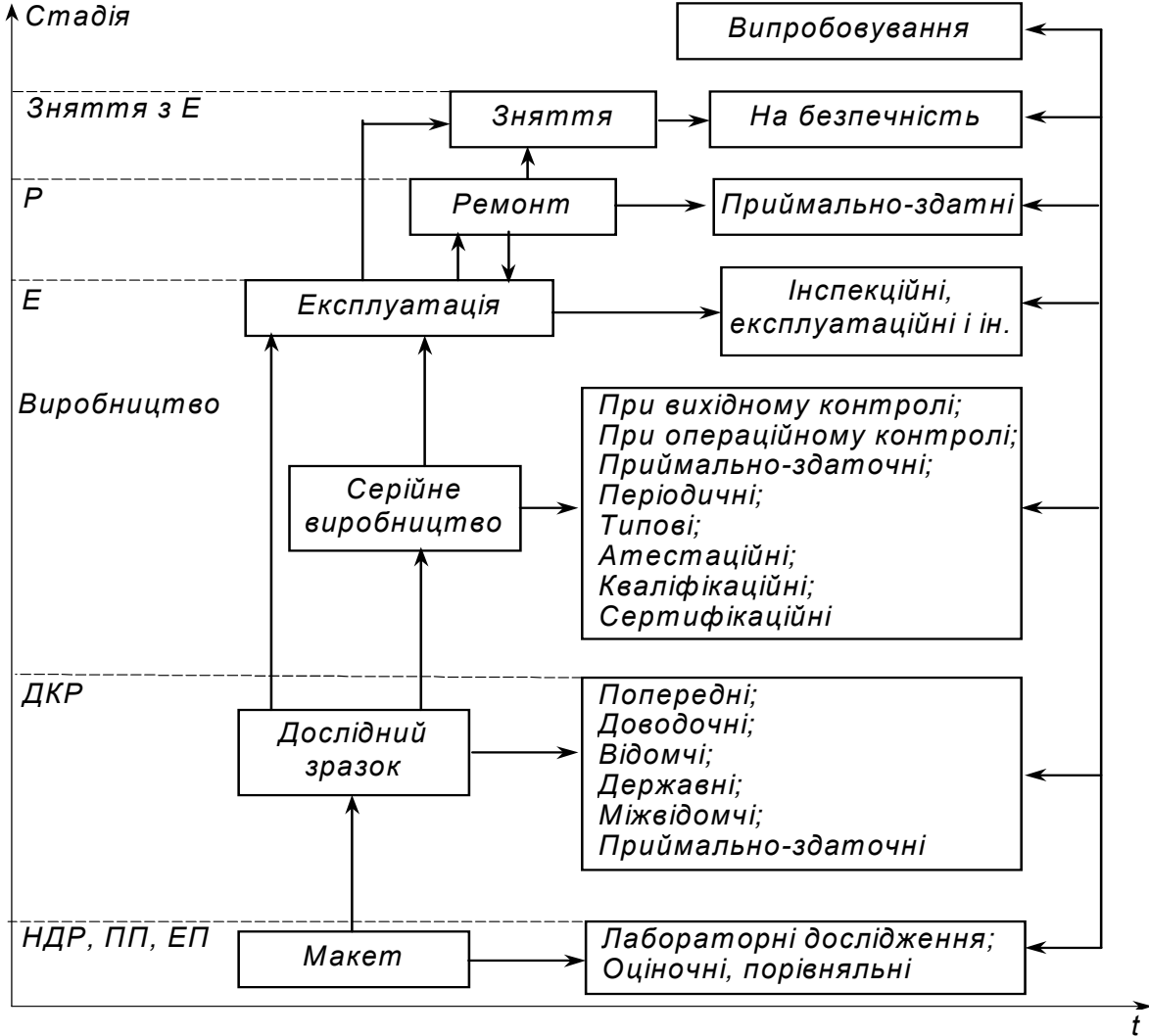
Метою випробувань є отримання інформації про стан системи і складаючих її частин. Ця інформація повинна забезпечити встановлення міри відповідності функцій і параметрів системи і її частин (приладів, блоків, підсистем) вимогам технічного завдання.

Для досягнення заданих вимог в процесі проектування виготовляються і випробовуються фізичні моделі:

- лабораторні макети - на етапі попереднього проектування, виготовлені в лабораторних умовах по матеріалах технічних пропозицій (аванпроекта);
- експериментальні зразки на етапі ескізного проектування, виготовлені на експериментальному виробництві по матеріалах ескізного проекту;
- дослідні зразки на етапі технічного проектування, виготовлені на дослідному виробництві по конструкторській документації;
- серійні зразки на етапі серійного виробництва, виготовлені на серійному заводі по технологічній документації.

Для дослідних і серійних зразків виробів основні категорії випробувань, їх мети, об'єм, програми і методики, порядок проведення випробувань, реалізація їх результатів, основний склад документів, що застосовуються в

процесі випробувань і загальні правила їх оформлення, встановлює замовник у відповідності з ДСТ В15.210-78 і ДСТ В15.210-78.



На рис.2.10 приведений перелік основних випробувань системи на різних стадіях життєвого циклу. НДР – науково – дослідни роботи;

ПП – попереднє проектування;

ЕП – ескізне проектування;

ДКР – дослідно – конструкторська розробка;

Е – експлуатація;

Р – ремонт.

Рисунок-2.10. Основні види випробувань на різних стадіях

Контрольні запитання

1. Які питання розв'язуються на етапі виконання НДР?
2. Розкрийте зміст попереднього проектування.
3. Які існують варіанти узгодження технічного завдання на систему?
4. Дайте характеристику змісту технічного завдання.
5. Назвіть фактори, що діють на зразок (систему) в процесі їх експлуатації.
6. Наведіть зміст заходів ескізного проектування.
7. Призначення та види випробовувань у процесі розробки систем.

Лекція 3

Тема: Організація експлуатації технічних систем

План лекції

1. Задачі експлуатації технічних систем
2. Етапі експлуатації технічних систем
3. Технічне обслуговування
4. Ремонт технічних систем
5. Керування технічною експлуатацією

1. Задачі експлуатації технічних систем

Відповідно до ДСТУ експлуатація — стадія життєвого циклу технічної системи (інженерного рішення) з моменту приймання її

користувачем від заводу-виготівника(ремонтного підприємства), вона є сукупністю етапів введення в працездатний стан, приведення у встановлений ступінь готовності до використання за призначенням, підтримки у встановленому ступені готовності до цього використання, використання за призначенням, зберігання і транспортування. Основне завдання експлуатації технічних систем полягає в розробці і розв'язанні питань по приведенню їх у встановлений ступінь готовності до використання за призначенням і підтримці в цьому стані з необхідною ефективністю.

Відповідно до вищесказаного в експлуатації технічних систем можна виділити наступні складові частини: підготовку та використання системи за призначенням; технічне обслуговування і ремонт; організаційні заходи.

Розрізняють наступні види експлуатації систем: дослідну експлуатацію; штатну експлуатацію; технічну експлуатацію. *Дослідна експлуатація* — експлуатація заданого числа систем, здійснювана за спеціальною програмою з метою вдосконалення системи експлуатації за наслідками обліку реальних умов експлуатації, контролю в цих умовах технічних характеристик, а також набуття досвіду експлуатації. *Штатна експлуатація* — експлуатація системи відповідно до вимог діючої експлуатаційної документації. *Технічна експлуатація* - частина експлуатації системи, що включає комплекс робіт, що виконуються на етапах транспортування, зберігання, приведення у встановлений ступінь готовності до використання за призначенням, використання за призначенням та підтримки в даному ступені готовності.

Таблиця 3.1.

Заходи з експлуатації систем

Інформація про експлуатацію			
Матеріальні засоби		Програмні засоби	
Види та умови експлуатації	Обслуговування	Ремонт (відновлення)	Супровід експлуатації
Методи експлуатації	Технічне обслуговування	Відновлення апаратних засобів	Контроль якості експлуатації

	апаратних засобів		
ка	Обслуговування	Відновлення	Контроль технічного стани
их	програмних засобів	програмних засобів	
ристик			Категорування
		Поточний, середній і капітальний ремонти	Доопрацювання (модернізація)
			Рекламації
			Супровід програмного забезпечення
			Ведення і контроль експлуатаційної документація

Розглядаючи процес експлуатації бачимо(табл. 3.1), що він складається з значного числа різних заходів, якість виконання яких істотно впливає на експлуатаційні властивості системи. Однією з найважливіших експлуатаційних властивостей технічних систем є надійність функціонування.

Надійність — властивість системи зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність систем якісно характеризується безвідмовністю, ремонтпридатністю, зберігаємостю та довговічністю. *Безвідмовність*- властивість системи зберігати працездатний стан протягом деякого часу або деякого напрацювання. *Ремонтпридатність* — властивість обчислювальної системи, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень, підтримці і відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного

обслуговування та ремонту. Всі ці властивості можна охарактеризувати кількісно. *Довговічність* — властивість обчислювальної системи зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Технічні системи, як правило, відносяться до відновлюваних систем, що працюють безперервно. Надійність таких систем можна оцінити системою показників. Ці показники можна розбити на дві групи: технічні показники та оперативно-тактичні показники. До технічних показників відносяться: напрацювання на відмову (T_B) -відношення напрацювання системи до математичного очікування числа її відмов протягом цього напрацювання; напрацювання на збій (T_3); параметр потоку відмов (λ_B); параметр потоку збоїв (λ_3); середній час відновлення ($T_{вд}$) — математичне очікування часу відновлення працездатного стану; параметр потоку відновлення (μ); коефіцієнт технічного використання ($K_{вк}$) — відношення математичного очікування інтервалів часу знаходження системи в працездатному стані за деякий період експлуатації до суми математичних очікувань інтервалів часу перебування системи в працездатному стані, простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням та ремонтів за той же період експлуатації.

До оперативно-тактичних показників можна віднести: ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ - ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова системи не виникне; ймовірність відновлення $P_B(t)$ — ймовірність того, що час відновлення працездатного стану системи не перевищить заданого; коефіцієнт готовності (K_r) — вірогідність того, що система опиниться в (працездатному стані в довільний момент часу, окрім планованих періодів, протягом яких застосування системи за призначенням не передбачається; коефіцієнт оперативної готовності ($K_{ог}$) — вірогідність того, що обчислювальна система опиниться в працездатному стані в довільний момент часу i , починаючи з цього моменту, працюватиме безвідмовно протягом заданого інтервалу часу:

$$K_{ог}(t) = K_r P(t).$$

Ці показник найповніше характеризують властивості безвідмовності та ремонтпридатності систем.

2. Етапи експлуатації технічних систем

Процес експлуатації систем проходить ряд етапів:

транспортування - етап експлуатації, що включає підготовку і перевезення системи з використанням транспортних засобів за умови зберігальності її технічного стану та комплектності;

зберігання — етап експлуатації, при якому невживана за призначенням система розміщується в спеціально відведеному для неї місці в заданому стані та забезпечується її зберігальність протягом встановлених термінів;

введення в експлуатацію — сукупність підготовчих робіт (у тому числі і приміщення для установки та монтажу системи), контролю і приймання системи, що поступила після виготовлення або ремонту, закріплення системи за підрозділом або посадовою особою;

приведення системи у встановлений ступінь готовності до використання за призначенням - комплекс робіт, встановлених в документації з експлуатації по приведенню системи в працездатний стан;

використання системи за призначенням - етап експлуатації, протягом якого система працює відповідно до її функціонального призначення;

підтримка системи у встановленому ступені готовності до використання за призначенням (підтримка готовності) - комплекс робіт, направлених на підтримку системи у встановленому ступені готовності;

модернізація системи – поліпшення характеристик системи шляхом внесення змін до програмних, схемних або конструктивних рішень. Основою для модернізації(доопрацювання) є досвід експлуатації систем, раціоналізаторська і винахідницька робота, зміна умов та режимів застосування систем за призначенням. Модернізація проводиться централізована на підставі рішення конструктора системи.

зняття з експлуатації - припинення експлуатації системи і оформлення встановлених документів. Знята з експлуатації система може бути направлена до ремонту, переведена в навчальний зразок, переведена для використання в цілях, відмінних від її призначення або утилізована.

Процес експлуатації систем на кожному з етапів регламентується відповідними керівними документами. Кожен з етапів експлуатації систем має свою специфіку і особливості. Розглянемо деякі з цих особливостей. На етапі зберігання, наприклад, блоки та вузли системи повинні знаходитися в опалювальних приміщеннях. Складські приміщення повинні забезпечувати температуру не нижче +10°C і відносну вологість 45÷70%. Так магнітні

диски повинні зберігатися в приміщеннях при температурі $25\pm 10^{\circ}\text{C}$, відносній вологості $65\div 15\%$ і атмосферному тиску 760 ± 30 мм ртутного стовпчика. На етапі введення в експлуатацію обчислювальні системи повинні розміщуватися в підготовлених приміщеннях і вводитися в експлуатацію у відповідні терміни, наприклад, обчислювальні системи високої продуктивності — не більше 6 місяців з дня отримання; обчислювальні системи середньої продуктивності — 4 місяці; обчислювальні системи малої продуктивності — 1 місяць.

На етапах використання систем за призначенням і підтримці їх у встановленому ступені готовності основними заходами з експлуатації є технічне обслуговування та ремонт.

3. Зміст та порядок проведення технічного обслуговування

Технічне обслуговування — комплекс операцій по підтримці працездатності або справності системи при використанні за призначенням, зберіганні та транспортуванні. Відповідно до даного визначення розрізняють наступні види технічного обслуговування: *періодичне технічне обслуговування* — технічне обслуговування, що виконується через встановлені в експлуатаційній документації терміни напрацювання системи або інтервали часу; *регламентоване технічне обслуговування* — технічне обслуговування, передбачене в нормативно-технічній документації і виконуване з періодичністю і в об'ємі, встановленими в ній, незалежно від технічного стану системи на момент початку технічного обслуговування.

Технічне обслуговування характеризується об'ємом (змістом) і періодичністю. Під об'ємом розуміють склад операцій, а періодичність визначається часом між обслуговуваннями.

Основний зміст технічного обслуговування складають наступні операції:

зовнішній огляд системи та очищення від пилу;

перевірка параметрів системи в нормальних та спеціальних («важких») режимах роботи;

регулювання апаратури або заміна типових елементів заміни (ТЕЗ).

контроль працездатності системи.

Регламентоване технічне обслуговування системи проводиться через певний календарний термін, незалежно від напрацювання та її технічного стану. Цей вид технічного обслуговування доцільно використовувати в тих випадках, коли основною причиною відмов є старіння елементів. Цей спосіб технічного обслуговування характерний для пристроїв електромеханічного типу (НМД, НМЛ, пристрої вводу—виводу даних і т.інш.), що входять до складу обчислювальних систем. Для електронних блоків обчислювальних систем періодичне технічне обслуговування є основним. Воно, як правило, підрозділяється на: щоденне (щомісячне); щотижневе (декадне);; кварталне; піврічне(сезонне); річне. Кожен подальший вид технічного обслуговування має більший об'єм, чим попередній, і включає весь об'єм попереднього технічного обслуговування. Для обчислювальних систем в цілому і в організаційному відношенні зручним є регламентоване технічне обслуговування. Останнім часом в теорії та практиці експлуатації складних критичних систем знаходить застосування адаптивний принцип призначення термінів і об'єму технічного обслуговування з урахуванням технічного стану системи. Суть адаптивного призначення технічного обслуговування полягає в наступному. Вибирають параметр якості функціонування системи, наприклад, параметр потоку відмов або збоїв. На певному інтервалі часу його оцінюють. За наслідками оцінки ухвалюється рішення про проведення технічного обслуговування. В цьому випадку здійснюється періодичний або безперервний контроль функціонування системи, аналіз і обробка статистичного матеріалу по відмов та збоїв у роботі апаратної та програмної компонент.

4. Ремонт технічних систем

Ремонт — це комплекс операцій по відновленню справності або працездатності, а також відновленню ресурсу системи або її складових частин. У загальному випадку ремонти підрозділяються на поточні, середні та капітальні. Для обчислювальних систем характерними є поточний і середній ремонти. Для пристроїв електромеханічного типу може виконуватися і капітальний ремонт.

Поточний ремонт проводиться з метою підтримки системи в процесі експлуатації в технічно справному стані (працездатному стані). Основний метод поточного ремонту — заміна ТЕЗ, що відмовили, на справні зі складу комплекта запасних матеріалів та приладдя(ЗМП) та проведення регулювань. Поточний ремонт систем проводиться на місці експлуатації силами і засобами обслуговуючого персоналу.

Середній ремонт — ремонт, що виконується для відновлення справності (працездатності) і частково відновлення ресурсу системи з заміною або відновленням складових частин обмеженої номенклатури і контролем технічного стану її складових частин. Змістом середнього ремонту є відновлення несправних ТЕЗ, виявлених при поточному ремонті, відновлення об'ємного монтажу шаф, штатної контрольна-вимірювальної апаратури, аварійний ремонт систем енергоживлення та зв'язку. Середній ремонт виконується силами і засобами штатних ремонтних органів із залученням обслуговуючого персоналу або бригад підприємств-виробників систем.

Капітальний ремонт проводиться з метою повного відновлення техніко-експлуатаційних характеристик і відновлення ресурсу системи або її складових частин. Він проводиться на спеціалізованих підприємствах або підприємства-виробниках систем або їх складових частин.

Поточний і середній ремонт систем, як правило, проводяться на місцях їх експлуатації, тому вони отримали назву об'єктового ремонту. Якість поточного ремонту і час, що витрачається на його проведення, визначається методами та засобами контролю функціонування та діагностики систем.

Основне завдання ремонту – відновлення(часткове або повне) ресурсу системи.

Якість проведення технічного обслуговування та ремонту істотно впливають на параметри надійності системи.

