

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Конспект лекцій з навчальної дисципліни

Спецкурс з оцінки ефективності інженерних рішень
(назва навчальної дисципліни згідно навчального плану)

підготовки спеціаліст
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузі знань 14 Електрична інженерія
(шифр і назва галузі знань)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва кваліфікації для бакалавра, спеціальності – для магістра)

спеціалізація Електричні системи і комплекси транспортних
засобів

2016 рік

Укладач:

к.е.н., доцент кафедри економіки підприємства ХНАДУ
Болотова Тетяна Миколаївна

Зміст.

Розділ 1. Наукові основи розробки та експлуатації технічних систем, обґрунтування прийняття інженерних рішень

Тема 1. Загальні положення теорії ефективності

Тема 2. Загальний алгоритм процесу розробки технічних систем та стадії їх життєвого циклу

Тема 3. Організація експлуатації технічних систем

Тема 4. Основні та специфічні показники якості інженерних рішень

Розділ 2. Сучасні підходи до управління технічних систем та оцінки інженерних ситуацій, прийняття інженерних рішень

Тема 1. Методи визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості інженерних рішень

Тема 2. Визначення вартості інженерних рішень

Тема 3. Визначення витрат на модернізацію з урахуванням режимів експлуатації системи

Тема 4. Обґрунтування оцінки ефективності інженерних рішень на основі методики ФВА

Розділ 1. Наукові основи розробки та експлуатації технічних систем, обґрунтування прийняття інженерних рішень

Тема 1. Загальні положення теорії ефективності

Більшість реальних процесів, тобто процесів, які додають 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), наступає, так званий, момент зовнішньої ентропії, при якому дана система усиливає 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 результативності 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 (формула 1), складніше управління ними, але кількість інформації в даному випадку має максимальне значення, а значить розвиток системи максимальний, тобто результативність її також максимальна.

$$p = 1/N \quad (1)$$

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

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

де p_i – вірогідність появи деякої події S_i .

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

$$\log_2 p_i \leq 0$$

$$p_i < 1$$

$$P_{(Rt)} = P_i^*$$

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

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 характеризуючим 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 конкретного 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 нижче 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 природного процесу, найбільш придатним (позитивним) вважається найбільший за абсолютною величиною.

Ефективність змін у статиці, 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 рішення розуміти ризик певної зміни природного 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 ризики пов'язані із процесом або рішенням позбавлена сенсу, бо рівень сукупного ризику впливу на результаті 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 реальній процес, до якого застосоване певне рішення, і воно викликає певні зміни протікання процесу або зміну результатів від очікуваних і сморід стовідсотково не можуть бути прогнозованими, те ми маємо типову ризикову 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 вичерпний опис поведінки (зміни) природного 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 системі;
- 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 ; величини 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 системі, 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.

Тема 2. Загальний алгоритм процесу розробки технічних систем та стадії їх життєвого циклу

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.

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. 2.1)

