

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

НІКУЛ СТАНІСЛАВ ОЛЕКСІЙОВИЧ

УДК 005.8

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТУВАННЯМ СКЛАДНИХ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

05.13.22 – Управління проектами та програмами

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Головань Вячеслав Григорович,
кандидат технічних наук, професор

Одеса – 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ РОЗВИТОК СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ	12
1.1. Системно-генетичний аналіз складної технічної системи при прогнозуванні її розвитку	12
1.2. Аналіз характерних особливостей розвитку складної технічної системи	20
1.3. Оцінка варіантів технічного завдання на розробку складної технічної системи	31
1.4. Формування структури властивостей перспективної складної технічної системи	37
Висновки до розділу 1	44
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ПОКАЗНИКІВ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ	46
2.1. Побудова системи властивостей складної технічної системи, як об'єкта розвитку	46
2.2. Формування системи показників складної технічної системи, як об'єкта розвитку	55
2.3. Метод відбору варіантів складної технічної системи	66
2.4. Обґрунтування номенклатури показників для оцінки технічного рівня варіантів складної технічної системи	70
2.5. Визначення комплексного показника оцінки технічного рівня варіантів складної технічної системи	75
2.6. Оцінка ступеню впливу показників складної технічної системи, як об'єкта розвитку на комплексний показник технічного рівня	82
Висновки до розділу 2	84

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБЄКТА РОЗВИТКУ	85
3.1. Модель прогнозування новизни складної технічної системи	85
3.2. Модель прогнозування морального старіння складної технічної системи	91
3.3. Модель прогнозування прогресивності складної технічної системи	97
3.4. Модель прогнозування здатності до модернізації складної технічної системи	102
3.5. Метод порівняння варіантів модернізації складних технічних систем за узагальненим критерієм «ефективність – вартість – час»	110
3.6. Модель прогнозування вживності елементів складної технічної системи	114
Висновки до розділу 3	117
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБРИСУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ЇЇ ПРОЕКТУВАННІ	119
4.1. Операційно-параметричний аналіз складної технічної системи	119
4.2. Опис складної технічної системи як об'єкта прогнозування	125
4.3. Оцінка узгодженості та сумісності складної технічної системи	133
4.4. Оцінка ризику створення складної технічної системи	136
4.5. Облік невизначеності вихідних даних в моделях забезпечення процесу прогнозування	143
Висновки до розділу 4	146
ВИСНОВКИ	148
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	150
ДОДАТКИ	164

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АОпП – аналіз операційних параметрів;
ВМрС – велике моральне старіння;
ДКР – дослідно-конструкторська робота;
ЕОМ – електрона-обчислювальна машина;
ЖЦ – життєвий цикл;
ЗПЕ – закон прогресивної еволюції;
КМН – конструктивно-модернізаційна новизна;
КН – конструктивна новизна;
КСТС – комплекс складної технічної системи;
ЛНМ – ліва нижня межа;
МдЗ – модернізаційна здатність;
МКН – модернізаційна-конструктивна новизна;
МН – модернізаційна новизна;
МрС – моральне старіння;
НДР – науково-дослідна робота;
НН – новофізична новизна;
НПД – нетрадиційний принцип дії;
НТП – науково-технічний прогрес;
ОПА – операційно-параметричний аналіз;
ОФА – операційно-функціональний аналіз;
ПА – параметричний аналіз;
ПД – принцип дії;
ПМрС – повне моральне старіння;
ПН – посилення новизни;
ПР – проектне рішення;
СТС – складна технічна система;
СПА – структурно-параметричний аналіз;
СМрС – слабке моральне старіння;

СрМрС – середнє моральне старіння;
ТВ – технічні вимоги;
ТЗ – технічне завдання;
ТПД – традиційний принцип дії;
ТР – технічне рішення;
ТУ – технічні умови;
ТХ – технічні характеристики;
ФЕ – фізичний ефект;
ФПА – функціонально-параметричний аналіз;
ФС – функціональна структура;
ФСА – функціонально-структурний аналіз;
ЧМрС – часткове моральне старіння;
ЯО – якісний ознак;
ЯХ – якісна характеристика.

ВСТУП

Актуальність теми. В останнє десятиріччя методологія управління проектами розвивається бурхливими темпами, збагачуючись новими концепціями, підходами, моделями і методами. Сучасна методологія управління проектами викладена в працях зарубіжних дослідників – Дж.Р. Тернера, Х.Танака, В.М. Буркова, В.І. Воропаєва, а також вітчизняних вчених: Н.С. Бушуєва, В.А. Вайсмана, В.Д. Гогунського, В.А. Рача, А.І.Рибака, С.В. Руденко, Ю.М. Теслі, С.К. Чернова, А.В. Шахова.

У сучасних умовах головним напрямком розвитку складних технічних систем (СТС) є покращення їх якісних параметрів в ході розробки та виробництва. Інформація про перспективну СТС існує вже на ранніх етапах її розробки та має як якісний, так і кількісний характер. На практиці в основному використовується інформація кількісного характеру. Інформація про якісний характер, як правило, залишається без належної уваги й використовується тільки на більш пізніх етапах розробки (проектування, конструювання, виробництво тощо). Це призводить до того, що на етапі аванпроекту не завжди обґрунтовано приймаються найбільш важливі рішення, що пов'язані із законами розвитку й функціонування СТС, а також без належного наукового опрацювання здійснюється вибір її складових частин і принципової схеми конструкції в цілому. Помилки й недоліки, допущені при цьому, важко усувати на наступних стадіях життєвого циклу, а їхнє усунення пов'язане з істотними матеріальними й трудовими витратами. У зв'язку із цим у ході досліджень, що передують проектним виникає ситуація, пов'язана з великою невизначеністю вихідних даних, з необхідністю обліку якісної інформації при прогнозуванні обрису майбутньої СТС. Ситуація характеризується взаємозалежними протиріччями, які розташовані в порядку спливаючої спільності, тобто кожне наступне доповнює попереднє.

1. По-перше, є система властивостей СТС, яка дозволяє оцінювати перспективність варіантів її обрису, по-друге, вона майже не враховує властивості СТС як об'єкта розвитку, що визначають тривалість її життєвого циклу.

2. З одного боку існує сталий порядок складання технічного завдання на науково-дослідну роботу щодо розробки СТС, з іншого боку – не оцінюється ступінь інформаційної невизначеності його змісту, що відбиває всебічне дослідження СТС як об'єкта розвитку і як об'єкта функціонування.

3. З однієї сторони є сукупність показників властивостей СТС як об'єкта розвитку, з іншої сторони – відсутні теоретичні підходи їхнього прогнозування з метою обліку прогнозних результатів при формуванні її обрису.

4. З одного боку є методологія прогнозування обрису СТС, що функціонує на традиційних принципах дії, з іншого боку – на ранніх етапах розробки (концептуальна фаза створення) вона не може бути ефективно використана, тому що не враховуються належною мірою властивості СТС як об'єкта розвитку.

5. З однієї сторони на концептуальній фазі створення СТС повинні розглядатися різні варіанти її розвитку, з іншої сторони – фактично відсутній науково-методичний апарат, що забезпечує можливість прогнозування обрису СТС, що функціонує на нетрадиційних принципах дії.

Аналіз недоліків теорії й практики, які зазначені вище, вимагає вирішення протиріч, що мають місце.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконувалось у відповідності з планами наукових досліджень Військової академії (м. Одеса) і Національного університету «Одеська морська академія». Зокрема, за планами НДР «Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології», № 0114U000346 («НУ «ОМА») і наукового семінару “Оптимальне управління і експлуатація електроприводів спеціальних установок” Вченої Ради Національної академії наук України з проблеми “Наукові основи електроенергетики” (Військова академія), де здобувач є виконавцем окремих етапів досліджень.

Запропоновані автором результати дослідження, моделі та методи управління апробовані і з успіхом застосовуються у НДІ «Шторм».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності прийняття проектних рішень щодо СТС на ранніх етапах розробки шляхом розробки моделей та методик прогнозування її обрису.

Для досягнення поставленої мети у роботі ставиться та вирішується наукове завдання щодо створення основ прогнозування обрису СТС на ранніх етапах розробки з врахуванням її властивостей як об'єкта розвитку.

Поставлена мета, з одного боку, є першою з основних складових комплексної проблеми розробки вискоефективної СТС. З іншого боку, ця проблема породжує свої складові. Зокрема, на ранніх етапах розробки СТС, як правило, обираються показники, що відображають її експлуатаційні та функціональні властивості, але вони не враховують основні закони і закономірності розвитку техніки. Однак їх облік особливо важливий, тому що вони відображають характерну динаміку взагалі. Крім того, вибір і оцінка показників, які відображають закони і закономірності розвитку, приводить ще до однієї проблемної ситуації, пов'язаної з необхідністю створення моделей прогнозування, що відповідають інформаційним умовам етапу аванпроекту. Існуючі методики прогнозування обрису та перспективних технічних рішень компонентів підсистем СТС потребують подальшого вдосконалювання з врахуванням виділених складових.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження поставлені наступні завдання:

проаналізувати процеси, що супроводжують розвиток СТС та обґрунтувати номенклатуру властивостей СТС, визначити підходи до формування їх показників;

розробити моделі прогнозування показників властивостей складної технічної системи як об'єкта розвитку; модель оцінки СТС на узгодженість і сумісність (комплексність) при використанні у складі комплексу СТС; модель оцінки ризику створення СТС;

розробити методи відбору варіантів складної технічної системи; порівняння варіантів модернізації складних технічних систем за узагальненим критерієм

«ефективність – вартість – час» та дослідити можливість використання методу операційно-параметричного аналізу в ході прогнозних досліджень, пов'язаних з формалізацією СТС.

Об'єктом дослідження є процес прогнозування обрису СТС на ранніх етапах розробки.

Предметом дослідження є моделі та методи управління проектуванням СТС як об'єкта розвитку на етапі досліджень, що передують проектним.

Методи дослідження базуються на використанні теорії, принципів і методів системного аналізу та дослідження операцій в умовах невизначеності та малої вибірки вихідних даних. Дослідження проводилися відповідно до принципу несумісності, згідно з яким висока точність результатів дослідження несумісна з великою складністю об'єкту, що розглядається. У зв'язку з цим прогнозування обрису СТС полягало в створенні логічних, змістовних процедур, алгоритмів, методів і моделей, що дозволяють на основі існуючих напрямків розвитку СТС одержувати висновки про її майбутній обрис на ранніх етапах розробки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше:

– розроблено моделі прогнозування показників властивостей СТС як об'єкта розвитку; оцінки СТС на узгодженість і сумісність (комплексність) при використанні у складі комплексу СТС; оцінки ризику створення СТС, яка побудована з використанням ієрархічної структурної схеми факторів ризику та їх характеристик;

– розроблено і обґрунтовано метод порівняння варіантів модернізації складних технічних систем за узагальненим критерієм «ефективність – вартість – час».

Удосконалені методи:

– відбору варіантів СТС на основі послідовного узгодження рішень; використання операційно-параметричного аналізу в ході прогнозних досліджень, пов'язаних з формалізацією СТС.

