



KAPITEL 3 / CHAPTER 3³

EVALUATION OF THE MODERNIZATION RESOURCE TECHNICAL FACILITIES BASED ON SYSTEMS STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODELS

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-25-00-020

Вступ

Оцінка модернізаційного ресурсу технічних об'єктів виконується на основі системних структурно-функціональних моделей і забезпечує обґрунтоване формування задач конструкторсько-технологічного інжинірингу для їх ремонту і модернізації.

Ці питання набувають особливого значення в умовах проведення модернізації складних технічних об'єктів для підвищення їх конкурентного рівня під час порівняння альтернативних конструкторсько-технологічних заходів. Мета досліджень – формування багатокритеріальної оцінки модернізаційного ресурсу технічних об'єктів на основі їх системних структурно-функціональних моделей.

Основні задачі досліджень:

- визначити блочну структурно-функціональну модель технічної системи інженерного об'єкту (ІО);
- формування багатокритеріальної оцінки модернізаційного ресурсу технічної системи ІО для визначення задач конструкторсько-технологічного інжинірингу.

3.1. Аналіз публікацій і виробничих даних

Технічні системи промислових ІО є основою організації та функціонування виробничих сил. Тому забезпечення високої ефективності та якості роботи таких систем залишається важливою функцією їх розробників і фахівців по

³Authors: Dudukalov Yuriy Volodimirovich



експлуатації. Виконання цієї функції на етапі проектування технічних систем забезпечується шляхом постановки та вирішення загальних чи локальних завдань оптимізаційного синтезу технічних засобів, а на етапі експлуатації – вироблення та реалізації найефективніших алгоритмів поведінки. Зазначене передбачає застосування методів структурно-параметричної оптимізації.

Підвищення рівня конкурентоспроможності технічних систем може досягатися за рахунок розвитку інженерних об'єктів та удосконалення транспортно-логістичної інфраструктури для забезпечення ефективної експлуатації [1]. Сучасній інфраструктурі відповідає інтелектуально-інтегрований рівень управління підрозділами та окремими частинами промислового комплексу, у тому числі інтелектуалізованою технологічною системою ремонту ІО [2]. Передбачається створення єдиного інформаційного середовища, широке використання інформаційно-аналітичних систем та технологій інтелектуального аналізу даних. Істотно, що таке середовище інформаційної взаємодії включає процедури моніторингу та аналітичної обробки (моделювання та прогнозування), як необхідні елементи інтелектуалізації промислового комплексу та його систем.

Сучасні ІО є складними, наукомісткими виробами, що розвиваються. Нині відбувається активна інтелектуалізація ІО, що охоплює як основні процеси (рух, управління), і безліч допоміжних функцій (контроль технічного стану, тощо.).

Також ІО вже сприймається як біонічний об'єкт [2] з ознаками інформаційно-комунікаційного центру. Закономірно, що це потребує підвищення технологічного рівня при виробництві та на наступних експлуатаційних стадіях життєвого циклу ІО, котрі пов'язані з технічним обслуговуванням, особливо при капітальному ремонті та модернізації, відновленні ресурсу деталей, вузлів та агрегатів [3]. Необхідно забезпечити якісну технологічну підготовку та управління виробництвом, виключити появу «інформаційних розривів» між стадіями життєвого циклу.

При інтелектуалізації мехатронних технічних засобів, систем управління підприємствами розглядаються множин функцій (основних, допоміжних,



контрольних, підготовчих) [4]. Відмінною особливістю для ремонтного виробництва є обов'язкова ідентифікація технічного стану виробів, що надходять для ремонту та модернізації [5]. При ідентифікації під час технічної діагностики, дефектації, технологічних контрольних операціях, випробуваннях встановлюються відповідності еталонним описам, визначальним вимоги до стану ІО. Доцільно використовувати такі еталони у вигляді комп'ютерних системно-множинних описів – ремонтно-експлуатаційних еталонів (РЕЕ) [6], і на цій основі приймати рішення пристроями з елементами штучного інтелекту для управління.

Таким чином, подальше вдосконалення інформаційного забезпечення необхідно визначити за принципами системної структурно-функціональної побудови з урахуванням тенденцій розвитку конструкцій та умов експлуатації при формування задач конструкторсько-технологічного інжинірингу для ремонту і модернізації технічних систем.