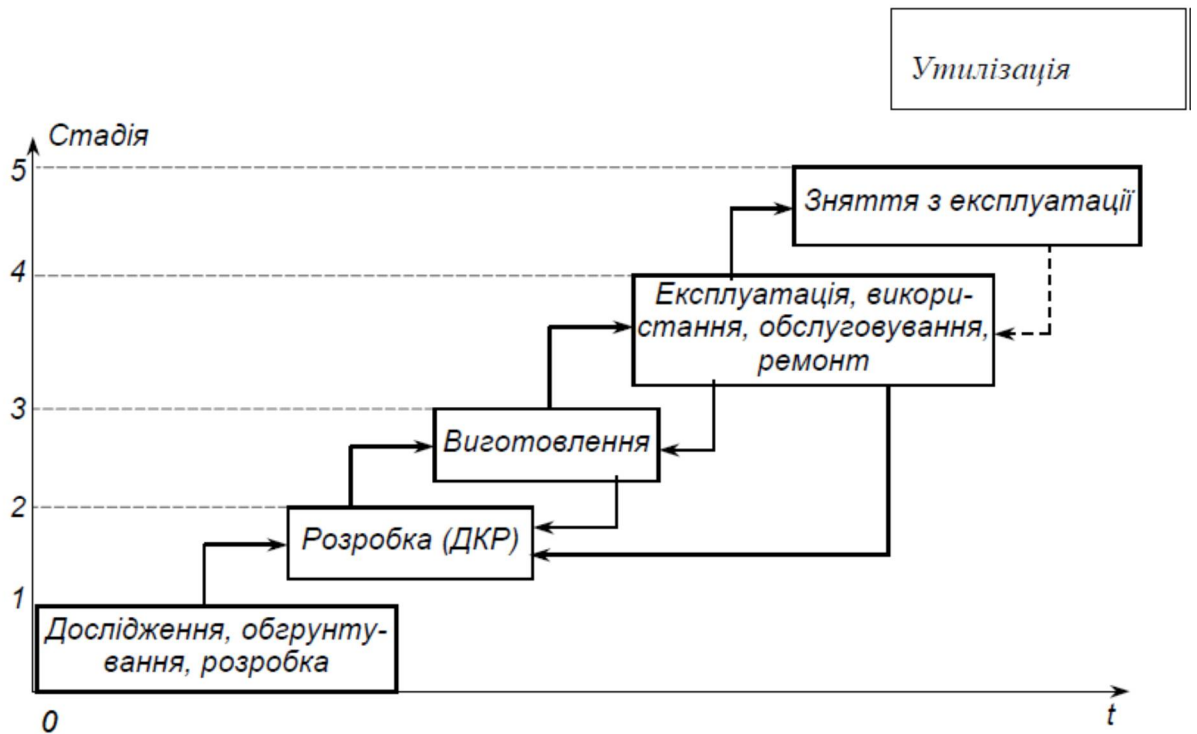


Рисунок – 2.1. Взаємозв'язок стадій життєвого циклу системи

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

- а) 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.

Тема 3. Організація експлуатації технічних систем

Відповідно до ДСТУ *експлуатація* — стадія життєвого циклу технічної системи (інженерного рішення) з моменту приймання її користувачем від заводу – виготовника (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.

Розглядаючи процес експлуатації бачимо, 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_v) - відношення напрацювання системи до математичного очікування числа її відмов протягом цього напрацювання;
- напрацювання на збій (T_z); параметр потоку відмов (λ_v);
- параметр потоку збоїв (λ_z);
- середній час відновлення (T_{vd}) — математичне очікування часу відновлення працездатного стану; параметр потоку відновлення (μ);
- коефіцієнт технічного використання (K_{vk}) — 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 $P_v(t)$ - ймовірність того, що час відновлення працездатного стану системи не перевищить заданого;
- коефіцієнт готовності (K_g) — 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_{og}) - вірогідність того, що обчислювальна система опиниться в працездатному стані в довільний момент часу i , починаючи з цього моменту, працюватиме безвідмовно протягом заданого інтервалу часу:

$$K_{og}(t) = K_g P(t).$$

Ці показники найповніше характеризують властивості безвідмовності та ремонтопридатності систем.

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 зберігаємості 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 зберігаємість 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 централізовано 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–С і відносну вологість 45 • 70%. Так магнітні диски повинні зберігатися в приміщеннях при температурі 25±10–С, відносній вологості 65 • 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.

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.

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.

Тема 4. Основні та специфічні показники якості інженерних рішень

Вузловим моментом оцінки ефективності є вибір критерію ефективності для її кількісної оцінки і розробка моделі ефективності проектованої 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, що проводиться в основному силами окремих конструкторських бюро (ОКБ) серійних підприємств, вимагає розробки інженерної методики вибору найкращого варіанту модернізуємось 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 ІР, припускає подальше ускладнення комплексу пристроїв. У зв'язку з цим завдання проектування і модернізації набувають нової якісної особливості — результати їх розв'язання повинні бути такими, щоб забезпечити оптимізацію системи (комплексу) в цілому. Суть розробки полягає, як правило, у вивченні технічного питання, виробленні технічних вимог, виконанні ескізного і технічного проєктів, в розробці всієї необхідної документації, виготовленні і випробуванні макетних і дослідних зразків, проведенні лабораторних і державних випробувань. При позитивних результатах випробувань система(ІР) 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.

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:

- у зв'язку з великим періодом від розробки до освоєння нові, вдосконалені схеми і технічні засоби, розроблені і впроваджені 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.

