

1.4. Основні функціональні характеристики складних систем

Для порівняння систем різних рівнів і структури і з'ясування оптимальності їх внутрішньої будови вводять деякі функціональні характеристики, які можливо виразити чисельно. До таких характеристик відносять ефективність, надійність, якість керування, перешкодозахищеність, стійкість і ступінь складності.

Кількісні характеристики можуть бути отримані експериментально або аналітично при точному математичному описі системи. Такі характеристики повинні задовольняти наступним умовам [25]:

- залежати від процесу функціонування системи;
- просто обчислюватися і вимірюватися;
- давати наочне і порівняльне представлення про одну із властивостей системи;
- допускати (у межах можливого) просту наближену оцінку за експериментальними даними.

Розглянемо ці характеристики детальніше. При цьому будемо виходити з того, що процес функціонування складної системи представляється як сукупність дій її елементів, підлеглих єдиній меті.

*Якість виконання цільової функції і вартість витрат, які були витрачені на її досягнення, оцінюються кількісним (наприклад, числовим, залежним від функцій, які описують внутрішні процеси) або якісним функціоналом, значення якого визначає **ефективність** системи. **Показником ефективності** складної системи називається *величина (числова характеристика), яка характеризує ступінь пристосованості системи до виконання поставлених перед нею задач*. Можна ввести представлення про деякий **поріг ефективності** (з погляду спостерігача), перевищення якого означає виконання функції, а менше значення – невиконання [25].*

Показник ефективності не постійний, він залежить від зв'язків системи з іншими системами і середовищем. Якщо система протидіє несприятливому впливу іншої системи або середовища, домагаючись стабілізації деякого процесу або показника, то її показник ефективності зменшується.

У найбільш загальному вигляді ідея протидії будь-якої системи зовнішньому впливу виражена згадуваним вище принципом Ле-Шательє. Відповідно до нього підтримка стабілізуючого процесу в умовах зовнішніх впливів вимагає деякого зменшення ефективності системи. Реакція (відповідь) системи на вплив може бути виражена в активній перебудові самої системи, а також породжувати процеси протидії, що можуть змінювати параметри середовища і використовувати спочатку несприятливі зміни у свою користь. При цьому за зменшенням ефективності системи може піти її збільшення, зміна функцій і меж працездатності системи. Відхилення показника ефективності від умовного порога у велику сторону характеризує запас міцності системи, тобто її можливість протидіяти несприятливим впливам і виконувати свою функцію. Зменшення його нижче порога може призвести до порушення функцій або до руйнування системи [25].

Оскільки складна система функціонує в умовах впливу випадкових факторів, то і результат її роботи можна вважати випадковою величиною (подією). Нехай A – подія, ζ – випадкова величина, що відповідає цій події; $\zeta = 1$, якщо подія A відбулась, $\zeta = 0$, якщо подія A не відбулась. Для оцінки середнього рівня функціонування системи звичайно користуються середнім значенням випадкової величини – математичним очікуванням або імовірністю здійснення випадкової події A – $P_{\zeta}(A)$. Тому що процес функціонування великої системи не завжди стаціонарний і, як правило, залежить від часу, необхідно при оцінці ефективності вказувати також інтервал часу, для якого розглядалася дія системи.

Правильним є вибір таких приватних показників ефективності, що найбільш повно відбивають співвідношення результатів і витрачених на їхнє досягнення засобів. Часто, наприклад, при оцінці ефективності системи вводяться обмежувальні умови по собівартості – не більше заданої величини. Ці умови іноді обмежують практичне використання приватних показників ефективності. Будь-який показник ефективності $R = R(u_1, u_2, \dots, u_r, x_1, x_2, \dots, x_n)$, тобто R залежить від ряду параметрів: u_1, u_2, \dots, u_r – параметри системи; x_1, x_2, \dots, x_n – фактори впливу з зовніш-

нього середовища. Аналітичний вираз для R може бути досить складним; воно залежить від структури системи та алгоритму її функціонування [25].