Отримали подальший розвиток:

– методологія прогнозування обрису СТС для умов обмеженого інформаційного забезпечення й специфічних рис розвитку СТС, що не враховувалось раніше на ранніх етапах розробки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у доведенні теоретичних положень до конкретних методів, моделей, можливості використання отриманих результатів для підтримки процедур прийняття проектних рішень в організації створення СТС. Запропоновано підхід до оцінки варіантів технічного завдання (ТЗ) на розробку СТС, показана доцільність урахування її властивостей як об'єкта розвитку при формуванні ТЗ. Розроблені методи й алгоритми прийняття рішень (на основі властивостей і показників СТС), які є основою при виборі кращих варіантів її обрису. Розроблені моделі прогнозування показників властивостей СТС як об'єкта розвитку. Запропоновані методи прогнозування технічних рішень елементної бази для СТС і безпосередньо її обрису, виходячи із принципу функціонування.

Запропоновані методи оцінки ступеня впливу показників СТС як об'єкта розвитку на комплексний показник технічного рівня та відбору варіантів СТС на основі послідовного узгодження рішень, модель прогнозування показників якості СТС як об'єкта розвитку впроваджені до навчального процесу Військової академії (м. Одеса) та використовуються в дисциплінах «Основи розвитку та прогнозування технічних систем», «Моделювання електромеханічних систем», а також під час написання магістерських (кваліфікаційних) робіт.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційне дослідження з статей, виконаних у співавторстві, включені тільки ті результати, які отримані особисто здобувачем.

Апробація результатів дослідження. Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях:

IV науково-технічний семінар «Перспективи розвитку ракетних військ і артилерії Сухопутних військ», 27 – 28 березня 2013 р, м. Львів;

Наукова конференція «Перспективи розвитку військової освіти і науки», 16 – 17 жовтня 2013 р, м. Одеса;

Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку інвестиційних рішень у бізнесі та управлінні проектами», 16 – 17 жовтня 2014 р, м. Одеса;

Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ», 14 15 травня 2015 р, м. Львів;

II Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи», 10 – 11 вересня 2015 р, м. Одеса;

III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та взаємодії», 8 – 10 листопада 2016 р, м. Київ;

III Всеукраїнська науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 2016 р, м. Одеса.

Публікації результатів дослідження. Основні результати дисертації опубліковано у 8 наукових статтях, з них 7 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у виданні, що індексується міжнародними наукометричними базами, а також 7 публікацій у матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Основний текст дисертації викладений на 149 сторінках, містить 20 рисунків та 7 таблиць. Список використаних джерел включає 135 найменувань, додатки складають 23 сторінки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ РОЗВИТОК СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Системно-генетичний аналіз складної технічної системи при прогнозуванні її розвитку

Розвиток складної технічної системи (СТС) неможна розглядати без уточнення існуючих і введення нових понять, які використовуються в роботі.

Системно-генетичний аналіз – дослідження СТС на його відповідність законам розвитку технічних систем. На етапі аванпроекту він має першочергове значення, оскільки вивчення історії розвитку (генезису) СТС дозволяє зробити висновки щодо позитивних та негативних наслідків при зміні її конструкції, технології виготовлення. Результати системно-генетичного аналізу дозволяють сформулювати загальні завдання та конкретні пропозиції щодо вдосконалення СТС, як на ранніх етапах розробки, так і на наступних стадіях життєвого циклу (ЖЦ).

Під СТС розуміється цілісна система, яка являє собою сукупність взаємопов'язаних блоків, підсистем та елементів, що об'єднані загальним конструктивним рішенням. [71]

Обрис СТС – це сукупність якісних характеристик (ЯХ), що визначаються типом та складом вхідних блоків, підсистем і елементів [71]. Таке визначення досить зручне при проведенні прогнозних досліджень на ранніх етапах розробки, оскільки воно дає можливість з тією чи іншою мірою деталізації описати його в залежності від наявної інформації. В цьому випадку використання якісних характеристик дозволяє врахувати всю інформацію про СТС і відповідно описати її обрис. Загальна схема робіт щодо розробки СТС наведена на рис.1.1 [131].

Технічний обрис СТС – це сукупність структурних та параметричних даних, що описують її найбільш суттєві технічні рішення й особливості, склад і спосіб об'єднання функціонально пов'язаних блоків, елементів між собою [106].

Технічний обрис враховує не тільки ЯХ, які відображають структурні дані, але й кількісні характеристики, що визначаються різними параметричними даними.



Рисунок 1.1 – Загальна схема робіт щодо розробки СТС

Механізм розвитку будь-якої СТС схематично поданий на рис. 1.2, де видно, що параметри, які характеризують кожну її реалізацію, змінюються під впливом зовнішнього середовища. Причому цей вплив (у більшості випадків) має стохастичний характер. Тому логічно припустити, що безпосереднє значення головного параметру реалізації СТС можна розглядати як випадкову величину, а сукупність його значень у часі - як випадковий процес.

Враховуючи визначення СТС та механізм її розвитку за часом, процес зміни конструкції може бути описаний за допомогою диференційного рівняння

$$\frac{dH}{dt} = \lambda H - \rho H^2, \quad (1.1)$$

де H – ентропія розподілу підсистем та елементів в СТС;

λ – інтенсивність росту числа підсистем та елементів;

ρ – інтенсивність використання підсистем та елементів;

t – час.

$$X_\tau = \Phi(t, \tau) - \int_\tau^t \Phi(t, S) \rho(S) dS, \quad X_t = X_\tau e^{-\int_\tau^t \lambda(S) dS} - \int_\tau^t e^{-\int_s^t \lambda(y) dy} \rho(S) dS.$$

Перехід до рівняння (1.1), дозволяє отримати вираз для ентропії

$$H = \frac{I}{X_\tau e^{-\int_\tau^t \lambda(S) dS} - \int_\tau^t e^{-\int_s^t \lambda(y) dy} \rho(S) dS},$$

де $X_\tau = \frac{I}{H_\tau}$; H_τ – початкові умови.

Розв'язання рівняння (1.1) дозволяє визначити напрям розвитку СТС, тобто траєкторію, яка відповідає еволюційному етапу, на якому відбуваються лише кількісні зміни. Такий механізм їхньої зміни сприятливий для СТС, що підлягає багатократній модернізації у відповідності до законів та закономірностей в техніці [1, 2, 50, 51, 53, 54, 103]. Аналіз вказаних робіт дозволяє виділити закони та закономірності розвитку СТС, які приводять до зміни технічних функцій, структури критеріїв ефективності та зовнішніх факторів. Причому закони розвитку техніки у порівнянні з закономірностями відображають найбільш важливі і фундаментальні зв'язки та відношення, які проявляються у будь-якій СТС. Аналіз розвитку СТС [86, 87, 99] показав, що найбільш яскраво проявляються закони стадійного розвитку та прогресивної еволюції.

Відображення закону стадійного розвитку в СТС є наступним. Під час застосування її за призначенням проглядаються чотири основні функції: цільова (Ц); енергетична (Е); управління (У) процесом реалізації цільового призначення та подачі енергії; планування (П) обсягу цільових задач та ефективності їх реалізації. Сутність його в тому, що розвиток відбувається в ході послідовної передачі новій СТС вказаних основних функцій.

У зв'язку з цим, закон стадійного розвитку можна використовувати тоді, коли визначаються концептуальні шляхи створення СТС. Як правило, тут приймаються рішення щодо передачі нею чергової основної функції наступній СТС, а також цей закон незамінний при обробці проектів з автоматизації процесів

використання за призначенням. Одразу ж вирішується питання переходу від однієї стадії розвитку до іншої. Вочевидь, що прогноз обрису СТС, вже на ранніх етапах, можна отримати інформацію (із визначеною мірою достовірності) про її чергову стадію розвитку і потреби в нових елементах та підсистемах.

Наступним, не менш важливим, є закон прогресивної еволюції (ЗПЕ), який виражається в тому, що СТС, яка виконує певні технічні функції, переходить до нового більш ефективного їх виконання. Такий перехід викликаний необхідністю усунення в СТС виявлених недоліків та дефектів, а також протиріч, що зазвичай пов'язано з покращенням критеріїв ефективності. При цьому спостерігається певна логіка зміни її обрису, якій підпорядковані найбільш ймовірні шляхи ієрархічного вичерпання можливостей конструкції. Ці шляхи реалізуються у вигляді декількох циклів: при незмінній функціональній структурі, принципі дії та технічному рішенні покращуються параметри СТС (цикл А); після вичерпання можливостей циклу А здійснюється перехід до більш раціонального технічного рішення (ТР) (цикл Б), далі йде розвиток знову за циклом А. Після вичерпання можливостей принципу дії (ПД), що використовується, може здійснитися перехід до нового, більш ефективного ПД, після чого розвиток знов відповідає циклу А-Б (цикл В). Після вичерпання можливостей циклу А-Б-В, а іноді А-Б, може відбутися перехід до більш раціональної функціональної структури (ФС) (цикл Г). Необхідно більш детально проаналізувати цикли Б та В. В першому випадку можливо, що цикл А-Б буде повторюватися поки не наблизиться до найкращого ТР для даних ПД та ФС, в другому - цикл А-Б-В повторюється, поки не наблизиться до найкращого ПД для множини відомих в даний час фізичних ефектів (ФЕ).

З цього витікає, що при прогнозуванні розвитку СТС даний (ЗПЕ) є важливим у тому плані, що він визначає жорстку схему видів її розробки: модернізацію, на оригінальних конструктивних рішеннях і на нетрадиційних принципах дії. Вказані види розробки враховує і цикл Г, який передбачає перехід до більш раціональної ФС. Таким чином, прогнозний результат повинен відображати усі три види розробки, які не враховувалися раніше. Тільки після

цього можна вести мову про відповідність науково-методичного апарату прогнозування розвитку СТС системному підходу. Окрім того, (ЗПЕ) чітко виділяє основні фактори, що впливають на обрис: ФС, ТР та ПД. Відображення закону прогресивної еволюції, при прогнозуванні обрису, як раз і полягає в оцінці цих факторів. При реалізації циклів розвитку А-Г помітний вплив має одна з умов, яка полягає у тому, що в кожному випадку переходу до нового покоління СТС з усіх можливих варіантів обрису реалізується той, який характеризується найбільшим зниженням питомої собівартості або збільшенням його ТР при відсутності погіршень або незначних погіршень інших критеріїв. В цьому проявляється та обставина, що СТС, яка розробляється, відрізняється від існуючої більш високою ТР та може бути реальною у плані створення. Це, в свою чергу, визначає новизну, корисність та реальність, які повинні використовуватися при прогнозуванні її обрису. Закон прогресивної еволюції має зв'язок з законом стадійного розвитку, тому що він відображає та реалізує розвиток СТС всередині кожної стадії.

Враховуючи модель процесу розвитку (1.1) та сутність основних законів розвитку СТС, доцільно розглянути закони: різноманітності СТС, що збільшується та розвивається; обмеженої різноманітності її реалізації.