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. 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

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

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

Кращою буде та система, в якій значення функціонала yI 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 ерготичних 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 $z1$ (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 $z2$ (наприклад, зусилля на рукоятках управління) з силовими та потужносними характеристиками людини;

в) просторово-антропометрична - узгодження просторового розташування органів управління і робочого місця оператора $z3$ з антропометричними характеристиками людини;

г) біофізична — узгодження параметрів мікроклімату, що створюється роботою машини $z4$ (наприклад, температури, вологості, вібрації, шуму і т. інш.), з фізіологічними характеристиками людини;

е) техніко-естетична — забезпечення художньо-естетичного оформлення машини і робочого місця $z5$ відповідно до високого художнього смаку людини.

Кожна з характеристик $z1 - z5$ машини визначається комплексом змінних (безперервних або дискретних параметрів). Наприклад, інформаційна характеристика $z1$ визначається швидкістю видачі інформації світлової $z11$, звуковий $z12$, видом кодування $z13$, способом відображення вихідної інформації $z14$ і т. д.:

$$z1 = \psi1 (z11, z12 \dots, z1m)$$

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

$$znki \leq zki \leq zvki,$$

де k - номер характеристики по вигляду сумісності;

i - номер параметра k -ї характеристики;

$znki, zvki$ - нижня та верхня допустимі межі зміни параметра Znk , які визначаються допустимими значеннями параметрів відповідних характеристик людини.

Наприклад, швидкість видачі машиною світлової інформації повинна бути від $zn11 = 2$ біт/с до $zv11 = 45$ біт/с, звукової інформації від $zn12 = 0,6$ біт/с до $zv12 = 8$ біт/с, а зусилля на рукоятках управління машиною від $zn21 = 0.45$ кГ до $zv12 = 30$ кГ.

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

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

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

$$h = W/W_{\text{п}},$$

де $W_{\text{п}}$ - 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:

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

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

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 .

Розділ 2. Сучасні підходи до управління технічних систем та оцінки інженерних ситуацій, прийняття інженерних рішень

Тема 1. Методи визначення вагових коефіцієнтів часткових показників якості інженерних рішень

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 якості 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 обґрунтованість 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

$$E = \frac{P}{C}$$

Оскільки

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

де y_i – часткові показники якості, то

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

- 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 обґрунтовано 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.

Тема 2. Визначення вартості інженерних рішень

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 IP, 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

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

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.

Методи наближених розрахунків

Найбільш поширеними методами приблизного визначення вартості ІР є: метод питомих ваг; графо-аналітичний 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 співвідношення:

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:

$$C = \frac{100}{P_e} E_{л},$$

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

$E_{л}$ - 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 таких 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

$$C_3 = f(C_M + C_K),$$

- 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

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

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

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

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

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 (IP) 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 IP 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.

Тема 3. Визначення витрат на модернізацію з урахуванням режимів експлуатації системи

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

- підвищення надійності одного з блоків IP;
- 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.

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

$$C_{\text{м}} = C_0 \prod_{i=1}^n y_i^{*2}$$

де $C_{\text{м}}$ — 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 $y_{\text{ні}}$ до значення цього показника, отриманого в результаті модернізації $y_{\text{ім}}$

$$y_i^* = y_{\text{ім}} / y_{\text{ні}}$$

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

$$y_i^* = y_{\text{ім}} / y_{\text{ні}}$$

Таким чином, значення $y_i^* \geq 1$.

Тому в результаті модернізації вартість $C_{\text{м}}$ блоку підвищується $C_{\text{м}} \geq C_0$, 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 визначається вартість кожного j -го вузла (C_{mj}), а вартість модернізованого блоку буде рівна

$$C_{\text{м}} = \sum_{j=1}^m C_{\text{м}j}.$$

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

$$C_{\text{м}} = C_0 (\lambda_0 / \lambda_{\text{м}})^\alpha,$$

де λ_0 та $\lambda_{\text{м}}$ - інтенсивності відмов, які визначають надійнісні характеристики немодернізованої (P_0) і модернізованої ($P_{\text{м}}$) систем.

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

$$C_{\text{м}} = C_0 (\ln P_0 / \ln P_{\text{м}})^\alpha.$$

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 на підставі статистичних даних

$$\alpha = \ln \frac{C_{\text{м}}}{C_0} / \ln \frac{\ln P_0}{\ln P_{\text{м}}}.$$

Для складних виробів існують розраховані значення $C_{\text{м}} = f(P)$ або $C_{\text{м}} = f(P_0 / P_{\text{м}})$. 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 $T_{\text{п}}$.