5. Керування технічною експлуатацією

Функціонування системи експлуатації повинне забезпечити здійснення всіх експлуатаційних процесів. Якість їхнього здійснення пов'язане з функціонуванням системи керування експлуатацією. Наприклад, характеристики функціонування системи керування повинні розглядатися із двох позицій: якості підтримки необхідних показників об'єкта керування й необхідної швидкодії або якості перехідного процесу при подачі керуючого впливу. Одним з основних питань при розв'язанні завдань оптимізації є вибір виду функціонала, що задає критерій оптимальності системи керування. Звичайно в основі критерію якості лежить функція втрат, осереднювана для всіх можливих реалізацій вихідного сигналу $Y(t)$ і його необхідного значення $Y_n(t)$. Конкретним видом цього критерію є мінімум середньоквадратичної помилки системи

$$M[Y(t) - Y_n(t)]^2 = \min.$$

У ряді практичних призначень працездатність системи порушується, якщо сигнал на її виході або помилка перевищать деякий рівень. У цьому випадку доцільно використати критерій мінімуму ймовірності порушення працездатності або мінімуму ймовірності помилки $E(t)$

$$P[E(t) \geq \varepsilon] = \min,$$

де ε – допустимий рівень помилки.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення експлуатації технічних систем
2. Розкрийте зміст етапів експлуатації технічних систем.
3. Наведіть заходь з технічної експлуатації систем.
4. Перелічить та розкрийте зміст технічних та оперативно-тактичних показників.
5. Наведіть зміст заходів технічного обслуговування.
6. Дайте характеристику видам ремонту технічних систем.

Лекція 4

Тема Основні та специфічні показники якості інженерних рішень

План лекції

1. Загальні положення оцінки ефективності інженерних рішень.
2. Основні показники якості інженерних рішень
3. Специфічні показники якості інженерних рішень

1. Загальні положення оцінки ефективності інженерних рішень

Вузловим моментом оцінки ефективності є вибір критерію ефективності для її кількісної оцінки і розробка моделі ефективності проекрованої або модернізуємої системи. У загальному випадку модель ефективності системи включає вихідний ефект і витрати. Вихідний ефект системи визначається методами дослідження операцій, які дозволяють провести аналіз застосування системи за призначенням і визначити місце кожного показника якості в досягненні необхідного результату. При розробці моделі ефективності повинні бути відображені витрати на етапах проектування, виробництва та експлуатації системи.

Визначення ефективності системи є складним і трудомістким процесом навіть для розробляючих ці питання науково-дослідних установ. Модернізація ж ІР, що проводиться в основному силами окремих конструкторських бюро(ОКБ) серійних підприємств, вимагає розробки інженерної методики вибору найкращого варіанту модернізуємої системи, доступної інженерам (не дуже трудомісткою в реалізації). Порівняння різних критеріїв ефективності приводить до висновку, що найбільш прийнятними є критерії, що дозволяють при знанні вагових коефіцієнтів часткових показників якості системи (таких як точність, вартість, надійність, вага, габарити тощо) визначити практично оптимальну систему. Під *практично оптимальною системою* розуміється система, яка має найвищий показник ефективності серед даних систем, навіть якщо ні по одному з часткових показників якості (ЧПЯ) не досягнуто

екстремальне значення. Знання вагових коефіцієнтів значно спрощує пошук оптимальної системи.

Важливе значення мають також оцінки необхідних витрат на створення та впровадження системи (IP) в експлуатацію. Як впливає з моделі ефективності, витрати мають значний вплив на ефективність, а отже, і на вибір найкращого варіанту системи. Вартісний критерій, поза сумнівом, відіграє суттєву роль, оскільки в даний час вартість побудови складних систем і витрат на експлуатацію складає мільйони і мільярди гривень. Наприклад, вартість проектування і експлуатації за програмою «Аполлон» в США склала 25 млрд. дол., що перевищує вартість десятків потужних гідроелектростанцій. Висока вартість системи часто є причиною неможливості її впровадження.

Інженерні рішення однієї і тієї ж задачі на сучасному етапі допускають декілька різних варіантів, кожен з яких реально здійснимий. Від інженера потрібне вміння знайти найкраще в техніко-економічному плані рішення. Тому остаточне рішення можна ухвалити тільки на основі розрахунків з оптимізації або дослідних перевірок, що зводяться до пошуку варіанту з екстремальним або відносно найкращим значенням прийнятого критерію ефективності. Екстремальне або відносно краще значення критерію відповідає шуканому оптимуму, якого повинен добиватися інженер.

Щоб оцінити даний варіант створення або модернізації системи по вибраному критерію з урахуванням всіх показників якості, необхідні початкові об'єктивні дані і оптимізаційні методики, за якими можна отримати оцінку. При цьому очевидно, що варіанти рішень повинні задовольняти заданим якісним критеріям.

Більшість сучасних промислових виробів є складовою частиною складних комплексних систем. Розширення кола завдань, що вирішуються за допомогою IP, припускає подальше ускладнення комплексу пристроїв. У зв'язку з цим завдання проектування і модернізації набувають нової якісної особливості — результати їх роз'язання повинні бути такими, щоб забезпечити оптимізацію системи (комплексу) в цілому. Сеть розробки полягає, як правило, у вивченні технічного питання, виробленні технічних вимог, виконанні ескізного і технічного проектів, в розробці всієї необхідної документації, виготовленні і випробуванні макетних і дослідних зразків, проведенні лабораторних і державних випробувань. При позитивних результатах випробувань система (IP) передається для освоєння в промисловість. Абсолютно очевидно, що успіх освоєння системи залежить від якості виконаної розробки. В той же час відомі випадки, коли розроблені

системи не були впроваджені, оскільки не змогли бути освоєні промисловістю із-за технологічних труднощів.

З табл. 3.1 видно, що період від видачі технічного завдання до передачі системи в промисловість триває зазвичай 3—4 роки, а від отримання технічних вимог до впровадження системи в експлуатацію — до 7 років. При цьому для різних типів систем, зібраних в групи 1, 2, 3 по однотипності технології і функціонального призначення, розроблених різними НДІ і освоєних впродовж останніх 25 років, цей процес приблизно однаковий. В цілому на практиці цей процес займає 5—8 років і при оптимальному управлінні виробництвом може бути скорочений на 3—4 роки. Досвід роботи з освоєваними системами на виробництві і в експлуатації показує необхідність та доцільність їх модернізації. Для цього є ряд наступних обставин:

Табл.4.1. Терміни освоєння складних систем по етапах розробки

Етапи робіт	Групи систем		
	1	2	3
Розробка системи(в т.ч. і випробування)	3р. 8міс.	4р.	4р.
Випуск настановної партії підприємством-виготівником	1,5р.	1,5р.	1 р.
Випуск настановної партії у складі об'єкту	7міс.	1р. 2міс.	10міс.
Напрацювання системою 50г. у експлуатуючій організації	3міс.	4міс.	2міс.
Загальна тривалість етапу впровадження	6р.	7р.	6р.

- у зв'язку з великим періодом від розробки до освоєння нові, вдосконалені схеми і технічні засоби, розроблені і упроваджені у виробництво протягом цього періоду, не змогли бути застосовані в системі при її виготовленні;

- із-за значної трудомісткості етапу від розробки до випробування і жорстких термінів на його виконання розробник систем часто переслідує мету задовольнити технічні вимоги, а не знайти якнайкраще в усіх відношеннях рішення;

- відсутній досвід серійного виробництва та експлуатації виготовленої системи на серійно випускаємих комплектуючих, а не на дослідних зразках комплектуючих елементів. Розробник системи, починаючи процес розробки, абсолютно правильно закладає в нього нові перспективні елементи, які часто ще серійно не виготовляються, а випускаються у вигляді дослідних зразків інститутами- розробниками цих же елементів;

- характеристики елементів, що серійно випускаються, зазвичай відрізняються від дослідних зразків, найчастіше в гіршу сторону. Наприклад, потрібний розробниками клас точності елементів, використовуваних в системі (потенціометричних датчиків, сельсинів і т.інш.), у ряді випадків не може бути забезпечений при серійному виробництві цих елементів;

- у розробників ще не накопичені відомості про малонадійні і «вузькі» місця системи, які не можуть бути повністю виявлені в ході лабораторних і державних випробувань;

- у процесі експлуатації часто виникає необхідність розширити діапазон завдань, що вирішуються системою, підвищити її точнісні та надійнісні характеристики.

Практика показує, що об'єм робіт з модернізації систем, що серійно-випускаються підприємствами або таких, що не випускаються, але знаходяться в експлуатації, складає до 30% від об'єму загальних робіт. Необхідність модернізації систем в умовах серійного виробництва та експлуатації вимагає оцінки її економічної ефективності, експлуатаційної та виробничої доцільності.

2. Основні показники якості мехатронних систем

У мехатронних системах автотранспортних засобів функціонування здійснюється без безпосередньої участі людини. Тому до них пред'являється багато вимог, у тому числі і таких, які пред'являються до неавтоматизованих технічних виробів. Основними з них є: забезпечення бажаного процесу управління і стабілізації на всіх експлуатаційних режимах, забезпечення високої експлуатаційної надійності, мінімальної маси і габаритів системи, зручності технічного обслуговування, мінімальної вартості і т.інш. До деяких систем може бути пред'явлений ряд додаткових специфічних вимог. Виконання основних вимог можна охарактеризувати кількісними показниками. Отже, кожен з них може розглядатися як частковий показник якості системи.

Як основні, так і часткові показники якості системи, що входять в загальний показник ефективності (1.1), повинні бути вибрані так, щоб при наближенні мехатронної системи до оптимальної всі вони підвищувалися або знижувалися. В цьому випадку загальний показник ефективності для оптимальної системи матиме відповідно максимальне або мінімальне значення. Наприклад, якщо у оптимальної системи загальний показник ефективності повинен бути мінімальним, то як показники якості можуть бути вибрані: помилка системи, маса, вартість і інші частковий показники якості, значення яких знижуються при наближенні системи до оптимальної. Якщо при цьому враховується надійність системи, то для її оцінки необхідно брати не вірогідність безвідмовної роботи, а вірогідність відмов, оскільки у оптимальної системи вірогідність відмов повинна бути мінімальною.

Розглянемо докладніше основні частковий показники (критерії) якості систем на прикладі систем автоматичного управління (САУ).

Якість процесу управління, y_1 . Цей показник складається з ряду оцінок, таких як помилка в сталому режимі, перерегулювання, час перехідного процесу, незалежність регульованої величини від збурень і т.інш. Одночасне забезпечення високих показників якості процесу управління за всіма показниками часто зустрічає затруднення. Наприклад, бажання забезпечити високу точність в сталому режимі примушує створювати астатичні системи. Однак при цьому збільшується час перехідного процесу. В даний час, наприклад, в теорії автоматичного управління, існує математичний апарат, який дозволяє проводити синтез систем, виходячи з умови забезпечення мінімального значення деякого узагальненого показника якості процесу управління.

Як узагальнений абсолютний критерій оцінки якості процесу управління при визначенні ефективності систем приймають деякий функціонал

$$y_1 = J(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де x_i – регульовані параметри, $i=1, n$

Кращою буде та система, в якій значення функціонала y_1 є мінімальним. В окремих випадках функціонал може вироджуватися в одну величину, наприклад під час регулювання (за відсутності перерегулювання). Максимально допустиме значення функціонала обумовлюється конкретними вимогами, виходячи з призначення системи.

Надійність, y_2 . Будь-яка система повинна бути надійною в експлуатації. Надійність системи може оцінюватися значенням інтенсивності відмов за певний час експлуатації. Кращою буде та система, у якої частота відмов буде найменшою, а вірогідність безвідмовної роботи — найбільшою. Максимально допустима частота відмов визначається виходячи з конкретних умов експлуатації даної системи.

Маса, y_3 , та габарити, y_4 . Вони є одними з основних показників якості системи. Як правило, у всіх випадках вони повинні бути мінімальними. Максимально допустимі маса і габарити встановлюються виходячи з конкретних умов. Особливо жорсткі вимоги пред'являються по відношенню до систем управління, що розміщуються на транспортних засобах.

Зручність технічного обслуговування, y_5 . Оцінка цього показника тісно пов'язана з оцінкою експлуатаційної надійності. Мета технічного обслуговування - привести систему в робочий стан, при якому вірогідність виникнення відмови зводиться до мінімуму. Зручність технічного обслуговування може бути оцінена за середнім часом, витраченим на приведення системи в робочий стан за певний відрізок часу експлуатації системи. Якість системи буде тим вище, чим менше час, необхідний на її технічне обслуговування.

Ергономічність системи, y_6 . Системи “людина- машина” належать до ергатичних систем, в яких необхідною ланкою є людина - оператор або група операторів. У ергатических системах під машиною мається на увазі будь-який технічний пристрій, призначений для перетворення інформації, енергії або

матерії. Мехатронні комплекси доцільно розглядати як машини ергатичної системи, оскільки їх експлуатація здійснюється людиною, не дивлячись на те, що людина не включена в їх замкнутий контур. У ергатичній системі повинні бути забезпечені сумісність людини і машини, тобто характеристики машини повинні бути узгоджені з психофізіологічними характеристиками людини. У загальному випадку розрізняють наступні види сумісності:

а) інформаційна — узгодження характеристик машини z_1 (наприклад, швидкості видачі інформації, форм представлення вихідної інформації і т. інш.) з характеристиками людини по прийому, зберіганню, переробці і передачі інформації;

б) енергетична - узгодження силових і потужностних характеристик машини z_2 (наприклад, зусилля на рукоятках управління) з силовими та потужносними характеристиками людини;

в) просторово-антропометрична - узгодження просторового розташування органів управління і робочого місця оператора z_3 з антропометричними характеристиками людини;

г) біофізична — узгодження параметрів мікроклімату, що створюється роботою машини z_4 (наприклад, температури, вологості, вібрації, шуму і т. інш.), з фізіологічними характеристиками людини;

е) техніко-естетична — забезпечення художньо-естетичного оформлення машини і робочого місця z_5 відповідно до високого художнього смаку людини.

Кожна з характеристик $z_1 - z_5$ машини визначається комплексом змінних (безперервних або дискретних параметрів). Наприклад, інформаційна характеристика z_1 визначається швидкістю видачі інформації світлової z_{11} , звуковий z_{12} , видом кодування z_{13} , способом відображення вихідної інформації z_{14} і т. д.:

$$z_1 = \psi_1 (z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1m})$$

де m — число параметрів, що враховуються.

Сумісність машини і людини в ергатичній системі полягає в тому, що параметри характеристик машини повинні лежати в певних межах

$$z_{нki} \leq z_{ki} \leq z_{вki},$$

де k — номер характеристики по вигляду сумісності;

i — номер параметра k -ї характеристики;

z_{nki} , z_{bki} нижня та верхня допустимі межі зміни параметра Z_{nk} , які визначаються допустимими значеннями параметрів відповідних характеристик людини. Наприклад, швидкість видачі машиною світлової інформації повинна бути від $z_{n11} = 2$ біт/с до $z_{b11} = 45$ біт/с, звукової інформації від $z_{n12} = 0,6$ біт/с до $z_{b12} = 8$ біт/с, а зусилля на рукоятках управління машиною від $z_{n21} = 0.45$ кГ до $z_{b21} = 30$ кГ.

Для оптимальної ергатичної системи параметри характеристик машини, що враховуються при забезпеченні сумісності, повинні відповідати оптимальним параметрам відповідних характеристик людини:

$$z_{ki} = z_{ki\text{опт}}, k = (1, 5), i = (1, m_k) \quad (4.3)$$

де m_k -число параметрів, що враховуються в k -й характеристиці;
 $z_{ki\text{опт}}$ -оптимальне значення i -го параметра k -ї характеристики людини.

Оптимальні параметри людини $z_{ki\text{опт}}$ визначаються як середньостатистичні на підставі обробки результатів дослідження великого числа операторів, що працюють з даним класом систем. Оптимальні значення $z_{ki\text{опт}}$ різні для різних класів систем. Наприклад, для САУ $z_{11\text{опт}} = 5$ біт/с, $z_{12\text{опт}} = 1$ біт/с, $z_{21\text{опт}} = 5$ кГ.

Ергономічна ефективність системи оцінюється ергономічною функцією W , залежною від параметрів характеристик машини z_k . Ергономічність машини як ступінь виконання ергономічних вимог оцінюється відношенням

$$h = W/W_{\Pi},$$

де W_{Π} - потенційна ергономічна функція, що отримується при повній відповідності характеристик машини оптимальним характеристикам людини. Ергономічна функція W є складною і для більшості типів машин поки невідома. Тому на практиці ергономічність машини оцінюють частковими характеристиками:

$$h_{ki} = z_{ki} / z_{ki\text{опт}}$$

Поширеним частковим показником якості інженерного рішення з ергономічності, який застосовується для оцінки ефективності системи E ,

виступає середньоквадратичне відхилення фактичних параметрів системи або виробу від оптимальних:

$$y_6 = \sqrt{\sum_{ki=1}^m (\Delta z_{ki})^2} / kn, \quad k = (1,5),$$

де $\Delta z_{ki} = (z_{ki\text{опт}} - z_{ki}) / z_{ki\text{опт}}$.

Кращою за ергономічним показником якості буде та система, для якої значення y_6 є мінімальним.

Вартість y_7 . Вона є одним з основних показників, що впливають на вибір варіанту системи (інженерного рішення) для реалізації, оскільки автоматичні системи і складні технічні вироби є досить коштовними. У вартість системи включається не тільки вартість її елементів, але і безпосередні витрати на розробку, впровадження та експлуатацію системи. Вартість безпосередньо враховується при оцінці економічної ефективності системи. Вона займає особливе місце серед інших часткових показників якості системи і з інших обставин. Значна частина часткових показників якості y_1 — y_6 слабо зв'язані між собою і при малих змінах можуть розглядатися незалежно один від одного, проте жоден з них не може розглядатися незалежно від вартості. Тому в тих випадках, коли потрібно особливо підкреслити роль вартості як часткового показника якості системи, позначатимемо її не через y_7 , а через C .