Закон різноманітності, що збільшується, полягає в тому, що за визначене число тактів (етапів) розвитку виникає деяка множина реалізацій, число яких N залежить як від оновлення будь-яких M компонентів виконання (блоків, елементів, підсистем), що утворюють цю реалізацію, так і від взаємопов'язаних форм перетворення реалізацій СТС, що розвивається та їхніх компонентів. В роботі [91] даний закон формулюється наступним чином: різноманітності виконань СТС при відсутності обмежень розвитку збільшується пропорційно до параметрів інтенсивності оновлення (P_n), інтеграції (P_u) та диференціації (P_d) його реалізацій, тобто

$$N = N_0 \cdot P_n \cdot P_u \cdot P_d = N_0 \cdot k_{ym}, \quad (1.2)$$

де N_0 – число реалізацій на вихідному такті розвитку ($N_0 \geq 1$);

P_H – параметр інтенсивності оновлення реалізацій шляхом зміни їхніх компонентів, $P_H = \sum_{\omega=0}^{\Omega} 2^{\omega|M|_H} (P_H \geq 1)$;

P_I – параметр інтенсивності інтеграції реалізацій, $P_I = \sum_{\omega=0}^{\Omega} \frac{I}{P \cdot |N|_{I\omega}}$
 $(1 \leq P_I \leq P_I(N_0))$;

P_D – параметр інтенсивності диференціації реалізацій, $P_D = \sum_{\omega=0}^{\Omega} P|N|_{D\omega}$
 $(P_D \geq 1)$;

$|M|_H$ – потужність реалізацій, яка характеризується потенційним числом компонент, що оновлюються;

Ω – загальна кількість тактів розвитку (перетворення);

$P|N|_{I\omega}, P|N|_{D\omega}$ – потужності СТС на ω -му такті розвитку, які характеризуються потенційним числом реалізацій, що інтегруються та диференціюються,

$$P|N|_{I\omega} = |N|_{I0} |N|_{I1} \dots |N|_{I\omega} = \prod_{\omega=0}^{\omega=\omega} |N|_{I\omega}, \quad P|N|_{D\omega} = |N|_{D0} |N|_{D1} \dots |N|_{D\omega} = \prod_{\omega=0}^{\omega=\omega} |N|_{D\omega};$$

$k_{ум} = P_H \cdot P_I \cdot P_D$ – параметр збільшення різноманіття СТС, що розвивається, відображає інтенсивність розвитку та його адаптованість стосовно до змінних параметрів зовнішньої середовища та умов функціонування (рис. 1.3).

Таким чином, при прогнозуванні обрису СТС, закон різноманіття, що збільшується, достатньо важливий для визначення між-варіантного опрацювання, виходячи з конкретних умов щодо перетворення його виконань. Так на прикладі розвитку конкретного елемента СТС показано, що мають місце всі три види перетворень: зміна, інтеграція та диференціація.

Вираз (1.2) дозволяє на основі аналізу патентної документації визначати різноманіття елементів, але при цьому не враховує ряд обмежуючих факторів. Тому необхідно розглянути ще один закон – закон обмеженого різноманіття реалізацій СТС, який полягає в тому, що різноманіття виконань на будь-якому

етапі (такті) розвитку жорстко обмежено. Це обумовлено тим, що наступні фактори є кінцевими: кількість вихідних компонентів, що утворюють виконання; кількість тактів перетворення множини виконань; діапазону параметрів, який здатний реалізувати множину реалізацій СТС в конкретних умовах функціонування; діапазону потреб у реалізаціях $\varphi_n \in \overline{\Phi_{max}}$, $n = \overline{1, N_{max}}$, даного виду або типу.

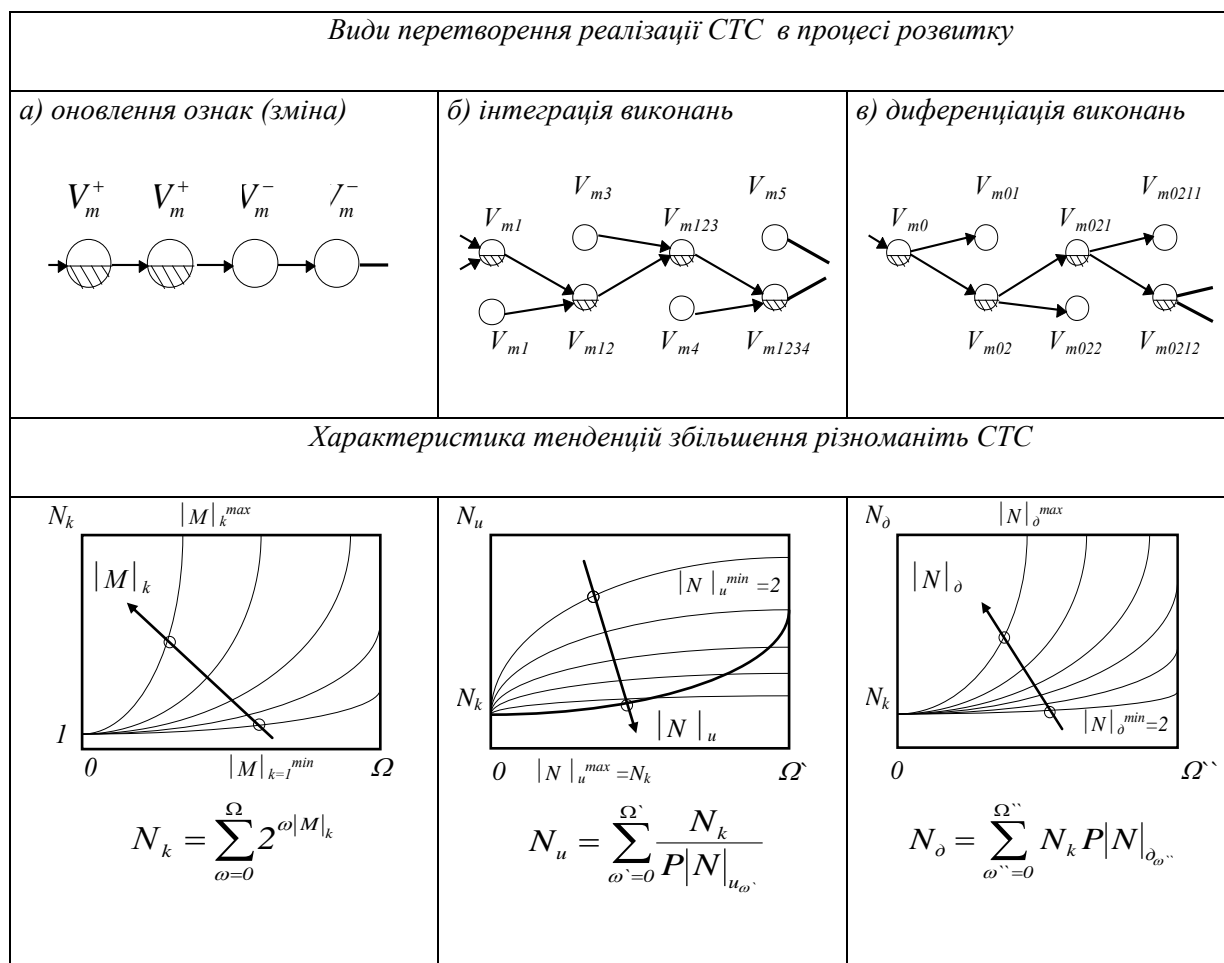


Рисунок 1.3 – Характеристика зміни тенденцій різноманітності СТС

Максимальне число реалізацій визначається за допомогою формули

$$N_{max} = 2^M \prod_{m=1}^M A_m, \quad (1.3)$$

де M – число складових (блоків, елементів, підсистем) СТС;

A_m – кількість варіантів рішень кожної m -ої складової, що прийняті для розробки без врахування обмежень та технічних рішень на заданому етапі.

Беручи до уваги множину різного роду протиріч, які пов'язані з процесами морального старіння, обмеженнями економічного, соціального та екологічного характеру, є доцільним вже на ранніх етапах розробки виключати з наступного розгляду нераціональні реалізації (після чого залишиться множина реалізацій Φ'). Значення параметрів M та L_m у (1.3) можуть уточнюватися виходячи з оцінки та вибору найбільш нових і корисних складових СТС, що реалізуються та їх варіантів реалізації. Закон обмеженого різноманіття зумовлює необхідність розробки системи показників, на основі якої будуть оцінюватися та обиратися найбільш значущі складові СТС та їхні варіанти.

1.2 Аналіз характерних особливостей розвитку складної технічної системи

На ранніх етапах розробки СТС потрібно виявляти відмінні особливості, які враховують динаміку її розвитку у всіх суперечливих формах. Це дозволяє визначати ряд глобальних чинників, які впливають на якість СТС, що розробляється, і необхідних при безпосередньому прогнозуванні варіантів обрису. На основі аналізу сутності законів розвитку, в роботі виділені основні напрямки прогнозування обрису СТС. Для їх конкретизації доцільно зупинитися на характерних особливостях, які обумовлені послідовністю і закономірностями розвитку будь-якої СТС.

Послідовність пояснює закономірності розвитку з позиції діалектичної єдності змінності та повторюваності, до яких можна віднести зростання складності СТС, зміну її критеріїв ефективності, диференціацію і спеціалізацію. Крім того, необхідно виділити можливість повернення до старої структури і часткові закономірності її зміни. Ці закономірності [1] повинні також враховуватися на ранніх етапах розробки з метою більш докладного розкриття СТС як об'єкта розвитку. Розглянемо це детальніше:

1. Як правило, процесу розвитку характерна послідовність, яка полягає в тому, що існуюча СТС з плином часу замінюється більш ефективною. Спостерігається бінарна схема розвитку: «базовий зразок – його послідовник».

Аналіз процесів розвитку на етапі прогнозу показав, що перехід від існуючої СТС до більш ефективної супроводжується виконанням умов необхідності, достатності та доцільності, які відповідно описуються співвідношеннями

$$\begin{aligned} \delta P(t) &= |P(t) - P_c(t)| > \delta_{кр} P(t), \\ U_t &\subset U_t^*, G_t \subset G_t^*, \\ z &: (P, \Phi, T, U_t^*, G_t^*) \rightarrow extr, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де $\delta_{кр} P(t)$ – критичне значення неузгодженості параметрів середовища $P_c(t)$ і СТС в момент часу t ;

$U_t^*(G_t^*)$ – множина технічних (технологічних) рішень, достатня для перетворення СТС (необхідна для реалізації цих перетворень в умовах розробки, виробництва і застосування);

$z: (P, \Phi, T, U_t^*, G_t^*)$ – цільова функція, що відображає певні цілі, вимоги щодо розвитку СТС (P, Φ, T – множини відповідно її параметрів, реалізацій та тактів розвитку). У цьому випадку схема має вигляд: «існуюча СТС – її послідовниця» та застосовується для виявлення сформованих тенденцій розвитку. Для опису поведінки СТС на T -множині тактів перетворень використовується спеціальний оператор, що відображає сімейство його реакцій в ході розвитку

$$R = \left\{ r_\omega : \Phi_{max} \times Q_\omega \rightarrow \Phi_\omega \mid \omega = \overline{1, \Omega_C}; c = \overline{1, C} \right\}, \quad (1.5)$$

де C – число етапів поновлення технічних принципів;

Ω_C – число тактів перетворення реалізацій c -го технічного принципу;

Φ_ω – вся множина виконань СТС з максимально можливих на ω -му такті розвитку Φ_{max_ω} ($\Phi_\omega \subset \Phi_{max_\omega}$);

Q_ω – множина параметрів ($Q_\omega \subset Q_{max_\omega}$), які СТС повинна проявити у відповідності до динаміки зміни параметрів середовища $P_c(t)$.