Тема 4. Обґрунтування оцінки ефективності інженерних рішень на основі методики ФВА

Науковими джерелами ФВА є: теорія систем і методи системного аналізу; теорія функціональної організації; методи інженерного аналізу і теорія оптимізації; теорія економічної ефективності і методи економічного аналізу; теорія організації трудових процесів і методи активізації творчості.

Склад принципів сучасної концепції ФВА визначає систему основних понять, якими оперує цей метод. Найважливіше з них — поняття функції, що взаємопов'язує суспільні потреби і властивості створюваних систем.

Перевага методу в тому, що він поєднує: техніку й економіку, оптимізуючи співвідношення між споживчими властивостями продуктів праці і витратами на їх забезпечення; усі складові життєвого циклу об'єкта, що аналізується, дослідження, розробку проекту, підготовку й організацію виробництва (створення), експлуатацію; дії розробників, виготівників і споживачів (користувачів).

ФВА дає змогу вирішити завдання забезпечення економії ресурсів, прогресивності техніки, підвищення якості і конкурентоспроможності продукції.

Методика проведення ФВА базується на вивченні функцій об'єкта і побудована так, щоб, абстрагуючись від існуючого рішення і зосередивши увагу на абстрактних функціях продукції, що аналізується, можна було знайти принципово нові рішення їхнього виконання, що забезпечують підприємству мінімальні витрати, зростання прибутків, підтримку конкурентоспроможності продукції.

Найбільший ефект дає застосування цього методу під час використання у сфері проектування нових об'єктів, тому що сприяє попередженню виникнення зайвих витрат на їхнє виробництво й експлуатацію. До складу процедур входять: аналіз вимог до продукції, що розробляється; формування цілей і завдань розробки; визначення складу функцій майбутньої продукції; побудова його функціональної моделі; визначення витрат на функції; пошук і формування рішень за функціями; оцінка техніко-економічного рівня варіантів рішень за основними функціями; побудова структурної моделі; комплексна функціонально-вартісна оцінка й остаточний вибір варіанта продукції, що розробляється.

Перспективна сфера застосування ФВА — виробничі системи (ВС), де об'єктами вдосконалення є:

- власне ВС (її виробнича структура, розподіл функцій між елементами тощо);
- усі види реалізованих технологічних процесів ВС (основні, допоміжні, обслуговуючі);
- виробничий процес у цілому та його системні компоненти;
- управлінські структури і процеси, у тому числі власне процес ухвалення управлінського рішення керівником, процес виконання традиційних функцій управління — планування, організації, контролю та мотивації.

Головними чинниками необхідності застосування ФВА є такі, як наростання темпів науково-технічного прогресу, обмеженість трудових, матеріальних і фінансових ресурсів, можливість використання економіко-математичних методів, інформаційних технологій, що дають змогу обирати найбільш економічні рішення. Це зумовлено тим, що ФВА дає на 1 грн витрат на його проведення 10—20 грн економічного ефекту.

Основними причинами недостатнього впровадження ФВА в практику є: психологічний бар'єр (інертність), проблеми організаційного характеру (хто має займатися ФВА, як стимулювати впровадження ФВА), проблеми

методологічного характеру, тобто потрібний єдиний методологічний підхід до проведення ФВА.

В основному ФВА застосовують:

1) на передпроектній і проектній стадіях створення нової продукції. Це дає змогу виключити непотрібні витрати і досягти оптимального виконання отриманих функцій. Складність проведення ФВА на цих стадіях полягає в тому, що виробу як такого не існує;

2) під час модернізації виробу;

3) під час уніфікації виробу (з метою економії потрібні стандартні рішення);

4) під час проектування технологічного оснащення; у цьому разі можливості ФВА розширюються за рахунок таких обставин:

- немає необхідності в узгодженні конструкцій оснащення з замовником, тому що підприємство саме виступає як замовник і як споживач одночасно;
- конструктивно технологічне оснащення менш відпрацьоване, ніж основна продукція;
- створено найсприятливіші умови для використання ФВА на передпроектній і проектній стадіях;

5) під час розробки й удосконалення технологічних процесів (ФВА-технології);

6) в організації основного і допоміжного виробництва;

7) у системі управління галуззю і підприємством.

Найбільш відпрацьованою з методичного погляду є коригуюча форма ФВА. Найменш відпрацьованою є творча форма ФВА, що передбачає проведення на проектній і передпроектній стадіях створення нового об'єкта. Практично не розроблена інверсна форма ФВА.