Окрім розглянутих часткових показників якості систем при їх розробці та модернізації можуть враховуватися і інші показники, характерні для даної системи і вирішуваного завдання. Якщо ці показники піддаються вимірюванню, то вони розглядаються як основні і входять в лінійну функцію загального показника ефективності системи E (1.1) як лінійні члени з своїми ваговими коефіцієнтами та обмеженнями. Наприклад, при серійному виробництві великого значення набуває трудомісткість настройки блоків і каналів системи. Показник трудомісткості налагодження оцінюється часом настройки блоку або всієї системи після модернізації y_8 . Як обмеження може бути прийнятий заданий максимальний час налагодження $y_{8\text{max}}$ або час, який був потрібний для настройки до модернізації. Кращою буде система, для якої y_8 має мінімальне значення.

При розробці і модернізації інженерних рішень також враховується ряд специфічних часткових показників якості, які не піддаються вимірюванню. Наприклад, при модернізації часто висувається вимога взаємозамінності модернізованих і немодернізованих блоків, відмови від застосування

дефіцитних в даний час комплектуючих елементів і т.інш. Специфічні вимоги враховуються як показники тільки з якісного боку і виступають у вигляді обмежень. Якщо, пропонується варіант системи не задовольняє одному з них, то він виключається з подальшого розгляду.

3. Оцінка варіантів розробки і модернізації систем за частковими показниками якості

Для зручності порівняння декількох варіантів розробки або модернізації ІР за різними критеріями їх кількісні показники виражаються у відносних одиницях. При цьому порівнюється абсолютне значення показника якості модернізованої системи з абсолютним значенням цього ж показника, обумовленого технічними вимогами до системи, або, якщо ці вимоги не обумовлені, з показником початкової системи, що модернізується. Оптимізацію системи в процесі розробки можна розглядати як модернізацію, приймаючи за початкову немодернізовану систему ту, яка відповідає першому варіанту, що задовольняє технічним вимогам або будь-якому іншому варіанту, що покращується в порівнянні з першим.

Розглянуті основні показники якості $y_1 - y_8$ у оптимальної системи мають мінімальні значення. Отже, і загальний показник ефективності системи E буде мінімальним. З психологічної точки зору (особливо у випадках захисту варіанту системи перед неспеціалістами) доцільно використовувати показники, які збільшуються при наближенні варіанту системи до оптимального. Це доцільно зробити і з тієї причини, що економічна і техніко-економічна ефективності оптимальної системи мають максимальне значення. Тому як часткові показники якості системи доцільно приймати їх відносні значення

$$y_{ui}^* = y_{im}/y_i. \quad (4.4)$$

Тоді техніко-економічна ефективність системи по частковому показнику якості буде оцінюватись наступним виразом

$$\eta_{li} = (y_{im}/y_i)/C,$$

де y_{im} — допустиме значення i -го показника якості вихідної системи; y_i — абсолютне значення цього показника для модернізованої системи; C — вартість модернізованої системи. Критерій η_{li} характеризує техніко-економічну ефективність пропонованої модернізації, або приріст значення i -

го показника якості на кожну гривню, витрачену на виготовлення модернізованої системи.

Якщо засоби, призначені для виготовлення! модернізованої системи обмежені, то для оцінки можна прийняти такий показник

$$\eta_{2i} = (y_{im}/y_i)/(C/C_m),$$

В процесі роботи з оцінки варіантів модернізації системи управління в умовах впроваджувального підприємства маєтся на увазі досліджувати серійну систему, що випускається: зробити її математичний опис, оцінити необхідні характеристики, визначити запаси стійкості в умовах експлуатації, оцінити теоретично проаналізовані та практично випробувані способи підвищення якості системи та запропонувати найкращий варіант.

4. Критерії оцінки ефективності систем

1. *Комплексний показник* ефективності E_k є лінійною комбінацією одиничних критеріїв E_i

$$E_k = \sum_{i=1}^n b_i E_i,$$

де n -число одиничних критеріїв, що враховуються. Комплексний показник E_k не враховує призначення системи.

2. *Ефективність систем автоматичного управління* визначається рівнянням

$$P = Q + \lambda R,$$

де Q — функція, що є показником якості системи;

R — показник надійності (вірогідність відмови системи);

λ — ваговий коефіцієнт.

3. *Ефективність військово-технічних систем* визначається в узагальненому виді як відношення нанесеного (або недопущеного) збитку D до витрат на нанесення (недопущення) збитку C :

$$E = D/C .$$

4. *Ефективність застосування зброї* визначається вірогідністю ураження цілі

$$P = P_n P_{жс} P_{ц},$$

де P_n — надійність системи (відношення числа снарядів, що досягли мети без технічної несправності до загального числа снарядів, що випускалися); $P_{жс}$ — живучість снаряда (вірогідність того, що снаряд не буде виведений з ладу діями супротивника); $P_{ц}$ — вірогідність того, що надійні снаряди, не збиті супротивником, досягнуть цілі.

5. *Часовий показник ефективності*. У формулу показника ефективності введена «вага» відмови системи у функції часу виникнення відмови. Наприклад, якщо відмова відбулася у момент початку відбиття системою ППО повітряного нальоту, то його «вага» вища, ніж якби відмова відбулася в кінці нальоту:

$$E(t) = \sum_{i \in G} e_i(t) P_i(t),$$

де $e_i(t)$ — ефективність (вага) i -го стану системи на момент часу t ; $P_i(t)$ — ймовірність того, що на момент часу t система знаходиться в i -му стані; G — множина станів системи.

6. Ефективність ППО супротивника визначається функцією

$$E = E(X),$$

де X — m -мірний вектор параметрів, що визначає ефективність ППО (m — число параметрів, що враховуються). Нападаюча сторона засобами створення радіозперешкод прагне мінімізувати значення E .

7. *Оцінка ефективності системи по ефективності системи-еталону*. У цьому випадку ефективність системи визначається порівнянням доної системи з оптимальною, ідеально функціонуючою системою. Критерієм порівняння є показник якості або цілі управління, який залежить від стану

об'єкта управління, зовнішніх дій та інших параметрів. За критерій ефективності береться математичне очікування критерійного функціонала Q ,

$$Q = \int_0^T G[x(t), u(t)] dt + \varphi_1[x(T)],$$

який має вигляд

де $x(t)$ — координати об'єкту управління; $u(t)$ — визначена послідовність керування, що мінімізує значення Q ; T — фіксований час; $\varphi[x(T)]$ - функція, що характеризує рух об'єкту.

8. Для наявної сукупності параметрів системи добитися *екстремуму цільової функції* (наприклад, мінімуму маси, габаритів, вартості та інш.) при накладенні обмежень на часткові параметри у вигляді

$$B_{i\min} < B_i < B_{i\max}$$

де B_i — чисельне значення параметра;

$B_{i\min}$, $B_{i\max}$ — обмеження цього параметра відповідно знизу та зверху.

9. *Ефективність системи* оцінюється по вірогідності виконання завдання, що стоїть перед нею. Якщо Φ_s є вірогідність того, що система виконає своє завдання за умови, що сукупність її елементів з вірогідністю H_s знаходиться в змозі s , то функція F характеризуватиме повну вірогідність виконання системою свого завдання

$$F = \sum_{s \in G} \Phi_s H_s.$$

де G — множина станів.

10. Ефективність системи розглядається як інтегральна оцінка вірогідності виконання завдання на необхідному рівні i за певний час. Величина i -го часткового показника якості буде рівна

$$P_i = \Phi / \Phi_{0i},$$

де Φ — імовірнісний критерій узагальненої якості, що включає i -ту часткову якість;

Φ_{0i} — імовірнісний критерій, аналогічний Φ , але обчислений за умови, що система володіє найкращим показником i -ї якості. Передбачається, що з

поліпшенням i -ї якості збільшується і значення Φ . В більшості випадків P_i є умовною вірогідністю сприятливих подій. Очевидно, що $0 \leq \Phi_{0i} \leq 1$,

$$\Phi \leq \Phi_{0i}, \quad 0 \leq P_i \leq 1.$$

11. *Функція втрат* (помилки) (Окремий випадок найбільш загального критерію якості динамічних систем). Вказаний критерій заснований на тому, що будь-яка система виконує ті або інші функції з певною точністю і, отже, характеризується деякою помилкою $E(s)$, яка в загальному випадку є багатовимірним вектором- різницею між вихідним сигналом $W(s)$ і його оцінкою $W^*(s)$:

$$E_s = W^*(s) - W(s).$$

Наприклад, якщо $s(t)$ — вхідний сигнал, $n(t)$ — адитивний шум і вихідний сигнал $W(s) = N[s(t)]$, (тут N — оператор перетворення сигналу $s(t)$), то оцінка вихідного сигналу визначається як перетворення реальним оператором системи A вхідного сигналу та адитивного шуму:

$$W^*(s) = A[s(t) + n(t)]$$

12. Ефективність автоматичних систем оцінюється вірогідністю того, що система задовольнятиме заданим технічним умовам (ТУ) і критеріям якості управління в даних умовах експлуатації протягом необхідного періоду часу.

Математично вказаний критерій представляється у вигляді вірогідності події

$$i=1, m, \quad P\left(\begin{matrix} \eta_i \geq \varepsilon_i \\ t \geq T \end{matrix}\right) = \beta, \quad i = \overline{1, m},$$

де η_i — критерій i -ї часткової якості; ε_i — граничне значення i -ї часткової якості; m — число критеріїв, що враховуються; T — час надійної роботи системи. При цьому передбачається, що показник якості η_i тим краще, чим більше його значення.

Таблиця 4.2.

Таблиця 4.2

Критерії оцінки ефективності складних систем і пристроїв

номер	Оцінка ефективності
о	Шляхом порівняння даної системи з оптимально і що ідеально функціонує (критерій якості або мети управління, залежний від стану об'єкту, управлінь, зовнішніх дій і інших параметрів
	Екстремумом деякого функціонала, званого показником мети управління
	Зброї (систем управління зброєю) — співвідношенням нанесеного (запобігаючого) збитку і вартості зброї
	Зброї — вірогідністю ураження цілі
	Систем озброєння — одним з часткових критеріїв: — середньою витратою ракет на ураження цілі — середнім часом, витраченим на ураження однієї цілі і ін.
	Оборони супротивника — мінімізацією функції, що зв'язує

параметри системи
Виконання системою функціональних обов'язків, надійність, ступінь простоти обслуговування, наявність резервів, величина збитку, що виникає при відмові системи
Самоналагоджувальних систем — по одиничних критеріях і комплексному показнику, чим визначається ефективність введення самонастроювання (модернізації)
Системи — вірогідністю виконання системою свого завдання
Зброї — як функція часу її застосування, у формулу показника введена вага відмови у функції моменту часу, коли відбулася відмова
Системи — як окремий випадок найбільш загального критерію якості динамічних систем— функції втрат (функції помилки)
Інтегральна оцінка вірогідності виконання завдання на необхідному рівні за певний час
Вірогідність того, що система задовольнятиме заданим технічним умовам і критеріям якості в даних умовах експлуатації протягом необхідного інтервалу часу
Комплексний критерій

13. Техніко-економічний підхід. Вибір нових пристроїв і засобів ІР і їх параметрів здійснюється на основі параметрів «старого ІР». При цьому як критерії оптимізації приймаються мінімум часу одного циклу управління τ ; мінімум загальної маси пристрою P ; мінімум до оцінки ефективності при виборі нових пристроїв автоматичного загального об'єму V ; мінімум потужності споживаної енергії W ; максимум надійності H ; мінімум вартості розробки, виготовлення, впровадження та експлуатації системи C .

14. Показник практичної оптимальності- комплексний критерій, що враховує експлуатаційні, конструктивні та економічні якості систем

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n b_i y_i^*}{\frac{C}{C_m} \sum_{i=1}^n b_i}$$

де $y_i^* = y_{im}/y_i$ – відносне значення показника i -ї часткової якості системи; y_i – абсолютне значення показника; y_{im} – максимально-допустиме значення

показника; C - вартість системи; C_m - максимально-допустиме значення вартості; b_i - ваговий коефіцієнт i -го часткового показника якості.

Мається на увазі, що часткові показники якості вибираються такими, що при зменшенні їх абсолютних значень u_i показник η якості системи збільшується. До таких показників відносяться маса, габарити, помилка керування, інтенсивність відмов, час технічного обслуговування тощо. Позитивними характеристиками цього критерію є враховування конструктивних, експлуатаційних та економічних характеристик системи, простота обчислення та наглядність.

Приведені критерії занесені в таблицю 4.2.. Аналіз і порівняльна оцінка цих критеріїв дозволяє провести класифікацію критеріїв (табл.4.3). Кожен з даних критеріїв розроблявся для оцінки ефективності певного класу систем, для якого його використання було найбільш доцільним. Критерії 3-6 і 10 розроблялися для оцінки ефективності систем зброї, але вони можуть бути використані для оцінки і інших складних систем при урахуванні їх специфіки. Критерії 1—4, 6, 7, 9, 11 —14 відносяться до узагальнених критеріїв, тобто критеріїв, що оцінюють ефективність на основі обліку ряду умов і станів. Критерії 2—5, 7 є складеними критеріями, що враховують вплив ряду часткових критеріїв. Вказані критерії не мають фізичного сенсу, але дозволяють гнучко оцінювати ефективність систем. Ряд критеріїв, такі як 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13 розраховуються в основному на основі статистичних даних. Критерії 3, 4, 7, 11—13 визначаються на основі головного показника — виконання завдання всією системою, що є найбільш правильним. Слід вказати, що більшість критеріїв оцінюють дія систем разової дії або частин порівняно складних систем. Критерій 7 оцінює ефективність промислових систем безперервної або тривалої дії.

Оцінка ефективності систем на основі окремих часткових критеріїв хоч і доцільна, проте у ряді випадків страждає однобічністю — не дозволяє врахувати дії цілого ряду важливих чинників на практичну оптимальність системи. Багато критеріїв складні, вимагають при визначенні знання конкретного значення параметрів, великого об'єму обчислювальних, а у ряді випадків і дослідницьких робіт. Цей недолік особливо виявляється при порівнянні значного числа варіантів складних систем з метою визначення оптимального варіанту. Критерії 9, 12, 14 оперують ваговими коефіцієнтами, які невідомі, а методика їх визначення в достатній мірі не розроблена. З розглянутих критеріїв найбільш простим і зручним для застосування в інженерній практиці особливо для серійних підприємств, виявляється критерій 14, який розглянемо докладніше.

Таблиця 4.3

Класифікація критеріїв оцінки ефективності складних систем і пристроїв

Оцінка ефективності	Номер критерію по табл. 4.2
По ефективності системи еталону	1
По екстремуму цільової функції	2, 10, 11
По вірогідності виконання завдання без урахування економічних чинників	4, 6, 9, 12
По вірогідності виконання завдання з урахуванням економічних чинників	3, 7
По максимуму вірогідності того, що система задовольняє всім заданим технічним вимогам	13
По часткових критеріях	5, 8
По сукупності конструктивних, експлуатаційних і економічних чинників	14

Контрольні запитання.

1. Наведіть визначення ефективності складних систем;
2. Назовіть типи вагових коефіцієнтів для часткових показників ефективності складних систем;
3. Обґрунтуйте необхідність визначення вартості складних систем і технічних рішень.
4. Наведіть аналітичні показники ефективності.
5. Дайте визначення поняття “економічна ефективність”.
6. Назовіть вимірювальні технічні показники систем.
7. Наведіть приклади часткових показників якості.

8. Наведіть лінійну форму показника (критерію) ефективності складної системи.

9. Приведіть оцінки варіантів розробки та модернізації систем за частковими показниками якості.

Лекція 5

Тема лекції: Методи визначення вагових коефіцієнтів показників ефективності інженерних рішень

План лекції

1. Вагові коефіцієнти та їх застосування
2. Визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості за математичною моделлю функції.
3. Методи визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості.

1. Вагові коефіцієнти та їх застосування

Методика розв'язання завдань, в яких ставиться більш за одну ціль, вимагає застосування загального методу, що дозволяє приписувати деякі відносні оцінки (ваги) даним цілям. На практиці люди

часто користуються ваговими коефіцієнтами (як коефіцієнтами важливості) інтуїтивно на основі досвіду. У інженерних розробках знання вагових коефіцієнтів, уміння їх правильно знаходити та оперувати ними в значній мірі визначає правильний вибір варіанту і, природно, успіх всієї розробки системи або її модернізації. Але яка з них краща? Задавшись ваговими коефіцієнтами кожного часткового показника якості, можна по об'єднаному (узагальненому) показнику визначити найкращу, практично оптимальну систему.

При модернізації виробів конструкторськими бюро підприємств в умовах серійного виробництва знання вагових коефіцієнтів і правильного їх застосування набуває особливого значення, бо невдалий вибір варіанту модернізації може спричинити за собою порушення експлуатаційних, технологічних і виробничих циклів не тільки на підприємстві-виготівнику, але і в експлуатуючих організаціях і викликати економічні витрати, що виходять за допустимі межі.

Навіть невеликі конструктивні зміни вимагають попередньої оцінки. Модернізація проводиться при виконанні наступних умов:

- 1) повинен бути збережений принцип взаємозамінності блоків;
- 2) не повинні бути знижені показники якості процесу управління, обумовлені технічними вимогами;
- 3) габарити модернізованої системи не повинні перевищувати габаритів початкової системи;
- 4) трудомісткість настройки і трудові витрати на технічне обслуговування повинні бути знижені;
- 5) модернізація повинна бути проведена протягом короткого часового терміну.

Коли розглядається багато конкуруючих систем з великою кількістю параметрів, значення правильного вибору вагових коефіцієнтів зростає. Неправильне, не відповідне «важливості» приватних показників якості значення вагових коефіцієнтів може привести до невірної оцінки конкуруючих варіантів. Тому вагові коефіцієнти для часткових показників якості повинні визначатися не суб'єктивно, а шляхом математичного обґрунтування. Методи визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості систем на сучасному етапі розвитку науки та техніки глибоко не досліджені.