Аналіз розробок, які ведуться, показує, що має місце схема «існуюча СТС – розроблювана», яка характеризує половинчасту ситуацію в тому сенсі, що на зміну існуючій СТС, ведеться розробка нової, поки ще не виготовленої повністю.

Дана схема застосовується під час аналізу розробок, що ведуться за кордоном і призначена для корекції сформованих тенденцій розвитку. Навпаки, спадкоємна схема «розроблювана СТС – перспективна» розглядається як замовником, так і виконавцем при визначенні віддалених перспектив розвитку та виявленні нових тенденцій. Кожній з наведених схем характерні тимчасові, структурні та функціональні параметри, які в загальному випадку висвітлені у роботах[2, 51].

2. СТС являє собою складне системно-структурне утворення, що розвивається [92-94]. Для неї характерна наявність великої кількості різнорідних і різнотипних підсистем, елементів і блоків, складність, неоднорідність функціональних зав'язків як між ними, в самій СТС, так і між зразками СТС в складі комплексу. Процес розвитку СТС супроводжується посиленням зазначених факторів і зростанням, як наслідок, спектру проблем при його функціонуванні. Проявляється закономірність зростання складності СТС в процесі його спадкоємного розвитку.

Вочевидь, що потрібно вивчити сутність цих факторів і знайти можливість врахування їх при прогнозуванні обрису СТС як системи, що розвивається. Наявність великої кількості різнорідних і різнотипних підсистем, елементів і блоків визначається за допомогою моделі складу розписати комплексу складних технічних систем (КСТС) (рис. 1.4). Загальна їх кількість p -ої СТС розраховується у відповідності до залежності

$$N_p = \sum_{r=1}^{n_p} \varepsilon_{pr}, r = \overline{1, n_p}, \quad (1.6)$$

де n_p – кількість підсистем;

ε_{pr} – кількість блоків (вузлів) для r -ої підсистеми.

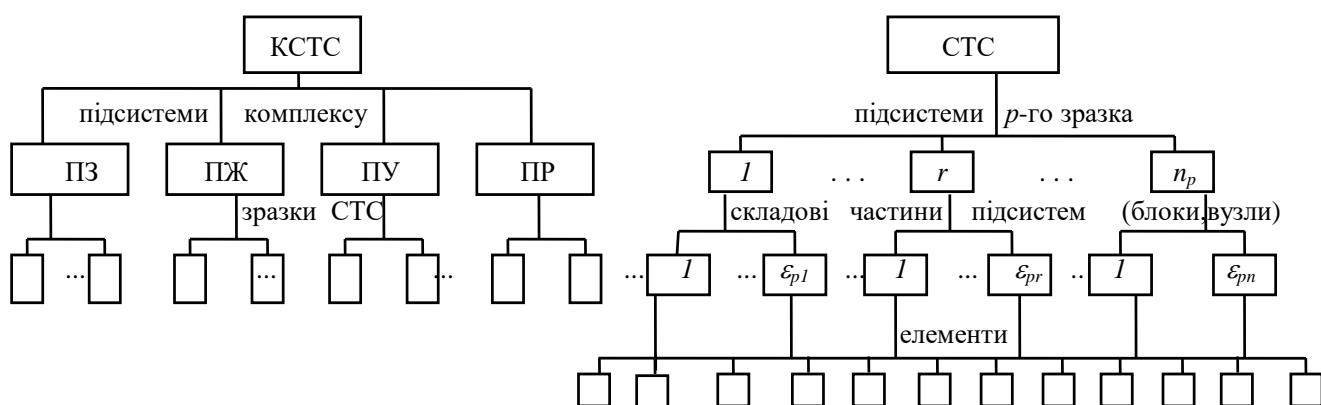


Рисунок 1.4 – Моделі складу КСТС і СТС

За допомогою моделі (1.6), знаходиться загальна кількість типів блоків (вузлів) для r -ої підсистеми

$$E_{pr} = \sum_{q=1}^{\varepsilon_{pr}} e_{rq}^p, \quad q = \overline{1, \varepsilon_{pr}}, \quad (1.7)$$

де e_{rq}^p – кількість типів q -го блоку (вузла) r -ої підсистеми.

Тоді загальна кількість типів блоків (вузлів) визначається за формулою

$$E_p = \sum_{r=1}^{n_p} \sum_{q=1}^{\varepsilon_{pr}} e_{rq}^p. \quad (1.8)$$

Вирази (1.6) – (1.8) дозволяють оцінити кількість різнорідних і різнотипних блоків (вузлів) та скласти уявлення у першому наближенні про складність і неоднорідність СТС. Вони можуть бути механічними, гідравлічними, пневматичними, електронними тощо. Це призводить до того, що ступінь неоднорідності, при переході від блоку (вузла) до підсистеми, постійно зростає. У зв'язку з цим посилюється значення характеристик, які відображають ступінь узгодженості і сумісності.

Складність, неоднорідність і неузгодженість функціональних зав'язків, як між елементами, блоками і підсистемами СТС, так і між зразками СТС в складі комплексу або його підсистеми, також розглядається на основі моделі складу. Звідси випливає, що кількісно зв'язки між зразками, в складі комплексу q -го рівня, можуть відобразитися числом їх типів

$$N_q = \sum_{p=1}^{\varepsilon_q} N_{pq}, \quad (1.9)$$

де ε_q – число підсистем в комплексі;

N_{pq} – кількість типів зразків для p -ої підсистеми комплексу СТС q -го рівня.

Аналіз схем функціонування будь-якої СТС у складі (КСТС) дає можливість враховувати її узгодженість і сумісність з іншими об'єктами, тобто слід визначати характеристики комплексності функціонування, які можна задавати в технічне завдання (ТЗ).

Невизначеність в описі СТС і зовнішнього середовища на ранніх етапах розробки, в якій вона розвивається і функціонує, згладжує реальну картину збільшення її складності в процесі розвитку. Тому при прогнозуванні необхідно адекватно описувати сам процес спадкоємного розвитку. Це буде сприяти усуненню невизначеності за описом блоків, підсистем і СТС, що виникає, і, тим самим, підвищувати точність визначення сумісності та узгодженості останньої у складі КСТС.

3. Характерною рисою спадкоємного розвитку, що являє собою розгорнуту за часом послідовність реакцій СТС на вплив зовнішнього середовища, є проявом закономірності повернення її до старої структури. Це відбувається в результаті використання одних і тих же ПД та ТР, які можуть відрізнятися окремими конструктивними ознаками або реалізацією, що визначається науково-технічним потенціалом і технологічними можливостями, на даний час. Ця закономірність пов'язана з новизною СТС, що розробляється, яка визначається її детермінованістю.

Коефіцієнт детермінованості (визначеності) є відношенням двох величин

$$k_{\omega} = \frac{I_{\omega}}{H_{\max}}, \quad (1.10)$$

де H_{\max} – максимальна ентропія виконання СТС на вихідному такті її розвитку ($H_{\max} = -\sum_{n=1}^{N_{\max}} \frac{1}{N_{\max}} \cdot \ln \frac{1}{N_{\max}} = \ln N_{\max}$, N_{\max} – максимальне число реалізацій на вихідному такті розвитку);

$I_{\omega} = H_{\max} - H$ – середня інформація, накопичена на ω -му такті розвитку, що дорівнює знятої на цьому такті невизначеності;

$H = -\sum_{n=1}^{N_{\max}} \varepsilon_n \cdot p_n \cdot \ln p_n$ – “динамічна ентропія”, міра невизначеності СТС, кількісна характеристика, яка непостійна за часом в процесі зміни її реалізацій та їх компонентів, що визначають новизну;

ε_n – оператор якісного стану виконання, який має вигляд

$$\varepsilon_n = \begin{cases} 0, & \text{якщо СТС розроблена (n – та подія відбулася);} \\ 1, & \text{в іншому випадку;} \end{cases}$$

p_n – ймовірність n -го стану виконання на вихідному такті розвитку.

Упорядкування коефіцієнта k_∂ (рис.1.5) означає доцільну зміну складу реалізацій та їх компонентів, що здійснюється вибором необхідного діапазону припустимих змін коефіцієнта новизни компонентів виконання $k_{n_{min}} \leq k_n \leq k_{n_{max}}$ і пошуком його оптимального значення $k_{n_{opt}}$.

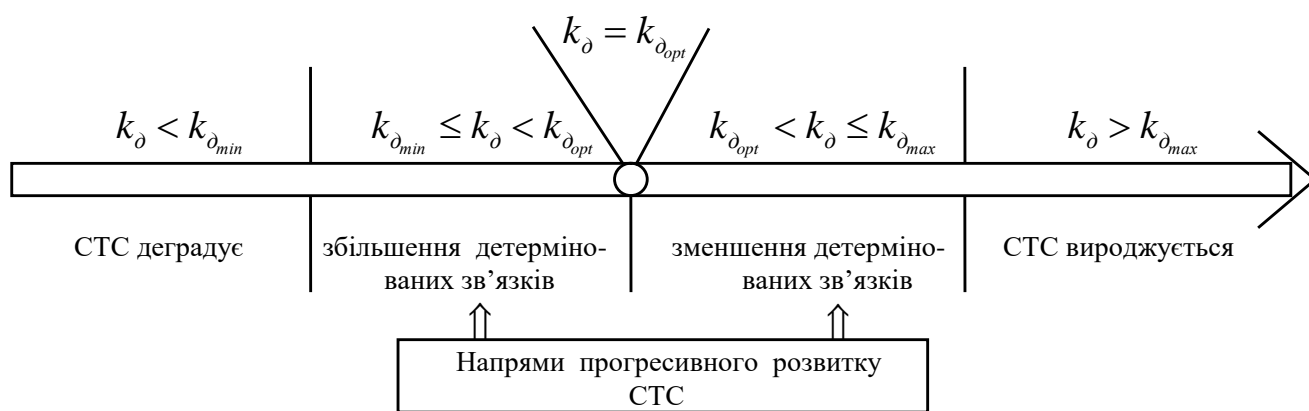


Рисунок 1.5 – Припустимі зміни коефіцієнта детермінованості

Таким чином, на якісному рівні показано, що початок розробки СТС не обов'язково має супроводжуватися високим ступенем новизни її реалізацій. Специфіка об'єктивно нового полягає в тому, що його продукт стає чинником прогресу, якщо він характеризується не тільки новизною, а й реалізацією (здійсненністю, працездатністю) і корисністю (функціональністю, здатністю відповідати критеріям нового). У табл. 1.1 наведені можливі форми розвитку з урахуванням ознак новизни, реальності і корисності, які за логікою всі позитивні, окрім 1-ої і 3-ої.