Багато фахівців вважають ФВА одним з методів техніко-економічного аналізу. ФВА продовжує розвивати багато положень цього традиційного методу, однак використовує досягнення й низки інших дисциплін: моделювання, оптимального програмування, теорії систем, теорії рішень.



Водночас ФВА має багато відмінних ознак, що дають змогу його розглядати як самостійний метод.

1. Дослідження має функціонально орієнтований характер. Під час проведення ФВЛ використовується максимально спрямований підхід, тоді як традиційні методи керуються предметним підходом. За предметного (традиційного) підходу дослідники прагнуть поліпшити існуючий об'єкт у рамках прийнятого раніше конструкторського, технологічного й організаційного рішень. Але мірою ускладнення продукції велика частина зайвих витрат залишається за межами уваги дослідника, тому що, розглядаючи існуюче рішення як раціональне, він втрачає можливість розгляду принципово нових рішень. Головною особливістю функціонального підходу є те, що дослідник цілком абстрагується від реального виробу і від прийнятого раніше рішення. Його цікавлять тільки функції, які має виконувати певна продукція, і тому він шукає шляхи ефективної реалізації цих функцій.

2. Орієнтація на оригінальне, нестандартне, незвичайне рішення, що виникає за рахунок "розкріпачення" фахівця від тих традиційних рішень, що були закладені раніше під час проектування виробу.

3. Системний підхід: будь-який об'єкт розглядається як частина системи, входом якої є ресурси (матеріали, устаткування, працівники), а виходом — об'єкти з визначеними технічними й економічними характеристиками.

4. Універсальний характер методу.

5. Можливість одночасного вирішення двох завдань: підвищення якості і зниження витрат.

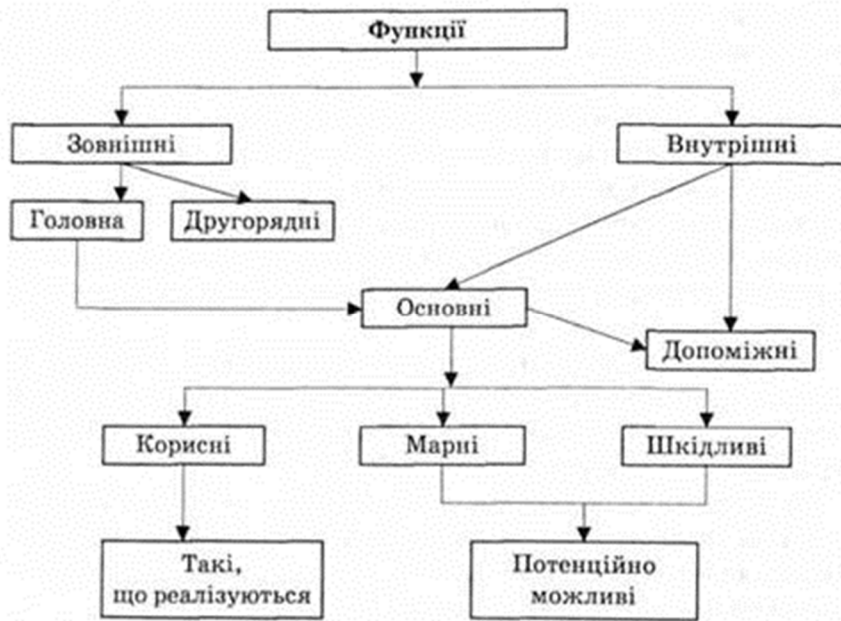
6. Органічне поєднання інженерного й економічного підходу, за якого пророблюються складні інженерні рішення і на всіх етапах чітко виявляється головна мета: боротьба з зайвими витратами.

7. Концентрація уваги не на тих витратах, що вже мали місце, а на майбутніх, які необхідно вчасно звести до мінімуму.

ФВА виник наприкінці 40-х років ХХ ст. Його застосування пов'язане з ім'ям радянського інженера Ю. Соболева й американського інженера Л. Майлса, які незалежно один від одного сформулювали принципи ФВА.

Чітке визначення функцій та їхня оцінка — найбільш відповідальний етап, що дає змогу абстрагуватися від наявних рішень і заново сформулювати завдання вдосконалення конструкції, технології, організації. Зазначення функцій вимагає високої професійної підготовки.