3.2. Блочна структурно-функціональна модель для технічних систем

Традиційно моделі складних систем будуються з допомогою апарату теорії множин. Множина вважається заданою, якщо зазначені атрибути, які мають елементи множини. Зв'язки між елементами можуть бути різними за ступенем впливу, також технічні системи можуть мають нечіткі межі. Для опису технічних систем у предметній галузі агроінженерного об'єкту пропонується використовувати описи кінцевих чітких множин, елементи яких об'єктивно та чітко задані та включені до складу множини [7].

Вихідним пунктом аналізу прийнято абстрактну модель домінуючого (цільового) багатofункціонального процесу в ІО, що описується орієнтованим графом (рис. 1):

C_j – множина інженерних об'єктів, що надходять у ремонт та модернізацію після експлуатації,



IO_j^r – множина інформаційних (знакових) об'єктів для цих IO,

Al_{ij} – множина інформаційних об'єктів (семантика), що описують алгоритми ремонту IO,

C_j^r – множина фізичних об'єктів IO, що пройшли ремонтно-відновлювальні операції ;

IQ_j^c – множина інформаційних об'єктів (знакових) для контролю якості об'єктів, діагностичних та дефектувальних ознак для ремонтно-експлуатаційних еталонів IO.

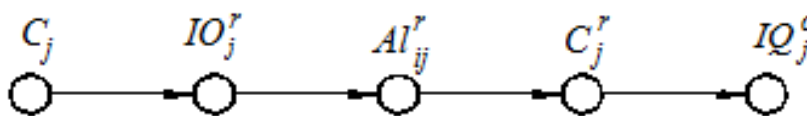


Рисунок 1 – Структурна модель цільового процесу ремонту та модернізації інженерного об'єкту

Кожен об'єкт, що надходить до ремонтної технологічної системи, має ієрархічну структуру. Так, для двовимірного IO («агрегат-деталь»), прийнятому на рис. 1, отримаємо:

i - порядковий номер ієрархічного рівня множини для об'єкта (агрегата),

j - порядковий номер елемента (деталі) на ієрархічному рівні, при цьому функції можуть реалізовуватись у різних просторах.

Це пов'язано із загальною закономірністю створення штучних об'єктів, що передбачають послідовне виконання мислення, знакового оформлення його результатів (проекування знакових моделей), побудови об'єкта за знаковою моделлю та інших дій з ним. Цей процес реалізується на ремонтному підприємстві, технологічна система якого є суб'єктом взаємодії і повинна володіти відповідними можливостями та властивостями. Умовою реалізації технології є виконання умови відповідності між об'єктом виробництва та засобами виробництва.

Таким чином, в ремонтній технологічній системі відбуваються речовинно-енергетичні та інформаційні перетворення. Системне уявлення має відбивати ці перетворення як багатofункціональної, ієрархічної, динамічної системи. Цим



атрибутам відповідають кортежі функціональних, ієрархічних та динамічних властивостей.

Сукупність функціональних, ієрархічних і динамічних властивостей системи, що моделюється, відображається у відповідних чітких множинах:

– функцій FUN, що складається з множин F_1 основних (зазвичай одна основна функція), F_2 управління, інформаційного забезпечення та F_3 підготовчо-заключних, допоміжних функцій ІО:

$$FUN = F_1 \cup F_2 \cup F_3 = \left\{ \{F_{11}\}, \{F_{21}, \dots, F_{2_{\max}}\}, \{F_{31}, \dots, F_{3_{\max}}\} \right\}, \quad (1)$$

– ієрархічних рівнів вертикальної структури ІО

$$ST = \{st_1, \dots, st_k \dots st_{\max}\}, \quad (2)$$

– динамічних властивостей (стадія життєвого циклу ІО)