Поняття вагового коефіцієнта як коефіцієнта важливості дуже ємке, тому завжди необхідно вказати, як він визначається та для яких цілей.

Наприклад, можна визначити ваговий коефіцієнт часткового показника як його важливість, в залежності від етапу роботи системи (ваговий коефіцієнт вартості на етапі впровадження, етапі серійного виробництва і т. інш.). Можна визначити ваговий коефіцієнт заходів, що проводяться, залежно від термінів виконання.

Вагові коефіцієнти часткових показників якості при розробці систем та їх модернізації визначаються виходячи з призначення системи, з умов виконання нею основного завдання. В цьому випадку обгрунтованість і точність визначення вагових коефіцієнтів залежить від того, наскільки повно і з якою точністю математична модель відображає виконання завдання реальною системою. Наприклад, якщо розглядати певний клас систем управління транспортними засобами, то їх ефективність визначається із співвідношення

$$E = \frac{P}{C}, \quad (5.1)$$

Оскільки

$$P = W(y_1, y_2, \dots, y_i) \quad (5.2)$$

де y_i – часткові показники якості, то

$$E = F(y_1, y_2, \dots, y_n) \quad (5.3)$$

-функція багатьох змінних y_1, y_2, \dots, y_n ,

де

$$y_n = C.$$

У кожному конкретному випадку слід вказати, для якого класу систем визначаються вагові коефіцієнти, бо математична модель, побудована для одного класу систем, буде іншою ніж для іншого. Якщо параметри, що

визначають ефективність, є функціями часу, то і значення вагових коефіцієнтів також будуть функціями часу.

Значення вагових коефіцієнтів не вичерпується їх використанням для розрахунку ефективності систем. Порівняння різних вагових коефіцієнтів показує відносну значущість кожного часткового показника якості для даного класу систем. Це дає можливість конструктору систем обгрунтовано вибрати напрям модернізації і розробки нових систем даного класу. Наприклад, якщо для конкретного типу стаціонарного ІР вагові коефіцієнти надійності і вартості значно більше вагових коефіцієнтів інших часткових показників якості, то конструктор добиватиметься високої надійності нового ІР не за рахунок застосування нових надійних, але дорогих елементів, а за рахунок резервування малонадійних, але дешевих елементів, не дивлячись на те, що ця обставина приведе до збільшення маси та габаритів системи.

Для визначення вагових коефіцієнтів часткових показників необхідне уміння будувати математичні моделі системи, що є самостійним завданням, отримувати інформацію про можливі значення параметрів і часткових показників якості конкуруючих варіантів систем. Природно, що у міру накопичення і розширення інформації про можливі значення часткового показників якості і параметрів систем (законів їх розподілу) відповідно змінюватимуться і значення їх вагових коефіцієнтів. Проте процес цей повільний у порівнянні з часом, потрібним для розрахунку вагових коефіцієнтів за вже наявною математичною моделлю системи.

2. Принцип визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості за математичною моделлю функції

Оцінка практичної оптимальності ІР зводиться до визначення коефіцієнтів важливості (вагових коефіцієнтів) часткових показників якості, що характеризують систему. Фактична оптимальність систем визначається на основі головного показника якості системи, який вибирається виходячи з її призначення. Наприклад, для певного класу систем головним показником є ефективність E . Чим більше значення E , тим система краща, ближча до оптимальної. У загальному випадку ефективність зв'язана складною залежністю з частковими показниками якості системи, які з свого боку можуть знаходитися у функціональній залежності один з одним, і перш за все з вартістю.

Розглянемо методику визначення вагових коефіцієнтів для різних випадків функціональної залежності ефективності системи від часткових показників якості. Хай задана залежність (5.3), причому всі часткові показники якості є незалежними змінними. Під ваговим коефіцієнтом i -го часткового показника якості будемо розуміти ступінь його впливу на головний показник якості системи E .

Вплив часткового показника якості на головний показник визначимо, узявши повний диференціал функції E

$$dE = \frac{\partial E}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial E}{\partial y_2} dy_2 + \dots + \frac{\partial E}{\partial y_n} dy_n. \quad (5.4)$$

Часткові похідні перед значеннями dy_i , $i=1, n$, можна розглядати як вагові коефіцієнти часткових показників якості y_1, y_2, \dots, y_n , зв'язаних функціональною залежністю з головним показником E . Дійсно, вираз dE/dy_i показує, як змінюється ефективність системи E при зміні часткового показника якості y_i (при фіксованих значеннях решти показників), тобто визначає ступінь його впливу на головний показник E .

На підставі викладеного можна записати:

$$b_i = \partial E / \partial y_i, \quad (5.4)$$

де b_i — ваговий коефіцієнт i -го часткового показника якості. Приймавши

$$b_i = \left. \frac{\partial E}{\partial y_i} \right|_{y_i = y_{i0}}, \quad i = \overline{1, n} \quad (5.5)$$

де y_{i0} — точка визначення значення b_i .

та зафіксувавши значення решти показників якості, рівняння (5) можна записати у вигляді

$$dE = b_1 dy_1 + b_2 dy_2 + \dots + b_n dy_n. \quad (5.6)$$

Це рівняння є наслідком лінеаризації функції E в точці, координати якої $y_i = y_{i0}$, $i = \overline{1, n}$.

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n b_i y_i}{\frac{C}{C_m} \sum_{i=1}^n b_i},$$

Коефіцієнт
оптимальності η ,
практичної
визначуваний
виразом

є лінійною функцією змінних y_i :

$$\eta = k(b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_n y_n). \quad (5.7)$$

Тут
$$k = 1 / \frac{C}{C_m} \sum_{i=1}^n b_i.$$

У (5.6) та (5.7) передбачається, що часткові показники якості b_i виражені в безрозмірній формі а їх значення при наближенні системи до оптимальної збільшуються. Коефіцієнти ваги b_i самі є функціями багатьох змінних часткових показників якості y_i , оскільки останні при визначенні b_i приймалися цілком визначеними:

$$b_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n).$$

При розгляді систем, для яких задані значення y_i , чисельні значення b_i виходять підстановкою в рівняння (5.6) конкретних значень часткових показників якості. Знаючи y_i , C , C_m , b_i можна визначити коефіцієнт практичної оптимальності і оцінити, яка з конкуруючих систем буде кращою.

3. Методи визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості

Для спрощення розв'язання визначення ефективності систем беруть до уваги, що вагові коефіцієнти не зв'язані один з одним і не залежать від значень самих часткових показників якості. Найбільш поширеними методами пошуку значень b_i , $i=1, n$, є: статистичний; множинної кореляції; ліанерізації функцій випадкових величин; статистичних випробувань; визначення показників b_i , $i=1, n$, при неповній інформації; -метод експертних оцінок.

Наведемо коротку характеристику цих методів.

Статистичний метод. Вагові показники b_i , $i=1,n$, знаходяться у функціональній залежності від часткових показників якості та розглядаються як випадкові величини із заданими законами розподілу. Функція $b_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n)$ є випадковою. Знаючи закони розподілу y_i , $i=1,n$, знаходять закон розподілу b_i , його математичне сподівання та дисперсію.

Метод множинної кореляції. Під кореляційною залежністю розуміється зв'язок між двома випадковими величинами, при якому одна з них реагує на зміну іншої змінами значень свого математичного сподівання. Завдання визначення залежності розв'язується методами регресії та множинної кореляції. Регресія y_1 та y_2 є функція $g_2(y_1)$, що представляє статичну залежність вказаних величин

$$Y_2 = g_2(y_1) + h_2(y_1, y_2), \quad (5.8)$$

де $h_2(y_1, y_2)$ – поправочний член;

$g_2(y_1) = M(y_2|y_1)$ – умовне математичне сподівання величини y_2 при фіксованому значенні величини y_1 . Регресія апроксимується лінійною функцією $ay_1 + b$, коефіцієнти a та b якої мінімізують середньоквадратичне відхилення

$$M[y_2 - g_2(y_1)]^2 = M[y_2 - (ay_1 + b)]^2.$$

Якість найкращого лінійного наближення визначається коефіцієнтом кореляції. Метод множинної кореляції дозволяє привести аналіз функції, який зв'язує між собою більш ніж 2 змінні величини. Метод не може застосовуватись, якщо математичне сподівання та дисперсія не є функціями часу.

Метод лінеаризації функцій випадкових величин. Застосовується у випадку, коли рівняння $b_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n)$ нелінійні. Для отримання значень $M(b_i)$, $D(b_i)$ необхідна лінеаризація рівнянь з заданою точністю. За припущенням щодо лінійності функції $b_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n)$ у вузьких межах отримують вираз

$$b_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n) \approx f_i[m(y_1), m(y_2), \dots, m(y_n)] + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f_i}{\partial y_j} \right)_m y_j^0. \quad (5.9)$$

Метод статистичних випробувань. Застосовується за умови, що значень числових характеристик вагових коефіцієнтів $M(b_i)$ та $D(b_i)$ недостатньо та

необхідно визначити закони їх розподілу. Для цього застосовуються методи статистичних випробовувань (наприклад метод Монте-Карло). Метод застосовується у тому випадку, коли аналітичне рішення задачі важке(або відсутнє взагалі), фізичне моделювання неможливе, а в наявності є інформація щодо розподілу ймовірностей параметрів досліджуваного процесу.

Метод визначення показників b_i за неповною інформацією щодо законів розподілу часткових показників якості. Цей метод дозволяє уточнювати дані щодо $M(b_i)$, $D(b_i)$ за статистичним матеріалом обмеженого об'єму. Користуються оцінками значень $M^(b_i)$, $D^*(b_i)$. Завдання застосування методу – отримати оцінки $M(b_i)$, $D(b_i)$ з мінімальними значеннями помилок оцінок: змістовності, незміщеності, ефективності.*

Контрольні запитання:

1. Наведіть шляхи застосування вагових коефіцієнтів при визначенні практичної оптимальності систем.
2. Представте повний диференціал функції ефективності інженерного рішення.
3. Які показники якості беруть участь в утворенні коефіцієнта практичної оптимальності?
4. Назвіть методи визначення значень вагових коефіцієнтів часткових показників якості.
5. Визначте області застосування методів обґрунтування значень коефіцієнтів часткових показників якості.

Лекція 6

Визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості інженерних рішень методом експертних оцінок

План лекції

1. Теоретичні відомості.
2. Математична обробка результату опитування експертів.

1. Теоретичні відомості

Якщо наявний об'єм інформації про часткові показники якості системи недостатній для надійного об'єктивного визначення їх вагових коефіцієнтів розглянутими вище методами, то використовується *метод експертних оцінок*, інакше званий методом *евристичного прогнозування*. У загальному випадку експертні оцінки, що даються висококваліфікованими фахівцями, носять певною мірою суб'єктивний характер і в чистому вигляді застосовуються при оцінці нескладних систем і пристроїв.

При розв'язанні проблеми вибору найкращого варіанту складних систем або пристроїв інформація, отримана у вигляді оцінок, що даються експертами, потребує обґрунтованої систематизації і кропіткої обробки.

Процедура визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості інженерних рішень методом експертних оцінок складається з наступних етапів: розробка анкетних питань, підбору експертів, опитування експертів, математичної обробка результатів опитування (визначення вагових коефіцієнтів).

а) Розробка анкетних питань. Питання в анкетах повинні бути поставлені так, щоб не допустити багатозначності тлумачення, тому складне питання повинне бути розбите на елементарні в сенсі простоти формулювання. Кращою формою буде та, в якій присутнє конкретне питання і декілька цифр, одну або декілька з яких експерт повинен підкреслити.

Анкети можуть включати питання про найбільш вірогідні значення вагових коефіцієнтів b_j . Надалі при обробці результатів опитування N експертів

за значеннями вагових коефіцієнтів b_{ij} (j — номер експерта) визначається математичне очікування $M(b_i)$ і дисперсія $D(b_i)$ кожного вагового коефіцієнта. Анкети можуть включати питання про можливі значення коефіцієнта — максимального b_{imax} або (і) мінімального b_{imin} . Питання в анкеті також можуть бути поставлені так, що експерти дають три оцінки значень кожного вагового коефіцієнта: максимального b_{imax} , мінімального b_{imin} та найбільш вірогідного b_{imod} .

Іноді виявляється необхідним знати думку експертів про перелік часткових показників якості, які доцільно враховувати при оцінці ефективності даного класу інженерних рішень. В цьому випадку опитування експертів проводиться в два етапи. При підготовці анкети для першого етапу необхідно звертати особливу увагу на визначення показника якості системи, пов'язаної з її призначенням. Тому як ввідна частина анкети повинні бути вказані призначення та місце застосування ІР. Питання про показники якості, які можуть оцінюватися різними способами, повинен бути розділені на ряд часткових питань

У анкеті другого етапу опитування вказується призначення системи та вибраний узагальнений показник якості системи, що включає ті часткові показники якості, які були визначені в результаті першого етапу опитування. В питаннях експертам пропонується вказати або найбільш вірогідні значення вагових коефіцієнтів або тільки їх верхні і нижні межі або ж верхні, нижні та найбільш вірогідні значення. Для визначеності показники якості, пов'язані з призначенням системи, доцільно прийняти рівним одиниці. Це полегшить роботу експертів, оскільки вони порівнюватимуть значущість решти часткових показників з головним частковим показником якості, дозволить отримати дані від експертів, виражені у вимірюваних величинах, що спростує математичну обробку результатів опитування.

б) призначення експертів. Експертів повинно бути не мало, але й не дуже багато. Мала група може мати погану узгодженість думок, а у великій групі неминуха велика відмінність в компетентності експертів. Досвід показує, що достатньо 10—15 фахівців.

Для оцінки вагових коефіцієнтів часткових показників якості ІР, експертами доцільно запрошувати фахівців НДІ та конструкторських бюро, розробляючих системи подібні або близькі до даного класу ІР, спеціалістів промислових підприємств, що модернізують і впроваджують систему, таспеціалістів, що експлуатують подібні системи. Серед експертів обов'язково повинні бути фахівці з усіх груп, зокрема фахівці, які експлуатуватимуть нові системи даного класу. Це значною мірою скоротить перелік спірних питань,

що виникають в процесі розробки, модернізації і експлуатації нових систем, прискорить розробку ІР та впровадження, підвищить їх техніко-економічну ефективність. Бажано, щоб експерти не були особисто зацікавлені в ухваленні певного рішення.

в)опитування експертів. Необхідно дотримувати таємницю відповідей кожного експерта, щоб уникнути появи оцінок, викликаних не думкою експерта як фахівця, а відповідними обставинами (посадовим положенням, взаєминами з іншими експертами і т. інш.). Тому експерт повинен відповідати на питання анкети, не знаючи думки інших експертів. Опитування може бути проведене в декілька турів. Після першого туру узагальнюються результати відповідей експертів і всіх їх знайомлять з цими результатами. Потім опитування повторюється кілька разів, щоб прихильники крайніх оцінок могли остаточно сформулювати обгрунтовану думку. Відповіді експертів, отримані в результаті опитування, вивчаються і піддаються математичній обробці.

2. Математична обробка результатів опитування

Вивчення і математична обробка отриманої інформації переслідує дві мети:

1)проаналізувати принциповий підхід фахівців до оцінки варіантів розробки або модернізації ІР;

2)перетворити отриману якісну інформацію в кількісну форму.

При обробці інформації, отриманої від експертів, за показник групової думки береться медіана (медіана $x_{1/2}$ ділить область визначення змінної x на два інтервали), а за показник узгодженості думок експертів - діапазон кuartилів(кuartилі $x_{1/4}$, $x_{1/2}$ $x_{3/4}$ ділять область визначення змінної на чотири інтервали, попадання в яких мають рівні ймовірності), які добре характеризують сукупність отриманої інформації. Експертів, чиї оцінки виявляються поза межами кuartилів, просять обгрунтувати свої оцінки і повідомити думку з приводу досконалості постановки питань. З цими матеріалами анонімно знайомлять решту експертів, щоб дати їм можливість ще раз продумати обгрунтованість своїх оцінок і врахувати всі обставини, які вони могли упустити в першому турі. Як правило, результати другого і подальших турів дають менший розкид оцінок експертів. Медіана відповідей останнього туру береться за узагальнену думку. Таке впорядкування отриманої

інформації дозволяє знайти об'єктивніші оцінки групової думки, чим у разі простого усереднювання.

У експертних методах імовірнісна математична модель зазвичай формується на основі оцінок, що характеризують передбачуваний розподіл шуканої величини. Приймається, що з погляду експерта розподіл є безперервною функцією, характер якої можна встановити, застосовуючи спеціальні критерії. В цьому випадку обробка результатів опитування проводиться імовірнісними методами. Якщо визначити характер функції не можна, то використання імовірнісних методів неможливе. В цьому випадку отриману інформацію оцінюють за допомогою методів, що відображають переваги експерта, коли він приписує кожному порівнюваному варіанту деяке число.

Експертні оцінки якісних і важковимірних ознак проводяться за порядковою шкалою, вимагають застосування спеціальних методів впорядкування для їх математичної обробки. Впорядкування слід застосовувати у наступних випадках:

1) із загального числа характерних ознак даних варіантів необхідно виділити найбільш важливі;

2) необхідно оцінити чинники, які не можна точно виміряти, але можна зіставити між собою, охарактеризувати їх як «кращі», «цінніші», «корисніші» і т.інш.

Найбільш поширені методи впорядкування: ранжирування, безпосередньої оцінки, послідовного порівняння, парного порівняння, рангової кореляції. Стисло розглянемо їх суть.

Метод ранжування. Ранжування передбачає встановлення відносної значущості показників якості (чинників) досліджуваних варіантів IP. Зазвичай найбільш переважному показнику привласнюється перший ранг, а найменш переважному - останній ранг. Кожному показнику (чиннику) експерт приписує числа натурального ряду 1, 2, 3, ..., N. Звичайно число рангів рівне числу ранжованих показників. Якщо експерт декільком показникам (чинникам) приписує один і той же ранг, то число рангів N не буде рівне числу n показників IP. У таких випадках показникам привласнюються стандартизовані ранги, які представляють середні суми місць, падаючих на

$$S_n = \sum_{i=1}^n a_i = \frac{n(n+1)}{2},$$

показники з однаковими рангами. Загальне число рангів вважають рівним n . Сума рангів S_n при ранжуванні n показників дорівнює

сумі чисел натурального ряду:

де a_i — ранг i -го показника якості.