Зовнішні — це загальносистемні функції, якими володіє чи має володіти об'єкт, що аналізується як окрема система. Під час визначення цих функцій внутрішній устрій об'єкта не аналізується. Зовнішні функції поділяються на: головні та другорядні.



Класифікація функцій ФВА

Головні функції — це одна функція (але не більш трьох), що визначає сутність виробу і відрізняє його від інших, тобто це така функція, без якої виріб втрачає свою споживчу вартість, суспільну корисність (наприклад, для магнітофона головна функція — якісне відтворення звуку). Головна функція системи залишається незмінною протягом тривалого періоду, однак способи її здійснення і набір інших функцій може істотно, а іноді і докорінно, змінюватися.

Другорядні — це такі функції, що збільшують попит на продукцію (зручність зберігання, використання та ін.).

Внутрішні функції — це такі функції, якими володіють чи мають володіти елементи об'єкта, що аналізується. Вони поділяються на основні та допоміжні.

Основні — це функції, що забезпечують працездатність об'єкта, принцип його дії, тобто вони безпосередньо не пов'язані з призначенням виробу. Звичайно, вони є результатом тих рішень, що були прийняті для реалізації головної функції. Важливе значення основних функцій полягає в тому, що без них головна функція не може бути практично здійснена.

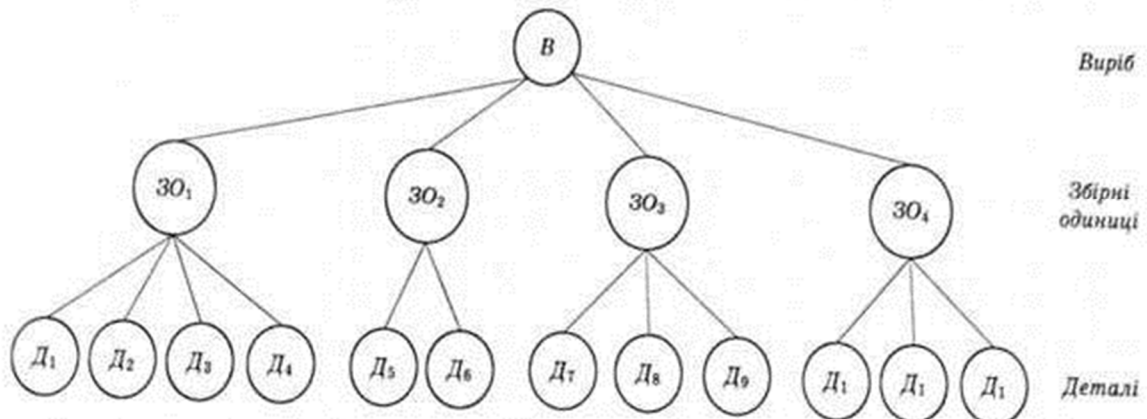
Допоміжні — це такі функції, за допомогою яких реалізуються основні функції (сполучні, кріпильні та ін.), тобто допоміжні функції сприяють здійсненню основних, роблячи їхнє виконання більш раціональним, економічним чи оригінальним для споживача.

Основні функції поділяються на: корисні, необхідні для виконання основних дій виробу; марні (чи нейтральні), що у принципі не заважають виробу, однак здорожують його; шкідливі, які погіршують і здорожують виріб. Необхідно цілком уникати шкідливих і, за можливістю, марних функцій.

Вивчити технічну систему (виріб) — означає знайти значення змінних системи і визначити параметри її елементів. При цьому елементи

характеризуються через зв'язки одного з іншим. Розглядаючи послідовно один за одним зв'язки змінних у системі, можна однозначно визначити саму систему.

Однак складність сучасних виробів робить майже неможливим такий аналіз, тому використовують спрощене подання виробів, тобто моделі різного типу. Однією з таких моделей є структурно-елементна модель виробу, що дає змогу упорядкувати елементи і зв'язки та сформулювати уявлення про склад матеріальних частин об'єкта, їхні основні зв'язки і рівні ієрархії.



Така модель відображає деякі істотні зв'язки між елементами з визначеним ступенем спрощення і становить скелет виробу, його узагальнену форму. Однак сутність виробу відображають його функції, тому вважається, що вони значною мірою характеризують структуру виробу.

Вивчення структурно-елементних моделей дає змогу оцінити лише один аспект складності виробів — склад, кількість і прямі зв'язки підпорядкування його матеріальних складових.