Наступною функціональною характеристикою є **надійність**. Вимоги до неї пред'являються усе більш підвищені: росте відповідальність, покладена на системи, росте ціна помилки. Важливо відзначити, що традиційні критерії надійності, що добре представляють властивості простих систем, такі як “середній час безвідмовної роботи”, “імовірність безвідмовної роботи в заданому інтервалі часу” і т.д. для складних систем практично не мають змісту. Вирішальним в оцінці надійності складних систем є правильний підрахунок наслідків (з погляду кінцевого ефекту функціонування системи), до яких приводять відмовлення тих або інших елементів.

Під відмовленням елемента будемо розуміти вихід його характеристик за припустимі межі або повне припинення роботи. Природно, що в обох випадках змінюється показник ефективності.

Нехай R^0_H – ефективність системи за умови, що всі елементи абсолютно надійні, а R^*_H – ефективність, якщо відмовлення відбуваються з інтенсивністю в заданих імовірнісних межах. Тоді величина $\Delta R = R^0_H - R^*_H$ може бути обрана як показник надійності складної системи. Він характеризує різницю між ідеальною і реальною ефективністю системи. Важливо враховувати також імовірність виявлення виходу елементів з ладу та імовірність своєчасного їх відновлення. Якщо величина ΔR мала, то займатися підвищенням елементної надійності немає сенсу, якщо ж величина ΔR велика, то елементна надійність теж повинна бути високою [25].

Якість керування – один з найбільш важливих критеріїв оцінки складних систем, включаючи і технічні системи. Всі фактори, що впливають на якість керування, можна розділити на групи, пов'язані з якістю критеріїв керування, з частотою циклів керування, з якістю інформуючої інформації і з алгоритмами керування [25].

Позначимо через $a'_{i_1}, a'_{i_2}, \dots, a'_{i_n}$ параметри керування. При експериментальному керуванні критерій керування $F(a'_{i_1}, a'_{i_2}, \dots, a'_{i_n})$ має екстремум F^* при

$$a'_{i_1} = \overline{a'_{i_1}}, a'_{i_2} = \overline{a'_{i_2}}, \dots, a'_{i_n} = \overline{a'_{i_n}}.$$

В ідеальному випадку екстремуму якості керування $F = F^*$ повинен відповідати також екстремум ефективності керування $R = R^*$. Однак не завжди вдається за критерій якості керування вибрати критерій ефективності, тому що дуже часто досягнення максимальної імовірності виконання цільової функції ($P_0 \rightarrow P_{0\max}$) пов'язано з максимальною вартістю виконання ($Q_\Sigma \rightarrow Q_{\Sigma\max}$), тому $R \neq R_{\text{opt}}$ [25].

Дуже важливий правильний режим керування. Обґрунтований вибір тривалості циклу особливо необхідний тоді, коли ми маємо справу зі “старінням” інформуючої інформації. Старіння інформації може бути скомпенсоване (іноді не цілком) введенням прогнозування – екстраполяцією станів системи. Однак цикл керування повинен бути обмеженим, інакше збільшиться помилка екстраполяції. Крім того, при великому циклі керування погіршується погодженість змін керування елементів з керуваними пристроями (в аспекті перехідних процесів).

Якість керування можна з'ясувати шляхом порівняльної оцінки декількох варіантів, порівнюючи їхні показники ефективності. Припустимо, що система працює в двох режимах: режим A з ефективністю R_A і режим B – з ефективністю R_B . Тоді можна розглянути величину $\Delta R = R_A - R_B$. Якщо для ідеальної системи показник ефективності $R_{\text{кер}}^0$ такий, що вище величини R не існує, тоді оцінка може стати абсолютною [25]:

$$\Delta R_{\text{кер}}^0 = R_{\text{кер}}^0 - R_A.$$

Таким способом можна оцінювати якість керування стосовно до елементів системи, наприклад, операторам (їхня підготовленість і відповідність розв'язуваній задачі). Величина $R_{\text{кер}}^0$ в цьому випадку може бути обчислена або обмірювана на моделях (наприклад, на комплексі, що тренажно-моделює, без включення людини в контур керування). Потім, включаючи в контур керування людину, можна отримати реальне значення ефективності R^* . Тоді знаходимо абсолютну оцінку $\Delta R = R_{\text{кер}}^0 - R^*$, що показує, наскільки знижується якість керування при переході до реальної системи. Показник ΔR стає також інструментом для оцінки впливу того або іншого заходу щодо організації діяльності людини, впливу зміни алгоритму керування, зміни програми підготовки операторів і т.д.

Ще однією функціональною характеристикою є **перешкодозахищеність**. Як уже відзначалося, система функціонує в умовах впливу на неї різних зовнішніх і внутрішніх факторів. Звичайно розглядаються деякі нормальні (типові) умови роботи системи. У цих умовах функціонування системи називається незбуреним. Природно, що реальні умови, як правило, відрізняються від нормальних. Перешкодою називаються зовнішні або внутрішні фактори, що змінюють параметри системи u_1, u_2, \dots, u_r у бік $u_1^*, u_2^*, \dots, u_r^*$... Зміни під дією перешкод для i -го параметра можна виразити наступним способом [25]:

$$u_i^* = u_i^0 + \Delta u_i,$$

де u_i^* – збурене значення параметра; u_i^0 – значення параметра u_i в нормальних умовах. Аналогічно для перешкод, які впливають на зовнішні умови середовища, одержують наступні оцінки:

$$\beta_j^* = \beta_j^0 + \Delta \beta_j,$$

де β_j^0 – параметри середовища при нормальних умовах.

Перешкодозахищеність системи відбиває її здатність працювати з колишньою ефективністю в умовах дії перешкод. Показник перешкодозахищеності складної системи можна записати у вигляді

$$\Delta R_{\text{пер}}^0 = R_{\text{пер}}^0 - R_{\text{пер}}^*,$$

де $R_{\text{пер}}^*$ – ефективність в умовах дії перешкод. Він вказує, наскільки знижується ефективність функціонування системи в умовах впливу внутрішніх і зовнішніх перешкод.

Стійкість – також функціональна характеристика складної системи. Під стійкістю функціонування системи розуміється її здатність зберігати необхідні властивості в умовах впливу збурювань. Практично це поняття застосовується стосовно визначеного виду збурювань і визначеної чисельної характеристики системи. При цьому надзвичайно важливо виділити області стійкості системи, тобто межі зміни її параметрів, у яких система виконує свої цільові функції досить ефективно [25].

Наступною функціональною характеристикою системи є *ступінь її складності*. Звичайно складність системи визначається інтуїтивно,

однак при синтезі систем і особливо при їх порівняльному аналізі на різних стадіях розробки необхідні кількісні критерії для оцінки цієї характеристики.

Нехай маємо n типів елементів. Для кожного типу оцінимо складність i -го елемента числом T_i . Тоді узагальнена складність системи, що складається з елементів зі складністю T_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), визначається так [25]:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i k_i,$$

де k_i – кількість елементів i -го типу, що входять у систему.

Можна ввести також оцінку складності зв'язків. Максимально можливе число зв'язків системи з $N = \sum_{i=1}^n k_i$ елементів дорівнює $N(N-1)$, число зв'язків, реалізованих у системі, – M^* . Тому відносне число реалізованих зв'язків:

$$\alpha = \frac{M}{N(N-1)}.$$

За допомогою цього коефіцієнта загальна складність системи може бути формально виражена як

$$T = (1 + v\alpha) \sum_{i=1}^n T_i k_i.$$

Тут v – коефіцієнт, що враховує складність зв'язків у порівнянні зі складністю елементів системи.

Розглянуті функціональні характеристики складних систем дозволяють оцінити системи з різних сторін і дають основу для їх об'єктивного розгляду і порівняння [25].