Оскільки при ранжуванні беруть участь декілька експертів, то для кожного показника якості підраховується сума рангів, даних йому експертом, і показнику, що має найменшу суму, привласнюється перший ранг. Відповідно показнику, що має найбільшу суму, привласнюється останній ранг. У табл.6.1 приведений приклад ранжування чотирьох показників якості на підставі оцінок, даних трьома експертами (невелике число експертів узятє для спрощення прикладу). З табл.6.1 видно, що в результаті ранжування перший ранг привласнений надійності, а останній — габаритам системи. Ранжування указує лише на значущість одного показника в порівнянні з іншим, тому його зазвичай застосовують спільно з іншими методами.

Таблиця 6.1.

Ранжування показників якості інженерних рішень

Експерти	СКВ	Маса	Габарити	Надійність
1	2	3	4	1
2	1	4	3	2
3	2	3	4	1
Сума рангів	5	10	11	4
Кінцевий ранг зника	2	3	4	1

Метод безпосередньої оцінки. Набір показників якості ІР оцінюється визначеною(наприклад, десятьма) кількістю балів і всі показники якості відповідно до проведеного ранжування розподіляються в межах заданої бальної шкали. Оцінка в балах проводиться при математичній обробці анкет опитування - кожній відповіді експерта співставляється певний бал. Наприклад, при оцінці показника якості «дуже важливий» — 3, «важливий» — 2, «так» - 1, «ні» = 0 і т.інш. Тоді вага i -го показника в системі решти показників якості, даних i -м експертом, буде рівною

$$b_{ij} = l_{ij} \left/ \sum_{i=1}^n l_{ij} \right. \quad (6.1)$$

де l_{ij} — оцінка i -го показника, дана j -м експертом;

n — число показників якості.

Середнє значення вагового коефіцієнта i -го показника якості буде рівне

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}}, \quad (6.2)$$

де m — число експертів.

Для ілюстрації визначення вагових коефіцієнтів методом безпосередньої оцінки розглянемо наступний приклад. Результати оцінки чотирьох показників якості $l_1 - l_4$ трьома експертами приведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Оцінки експертів

Експерт(j)	Оцінки показників, l_j			
	l_1	l_2	l_3	l_4
1	0	3	0	3
2	1	2	1	1

3	2	1	2	2
---	---	---	---	---

Таблиця 6.3

Оцінки l_{ij}

Оцінка l_{ij}		Ваговий коефіцієнт, b_{ij}		Оцінка l_{ij}		Ваговий коефіцієнт, b_{ij}	
l_{11}	0	b_{11}	0	l_{31}	0	b_{31}	0
l_{12}	1	b_{12}	0.2	l_{32}	1	b_{32}	0.2
l_{13}	2	b_{13}	0.3	l_{33}	2	b_{33}	0.3
l_{21}	3	b_{21}	0.5	l_{41}	3	b_{41}	0.5
l_{22}	2	b_{22}	0.4	l_{41}	1	b_{41}	0.2
l_{23}	1	b_{23}	0.14	l_{41}	2	b_{41}	0.3

Значення цих оцінок l_{ij} поміщені в лівій частині табл.6.3. Для визначення значень b_{ij} спочатку підрахуємо значення $\sum_{i=1}^n l_{ij}$ всіх оцінок експертів:

$$\sum_{i=1}^4 l_{i3} = 7, \quad \sum_{i=1}^4 l_{i1} = 6, \quad \sum_{i=1}^4 l_{i2} = 5.$$

Підставляючи знайдені значення $\sum_{i=1}^n l_{ij}$ в формулу (6.1) знаходимо

значення b_{ij} . Оцінки b_{ij} розміщені в табл. 6.3. Для визначення вагових коефіцієнтів спочатку обчислимо $\sum_{i=1}^3 l_{ij}$ значення для всіх i :

$$\sum_{j=1}^3 b_{1j} = 0 + 0.2 + 0.3 = 0.5, \quad \sum_{j=1}^3 b_{2j} = 0.5 + 0.4 + 0.14 + 1.04, \quad \sum_{j=1}^3 b_{3j} = 0 + 0.2 + 0.3 = 0.5,$$

$$\sum_{j=1}^3 b_{4j} = 0.5 + 0.2 + 0.3 = 1$$

Знайдемо значення знаменника формули (6.2)

$$A = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 b_{ij} = \sum_{j=1}^3 b_{1j} + \sum_{j=1}^3 b_{2j} + \sum_{j=1}^3 b_{3j} + \sum_{j=1}^3 b_{4j} = 0,5 + 1,04 + 0,5 + 1 = 3,04.$$

Підставляючи знайдені значення чисельника $\sum_{i=1}^3 l_{ij}$ для кожного b_i знайдемо вагові коефіцієнти:

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^3 b_{1j}}{A} = \frac{0,5}{3,04} = 0,164, \quad b_2 = \frac{\sum_{j=1}^3 b_{2j}}{A} = \frac{1,04}{3,04} = 0,341,$$

$$b_3 = \frac{\sum_{j=1}^3 b_{3j}}{A} = \frac{0,5}{3,04} = 0,164, \quad b_4 = \frac{\sum_{j=1}^3 b_{4j}}{A} = \frac{1}{3,04} = 0,328.$$

Наведений приклад показує трудомісткість обчислень при обробці результатів опитування навіть трьох експертів про визначення вагових коефіцієнтів всього лише чотирьох часткових показників якості системи.

На практиці зустрічаються значно більші труднощі, оскільки визначаються вагові коефіцієнти більш ніж п'яти часткових показників якості та проводиться опитування від 10 до 15 експертів.

в) Метод послідовних порівнянь. Метод застосовується у випадках, коли необхідно встановити точніший зв'язок між показниками якості в системі. Порівнюючи показники якості відповідно до вимог методу, необхідно:

1. Провести ранжування показників.

2. Показнику l_1 з рангом, рівним 1, приписати оцінку $v_1=1$, а решті показників — оцінку від 0 до 1.

3. З'ясувати, чи буде показник з оцінкою $v_1=1$ перевершувати по важливості всі інші, взяті разом. Якщо так, то v_1 слід збільшити до такого значення, щоб була справедлива нерівність

$$v_1 > \sum_{i=2}^n v_i,$$

де v_i — оцінка решти всіх показників. Інакше v_i слід змінити так, щоб була справедлива нерівність

$$v_1 > \sum_{i=2}^n v_i,$$

4. Аналогічна процедура застосовується для наступного показника якості l_2 . Ця процедура продовжується до тих пір, поки не буде оцінений $(n-1)$ -й показник.

За наявності великого числа показників (більше 7) застосування методу стає вельми трудомістким. В цьому випадку більш доцільне використання методу парних порівнянь.

Метод парних порівнянь. При цьому методі одному з двох (важливішому) показнику привласнюється експертна оцінка 1, а менш важливому — 0. Якщо кожна пара показників порівнюється одноразово, то число порівнянь

буде

$$k = \frac{m(m-1)}{2},$$

де m — число часткових показників якості системи.

Якщо операція парних порівнянь проводиться декількома експертами, то середнє значення вагового коефіцієнта на підставі опитування всіх експертів визначається за формулою

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}},$$

де $b_{ji} = f_{ij}/k$ — вага показника i -ї якості за даними j -го експерта;

f_{ij} - середня частота переваги, надана j -м експертом i -му показнику в порівнянні з іншими показниками

$$f_{ij} = \sum_{i=1}^{n-1} f\left(\frac{l_i}{l_{i+c}}\right)_j,$$

де $f(l_i/l_{i+c})$ — частота переваги, що віддається показнику l_i в порівнянні з показником l_{i+c} . Індекс $(i + c)$ відноситься до показників, доповнюючих даний показник при однозначному порівнянні.

Математичний апарат, використовуваний при експертній оцінці відносної значущості показників якості, що визначають ефективність системи, постійно розвивається.

Контрольні питання:

1. Хто може бути експертом.
2. Яка чисельність експертів є доцільною при визначенні показників b_i ?
3. Наведіть методику визначення вагових коефіцієнтів експертами.
4. Поясніть зміст методу ранжирування.
5. Дайте характеристику методу безпосередньої оцінки.

6. Визначте умови застосування методу експертних оцінок для визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості IP..

Лекція № 7

Тема 3. Визначення вартості інженерних рішень.

Тема: Визначення вартості інженерних рішень.

План лекції

1. Задача визначення вартості складних систем та шляхи її розв'язання.
2. Огляд методів наближених розрахунків.
3. Визначення вартості систем за середньою вартістю функціональних елементів.
4. Порівняння методів визначення вартості складних систем.

1. Завдання визначення вартості складних систем і шляху її розв'язання

Кількісне дослідження моделі ефективності складних систем показує, що вартість є одним з істотних чинників у виборі практично оптимальної системи. Визначення вартості будь-якого виробу пов'язане із значними труднощами, оскільки існуючі елементи розрахунку багато в чому умовні та наближені. Визначати вартість системи на стадії проектування або модернізації ще важче, оскільки при цьому даних для розрахунку недостатньо. Однак у інженерних дослідженнях можна приблизно розрахувати її на основі наближених початкових даних і прийти до правильних висновків, якщо відомі межі і напрями зміни вартості і наслідки помилок, що виникли в результаті допущених неточностей.

При оптимізації систем на стадії проектування та при виборі варіанту модернізації мова йде переважно щодо порівняльного аналізу техніко-

економічної ефективності певних варіантів. Для такого аналізу достатньо знати вартість наближено. Тому цілком прийнятною є точність визначення вартості, що забезпечує достовірність нерівності $\Delta C \geq 0$.

Вартість для техніко-економічного аналізу представляє інтерес у основному не сама по собі, а як складова показника ΔC , який - відносний, оскільки є різницею вартостей варіантів системи. Таким чином, точність результатів розрахунку може опинитися вище, ніж початкові дані, якщо, звичайно, точність визначення вартості для різних варіантів одна і та ж, а це неважко виконати, якщо користуватися одним і тим же методом розрахунку для різних варіантів. Слід уточнити, про якові вартість йде мова. У загальному випадку при техніко-економічному аналізі потрібно враховувати як капітальні витрати на розробку, виготовлення і установку блоків ІР, так і поточні витрати на експлуатацію, технічне обслуговування, прибуток, компенсацію збитків із-за несправності системи і т.інш.

У лекції основна увага буде приділена розрахунку вартості виготовлення блоків системи і витрат, пов'язаних з експлуатацією і обслуговуванням системи, оскільки для ряду систем, що виготовляються великими серіями або особливо трудомістких з виготовленні і експлуатації, вартість розробки і модернізації незначна в порівнянні з ними. Отримані результати можуть бути поширені і на інші складові коштуємо остів складних систем.

При визначенні вартості виготовлення ІР найбільший інтерес представляють *основні матеріальні трудові витрати* (ОМТВ), що йдуть на виготовлення системи і є сумою вартості матеріалів, комплектуючих виробів і заробітної плати основних виробничих працівників. Це пояснюється тим, що, маючи дані про ОМТВ і заробітну плату, решту вартостей просто обчислити відомими методами. Наприклад, заводська собівартість виготовлення системи може бути визначена наступним співвідношенням

$$C_{\text{зав}} = C_m + C_k + C_z \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100} \right),$$

де C_m , C_k , C_z —відповідно вартість матеріалів, комплектуючих виробів і заробітної плати;

α - відсоток цехових витрат;

β - відсоток загальнозаводських витрат (до заробітної плати основних робітників).

Повна собівартість може бути підрахована за формулою

$$C_{\text{п}} = C_{\text{зав}}(1 + Q/100), \quad (7.1)$$

де Q — відсоток позавиробничих витрат (до заводської собівартості).

Коефіцієнти α , β , Q є нормативними, дані про них можна знайти або в літературі, або на підприємствах, де планується виготовлення системи. Наприклад, середні значення цих коефіцієнтів для приладобудівних підприємств відповідно становлять 115, 53 та 2,5.

2. Методи наближених розрахунків

Найбільш поширеними методами приблизного визначення вартості ІР являються: метод питомих ваг; графоаналітичний метод; кореляційний метод; кошторисної калькуляції.

Метод питомих ваг. ґрунтується на визначенні собівартості виробів за питомою вагою окремих складових у загальній вартості. Дані за питомими вагам використовуються для аналогічних виробів. При визначенні собівартості пропонуються наступні ознаки співставлювання:

а) конструктивні(принцип дії, оформлення, блок-схема, кінематична схема, однаковість використовуваних матеріалів та комплектуючих виробів, однаковість технологічних процесів виготовлення);

б) експлуатаційні(точність, надійність, універсальність, діапазон регульованих величин та інш.);

На підставі даних щодо структури та собівартості аналогічних виробів визначається собівартість проектуємого(модернізуємого) виробу:

$$C = \frac{100}{P_e} E_{\text{л}}, \quad (7.2)$$

де P_e – питома вага витрат (у відсотках) визначеного елемента у вартості аналогічного виробу;

$E_{\text{л}}$ - сумарні витрати на даний елемент у спроектованому виробі.

Доцільним є вибір у якості таких елементів ті елементи, які мають найбільшу питому вагу в собівартості виробів. Для ІР це може бути вартість комплектуючих виробів або заробітна платня основних робітників, а у ряді випадків - вартість матеріалів.

Графо-аналітичний метод. Застосовується у тихих випадках, коли на стадії проектування(модернізації) відсутні дані щодо виробу-аналога, на основі якого можна було б скористуватися методом питомих ваг або іншим методом. Однак для реалізації цього методу необхідне попереднє дослідження по групі систем, до яких може бути віднесено проектуєме ІР. Метод ґрунтується на отриманні вартісної характеристики

$$C_3 = f(C_M + C_K), \quad (7.3)$$

- залежності основної заробітної плати від вартості матеріалів та комплектуючих виробів. Функція $f(C_M + C_K)$, може бути у багатьох випадках апроксимована степеневими функціями у вигляді

$$C_3 = C_0 (C_M + C_K)^\gamma,$$

де C_0 , γ – коефіцієнти, які визначаються в результаті попередніх досліджень різних груп систем. Тоді вираз для оцінки заводської собівартості $C_{зав}$ матиме наступний вигляд

$$C_{зав} = C_M + C_K + C_0^1 (C_M + C_K)^\gamma, \quad (7.4)$$

$$\text{де } C_0^1 = C_0 \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100}\right).$$

Вартість матеріалів та комплектуючих виробів на стадії проектування(модернізації) орієнтовно може бути визначена, а коефіцієнти α та β , які враховують непрямі витрати є нормативними, то по останній формулі може бути визначена заводська собівартість блоків системи.

Кореляційний метод. Розвиває графо-аналітичний метод. Попередньо будується залежність $C_3 = f(C_M + C_K)$. У порівнянні з графо-аналітичним методом при малій питомій вазі вартості матеріалів та комплектуючих виробів він дає кращі результати, особливо якщо залежність основної заробітної плати від вартості матеріалів та комплектуючих виробів має скоріше кореляційний характер, ніж функціональний. Визначається коефіцієнт кореляції r між досліджуваними величинами(у нашому випадку між C_3 та $C_M + C_K$), коефіцієнти регресії та, на сам кінець складається рівняння регресії (залежність між величинами). Ці величини визначаються по групам

виробів, аналогічних тим, що проектуються. На практиці приймають за основу, що між досліджуваними величинами має місце достатній зв'язок, якщо $r > 0.6$, при умові, що висновок щодо наявності зв'язку підкріплено економічними висновками. Метод визначення собівартості ґрунтується на умові, що висновки, зроблені в результаті дослідження невеликої кількості аналогічних пристроїв, можна застосувати до всіх пристроїв, об'єднаних в групи (генеральні сукупності). Ступінь різниці коефіцієнта кореляції, отриманого з виборки та коефіцієнта кореляції генеральної сукупності, можна оцінити середньоквадратичною похибкою

$$\sigma_r = (1-r^2)/\sqrt{N}, \quad (7.5)$$

де N – число пристроїв, з яких виводилась кореляційна залежність.

Застосовувати кореляційний метод доцільно за умови, коли відома вся калькуляція аналога, коли питома вага вартості матеріалів та комплектуючих виробів невелика (у цьому випадку графо-аналітичний метод дає більші похибки) та, на сам кінець, коли залежність $C_3 = f(C_m + C_k)$ має кореляційний характер.

Метод кошторисної калькуляції. Застосування методу дає найбільш реальні результати. Він може застосовуватись тільки на стадії освоєння дослідної партії систем, коли готова технічна та технологічна документація та питання вибору варіанта системи (ІР) в основному вирішене. Застосування методу на етапах ескізного та технічного проектування неможливе, тому що відсутні достатні дані щодо його реалізації (норми витрат основних матеріалів, відомість покупних виробів, трудоемність виготовлення спроектованого ІР за видами робіт, відсотки цехових та загальнозаводських витрат заводу-виготовлювача модернізованої системи). Метод є найбільш точним з розглянутих у параграфі, він застосовується для оцінки похибок інших методів приблизного визначення собівартості.