Таблиця 1.1 – Технічні рішення, що відображають можливі форми розвитку СТС

Номер групи технічних рішень	Технічні рішення, їх відповідність ознакам новизни, реальності, корисності
1	не володіють жодною з ознак (проект вічного двигуна)
2	володіють лише новизною (непрацездатні моделі на новому принципі)
3	працездатні, але не дають нового позитивного ефекту (невиправдана багатотипність)
4	володіють новизною і товарністю, але не відпрацьовані або випереджають можливості і потреби суспільства
5	володіють новизною і корисністю, але недостатньою працездатністю або важко реалізуються
6	володіють корисністю і працездатністю, але без новизни
7	володіють новизною, реальністю і корисністю

4. Послідовність розвитку передбачає використання у СТС, що розробляється, наукових відкриттів, винаходів, нових нестандартних технічних рішень, які визначають її прогресивність. При цьому реалізується закономірність зміни критеріїв ефективності, яка є наслідком закону прогресивної еволюції і закону стадійного розвитку (регламентуються зміна критеріїв ефективності при одному і тому ж ПД та в межах однієї стадії розвитку).

Висунуті вимоги щодо поліпшення будь-якого параметра, який впливає на ефективне застосування СТС, забезпечується за рахунок ТР, що пропонуються, реалізація яких підвищує його конкурентну здатність на світовому ринку.

В цьому випадку технічне рішення оцінюється коефіцієнтом повноти [88]

$$\Gamma = \frac{q}{q_{max}} = \frac{\sum_{i=1}^n j\varphi(i)}{n \cdot \sum_{i=1}^n \varphi(i)}, \quad (1.11)$$

де q – фактична сума оцінок, що одержується за результатом зіставлення технічного рішення з генеральною визначальною таблицею;

q_{max} – максимальна сума оцінок, взята з характеристичної матриці.

Показник (1.11) дозволяє транспонувати якісну інформацію (опис технічного рішення) у безрозмірну якісну величину. Коефіцієнт повноти може визначатися для нової СТС, в якій реалізовано кілька технічних рішень. Він відображає її прогресивність. СТС, в якій реалізовано кілька нових ТР, оцінюється показником Γ , який, у свою чергу, встановлює ступінь його відповідності світовому рівню. Але така оцінка ТР статична, тому вона не дозволяє судити про те, на скільки прогресивною є нова СТС. Для оцінки прогресивності враховують динаміку її розвитку, що вимагає використання іншого підходу до оцінки ТР [95].

Тому на ранніх етапах розробки, коли розвиток розглядається з позицій спадкоємності, використовується інший підхід, де враховується динаміка зміни коефіцієнта прогресивності

$$W = W_{II} / W_{\delta}, \quad (1.12)$$

де $W_{II} (W_{\delta})$ – ТР наступної (базової) СТС, яка замінена наступною. Причому, варіанти реалізацій порівнюються з так званою гіпотетичною СТС, яка має найвищий ТР. У цьому випадку, цільова функція забезпечення ефективності приймає вигляд [6]

$$z: \bar{k}_3^{(n)} \rightarrow \begin{matrix} \Delta \\ \in \Phi \end{matrix}, \quad \Delta \geq 1, \quad (1.13)$$

де $\bar{k}_3^{(n)} = k_3^{(n)} / k_{3,\delta}$ – ТР n -ої реалізації СТС;

$k_{3,\delta}$ – критерій ефективності базової СТС;

φ_n – n -й варіант реалізації.

За результатами оцінки за критерієм (1.13) може бути відібрано і прийнято для подальшої розробки кілька варіантів реалізації, для яких $\Delta \geq 1$.

5. Аналіз розвитку СТС в [90-93] показав наявність характерного процесу безперервної відносної втрати її якості при збереженні абсолютного значення показників, який отримав назву моральне старіння. Розвиток будь-якої характеристики ТЗ, у тому числі і СТС, можна описати логістичними кривими наступного виду

$$X = \frac{L}{1+a \cdot e^{-b \cdot t}}, \quad (1.14)$$

$$X = \frac{L}{e^{-b \cdot e^{-k \cdot t}}}, \quad (1.15)$$

де X – значення ТХ СТС;

L, a, b, k – константи;

t – час.

На рис. 1.6 показані можливі етапи розвитку характеристик СТС, що описується залежностями (1.14), (1.15) як на них змінюються ТХ, швидкість їхнього зростання і швидкість зміни її вартості C .

При переході від першого до другого етапу проявляється закономірність диференціації та спеціалізації, яка полягає в тому, що СТС спочатку реалізує свою функцію, за допомогою універсальної структури, а потім, з метою поліпшення критерію ефективності здійснюється диференціація і спеціалізація її ТР.

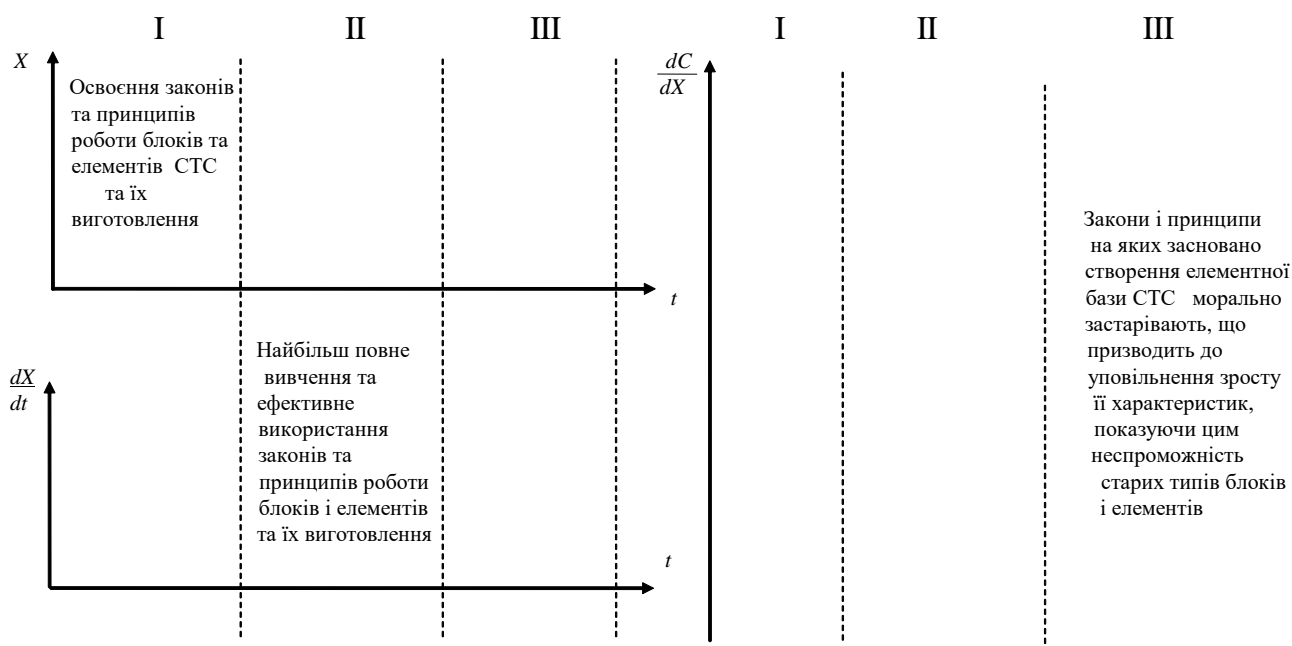


Рисунок 1.6 – Графіки, що характеризують розвиток характеристик, швидкість їх зміни і швидкість зміни вартості СТС

Аналіз графіків (рис. 1.6) показує, що темпи зростання вартості СТС можуть перевершувати темпи зростання характеристик. Виходячи з цього, можна

сформулювати основне протиріччя розвитку: досягти необхідного ТР СТС, що забезпечує виконання завдань відповідно до її призначення, при обмежених витратах на розробку, виробництво і експлуатацію. Тому, враховуючи при прогнозуванні обрису СТС її моральне старіння, беремо до уваги основне протиріччя розвитку.

6. Світова практика розробки передбачає постійне удосконалення системи планування, організації та управління дослідженнями і розробками СТС та створення науково-технічного надбання, що багато в чому сприяє створенню прогресивних і спроможних до модернізації СТС.

Досвід показує, що економічно вигідніше проводити модернізацію, ніж починати розробку нової СТС [135]. Враховуючи це, необхідна глибока координація довгострокових програм її розробки з науковим надбанням, на даний момент. На етапі дослідження і обґрунтування розробки, при виборі головних принципів функціонування та формування обрису СТС, можна прогнозувати заміну окремих блоків і елементів на нові, які знаходяться в початковій стадії відпрацювання і по ним вже є певна програма. В цих умовах зарубіжні спеціалісти враховують здатність до модернізації обраного варіанту обрису, для подальшої розробки з урахуванням термінів відпрацювання перспективної елементної бази.

Окрім того, можуть проводитися дослідження, спрямовані на вдосконалення існуючої елементної бази в межах старого принципу функціонування блока, елемента. Це може бути пов'язано з підвищенням ефективності функціонування блока або зі зміною принципу роботи взаємодіючих з ним елементів, блоків.

7. Наступною особливістю є наявність системи тактів розвитку, яка склалася, що відповідає періоду попередження прогнозу: “інерції”, “вибору” та “невизначеності” (рис. 1.7).

Всі особливості розглядалися на основі порівняльного аналізу закономірностей розвитку ТР з розвитком СТС і використанням виразів (1.4) – (1.15), які підтверджують наступність, закони розвитку, значущість особливостей і мають пояснюючий сенс.

На етапі аванпроекту доцільно мати кращі варіанти СТС. У ході подальшого розгляду та аналізу вони описуються якісними показниками, тобто СТС подається як системно-структурне утворення, і оцінюється за сукупністю властивостей, що відображають її як об'єкт розвитку і як системно-структурне утворення. Отримані результати логічно включати в ТЗ на розробку СТС, що дозволить реально враховувати розкриті особливості її розвитку. Для обґрунтування необхідності включення цих даних потрібно оцінювати якість ТЗ на розробку СТС.

1.3 Оцінка варіантів технічного завдання на розробку складної технічної системи

Якість СТС істотно залежить від досконалості ТЗ на його розробку. Досвід, що накопичився з цього питання, показує, що витрачається багато часу і зусиль на розробку і узгодження ТЗ. Крім того, відсутні єдині вимоги до СТС, які визначають ефективність її функціонування та розвитку. Слід також зазначити, що ТЗ за своїм змістом перевантажено безліччю посилань на нормативні документи, які суттєво обмежують і не стимулюють розробника. Такий стан справ вказує на те, що поки по справжньому не оцінювалася якість складання ТЗ, та не аналізувалася кількість необхідної інформації, яка має міститися в його розділах тощо.