$$T = \{t_1, \dots, t_j \dots t_{\max}\} \quad (3)$$

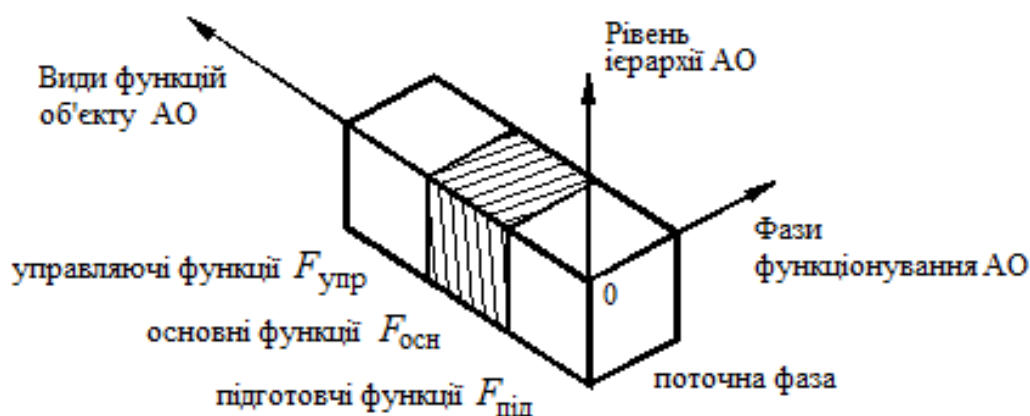
Прямий добуток множин визначить множину кортежів системної моделі ІО, що характеризують сукупність функціональних, ієрархічних і динамічних властивостей:

$$FUN \otimes ST \otimes T = \left\{ (F_{11}, st_1, t_1), (F_{21}, st_1, t_1), (F_{31}, st_1, t_1), \dots, (F_{3_{\max}}, st_{\max}, t_{\max}) \right\} \quad (4)$$

Системна модель одиничного модуля містить три модулі множини FUN для ієрархічного рівня в поточній часовій фазі функціонування. На рис. 2 показана у вигляді сукупності функціональних блоків, що описуються множинами.

При підготовці блокової структурно-функціональної моделі для багатофункціональних, динамічних систем зі складною ієрархією необхідно враховувати, що реалізуються безлічі функцій, що утворюють структуру тріади функцій, а саме:

– функції тріади повноти основного технологічного циклу впливів, що включають основні, підготовчо-заключні, допоміжні та керуючі інформаційного супроводу функції;



**Рисунок 2 – Блокова структурно-функціональна модель для
одиночного модуля ІО**

– функції тріади тимчасових циклів, що включають підготовчі (ідентифікація технічного стану ІО), основні технологічні впливи та заключні функції контролю якості виконання;

– функції тріади ієрархії, наприклад, що включають функції надсистеми (виробничий процес ремонтного підприємства, технічного центру), системи (технологічний процес) та підсистеми робочого місця (технологічна операція).

3.3. Багатокритеріальна оцінка модернізаційного ресурсу

Оскільки для оцінки модернізаційного ресурсу ІО, як можливості і доцільності модернізації, використовувались кількісні та якісні характеристики, то доцільно для аналітичного формалізованого формування завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем ІО задіяти експертні методи, які передбачають ранжування об'єктів за сукупністю параметрів.

В дослідженнях задіяний підхід, в основу якого покладена ідея методу аналізу ієрархій (МАІ), що запропонований Томасом Сааті – американським фахівцем в області дослідження операцій [8]. При використанні методики МАІ зникають труднощі, які відчуває експерт в процесі ранжування множини об'єктів



одночасно за великою сукупністю критеріїв. Це досягається за рахунок того, що МАІ використовує процедуру попарного порівняння елементів, а для полегшення суджень експертів про важливість об'єктів використовується спеціальна 9-бальна шкала відносної важливості двох об'єктів, що попарно порівнюються.

Метод аналізу ієрархій пройшов всебічну апробацію від рішення проблем національного розвитку США та інших країн до приватних задач, отримав високу оцінку фахівців [8].

Процедура аналітичного системного обґрунтування вибору заходів модернізації з використанням ідеї МАІ виконується шляхом послідовного вирішення наступних завдань.

В якості критеріїв на основі блокової структурно-функціональної моделі приймалися технічні параметри, експлуатаційні, економічні показники та інші характеристики, за якими проводились порівняння. В процедурі аналітичного формування завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем ІО для прийняття рішення слід враховувати набори критеріїв, що відображають кількісні та якісні результати проведення модернізації з ремонтом для відновлення ресурсу ІО із застосуванням різних технологій.