3. Визначення вартості систем за середньою вартістю функціональних елементів

При модернізації (проектуванні) блоків системи на стадії ескізного, а тим більше технічного проектування неважко побудувати детальні блок-схеми розроблених пристроїв. Елементи цих схем в більшості випадків запозичують з інших виробів або будують на основі відомих принципів. Модернізація, побудована на оригінальних розробках, зустрічається відносно

рідко. Отже, завдання проектування (модернізації) полягає в узгодженні вибраних функціональних елементів (ФЕ) між собою (виборі необхідних параметрів), побудови з них вузлів, блоків і, нарешті, ІР(виробу). Однією з особливостей модернізації (проектування) блоків системи є обмеженість набору ФЕ, з яких вони будуються. Наприклад до складу блоків ІР можуть входити: підсилювачі змінного і постійного струму, фазові детектори, електромашинні підсилювачі, двигуни, магнітні підсилювачі, сельсини, трансформатори, що обертаються, гіроскопи, тахогенератори, модулятори, демодулятори, що коректують контури та інші функціональні елементи. Число ФЕ, найчастіше вживаних в блоках ІР, зазвичай не більше двох -трьох десятків. Серед блоків ІР можна у всіх випадках виділити елементи, що визначають складність блоків, та обумовлюють основну частину вартості.

Середні вартості елементів деяких класів ФЕ незначно розрізняються між собою. Наприклад, середні вартості таких ФЕ, як фазові детектори, модулятори, тригери, підсилювачів постійного струму(ППС) практично однакові для всієї радіоелектронної апаратури (РЕА). Враховуючи ці особливості на стадії модернізації (проектування) доцільно знаходити вартість виробництва ІР за середньою вартістю ФЕ, яка залежить від їх складності. Для цього необхідно

декомпозиувати ІР на класи елементів i , визначивши вартість c_i елементів i -го класу, знайти вартість системи шляхом визначення суми:

$$C = \sum_{i=1}^m n_i c_i, \quad (7.6)$$

де n_i — число елементів одного класу;

m — число різних класів в даному ІР.

Розбивати ІР на класи доцільно таким чином, щоб вартості ФЕ мали однаковий порядок. При цьому, природно, враховуються умови роботи ІР та його призначення (стаціонарна система, бортова система і т. інш.). Числа n_i і m найчастіше відомі або можуть бути визначені вже на стадії ескізного проектування. Для застосування метода визначення вартості ІР за середньою вартістю ФЕ, необхідні дані щодо c_i . Їх можна визначити за вартістю блоків ІР, що випускаються промисловістю. У цьому випадку слід знайти питомі вартості окремих ФЕ:

$$(7.7) \quad c_{\text{пі}} = \frac{c_{\text{блі}}}{n_i},$$

де $c_{\text{блі}}$ — вартість блоку i -го класу;

n_i — число ФЕ в блоці.

Потім необхідно побудувати гістограми розподілу цих вартостей. З гістограм розподілу питомих вартостей $c_{\text{пі}}$ за допомогою методів математичної статистики визначаються числові характеристики, необхідні для застосування методу та оцінки його точності: середньоарифметичні c_i , середньоквадратичні відхилення (СКВ) σ_i та коефіцієнти варіації $\tilde{v}_i = \frac{\sigma_i}{c_i}$.

Вартість допоміжних елементів (елементів конструкції, монтажу та інш.), яка зазвичай невелика, при такому підході автоматично включається в середню вартість ФЕ. Якщо вибірки, використовувані для визначення середніх вартостей ФЕ, представницькі (достатні за об'ємом), то для зручності аналізу гістограми можна апроксимувати теоретичними кривими щільності розподілу ймовірностей випадкових величин. Приблизними оцінками точності визначення вартості при цьому можуть бути оцінки σ_{Σ} та \tilde{v}_{Σ} відповідних значень σ_i та \tilde{v}_i .

Обчислені за дослідними даними. Отже, точність визначення вартості даним методом тим вище, чим менше σ_{Σ} та \tilde{v}_{Σ} . Якщо взяти до уваги, що питомі вартості блоків системи є сумою лінійних випадкових функцій $\sum_{i=1}^m n_i c_{ni}$, а також знехтувати кореляцією між вартостями окремих блоків і вартостями ФЕ різних класів, то, скориставшись відомими співвідношеннями математичної статистики, неважко отримати вирази для СКВ і коефіцієнта варіації, що визначають погрішність знаходження вартості IP від числа блоків та їх класів:

$$\tilde{\sigma}_z = \sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m n_{ij}^2 \tilde{\sigma}_i^2};$$

$$\tilde{\bar{\sigma}}_z = \sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m n_{ij}^2 \tilde{\sigma}_i^2} / \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m n_{ij} \bar{c}_i,$$

(7.8), (7.9)

де N — число j -х блоків системи;

m — число i -х класів ФЕ;

σ_i та c_i — СКВ та середньоарифметичне значення питомої вартості ФЕ i -го класу.

При збільшенні N і m чисельник виразу (7.9) зростає повільніше, ніж знаменник, отже, погрішність визначення вартості ІР зменшується. У окремому випадку, коли ІР складається з ФЕ одного класу та число ФЕ в кожному блоці однакове, відношення (7.9) значно спрощується

$$\bar{\sigma}_z = \tilde{\sigma}_i / \sqrt{N}, \quad i=1,$$

де $\tilde{\sigma}_i$ — коефіцієнт варіації розподілу питомих вартостей ФЕ даного класу.

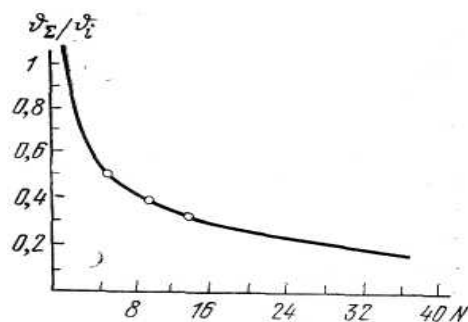


Рисунок – 7.1. Залежність відносного коефіцієнта варіації від числа блоків N при рівному числі ФЕ в блоках ІР одного класу на виготовлення та від лагодження системи

Характер залежності $\bar{\mathfrak{F}}_z = \tilde{\mathfrak{F}}_i / \sqrt{N}$, $i=1$, у відносному масштабі наведений на рис. 7.1.

За допомогою цього метода можна визначити вартість тих блоків ІР(або його частини), в яких можна виділити ФЕ, що визначають їх складність і знайти середню вартість цих елементів. Витрати, пов'язані із загальною компоновкою і наладкою ІР, можуть обчислюватися з використанням відомих методів визначення вартості. Доцільність застосування того або іншого методу визначається видом ІР та наявністю відповідних вихідних даних. Зокрема, для ІР, вартість блоків яких може бути визначена по середніх вартостях ФЕ.

Для цього, розглядаючи елементи компоновки і наладки, міжблочні з'єднання можна знайти їх питому середню вартість на один ФЕ. При блоках однакової складності, що входять до системи, такими ФЕ можуть бути самі блоки, при різній — ФЕ, за якими визначились вартості блоків. Процедура визначення питомих середніх вартостей і загальної вартості виробництва системи (з урахуванням всіх елементів витрат) в цьому випадку аналогічна визначенню вартості блоків.

4. Порівняння методів визначення вартості складних систем

З викладеного в попередніх параграфах витікає, що всі відомі методи визначення вартості виробів є імовірнісними, навіть найбільш точний метод кошторисної калькуляції. Це пояснюється в основному відсутністю для багатьох систем обґрунтованих науково-технічних норм трудомісткості. Їх можна отримати також на основі імовірнісних методів, оскільки практично неможливо врахувати всі чинники, що впливають на виготовлення та наладку системи. Відомі методи оцінки на етапі модернізації, а саме метод питомих ваг, графоаналітичний, кореляційний та метод визначення вартості систем за середньою вартістю ФЕ - вимагають для своєї реалізації початкової інформації, яку можна отримати на етапі ескізного проектування. Проте метод

визначення вартості систем за середньою вартістю ФЕ простіший у застосуванні, оскільки при відомій середній вартості $c_{\text{ісер}}$ ФЕ потрібно знати тільки кількість ФЕ в блоках системи, у той час як решта методів вимагає докладного розрахунку однієї з складових ОМТВ, що не завжди легко зробити. Точність результатів розрахунку методом питомих ваг істотно залежить від вибору системи-аналога (прототипу), вибраного для порівняння. Якщо такої системи не існує (наприклад, при впровадженні

нової техніки), то цей метод непридатний взагалі. Точність графоаналітичного і кореляційного методів значною мірою визначається правильністю вибору груп, подібних до спроектованого виробу, на основі яких будуються необхідні залежності між складовими ОМТВ, а також об'ємом досліджуваної виборки. Це також відноситься і до методу визначення вартості ІР за середніми вартостями ФЕ. Для отримання прийнятної точності проектувана апаратура повинна бути розбита на достатню кількість класів ФЕ і середні вартості їх повинні бути визначені на основі достатнього числа блоків системи, що випускаються промисловістю.

Критерієм оцінки точності розрахунків можуть служити СКВ, щільність розподілу питомих вартостей ФЕ, число класів ФЕ і число блоків в ІР, що розробляється.

У будь-якій системі, що модернізується, разом з новими елементами (побудованими на нових фізичних принципах) є ФЕ, вживані в серійних виробках підприємства. Крім того, нові елементи, що вводяться в ІР, що раніше випущені, є часто типовими ФЕ у виробках, що освоюються підприємством до моменту модернізації. Тому на промислових підприємствах завжди є виробки, необхідні для визначення середніх вартостей ФЕ. При правильній класифікації систем за ФЕ і отриманню початкових даних про середні вартості ФЕ точність методу середніх вартостей є не гіршою за точність, що забезпечується іншими методами.

Техніко-економічний аналіз як для визначення середніх вартостей ФЕ, так і для визначення залежності між складовими ОМТВ (графоаналітичний і кореляційний методи) повинен проводитися на основі технічних і вартісних даних блоків розроблюваних систем, що мають однакові умови виробництва. Тому необхідно систематизувати дані щодо вартості ФЕ, створити довідковий матеріал, застосовний для даного підприємства. В іншому випадку розрахунки можуть давати значні похибки, і тому будуть вимагати проведення техніко-економічного аналізу зміни вартості залежно від різних умов розробки та експлуатації ІР.

Контрольні запитання.

1. Назвіть задачі визначення вартості складних систем та шляху їх розв'язання.
2. Обґрунтуйте вираз для розрахунку заводської собівартості виготовлення системи.

3. Обґрунтуйте порядок розрахунку повної собівартості виробу.
4. Розкрийте зміст методу питомих ваг та області доцільності його застосування.
5. Розкрийте зміст графоаналітичного методу та умови його використання.
7. Назвіть чинники точності визначення вартості ІР за середньою вартістю функціональних елементів.

Лекція 8

Тема: Визначення витрат на модернізацію системи з урахуванням режимів експлуатації

План лекції

1. Загальні положення
2. Визначення вартості модернізації
3. Оцінка вартості експлуатації модернізованої системи

1. Загальні положення

На етапі модернізації зазвичай вирішується ряд технічних питань. Метою модернізації може бути один з чинників:

підвищення надійності одного з блоків ІР;

зниження трудомісткості настройки;

розширення техніко-економічних даних; заміна дефіцитних елементів; зменшення часу технічного обслуговування;

поліпшення значень динамічних та точностних характеристик ІР або декількох перерахованих характеристик одночасно.

При модернізації виробів розробляються нові та частково змінюються наявні блоки ІР. При цьому зазвичай змінюються в ту або іншу сторону характеристики точності, маси, габаритів надійності, експлуатаційні і виробничі характеристики (трудові витрати на виготовлення і експлуатацію, час ремонту і обслуговування і т. інш.) і деякі специфічні властивості виробів.

2. Визначення вартості модернізації

Раніше були розглянуті питання визначення вартості спроектованих блоків ІР на основі наявних статистичних даних про елементи, що випускаються промисловістю. Проте модернізація не вичерпується тільки розробкою нових блоків або вузлів, що вводяться в ІР замість старих. При частковій зміні конструкції, коли в блок вводяться нові, досконаліші технічні елементи, по яких немає статистичних даних про їх середню вартість, для визначення вартості модернізованого ІР доцільно скористатися формулою, яку отримали з результату аналізу матеріалів розробки і модернізації технічних систем

$$C_m = C_0 \prod_{i=1}^n y_{*i}^{*2} \quad (8.1)$$

де C_m — вартість виготовлення модернізованого блоку ІР;

C_0 - вартість виготовлення немодернізованого блоку ІР;

n - число показників якості, що враховуються;

y_i^* - відносне значення i -го часткового показника якості після модернізації блоку. Для часткових показників якості (абсолютні значення яких зменшуються при наближенні системи до оптимальної, наприклад, для маси, габаритів і ін.) значення y_i^* визначається як відношення даного часткового показника немодернізованої системи y_{ni} до значення цього показника, отриманого в результаті модернізації y_{im}

$$y_i^* = y_{in} / y_{im} . \quad (8.2)$$

Для часткових показників якості, які збільшуються при наближенні системи до оптимальної (наприклад, для середнього часу безвідмовної роботи), y визначається як відношення

$$y_i^* = y_{im} / y_{in}.$$

Таким чином, значення $y_i^* \geq 1$. Тому в результаті модернізації вартість C_M блоку підвищується $C_M \geq C_0$, якщо до конструкції і технології виготовлення блоку не вносяться принципові зміни, що знижують його вартість в порівнянні з немодернізованим блоком.

Якщо блок є складним (складається з m вузлів (підблоків)), то за виразом (8.1) визначається вартість кожного j -го вузла (C_{mj}), а вартість модернізованого блоку буде рівна

$$C_M = \sum_{j=1}^m C_{mj}. \quad (8.3)$$

Якщо блок (або вся система) модернізується по одному з показників якості, наприклад, підвищується надійність (при збереженні значень решти показників), то для оцінки вартості модернізованого блоку доцільно користуватися наступною формулою

$$C_M = C_0 (\lambda_0 / \lambda_M)^\alpha, \quad (8.4)$$

де λ_0 та λ_M — інтенсивності відмов, які визначають надійнісні характеристики немодернізованої (P_0) і модернізованої (P_M) систем.

Для експоненціального закону розподілу потоку відмов $P = e^{-\lambda t}$ (де t - час експлуатації) вираз (8.4) приймає наступний вигляд

$$C_M = C_0 (1nP_0 / 1nP_M)^\alpha. \quad (8.5)$$

Коефіцієнт α вибирається так, щоб найкращим чином апроксимувати реальну залежність вартості від надійності і для кожного конкретного

підприємства, має унікальне значення. Воно може бути визначене з виразу (8.5) на підставі статистичних даних

$$\alpha = \ln \frac{C_m}{C_0} / \ln \frac{\ln P_0}{\ln P_m}. \quad (8.6)$$

Для складних виробів існують розраховані значення $C_M=f(P)$ або $C_M=f(P_0/P_M)$. Вказані формули справедливі як для невідновлюваних, так і для відновлюваних виробів при підвищенні надійності за рахунок зменшення інтенсивності відмов на стадії проектування та виробництва і не враховують підвищення надійності за рахунок ремонтпридатності.

Для відновлюваних виробів необхідно, щоб розрахунки за витратами відбивали зміну вартості виробу залежно від зміни його надійності як за рахунок збільшення середнього часу напрацювання на відмову T , так і за рахунок зменшення середнього часу простою $T_{\text{п}}$.

3. Оцінка вартості експлуатації модернізованої системи

Сумарні витрати, що направляються на підвищення надійності системи, можуть бути представлені сумою два складових:

$$C=C_M+C_e, \quad (8.7)$$

де C_M — витрати на модернізацію (розробку) і виготовлення;

C_e — витрати на експлуатацію.

Перша складова з підвищенням надійності зростає у зв'язку з додатковими витратами на заходи щодо підвищення надійності при модернізації (розробці) та виробництві системи, друга - з підвищенням надійності має тенденцію до зниження, оскільки експлуатація і ремонт надійної апаратури вимагають менших витрат. При такому характері зміни складових загальної вартості існує мінімум, якому відповідає оптимальне значення надійності $P_{\text{опт}}(t)$, тобто таке значення, при якому всі витрати, пов'язані з виробництвом, модернізацією (розробкою) і експлуатацією системи, будуть найменшими.

Для відновлюваних систем багаторазового використання, які після виникнення відмов ремонтуються і продовжують виконувати свої функції, як вартість експлуатації приймається вартість всіх відмов протягом терміну

служби (ресурсу) ІР. До вартості відмов включається безпосередня вартість ремонту, вартість запасного майна та приладдя(ЗМП), утримання обслуговуючого персоналу, а також вартість збитків, що викликається відмовами (якщо останні може бути оцінені). Очікуване число ремонтів рівне числу відмов n залежно від її надійності визначається з експоненціального закону надійності:

$$P(t) = e^{-nt/T_p}, \quad (8.8)$$

де n — число відмов складових ІР за час сумарного напрацювання;

T_p — сумарне напрацювання системи(ІР) за певний період,

$$n = - (T_p/t) \{ T_p \ln P(t) \}. \quad (8.9)$$

Вартість експлуатації відновлюваного ІР відповідно до прийнятого визначення можна представити у вигляді виразу

$$C_e = C_1 n, \quad (8.10)$$

де C_1 — середня вартість однієї відмови.