Для оцінки якості складання ТЗ є доцільним систематизувати всю інформацію за СТС, яка розкриває її, з одного боку, як об'єкт функціонування, а з іншого боку, як об'єкт розвитку. У цьому випадку всю інформацію за СТС можна розділити на обмежувальну, стимулюючу і повідомну.

До обмежувальної інформації відносяться дані, які в кількісному вираженні визначають вимоги, що прямо впливають на ефективність застосування СТС (розвитку його на перспективу).

До стимулюючої інформації відносяться дані, які забезпечують вимоги щодо ефективності застосування та розвитку, і визначають вимоги до сировини, конструкції, технології, порядку експлуатації тощо. Така інформація є ніби вторинною по відношенню до обмежуючих відомостей.

До повідомної інформації відносяться дані, які інформують розробника більш докладно в кількісному і якісному відношенні до вимог безпеки, правил зберігання і транспортування, метеорологічного забезпечення тощо.

Всі ці дані можна розбити на l груп (відповідно до важливості впливу на ефективність функціонування та розвиток СТС, ступеня стимулювання і ступеня повідомлення).

Вага j -ої групи може бути розрахована, наприклад, за допомогою однієї з залежностей [32, 76, 77]

$$p'_j = \frac{2(l-j+1)}{l(l+1)}, \quad p'_j = \frac{j/2^{j-1}}{\sum_{j=1}^l (j/2^{j-1})}, \quad p'_j = \frac{\tilde{a}_j}{\sum_{j=1}^l \tilde{a}_j}, \quad (1.16)$$

де j – ранг важливості групи інформації;

\tilde{a}_j – кількість балів, визначених експертом для j -ї групи у відповідності до її важливості. У першому і другому випадку ранг важливості буде співпадати з порядковим номером групи. У таблиці (Додаток А. 1) таких груп подано чотири, $l=4$.

Виникає необхідність розглянути можливі розрахункові вирази для p'_j у вигляді оцінки Фішборном при типових відносинах між групами інформації:

1. Якщо важливість груп характеризується простим лінійним співвідношенням порядку

$$p'_1 \geq p'_2 \geq \dots \geq p'_l,$$

то, p'_j то, буде мати вигляд першого розрахункового виразу в (1.16).

2. Якщо встановлено жорстке співвідношення порядку

$$p'_1 > p'_2 > \dots > p'_l,$$

то в якості ваги j -ої групи

$$p'_j = \frac{l-j+2}{2^j \cdot l}.$$

3. Якщо для p'_j встановлено посилене лінійне відношення порядку

$$p'_j \geq \sum_{q=j+1}^l p'_q, \quad q = \overline{1, l},$$

то в якості ваги j -ої групи інформації

$$p'_j = \frac{2^{l-j}}{2^n - 1}.$$

4. Якщо для величин p'_j встановлено відношення за інтервалами порядку

$$a_j \leq p'_j \leq b_j, \text{ де } 0 \leq a_j < b_j \leq 1, \text{ то}$$

$$p'_j = \frac{a_j + \left(1 - \sum_{j=1}^l a_j\right) \cdot (b_j - a_j)}{\sum_{j=1}^l (b_j - a_j)}.$$

З урахуванням наведених визначень вся інформація, що міститься в ТЗ, поділяється на наступні види: інформація щодо СТС як об'єкту функціонування (стимулююча, $k = 1$; обмежувальна, $k = 2$; повідомна, $k = 3$); інформація щодо СТС як об'єкту розвитку (стимулююча, $k = 4$; обмежувальна, $k = 5$; повідомна, $k = 6$). У таблиці (Додаток А. 1) наведені результати аналізу конкретного ТЗ, де вся інформація зведена до 12 розділів і відповідно в пункти, які розподілені за видами інформації. Слід зазначити, що вся інформація орієнтована на розкриття СТС, в першу чергу, як об'єкта функціонування.

Інформаційну невизначеність ТЗ на розробку СТС в загальному випадку можна подати у вигляді

$$H = H_\phi + H_p, \tag{1.17}$$

де $H_\phi = -\sum_{k=1}^3 p_k \ln p_k$ – ентропія, що відображає невизначеність інформації в

ТЗ на СТС як об'єкт функціонування;

$H_p = -\sum_{k=4}^6 p_k \ln p_k$ – ентропія, що відображає невизначеність інформації в ТЗ

на СТС як об'єкт розвитку.

Тоді для конкретного випадку таблиця (Додаток А. 1), $H = H_\phi + 1.099$ де величина 1.099 відображає максимальну невизначеність інформації в ТЗ щодо СТС, як об'єкта розвитку ($p_4 = p_5 = p_6 = 0.333$).

Невизначеність інформації, що міститься в ТЗ, визначається виразом

$$H = -\sum_k p_k \cdot \ln p_k = \left(-\sum_{i=1}^3 p_i^\phi \cdot \ln p_i^\phi \right) + \left(-\sum_{i=1}^3 p_i^p \cdot \ln p_i^p \right), \quad (1.18)$$

$$\text{де } p_i^\phi = \frac{\sum_j K_{ji}^\phi \cdot p_j'}{\sum_i \sum_j K_{ji}^\phi \cdot p_j'}, \quad p_i^p = \frac{\sum_j K_{ji}^p \cdot p_j'}{\sum_i \sum_j K_{ji}^p \cdot p_j'}, \quad j = \overline{1,3}, \quad i = \overline{1,3}, \quad - \text{ імовірності}$$

розподілу інформації в ТЗ на СТС як об'єкт функціонування і як об'єкт розвитку за її видами (стимулююча, $i = 1$; обмежуюча, $i = 2$; повідомна, $i = 3$);

K_{ji}, K_{ji} – кількість пунктів інформації i -го виду в ТЗ на СТС як об'єкт функціонування і як об'єкт розвитку для її j -ої групи;

p_j' – важливість j -ої групи інформації.

Для розглянутого випадку (Додаток А. 1) $H_\phi = 1.076$ та $H_p = 1.099$.

Вочевидь, що невизначеність інформації в ТЗ на СТС, як об'єкта розвитку максимальна. Це певною мірою знижує якість її розробки, тому що не враховуються закони та закономірності розвитку, особливості процесів розвитку. У ТЗ, наприклад, не визначаються вимоги до загального компонування СТС, з урахуванням заміни в майбутньому його окремих блоків і елементів на більш досконалі, вимоги на збільшення діапазону режимів функціонування сполучених з ними блоків. Не знаходять відображення можливості з заміни окремих експлуатаційних матеріалів і запасних частин в майбутньому на більш

прогресивні, економічні тощо. З іншого боку, якщо ввести в ТЗ таку інформацію, яка б це враховувала, то можна домогтися зниження його загального рівня невизначеності. Виходячи з системно - генетичного аналізу СТС і особливостей її розвитку, до ТЗ доцільно ввести наступні розділи інформації:

- основні вимоги щодо новизни;
- загальні вимоги щодо новизни;
- вимоги щодо здатності до модернізації;
- вимоги щодо прогресивності конструкції на перспективу;
- вимоги щодо відпрацьованості і реалізованості елементної бази.

Дані розділи вимог відбивають властивості СТС, пов'язані з її новизною, корисністю і реальністю. У пунктах кожного розділу інформації повинні розкриватися вимоги відповідно до прогнозних даних, видів перетворень її реалізацій в процесі розвитку. Все це дає повне уявлення про обрис СТС, що розробляється і знижує невизначеність інформації, яка міститься в ТЗ.

Є доцільним оцінити зняття невизначеності в ТЗ за рахунок використання додаткової інформації, що відображає закони і закономірності розвитку, на реальному прикладі. У табл. 1.2 наведено три варіанти ТЗ на розробку конкретних СТС. У першому варіанті невизначеність всього ТЗ $H = 2.174$. Тут невизначеність інформації в ТЗ на СТС як об'єкт розвитку максимальна, тому вона рівномірно розподілена за видами інформації і не знайшла свого спрямованого відображення (табл. 1.2, значення H_p). У другому варіанті враховані дані з новизни: основні вимоги до новизни і загальні вимоги до новизни. Розподіл пунктів даних за новизною ($k = 4, k = 5, k = 6$) подано в табл. 1.2. В останньому третьому варіанті враховані всі запропоновані розділи інформації, що відображають СТС як об'єкт розвитку. З табл. 1.2 видно, що тільки за рахунок використання додаткової інформації, яка відображає закони та закономірності розвитку, в порівнянні з першим варіантом, в другому і третьому варіантах відповідно зменшена її невизначеність на 5% і 26%. Розрахунок ентропії H і H_p виконувався за виразами (1.16) – (1.18). Це відповідає розподілу інформації в ТЗ за її видами (рис. 1.8) і підтверджує доцільність включення інформації в ТЗ, що відноситься до H_p .

Даний підхід дозволяє визначити порогові значення ентропії. Їх можна отримати на основі аналізу ТЗ на розробку СТС аналогічного призначення, яка добре себе зарекомендувала при експлуатації, цільовому застосуванні і модернізації. Так, наприклад, на основі результатів оцінки величин H і H_p (табл. 1.3) в якості значень порогу ентропії можуть бути прийняті середні значення $H^{cp} = 1.938$, $H_p^{cp} = 0.987$. Ці величини рекомендується використовувати при розробці ТЗ. У даному випадку здійснюється послідовна оцінка невизначеності завдання і коригування його змісту, орієнтуючись на значення порогу ентропії.

Таким чином, при розробці ТЗ необхідно стежити за її змістовною частиною інформації, що відображає СТС як об'єкт функціонування і як об'єкт розвитку. Крім того, здійснювати постійну перевірку відповідності невизначеності ТЗ значенням порогу, а в разі невідповідності, домагатися перетворення стимулюючої і повідомної інформації у відомості обмежуючого характеру, враховувати специфіку вихідних даних і більш виважено формувати розділи інформації, що відображає СТС як об'єкт розвитку (функціонування).

Таблиця 1.2 – Варіанти розподілу інформації в ТЗ

Номер варіанту	p_j	Інформація, що відноситься до СТС						H (H_p)
		як до об'єкту функціонування			як до об'єкту розвитку			
		$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	
1	0.4	8	14	11	1	1	1	2.174 (1.099)
	0.3	5	4	5	1	1	1	
	0.2	2	6	5	1	1	1	
	0.1	3	8	9	1	1	1	
2	0.4	8	14	11	1	2	2	2.134 (1.05)
	0.3	5	4	3	0	0	2	
	0.2	2	5	3	2	4	1	
	0.1	2	7	7	1	3	1	
3	0.4	6	20	1	2	8	1	1.505 (0.812)
	0.3	3	9	0	1	3	0	
	0.2	4	9	1	1	1	1	
	0.1	2	10	1	1	1	0	

Також, необхідно контролювати і якість складання ТЗ, орієнтуючись на функціонально-структурний підхід. Якщо є розрахункові вирази для визначення повноти, несподіваності, труднощів, достовірності та корисності ТЗ, які використовуються після заповнення спеціальної матриці шаблонів, то ТЗ стає об'єктом уваги з двох взаємодоповнюючих позицій, які ґрунтуються на законах і закономірностях розвитку СТС, та її функціонально-структурної організації. Враховуючи це, логічно перейти до формування уявлень про загальну ієрархічну систему властивостей, що відображають СТС як об'єкт розвитку і, як об'єкт функціонування.