З розвитком науки і техніки відбувається принципова перебудова виробів. І в цих умовах необхідно оцінювати не стільки кількість елементів, скільки види і кількість зв'язків, які виникають між ними.

Таке завдання вирішують логічні функціональні моделі — це опис виробу мовою виконуваних ним функцій (рис. 16.9).

Під час побудови такої моделі необхідно забезпечити:

- відповідність відокремлюваної функції як частковим цілям певної складової виробу, так і загальним, заради яких створюється виріб у цілому;
- чітку визначеність, специфіку, види дій, що зумовлюють зміст функції;
- дотримання суворої погодженості цілей і завдань, що визначають певну функцію, з діями, які становлять її зміст.

Виходячи з цієї моделі, кожна функція виробу повинна мати конкретну цілеспрямованість і визначеність змісту, а також просторову та тимчасову характеристики. Зміст її має відповідати комплексу поставлених завдань. При визначенні функції виробу необхідно враховувати внутрішні і зовнішні зв'язки кожної складової виробу. У формулюванні функції повинні знайти відображення особливості виробу.

Якщо порівняти структурно-елементну і функціональну моделі, то можна зробити такі висновки.

Структурно-елементна модель дає просторове уявлення про виріб, відображаючи його статику, а функціональна характеризує його динаміку і дозволяє знаходити джерела ефективних і неефективних дій об'єкта.

Структурно-елементна модель відображає кількісний, а функціональна — якісний аспект побудови виробу. Функціональна модель дає змогу розглядати її як інструмент діагностування існуючих об'єктів і встановлення шкідливих та марних функцій.

Третьою моделлю, що використовується під час проведення ФВА, є об'єднана модель, що створюється шляхом накладення функціональної моделі на структурно-елементну. Під час такого накладання здійснюється пов'язування рівня деталей з рівнем виконуваних ними функцій.

Будується ця модель таким чином: під функціональну модель "догори ногами" додають структурно-елементну модель і поєднують деталі з функціями.

У зв'язку зі складністю побудови такої моделі будується матрична схема сполученої моделі.

Деталь (матер. носії)	F_1				F_2			
	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}
D_1		+				+		+
D_2	+		+				+	+
D_3		+		+	+			
Сума витрат на функцію								

Аналіз такої моделі дає змогу виявити причини виникнення зайвих витрат і дати кількісну оцінку елементів моделі.

Ступінь організованості виробу знаходить відповідне відображення в його собівартості. Чим вища функціональна організованість виробу, тим менші витрати на реалізацію функції. У зв'язку з цим у ФВА використовують четвертий вид моделі: функціонально-вартісну діаграму, що показує, в яких співвідношеннях перебувають витрати і корисність функції. Така діаграма дає змогу скоротити зону пошуку неузгодженості корисності функції і величини витрат на її реалізацію.

Кожна функція при цьому повинна аналізуватися у двох аспектах: з погляду корисності (значимості) для системи в цілому і з позицій витрат на її здійснення.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Базова

1. Благодатний М.П. Тимонькин Г.М. Оцінка ефективності інженерних рішень. Конспект лекцій, -Х.:ХНАДУ, 2007, 150с.
2. Карр Ч., Хоув Ч. Количественные методы принятий решений в управлении и экономике (пер. с англ.). – М.: Мир, 1986, 464с.
3. Микков У.Э. Оценка эффективности капитальных вложений. - М: Наука. 1991.
4. Управление проектами. Под ред. В Д. Шапиро. - СПб.: " ДваТриИ", 1993.

Допоміжна

1. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент, - М: ИНФРА-М, 2001.
2. Завлин П.Н., Казанцев А.К., Миндели Л.Э. Инновационный менеджмент. Учебное пособие, - СПб: Питер,2007.
3. Гриньова В.М., Власенко В.В. Організаційні проблеми управління інноваційними підприємствами. - Х.: ВД ІНЖЕК, 2005.
4. Шкварчук Л.О. Ціноутворення: Підручник. - К.: Кондор. - 2008. - 460 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://files.khadi.kharkov.ua/novini/item/2908-otsinka-efektyvnosti-inzhenernykh-rishen.html>
2. <http://files.khadi.kharkov.ua/faily/item/5823-otsinka-efektyvnosti-inzhenernykh-rishen.html>
3. <http://buklib.net/books/37224/>
4. <http://studopedia.org/5-3995.html>