Підставивши у формулу (8.10) значення n з формули (8.9), отримаємо

$$C_e = -C_1 (T_p/t) \ln P = k_1 (-\ln P). \quad (8.11)$$

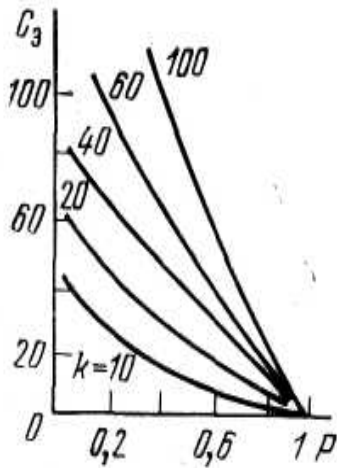


Рисунок 8.1. Графік залежності
) для різних k_1

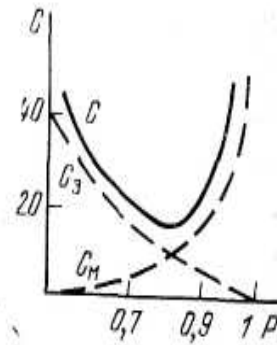


Рисунок 8.2. Графік залежності
витрат від ймовірності безвідмовної
роботи системи

У виразі (8.11) під T_p слід розуміти очікуване сумарне напрацювання (ресурс) за період нормальної експлуатації (термін служби) системи. З рис. 8. 1 видно, що при підвищенні значення P вартість C_e падає. При одній і тій же надійності вартість експлуатації збільшується пропорційно середній вартості C та величині ресурсу T_p . Загальна вартість системи, пов'язана з надійністю, визначається наступним виразом

$$C = C_1 \frac{T_p}{t} (-\ln P(t)) + C_0 \left(\frac{\ln P_0(t)}{\ln P(t)} \right)^\alpha. \quad (8.12)$$

Залежність $C=f(P)$ (рис.8.2) має явно виражений мінімум, відповідний оптимальному значенню надійності $P_{\text{опт}}(t)$.

$$P_{\text{опт}}(t) = \exp\left\{-\alpha+1 \sqrt{\frac{C_0 \alpha (\ln(1/P_0))^\alpha t}{C_1 T_p}}\right\}$$

Термін окупності додаткових витрат, пов'язаних з підвищенням надійності, визначимо у відповідності до формули

$$T_{\text{ок}} = k \left[t_{\text{год}} C_{\text{чл}} T_{\text{в}} \sum_{i=1}^m n_i (\lambda_{0i} - \lambda_i) + \sum_{i=1}^m n_i (C_{0i} \lambda_{0i} - C_i \lambda_i) - \frac{kA}{100} \right]^{-1}, \quad (8.13)$$

де

$$k = C_0 \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^m n_i \lambda_{0i}}{\sum_{i=1}^m n_i \lambda_i} \right)^\alpha - 1 \right];$$

тут λ_{0i} - інтенсивність відмов елементів i -го типу при існуючому рівні надійності; λ_i - при підвищеній надійності; n_i - число елементів i -го типу; m — число типів елементів у вузлі; $t_{\text{рік}}$ — кількість годин роботи вузла протягом року; C_i — вартість елементів i -го типу підвищеної надійності, C_{0i} — вартість елемента i -го типу до підвищення надійності; $C_{\text{лг}}$ — вартість однієї людино-години обслуговуючого персоналу відповідної кваліфікації; T_e — середній час відновлення (час на відшукування і усунення пошкоджень); A — відсоток амортизаційних відрахувань.

Формули (8.12) і (8.13) враховують підвищення надійнісних характеристик P тільки за рахунок підвищення середнього часу напрацювання на відмову.

Надійність систем з багаторазовим застосуванням характеризується середнім часом простою, тому справедливою буде формула

$$P(t) = K_r P(t) = T / (T + T_{п}) e^{-t/T}, \quad (8.14)$$

де K_r — коефіцієнт готовності; P_t — вірогідність безвідмовної роботи системи за час t ; T — середній інтервал часу напрацювання на відмову модернізованого виробу; $T_{п}$ - час простою. Коефіцієнт простою $K_{п}$ пов'язаний з коефіцієнтом готовності K_r наступним співвідношенням

$$K_{п} = 1 - K_r.$$

Таким чином вартість модернізованої системи залежить від відношення коефіцієнтів простою немодернізованої ($K_{п0}$) і модернізованої ($K_{п}$) систем

$$C_M = C_0 (K_{п0} / K_{п})^{\alpha}. \quad (8.15)$$

З урахуванням отриманих оцінок витрати на модернізацію системи залежно від параметрів надійності матимуть наступний вигляд

$$(8.16)$$

$$C_M = C_0 \left[\frac{T_{п0} (T + T_{п})}{T_{п} (T_0 + T_{п0})} \right]^{\alpha},$$

де T_0 , T — час напрацювання на відмову немодернізованої і модернізованої систем відповідно; $T_{п0}$, $T_{п}$ — час простою немодернізованої і модернізованої систем відповідно.

Витрати на експлуатацію протягом часу t використання системи за призначенням визначаються наступним чином

$$C_e = C_{c\text{ пр}} + C_{\text{відм}} \quad (8.17)$$

де $C_{c\text{ пр}}$ - вартість профілактичного обслуговування та обслуговування справної системи за час t , яка не залежить від надійності системи;

$C_{\text{відм}}$ - вартість відмов, яку визначаємо з рівності

$$C_{\text{відм}} = C_{y0} n_t, \quad (8.18)$$

де n_t — число відмов за час t ;

C_{y0} - середня вартість усунення однієї відмови в процесі експлуатації:

$$C_{y0} = C_d + C_v + C_{yз} + C_з \quad (8.19)$$

де C_d — середня вартість заміненої деталі (елементу) з урахуванням доставки;

C_v — середня вартість витрат при заміні або відновленні деталі, що відмовила; $C_{yз}$ — вартість утримання необхідного ЗМП;

$C_з$ — вартість збитків, викликаних відмовою елементу в процесі експлуатації.

Вартість одиниці часу простою системи C_{Π} буде становити

$$C_{\Pi} = C_{y0} / T_{\Pi}. \quad (8.20)$$

Оскільки

$$n_t = t / (T + T_{\Pi})$$

то на підставі (8.15) — (8.20) витрати на експлуатацію системи протягом часу $t_{ек}$ будуть рівні

$$C_e = C_{з\text{ пр}} + C_{п} K_{п} t_{ек}. \quad (8.21)$$

Загальні витрати на розробку, виробництво і експлуатацію системи підвищеної надійності визначається сумою складових C_M та C_e

$$C = C_0 (K_{п0}/K_{п})^{\alpha} + C_{з\text{ пр}} + C_{п} K_{п} t_{ек}. \quad (8.22)$$

Залежність вартості IP від точності роботи визначається наступним виразом

$$C_{IP} = K_{IP} / \sigma^{\gamma}, \quad (8.23)$$

де K_{IP} — постійний коефіцієнт; σ - середньоквадратична помилка роботи IP; γ — коефіцієнт, що характеризує клас системи. Наприклад, для систем, що встановлюються на мобільних об'єктах, $\gamma=2$. При розробці нового виробу (блоку) в ході модернізації IP і при необхідності організувати його серійний випуск, сумарну вартість виробу доцільно визначати формулою

$$C = \left(\sum_{i=1}^m a_{ci} X_i \right)^{a_0 + \frac{a_1}{\tau}} C_{вз} + C_e \quad (8.24)$$

де a_{ci} — вагові коефіцієнти, що визначають вартість функціональних елементів(ФЕ); m - число типів ФТ у виробі; a_0 , a_1 , τ - постійні величини; $C_{кз}$ - вартість проведення конструктивних заходів, що забезпечують взаємозамінність блоків виробу в експлуатації після модернізації; C_e визначається згідно(8.17).

Два перших доданкі в (8.24) складають вартість модернізованого виробу. Складові вартості експлуатації виробу C_e для кожного конкретного типу виробу мають свої значення або є нормативними. При модернізації систем, яка

виражається в доопрацюванні ряду елементів (з метою поліпшення часткових показників якості), вартість виробу визначається формулою

$$C = C_0 \prod_{i=1}^n y_i^2 \left(a_0 + \frac{a_1}{\tau} \right) + C_{вз} + C_e, \quad (8.25)$$

де

$$C_0 \prod_{i=1}^n y_i^2 \left(a_0 + \frac{a_1}{\tau} \right) = C_1$$

де C — вартість немодернізованої системи; y_i — відносне значення часткового показника якості після модернізації.

На вартість виробу, що випускається або модернізується, істотний вплив має розмір партії виробів. Чим більше виробів в партії, тим менше його середня вартість, оскільки накладні витрати і технічні витрати, що доводяться на один виріб, назад пропорційні розміру партії. По мірі випуску виробів даної партії усуваються конструктивні і виробничі дефекти, виявлені при виготовленні перших виробів, що дозволяє понизити вартість подальших виробів даної партії. Вважається, що при подвоєнні числа виробів в партії середня вартість виробу знижується на 20%, а в загальному випадку вона рівна

$$C_{cp} = C_1 K^{lg_2 N}, \quad (8.26)$$

де $K=0,7 \div 0,8$;

C_1 — вартість першого виробу в партії;

N — число виробів в партії.

Тому загальна середня вартість нового виробу, що випускається партією з N виробів, на підставі (8.25) і (8.26) буде рівна

$$C = C_0 \prod_{i=1}^n y_i^2 \left(a_0 + \frac{a_1}{\tau} \right) K^{\lg 2N} + C_{\text{кз}} + C_e, \quad (8.27)$$

де

$$C_0 \prod_{i=1}^n y_i^2 \left(a_0 + \frac{a_1}{\tau} \right) = C_1.$$

Модернізація може торкнутися блоків тільки поточного випуску без доопрацювання раніше випущених або з доопрацюванням вже випущених комплектів, якщо це потрібно для підвищення ефективності експлуатації систем, наприклад для збережень взаємозамінності блоків. Вартість проведення конструктивних заходів, що забезпечують взаємозамінність блоків, підраховується у кожному конкретному випадку окремо. Проте загальною є необхідність забезпечення резервних кабельних з'єднань і можливості установки додаткових вузлів живлення, можливості швидкого знімання та установки електромеханічних вузлів. В цьому випадку вартість конструктивних і експлуатаційних заходів, пов'язаних із забезпеченням взаємозамінності, зменшується.

Окремим випадком модернізації, пов'язаної із зміною ряду часткових показників якості (ЧПЯ), є модернізація по одному з ЧПЯ (по надійності, точності і т. інш.) із збереженням інших ЧПЯ, що узгоджуються з технічними умовами. Наприклад, вартість модернізованого виробу з урахуванням умов експлуатації при підвищенні надійності і збереженні решти ЧПЯ визначається формулою

$$C = C_0 \left(\frac{\ln P_0}{\ln P} \right)^\alpha K^{\lg 2N} + C_{\text{кз}} + C_e.$$

Для P , які випускаються серійно та модернізованих (з метою підвищення точності) вартість буде становити

$$C = C_0 (\sigma_0 / \sigma)^\gamma K^{\lg 2N} + C_{\text{кз}} + C_e, \quad (8.28)$$

де σ_0 і σ середньоквадратичні помилки до та після модернізації системи.

Для систем, що встановлюються на нерухомих засобах, $\gamma=2$. При визначенні вартості систем і виробів, що встановлюються на мобільних об'єктах, особливе значення має їх маса. Звичайне поліпшення решти ЧПК (точності, надійності і т. ін.) викликає збільшення маси системи. Збільшення маси системи веде до додаткової витрати пального, зменшення швидкості руху та дальності переміщення, зменшенню маси корисного вантажу і т.інш. В результаті економічна ефективність об'єкту в цілому при установці модернізованої системи може опинитися нижче, ніж вона була при установці немодернізованої системи. Тому вплив маси на показник економічної ефективності враховується введенням множника b^q у формулу, що визначає вартість модернізованої системи або виробу C_m без урахування експлуатаційних витрат. На підставі статистичних даних встановлено, що b для різних видів мобільних об'єктів коливається від 1,2 до 1,8.

Показник q є відносною масою системи. При $Q_m > Q_n$

$$q = Q_m / Q_n, \quad (8.29)$$

де Q_n, Q_m — маса відповідно немодернізованої і модернізованої системи.

При $Q_m = Q_n$ поправочний множник q у формулу вартості системи не вводиться, а при $Q_m < Q_n$ значення q , визначене згідно (8.29), вводиться в поправочний множник з негативним знаком. В результаті вартість системи або складного виробу, що встановлюється на рухомих об'єктах, буде становити

$$C = \left(\sum_{j=1}^z C_{mj} \right) b^q + C_{\text{бз}} + C_{\text{э}}$$

$$(8.30)$$

де C_{mj} - вартість j -го модернізованого блоку; z - число блоків в системі.

У загальному випадку вартість складного технічного виробу, що враховується при оцінці їх ефективності E , буде визначатися наступним чином

$$C = \left(\sum_{j=1}^z \sum_{i=1}^m a_{ci} X_{ij} \right) \left(a_0 + \frac{a_1}{\tau} \right) b^{\beta} K^{1/g_2} N + C_{вз} + C_{ипр} +$$

$$+ (C_d + C_p + C_3 + C_y) \frac{t_{ЭК}}{T + T_{п}}, \quad (8.31)$$

де z — число блоків в системі; m — число типів функціональних елементів в блоці; X_{ij} — число елементів i -го типу в j -м блоці; a_{ci} — ваговий коефіцієнт, який визначає вартість i -го елемента; N — число систем в серії. Розшифровка решти позначень приведена в поясненнях до формул (8.1-8.31).

Контрольні питання

1. Дайте порівняльну характеристику етапу модернізації ІР.
2. Наведіть оцінку вартості модернізованої системи.
3. Яким чином визначається вартість складного блоку.
4. Яким чином визначається вартість відновлюваних блоків.
5. Яким чином визначається вартість простою системи.
6. Обґрунтуйте оцінку вартості мобільного об'єкту та її складові.

Лекція 9

Тема: Методика розрахунку оцінок ефективності інженерних рішень

План лекції

1. Методика розрахунку
2. Приклад розрахунку ефективності

1. Методика розрахунку

Методика використовується для розрахунку ефективності кожного з конкуруючих варіантів інженерних рішень з метою їх порівняння і вибору найкращого серед них.

Узагальнюючі матеріал попередніх лекцій можна запропонувати наступну методику розрахунку ефективності інженерних рішень:

1. Всі параметри кожної k -ї системи $(\alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_n^k)$, де $k = 1, m$, розбиваються на l груп.

2. В межах кожної з l груп, де це можливо, проводиться об'єднання параметрів з метою скорочення їх кількості в групі; після цього кожному з параметрів привласнюють умовне позначення α_{ij}^k значення i -го параметра в j -ій групі k -ої системи.

3. Визначаються, які з параметрів є такими, що підвищуються при оптимізації IP, а які – такими, що знижуються при оптимізації системи.

4. Визначаються "еталонні" значення i -го параметра j -ої групи серед усіх $K = 1, m$ інженерних рішень, як

$$\alpha_{ij\text{г}} = \max \alpha_{ij}^k \quad \text{для параметра, що підвищує ефективності IP} \quad (9.1).$$

$$\min \alpha_{ij}^k = \text{для знижуючого параметра} \quad (9.2).$$

5. Обчислюються нормовані значення i -го параметра в j -ій групі k -ої системи

$$\eta_{ij}^k = \begin{cases} \alpha_{ij}^k / \alpha_{ij\text{маx}} & \text{для параметра, що підвищує,} \\ \alpha_{ij}^k / \alpha_{ij\text{мін}} & \text{для знижуючого параметра.} \end{cases}$$

Отримані дані доцільно занести в таблицю.

6. Часткові оцінки ефективності по кожній j -ій групі k -ої системи розраховуються по формулі

$$\gamma_j^k = \sum_{i=1}^{r_j} \rho_{ij} \eta_{ij}^k,$$

де ρ_{ij} - коефіцієнт, що враховує вагу i -го параметра в j -ій групі оцінюваних систем.

7. Коефіцієнт ρ_{ij} розраховується за наступною системою формул:

$$\rho_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^{r_j} \alpha_{ij}},$$

де

$$\alpha_{ij} = \frac{\Delta \eta_{ij}}{\bar{\eta}_{ij}},$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |\eta_{ij}^k - \bar{\eta}_{ij}|,$$

$$\bar{\eta}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \eta_{ij}^k.$$

8. Узагальнена оцінка ефективності k -ої системи визначається як

$$\gamma^k = \sum_{j=1}^p \beta_j \gamma_j^k,$$

де β_j - ваговий коефіцієнт, що враховує ступінь важливості j -ої групи параметрів.

Об'єктивність оцінки ефективності γ^k в значній мірі залежить від вибору вагових коефіцієнтів. Визначення коефіцієнтів β_j при застосуванні методу експертних оцінок для визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості систем у практичній діяльності здійснюється шляхом опитування експертів.

9. У загальному випадку в експертній групі працює N експертів. Вони повинні дати висновок щодо ступеню важливості кожної з груп параметрів. Кожен з експертів оцінює важливість j -ої групи параметрів балом C_{ij} , де $i = 1, N$; $j = 1, l$. Далі отримані результати експертного опитування обробляються наступним чином.

10. Проводиться нормування оцінки, даної i -м експертом по j -ій групі параметрів згідно

$$\beta_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^l C_{ij}} .$$

11. Обчислюється середнє значення оцінки важливості параметрів j -ої групи, тобто усереднюється оцінка по всіх N експертам згідно з наступним виразом

$$\bar{\beta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_{ij} .$$

Значення β_j використовується як вагові коефіцієнти β_j для визначення узагальненої оцінки γ^k ефективності інженерного рішення.

Подальші етапи методики розрахунку ефективності інженерних рішень служать для з'ясування узгодженості думок експертів.

12. Обчислюється середньоквадратичне відхилення оцінки вагового коефіцієнта j -ої групи

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\beta_{ij} - \bar{\beta}_j)^2} .$$

13. Визначається коефіцієнт варіації j -ої групи

$$v_j = \frac{\sigma_j}{\bar{\beta}_j} ,$$

який характеризує ступінь узгодженості думок експертів щодо важливості параметрів j -ої групи. Чим менше значення v_j , тим краще узгодженість експертів, тим більше можна вірити в об'єктивність оцінки β_j .

14. За всіма групами параметрів визначається коефіцієнт варіації

$$v_0 = \frac{\sigma_v}{\bar{v}},$$

де

$$\bar{v} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p v_j; \quad \sigma_v = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p (v_j - \bar{v})^2},$$

Чим менше значення v_0 , тим краще узгодженість експертів за всіма групами параметрів інженерного рішення.

2. Приклад розрахунку ефективності інженерного рішення

Оцінимо ефективність інженерних рішень і виберемо краще при розв'язанні наступної задачі. Знайти часткові оцінки ефективності бортових обчислювальних комплексів автотранспортних засобів (БОК АТЗ), параметри яких задані в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1.