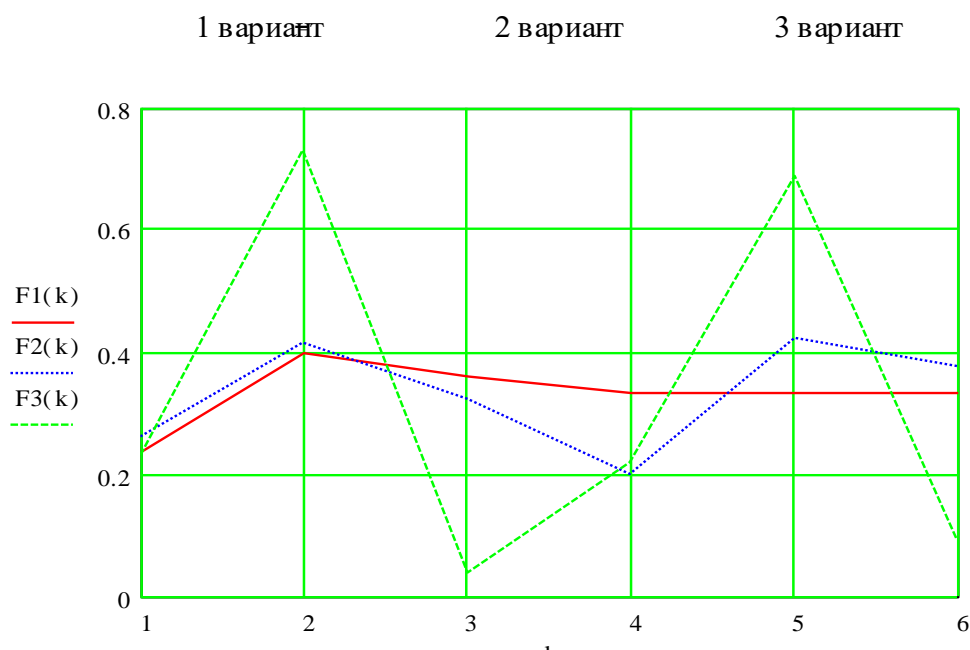


Рисунок 1.8 – Розподіл інформації в ТЗ за видами

1.4 Формування структури властивостей перспективної складної технічної системи

Аналіз результатів робіт дозволяє зробити висновок що формування структури властивостей перспективної СТС можна виконувати в два етапи:

1. Побудова сукупності ієрархічних структур властивостей, за допомогою можливих ситуацій розвитку та застосування за цільовим призначенням СТС;

2. Узагальнення сукупності ієрархічних структур властивостей і побудова загальної структури.

Виконання першого етапу пропонується здійснювати на основі ентропійного підходу. Функціонування, як розвиток за етапами життєвого циклу, конкретної СТС, відбувається в m ситуаціях $C_i, i = \overline{1, m}$... В залежності від конкретної ситуації він характеризується рядом пріоритетів $I_i = \{1, 2, \dots, n\}$ і вектором пріоритетів властивостей $V_i = \{V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}\}$.

Ряд пріоритетів є впорядкованою множиною властивостей і відображає суто якісне відношення домінування. Вектор пріоритету V_i являє собою n -мірний вектор, компонентами якого (V_q) є бінарні відношення пріоритету, що визначають ступінь переваги за важливістю двох сусідніх властивостей P_{iq} та $P_{iq+1}, q = \overline{1, n}$, з ряду пріоритету I_i , а саме: величина V_{iq} показує, у скільки разів властивість P_{iq} важливіша за іншу властивість P_{iq+1} . Якщо $P_{iq} = P_{iq+1}$, то $V_{iq} = 1$.

Для зручності обчислень логічно прийняти $V_{in} = 1$. Вектор V_i встановлюється за результатом попарного порівняння властивостей $P_{ij} (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$, попередньо впорядкованих відповідно до ряду пріоритету I_i

Наявність векторів I_i та V_i за всіма типовими ситуаціями C_i , в якості вихідних даних, дозволяє для кожної з них визначити вектор вагових коефіцієнтів $A_i = \{\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \dots, \lambda_{in}\}$, який являє собою n – мірний вектор, при цьому компоненти його зв'язані співвідношеннями:

$$\begin{cases} 0 \leq \lambda_{iq} \leq 1, q = \overline{1, n}; \\ \sum_{q=1}^n \lambda_{iq} = 1 \end{cases}$$

Складові λ_{iq} вектора A_i уявляють собою вагові коефіцієнти, що визначають відносну перевагу q -ої властивості над іншими, і розраховуються за формулою

$$\lambda_{iq} = \frac{\prod_{l=1}^n V_{il}}{\sum_{q=1}^n \prod_{l=q}^n V_{il}}, \quad i = \overline{1, m}$$

За даними розрахунків будується матриця ваг

$$\|\Lambda\| = \begin{vmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{m1} & \lambda_{m2} & \dots & \lambda_{mn} \end{vmatrix},$$

де λ_{kj} – вага j -ої властивості у k -ій ситуації функціонування (розвитку) СТС.

Для формування ієрархічної структури властивостей, яка враховує різні типові ситуації функціонування (розвитку) СТС та ступінь їх прояву в кожному конкретному випадку, необхідно встановити узагальнені ваги λ_j^* , $j = \overline{1, n}$ усіх властивостей, що найбільш повно враховують інформацію закладену в матрицю $\|\Lambda\|$. Для цього доцільно використати ентропійний підхід, який дозволяє знайти рівень мінливості будь-якої властивості в межах умов задачі, яка розглядається.

На підставі даних матриці $\|\Lambda\|$ розраховується ентропія j -ої властивості

$$H_j = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} \ln \lambda_{ij}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}.$$

Оскільки $0 \leq H_j \leq 1$, ($j = \overline{1, n}$), то можна визначити рівень мінливості j -ої властивості за допомогою виразу

$$d_j = 1 - H_j, \quad j = \overline{1, n}.$$

Тоді, узагальнені ваги властивостей можна розраховувати за формулою

$$\alpha_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Дана залежність справедлива, якщо всі властивості однаково важливі, тобто немає експертних оцінок їх значущості. Якщо відомі експертні оцінки величин $\bar{\alpha}_j$, то доцільно розрахувати комплексну значущість

$$\alpha_j^o = \lambda_j^* = \frac{\bar{\alpha}_j \alpha_j}{\sum_{j=1}^n \bar{\alpha}_j \alpha_j}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Тут ваговий вектор $\bar{\alpha} = \{\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \dots, \bar{\alpha}_n\}$ можна визначити за допомогою матриці експертних оцінок кожної властивості. Для цього необхідно провести групову експертизу, в якій кожен з m експертів призначає свої значення вагових коефіцієнтів, що задовольняють умовам

$$\sum_{j=1}^n \bar{\alpha}_{kj} = 1, \quad \bar{\alpha}_{kj} \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, m},$$

а в результаті буде отримана матриця експертних оцінок

$$A = \begin{pmatrix} \bar{\alpha}_{11} & \bar{\alpha}_{12} & \dots & \bar{\alpha}_{1n} \\ \bar{\alpha}_{21} & \bar{\alpha}_{22} & \dots & \bar{\alpha}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{\alpha}_{m1} & \bar{\alpha}_{m2} & \dots & \bar{\alpha}_{mn} \end{pmatrix},$$

де $\bar{\alpha}_{kj}$ – експертна оцінка відносної важливості j -ої властивості, яка запропонована k -м екпертом.

Для визначення оптимально-компрмісних вагових коефіцієнтів $\bar{\alpha}^*$, що виражають «колективну думку», задається схема компромісу $F(A, \bar{\alpha}^*)$ і розв'язується екстремальна задача

$$F(A, \bar{\alpha}^*) = \min_{\bar{\alpha} \in D} F(A, \bar{\alpha}), \quad (1.19)$$

$$\text{де } D = \left\{ \bar{\alpha} \left| \sum_{j=1}^n \bar{\alpha}_j = 1, \bar{\alpha}_j \geq 0, j = \overline{1, n} \right. \right\}.$$

Дана схема компромісу $F(A, \bar{\alpha})$ є мірою близькості між довільним вектором $\bar{\alpha} \in D$ і елементами матриці A . В якості міри близькості використовується функція

$$F(A, \bar{\alpha}) = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n (\bar{\alpha}_{kj} - \bar{\alpha}_j)^2,$$

а оптимальним розв'язанням (1.19) є вектор середніх значень за елементами стовпців матриці A

$$\bar{\alpha}_j^* = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{\alpha}_{kj}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Кваліфікація експертів визначається коефіцієнтами їх компетентності

$$C_k > 0, k = \overline{1, m}, \sum_{k=1}^m C_k = 1.$$

Тоді

$$\bar{\alpha}_j^* = \sum_{k=1}^m \bar{\alpha}_{kj} C_k.$$

Отриманий вектор $A^* = \{\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*\}$ використовується в якості вихідної інформації для призначення рівнів властивостей.

На рисунках 1.9 та 1.10 подані схеми безпосереднього функціонування і розвитку СТС. Використання цих схем дозволяє відокремити m ситуацій C_i як для першого випадку, так і для другого. У відповідності до цих ситуацій здійснюється формування властивостей зразка СТС як об'єкта функціонування і, як об'єкта розвитку. Видно, що схема на рис. 1.10 є більш динамічнішою в порівнянні зі схемою на рис. 1.9. Вона враховує більшу кількість факторів і змушує оцінювати його технічні умови з переглядом системи властивостей.

При побудові такої ієрархічної структури властивостей на ранніх етапах розробки необхідно розглядати ряд організаційних вимог: обов'язкове проведення аналізу процесу розвитку (еволюції) СТС, сукупності ЖЦ окремих його прототипів з висновком про їх наступність; виділення видів середовища, в якому створюється і застосовується СТС, з включенням концептуальної фази його розробки; формування груп властивостей, які характеризують процес розвитку СТС, його створення і застосування; дотримання принципів побудови ієрархічної структури властивостей; визначення зв'язків між властивостями (незалежно від рівнів).

Другим, заключним етапом, є аналіз сукупності отриманих можливих ієрархічних структур властивостей СТС і побудова на основі цього загальної структури властивостей. Даний етап виконується на основі експертного методу. Алгоритм побудови загальної ієрархічної структури властивостей наведений в таблиці (Додаток А. 2).