На основі аналізу наукових і виробничих даних, результатів експериментальних досліджень взятий наступний набір основних критеріїв для обґрунтування вибору завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем ІО:

1) кількісна відносна оцінка збільшення сукупної продуктивності праці по витратам часу, яку забезпечує використання ІО після модернізації;

2) кількісна відносна оцінка збільшення інтенсивності основного робочого процесу по витратам часу на виконання основних функцій, яку забезпечує використання ІО після модернізації;

3) витрати часу для реалізації завдань конструкторсько-технологічної підготовки, враховуючи всі стадії проектного забезпечення модернізації технічних систем ІО;



4) можливість застосування комп'ютерних технологій управління, забезпеченість інтелектуалізації виконання сукупності функцій ІО після модернізації;

5) можливість застосування поліфункціональних алгоритмів роботи ІО після виконання завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем для підвищення продуктивності;

6) надійність ІО після виконання модернізації технічної системи;

7) оснащеність, надійність і вартість систем управління;

8) екологічні властивості, безпека використання ІО після модернізації;

9) вартість комплектуючих, запчастин і матеріалів для виконання завдань конструкторсько-технологічної модернізації;

10) сукупна вартість технологічного обладнання для виконання завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем ІО, необхідність додаткових капітальних вкладень.

Оцінка важливості критеріїв за методом аналізу ієрархій здійснюється шляхом їх попарних порівнянь. При порівнянні двох критеріїв використовується шкала відносної важливості. Результати порівняння критеріїв розміщують, як матрицю парних порівнянь.

Критерії порівнюються по важливості. При цьому відбувається аналіз того, який вплив кожного з порівнюваних елементів може надати на обґрунтування вибору завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем ІО.

Заповнення починається з першого рядка. Важливість першого критерію W_1 зіставляється з важливістю другого критерію W_{1i} , керуючись шкалою порівняльних оцінок, записується результат зважування X_{12} в матрицю. Якщо критерії, рівні за важливістю, то $X_{12} = 1$. Якщо перший критерій важливіший другого, то ступінь його переваги X_{12} виражається цілим числом балів (від 1 до 9). Якщо перший критерій поступається за важливістю другому критерію, то X_{12} слід висловити дробом (від $1/2$ до $1/9$). Аналогічно порівнюється перший критерій з третім, четвертим і т. д.



В результаті відбувається заповнення першого рядка і першого стовпця матриці.

Для підвищення об'єктивності отриманих результатів заповнення матриці може здійснювати шляхом колективного обговорення списку критеріїв і результатів парного порівняння елементів матриці.

3.4. Оцінка модернізаційного ресурсу для пакувально-сортувальної машини

Для аналізу були вибрані наступні варіанти конструкторсько-технологічної модернізації технічної систем пакувально-сортувальних машин (ПСМ) складського відділення підприємства з такими основними ознаками.

- 1) Модернізація 1. ПСМ оснащується пневматичними приводами нової конструкції підвищеної швидкодії і надійності;
- 2) Модернізація 2. ПСМ оснащується пневматичними приводами, новою системою давачів зворотнього зв'язку для циклової системи управління;
- 3) Модернізація 3. ПСМ оснащується пневматичними приводами, новою оптичною системою зворотнього зв'язку, системою контурного управління;
- 4) Модернізація 4. ПСМ оснащується пневматичними приводами, оптичною системою штрих-кодування, програмованою системою управління;
- 5) Модернізація 5. ПСМ оснащується пневматичними приводами, новою оптичною системою, новою системою інтелектуалізованого управління.

Результати розрахунків узагальнених пріоритетів для порівнюваних завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем Ю наведені на діаграмі (рис. 3).

Узгодженість вважається високою, коли критерій $OC \leq 10\%$, і нормально, коли $OC \leq 20\%$. Якщо OC перевищує цю межу, то судження експертів щодо важливості критеріїв є погано узгодженими і необхідно проаналізувати попарні оцінки критеріїв і внести в них корективи. Результати розрахунків свідчать про



**Рисунок 3 – Пріоритети вибору завдань модернізації
пакувально-сортувальної машини**

ефективність запропонованих варіантів завдань конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем ІО.

Так, для модернізації пакувально-сортувальних машин складського відділення підприємства встановлений конкретний комплект оснащення. Серед багатьох запропонованих альтернативних рішень пропонується ідентифікація виробів із застосуванням штрих-кодів.

Висновки

Розроблена блочна структурно-функціональна модель технічної системи, яка дозволяє сформулювати системну оцінку модернізаційного ресурсу інженерних об'єктів. Для оцінки модернізаційного ресурсу інженерних об'єктів доцільно використовувати аналітичний формалізований підхід на основі методу аналізу ієрархій, який дозволяє обґрунтовано формувати завдання конструкторсько-технологічної модернізації технічних систем.