Параметри БОК АТЗ

№п/п	Параметри	БОК1	БОК2	БОК3
1	Швидкодія, R, *10 ⁵ оп/сек	20	4	70
2	Розрядність, Z дв. розр.	37	13	16
3	Об'єм пам'яті v, мбайт	65	8	64
4	Вартість, С (грн..)	1000	500	1500
5	Маса, М(кг)	5.5	1.3	0.4
6	Займана площа, S, см ²	80	20	9
7	Середній час безвідмовної роботи T _{сер} , год.	40	160	1000

8	Температурний діапазон, C ⁰	+10+	+10+	+10+
		+30	+35	+35
9	Складність, Q	16	9	5

Розв'язання.

I. Проведемо розбиття параметрів, що характеризують БОК АТЗ на групи.

До *першої групи* - групи параметрів, що характеризують цільове призначення БОКМ АТЗ, віднесемо швидкодію R, розрядність Z та об'єм пам'яті v. Позначимо ці параметри через α_{11} , α_{21} , α_{31} .

До *другої групи* - групи техніко-економічних параметрів, віднесемо вартість C, масу M та займану площу S. Оскільки маса M і займана площа S відносяться до рівнозначних величин, об'єднаємо їх в узагальнений параметр $K = M \cdot S$ коефіцієнт компактності. Тоді друга група включатиме два параметри: вартість та коефіцієнт компактності. Позначимо ці параметри відповідно α_{12} , α_{22} .

До *третьої групи* - групи техніко-експлуатаційних параметрів, віднесемо середній час $T_{\text{сер}}$ безвідмовної роботи і температурний діапазон $\Delta t = t_{\text{max}} - t_{\text{min}}$. Позначимо ці параметри через α_{13} , α_{23} .

Нарешті, до *четвертої групи* - групи апаратурно-реалізованих параметрів віднесемо складність Q, яка характеризує число різноманітних функціональних вузлів БОКМ АТЗ(процесор, пристрої спрягання, блок живлення і т.інш.). Позначимо складність через α_{14} . Всі дані занесемо в таблицю.9.2.

Таблиця 9.2

№ групи	№ параметра	БОКМ1	БОКМ2	БОКМ3	$\alpha_{ij\text{max}}$
		α_{ij}	α_{ij}	α_{ij}	$(\alpha_{ij\text{min}})$
		α_{14}	α_{14}	α_{14}	
1	1	20	4	70	70
	2	37	13	16	37
	3	65	8	64	65

2	1	100	50	150	50
	2	440	26	3,6	3,6
3	1	40	160	1000	1000
	2	40	25	25	40
4	1	16	9	5	5

2. Визначимо, які параметри підвищуються при удосконаленні БОК АТЗ, а які знижуються при удосконаленні БОК АТЗ. До першої групи параметрів відносяться швидкодія α_{11} , розрядність α_{21} , об'єм пам'яті α_{31} , середній час безвідмовної роботи α_{13} , температурний діапазон α_{23} , до другої групи параметрів – вартість α_{21} , коефіцієнт компактності α_{22} та складність α_{14} . Для кожного параметра першої групи визначаємо максимальне значення

$$\alpha_{ij \max} = \max_{\{k\}} \alpha_{ij}^{(k)}$$

а для другої групи параметрів – мінімальне значення

$$\alpha_{ij \min} = \min_{\{k\}} \alpha_{ij}^{(k)},$$

де $\alpha_{ij}^{(k)}$ - і-й параметр j-тої групи k-того БОК АТЗ.

3. Визначаємо нормовані значення $\eta_{ij}^{(k)}$ параметрів

$$\eta_{ij}^{(k)} = \begin{cases} \alpha_{ij}^{(k)} / \alpha_{ij \max} & \text{для параметра, що збільшується,} \\ \alpha_{ij}^{(k)} / \alpha_{ij \min} & \text{для знижуючого параметра.} \end{cases}$$

Результати заносимо в нову таблицю 9.3

Таблиця 9.3.

№ пи	№ пара метра	(1) η_{ij}	(2) η_{ij}	(3) η_{ij}	η_{ij}	Δ η_{ij}	α_{ij}	ρ_{ij}
1	1	0.3	0.06	1.0	0.45	0.36	0.8	0.4
	2	1.0	0.34	0.43	0.59	0.27	0.45	0.2
	3	1.0	0.12	0.99	0.7	0.39	0.56	0.3
2	1	0.5	1.0	0.33	0.61	0.26	0.42	0.2
	2	0.01	0.14	1.0	0.38	0.41	1.08	0.7
3	1	0.04	0.16	1.0	0.4	0.4	1.0	0.8
	2	1.0	0.72	0.72	0.81	0.12	0.15	0.1
4	1	0.31	0.55	1.0	0.62	0.25	0.4	1.0

4, Визначаємо середнє арифметичне значення кожного параметра η_{ij} за допомогою наступного виразу

$$\eta_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \eta_{ij}^{(k)}, \text{ де } m=3;$$

$$\eta_{11} = \frac{1}{3} (0,3 + 0,06 + 1,0) = 0,45;$$

$$\eta_{21} = \frac{1}{3} (1,0 + 0,34 + 0,43) = 0,59;$$

$$\eta_{31} = \frac{1}{3} (1,0 + 0,12 + 0,99) = 0,7. ;$$

$$\eta_{12} = \frac{1}{3} (0,5 + 1,0 + 0,33) = 0,61;$$

$$\eta_{22} = \frac{1}{3} (0,01 + 0,16 + 1,0) = 0,38;$$

$$\eta_{13} = \frac{1}{3} (0,04 + 0,16 + 1,0) = 0,4;$$

$$\eta_{23} = \frac{1}{3} (1,0 + 0,72 + 0,72) = 0,81;$$

$$\eta_{14} = \frac{1}{3} (0,31 + 0,55 + 1,0) = 0,62.$$

Знаходимо середнє значення абсолютного відхилення від значення параметра η_{ij}

$$\Delta \bar{\eta}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |\eta_{ij}^{(k)} - \bar{\eta}_{ij}|;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,15 + 0,39 + 0,55) = 0,36;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,41 + 0,25 + 0,16) = 0,27;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,3 + 0,58 + 0,29) = 0,39;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,11 + 0,39 + 0,28) = 0,26;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,37 + 0,24 + 0,82) = 0,41;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,36 + 0,24 + 0,8) = 0,4;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,19 + 0,09 + 0,09) = 0,12;$$

$$\Delta \eta_{ij} = \frac{1}{3} (0,31 + 0,07 + 0,38) = 0,25.$$

Дані заносимо в таблицю (9.3).

6. Знаходити коефіцієнт розкиду α_{ij}

$$\alpha_{ij} = \frac{\Delta \eta_{ij}}{\eta_{ij}} ;$$

$$\alpha_{11} = \frac{0,36}{0,45} = 0,8 ; \quad \alpha_{12} = \frac{0,26}{0,61} = 0,42 ;$$

$$\alpha_{21} = \frac{0,27}{0,59} = 0,45 ; \quad \alpha_{22} = \frac{0,41}{0,38} = 1,08 ;$$

$$\alpha_{21} = \frac{0,27}{0,59} = 0,45 ; \quad \alpha_{21} = \frac{0,27}{0,59} = 0,45 ;$$

$$\alpha_{13} = \frac{0,4}{0,4} = 1,0 ; \quad \alpha_{14} = \frac{0,25}{0,62} = 0,4 ;$$

Отримані дані заносимо до таблиці (9.3).

7. Знаходимо вагові коефіцієнти ρ_{ij} в часткових оцінках у відповідності з наступними виразами

$$\rho_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^r \alpha_{ij}} ,$$

$$\rho_{11} = \frac{0,8}{0,8 + 0,45 + 0,56} = \frac{0,8}{1,81} = 0,44 ;$$

$$\rho_{21} = \frac{0,45}{0,8 + 0,45 + 0,56} = \frac{0,45}{1,81} = 0,25 ;$$

$$\rho_{31} = \frac{0,56}{0,8 + 0,45 + 0,56} = \frac{0,56}{1,81} = 0,31;$$

$$\rho_{12} = \frac{0,42}{0,42 + 1,08} = 0,28;$$

$$\rho_{22} = \frac{1,08}{0,42 + 1,08} = 0,72;$$

$$\rho_{13} = \frac{1,0}{1,0 + 0,15} = 0,87;$$

$$\rho_{22} = \frac{0,15}{1,0 + 0,15} = 0,13;$$

$$\rho_{14} = \frac{0,4}{0,4} = 1,0.$$

Отримані дані заносимо до таблицю (9.3).

7. Знаходимо часткові оцінки $\gamma_j^{(k)}$ ефективності по кожній групі параметрів для різних БОК у відповідності з виразом:

$$\gamma_j^{(k)} = \sum_{i=1}^{z_j} \rho_{ij} \gamma_{ij}^{(k)};$$

$$\gamma_1^{(1)} = 0,44 * 0,3 + 0,25 * 1,0 + 0,31 * 1,0 = 0,69;$$

$$\gamma_2^{(1)} = 0,28 * 0,5 + 0,72 * 0,01 = 0,14;$$

$$\gamma_3^{(1)} = 0,87 * 0,04 + 0,13 * 1,0 = 0,16 ;$$

$$\gamma_4^{(1)} = 1,0 * 0,31 = 0,31;$$

$$\gamma_1^{(2)} = 0,44 * 0,06 + 0,25 * 0,34 + 0,31 * 0,12 = 0,15;$$

$$\gamma_2^{(2)} = 0,28 * 1,0 + 0,72 * 0,14 = 0,38;$$

$$\gamma_3^{(2)} = 0,87 - 0,16 + 0,13 - 0,73 = 0,23;$$

$$\gamma_4^{(2)} = 1,0 * 0,55 = 0,55;$$

$$\gamma_1^{(3)} = 0,44 * 1,0 + 0,25 * 0,43 + 0,31 * 0,99 = 0,81;$$

$$\gamma_2^{(3)} = 0,28 * 0,33 + 0,72 * 1,0 = 0,79;$$

$$\gamma_3^{(3)} = 0,87 * 1,0 + 0,13 * 0,72 = 0,96 ;$$

$$\gamma_4^{(3)} = 1,0 * 1,0 = 1,0.$$

Дані заносимо в таблицю 9.3.

Таблиця 9.4

групи(j)	№	$\gamma_j^{(1)}$,	$\gamma_j^{(2)}$,	$\gamma_j^{(3)}$,
		БОК1	БОК2	БОК3
1		0,69	0,15	0,89
2		0,14	0,38	0,79
3		0,16	0,23	0,96
4		0,31	0,55	1,0

Визначимо узагальнені оцінки ефективності БОК АТЗ(БОК1, БОК2, БОК3). Нехай дані експертного опитування мають значення, наведені в таблиці 9.5.

Таблиця 9.5

№ експерта	Оцінки значень груп параметрів C_j			
	1	2	3	4
1	10	4	6	2
2	10	7	8	5
3	10	6	6	2

Визначимо значення вагових коефіцієнтів груп параметрів C_j . Для цього через C_{ij} позначимо оцінки, що присвоєні відповідно і-м експертом j-й групі параметрів.

1. Проведемо нормування оцінки β_{ij}

$$\beta_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^l C_{ij}} .$$

Отримані дані занесемо до таблиці 9.6.

Таблиця 9.6

№ експерта	Нормовані оцінки групи параметрів β_{ij}			
	1	2	3	4
1	0,45	0,18	0,27	0,09
2	0,33	0,23	0,26	0,17
3	0,41	0,25	0,25	0,08
β_i	0,39	0,22	0,26	0,11
σ_i	0,05	0,03	0,08	0,04
v_i	0,13	0,14	0,03	0,36

Обчислимо середнє значення оцінки важливості параметрів j -ї групи та занесемо їх до таблиці 9.6.

$$\bar{\beta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_{ij} .$$

Значення β_j будуть використовуватися у подальшому як вагові коефіцієнти.

2. Визначимо узагальнені оцінки ефективності БОК1, БОК2 та БОК3 у відповідності з наступною формулою

$$Y^{(k)} = \sum_{j=1}^l \beta_j \gamma_j^{(k)} ,$$

$$Y^{(1)} = 0,39*0,69+0,22*0,14+0,26*0,16+0,11*0,31= 0,37;$$

$$Y^{(2)} = 0,39*0,15+0,22*0,14+0,26*-,16+0,11*0,31=0,22;$$

$$Y^{(3)} = 0,39*0,81+0,22*0,79+0,26*0,96+0,11*1,0=0,84.$$

Порівняльний аналіз оцінок $Y^{(1)}$, $Y^{(2)}$, $Y^{(3)}$ показує, що найбільш ефективним для застосування в автотранспортному засобі є БОКЗ.

Визначимо рівень узгодженості висновків окремих експертів. Для цього визначимо середньоквадратичне відхилення оцінок вагових коефіцієнтів β_i

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\beta_{ij} - \beta_i)^2}.$$

Отримані дані занесемо до таблиці 9.5.

Визначимо коефіцієнти варіації оцінки j -ої групи $g_j = \frac{\sigma_j}{\beta_j}$, та занесемо їх значення до таблиці 9.5. На закінчення визначимо середнє значення коефіцієнта варіацій

$$g = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l g_j; \quad v = \frac{1}{4} (0.13+0.14+0.03+0.36)=0.16.$$

Оскільки $v < 0,5$, то має місце узгодженість оцінок експертів.

3. Узагальнення курсу

Сучасні критерії оцінки ефективності складних інженерних рішень ще не доведені до вигляду, зручного для застосування в інженерних розрахунках. Основні недоліки критеріїв: складність, значний об'єм обчислень, неможливість врахування усіх факторів. Необхідність застосування цих критеріїв у практичній діяльності для НДІ, конструкторських бюро серійних виробництв (що займаються виготовленням, модернізацією, технічним супроводженням складних ІР) вимагає розробки критеріїв, простих в проведенні обчислень, зручних для використання інженерами.

Найбільш простими та зручними для застосування в умовах серійного виробництва є алгебраїчні критерії, які обумовлюють знання вагових коефіцієнтів часткових показників якості. Вагові коефіцієнти повинні визначатися виходячи з призначення ІР на основі математичної моделі її функціонування. Вони можуть бути розраховані як значення часткових похідних від головного показника якості (ефективності) ІР, взятих по частковим показникам якості у конкретній точці фазового простору.

Розглянута методика вибору практично оптимального варіанту ІР є загальною для широкого класу ІР. Однак для кожного класу ІР вагові коефіцієнти необхідно визначати виходячи з конкретної математичної моделі, що описує цей клас систем.

Теорія оцінки ефективності інженерних рішень знаходиться на початку свого розвитку. Сучасними проблемами теорії є пошук ефективних методів синтезу цільових функцій для технічних та економічних систем, врахування при виборі оптимальних рішень технологічних та експлуатаційних обмежень інженерних рішень, визначення значень вагових коефіцієнтів для показників якості системи в цілому. Однією з найважливіших складових ефективності ІР є вартість розробки та модернізацій у процесі експлуатації. В практичній діяльності по визначенню ефективності ІР доцільно робити оцінку вартості з урахуванням витрат як на розробку так і експлуатацію систем з урахуванням проведення заходів, що забезпечують взаємозаміну блоків модернізуємих ІР з випущеними раніше.

Контрольні запитання

1. Назвіть завдання методики розрахунку ефективності інженерних рішень.
2. За якими ознаками розбивають часткові показники якості системи на групи.
3. Наведіть порядок обробки експертних оцінок.
4. Які показники якості є понижуючими, а які – підвищуючими.
5. Яким чином робиться узагальнена оцінка ефективності ІР.
6. Обґрунтуйте напрямки розвитку теорії оцінки ефективності інженерних рішень.

Список літератури

1. Харченко В.С. та ін. Теорія надійності та живучості елементів і систем літальних комплексів. Підручник за ред. В.С.Харченка. МО України, 1997. - 403 с.

2. Основы цифровых систем/ И.П.Барбаш, М.П. Благодарный, В.Я. Жихарев та інш.- Підручник.- Харків:Нац. аерокосмічний університет „Харк. авіац. ін-т”, 2002.-672с.
3. Цифровые устройства систем связи и управления. /Под ред. А.Е.Амбросова. – МО СССР, 1985.-386 с.
- 4.Устройства управления роботами: схемотехника и программирование/Майк Предко; Пер. с англ. Земскова Ю.В. – М.:ДМК Пресс, 2004.-416 с.
5. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Проектирование дискретных устройств на интегральных схемах. Справочник. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
6. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд.,-СПб.: БХВ-Петербург, 2004.-800с.
7. Чумаков Н.М., Серебряный Е.И. Оценка эффективности сложных технических устройств. – М.: Сов. Радио, 1980.-192с.
8. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления.-М.: Сов.радио, 1991.-296 с.
9. Карр Ч., Хоув Ч. Количественные методы принятия решений в управлении и экономике.- М.: Мир, 1986.- 464 с.
10. Благодарный М.П., Алексієв О.П. Бортові обчислювальні комплекси автотранспортних засобів. Консп. лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2005.-186 с.
11. Благодарный М.П. та інш. Основы цифровых систем мехатронных комплексов. Консп. лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2006.-146 с.
12. Алексеев О.П., Багаевский А.Б. Микроконтроллерные системы транспортных средств.-Харьков:ХГАДТУ, 1999.-38с.
13. Автомобильный справочник Бош// Справочное издание фирмы BOSCH, первое издание.- М.: Издательство “За рулем”, 1999.-587с.
14. А.с. 1624404. Программируемый контроллер/ Н.П.Благодарный, Г.Н.Тимонькин и др., опубл. в Б.И., 1991 г., № 4.
15. А.с. 1642446. Программируемый контроллер/ Н.П.Благодарный, Г.Н.Тимонькин и др., опубл. в Б.И., 1991 г., № 14.
16. А.с. 1693590. Устройство для программного управления/ Н.П.Благодарный, Г.Н.Тимонькин и др., опубл. в Б.И., 1991 г., № 43.

17. Основы теории систем и управления. Сборник задач//М.П.Медиченко и др.- МО СССР, 1983.-215 с..