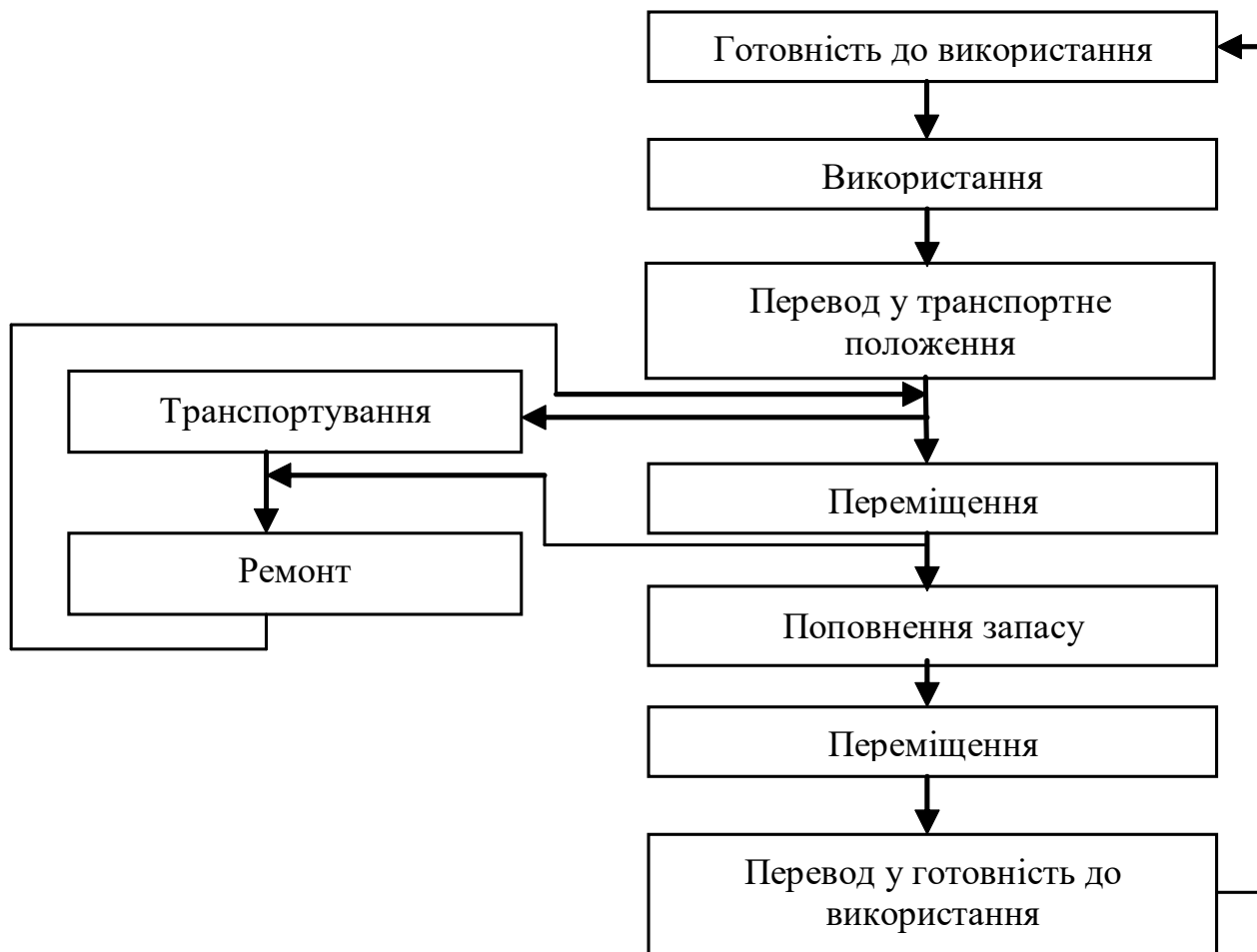


Рисунок 1.9 – Схема функціонування ССТС

На основі запропонованих двох етапів формування структури властивостей перспективної ССТС, на рисунку (Додаток А. 3) наведена загальна структура властивостей ССТС. Окремо винесені закони її розвитку і форми еволюції.

На основі аналізу процесів розвитку будуються еволюційні схеми, з яких впливає наступність розвитку, що визначає вид розробки (модернізаційна, конструктивна і новофізична).



Рисунок 1.10 – Схема розвитку ТС на стадіях життєвого циклу

У відповідності до стадій ЖЦ ТС, є зовнішні середовища: концептуальне, розробки, виробниче, експлуатаційне та цільове, що полегшує формування базових властивостей. Посилкою виникнення еволюційної групи властивостей є еволюційна спадкоємність, яка відображається схемою розвитку – "ТС – її послідовниця".

Поряд з класичними властивостями ТС (надійність, ергономічність тощо), в дану схему включені такі важливі базові властивості як новизна і корисність, реальність і розгортаємість, вписуваність і перспективність. Вони отримані з еволюційного підходу інженерно-кібернетичної методології проектування ТС. Подальша побудова властивостей може здійснюватись при дотриманні принципів ієрархічності і результатів досліджень, отриманих в роботі[4].

Систему взаємозв'язків різних властивостей встановлюється за допомогою одного з методів експертного опитування.

Висновки за розділом 1

1. За допомогою диференціальних рівнянь описано еволюційний процес розвитку СТС. Проведено аналіз сутності основних законів розвитку СТС, висновки якого використовуються при здійсненні системогенетичного дослідження СТС. На основі його узагальнень показано, що сучасний науково-методичний апарат прогнозування обрису зразка СТС повинен ураховувати ряд факторів: основні функції СТС; усі різноманітні види розробки (модернізаційна, на оригінальних технічних рішеннях, на нетрадиційних принципах дії); властивості СТС як об'єкта розвитку, пов'язані з її новизною, корисністю й реальністю; види змін реалізацій СТС у процесі розвитку; система показників для оцінки її технічних рішень за складовими.

2. Проведено аналіз характерних рис розвитку СТС і встановлена серед них домінуюча особливість, яка полягає в тому, що процесу розвитку СТС характерні кілька схем послідовності: "існуюча СТС – її прототип"; "існуюча СТС – розроблювана"; "розроблювана СТС – перспективна". Крім того, показано, що варіанти обрису СТС, сформовані на ранніх етапах розробки, є досить складними, несумісними й неузгодженими з іншими об'єктами в складі комплексу СТС. Також варіанти обрису СТС описуються специфічними властивостями й показниками: новизни; прогресивності; морального старіння й здатності до модернізації. Встановлено необхідність і доцільність використання цих властивостей і показників СТС для подальшої її розробки.

3. Обґрунтовано потребу обліку в ТЗ на розробку СТС її властивостей як об'єкта розвитку. Пропонується підхід до оцінки змісту ТЗ, пов'язаний з формуванням розділів інформації, що відображає СТС як об'єкт функціонування і як об'єкт розвитку, та завданням меж інформаційної невизначеності. Розроблена процедура обліку інформаційної невизначеності при отриманні варіантів ТЗ і вироблені рекомендації з контролю його текстової частини, а також надані рекомендації з підвищення якості ТЗ у цілому.

4. Розроблено схему побудови загальної ієрархічної структури властивостей перспективної СТС, що включає два етапи. Перший – містить у собі побудову сукупності ієрархічних структур властивостей на основі аналізу можливих ситуацій розвитку й застосування СТС. Другий – забезпечує проведення аналізу отриманих ієрархічних структур властивостей і формування загальної ієрархічної структури СТС. Показано, що властивості, які відбивають її як об'єкт розвитку в загальній ієрархічній структурі властивостей, перебувають на концептуальній фазі її створення, що відповідає раннім етапам розробки.

5. Встановлено, що формування обрисів будь-якої СТС пов'язане з гострим протиріччям між потенційно можливим технічним рівнем, обумовленим впровадженням науково - технічного прогресу (НТП), і неможливістю досягнення його при створенні СТС. Це обумовлено, насамперед, недостатнім обліком законів і закономірностей розвитку СТС, що призводить до суттєвих помилок, які мають місце на ранніх етапах розробки. Дане глобальне протиріччя, а також супутні йому часткові протиріччя, визначили наукове завдання, пов'язане зі створенням методологічних основ прогнозування обрисів СТС на ранніх етапах розробки з урахуванням її властивостей як об'єкта розвитку і як системно-структурного утворення.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ПОКАЗНИКІВ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Побудова системи властивостей складної технічної системи як об'єкта розвитку

При прогнозуванні обрису СТС на ранніх етапах розробки використовується ряд понять, пов'язаних із системними дослідженнями з формування її властивостей і показників як об'єкту розвитку. Як правило, ці дослідження проводяться з конкретною метою: визначення основних завдань, які повинна виконувати майбутня СТС; аналізу умов, в яких будуть її застосовувати; оцінки очікуваної потреби в ній; аналізу можливостей створення СТС з необхідними характеристиками при відомому рівні розвитку техніки тощо. Завершуються дослідження вибором обрису СТС, тобто визначенням її складу і типу кожного складового елемента. При цьому, враховується взаємодія СТС, що створюється, з іншими зразками, які можуть входити до комплексу, а також віддаленість термінів її застосування, обумовлену тривалістю періодів розробки і виробництва. Крім того, враховується найвища ступінь невизначеності характеристик майбутньої СТС і умов її функціонування, які можуть скластися до моменту застосування.

Узагальнена інформація за всіма стадіями ЖЦ СТС подається у вигляді відповідних вимог і обмежень [64]. Результати даних досліджень розміщуються у документі програмного планування розвитку СТС в якості вихідних даних щодо конкретних зразків. Вони включають в себе орієнтовні терміни початку і закінчення робіт з модернізації або розробки СТС, її технічні характеристики (ТХ) і економічні показники, в тому числі основні ТР і принципи конструктивної побудови, що забезпечує отримання даних ТХ [44, 47].

У ході вирішення задачі прогнозування обрису СТС слід розглядати її як об'єкт розвитку та функціонування і як системно-структурне утворення [2]. У

зв'язку з цим, необхідно знати систему властивостей, яка відображає всі ці три аспекти. Однак, в існуючій нормативно-технічній документації з розробки ТЗ на СТС [42, 43, 49, 50, 51, 52], поняття властивість пов'язана з якістю СТС, яке відображає її, в основному, як об'єкт функціонування. Тому, є необхідність введення в усталену систему властивостей додаткових складових, які описують СТС, що розроблюється, як об'єкт розвитку і як системно-структурне утворення. Такий підхід сприяє логічному переходу до подання об'єкта дослідження як системно-структурного утворення, що відповідає самій постановці завдання прогнозування обрисів СТС на ранніх етапах розробки. У таблиці (Додаток Б. 1) включено властивість комплексності, яку потрібно враховувати при формуванні бажаних варіантів СТС.

Понятійні аспекти формування та оцінки властивостей СТС, як об'єкта розвитку, залежать від головного її принципу дії (ПД). В даний час, можна виділити СТС, для яких принципи дії можуть бути традиційними і нетрадиційними.

Термін принцип дії має двояке тлумачення. У першому випадку під ПД СТС розуміється подання її у вигляді принципової схеми, в якій у спрощеній формі показані основні конструктивні елементи і вказані у взаємозв'язку діючі фізичні ефекти, що є основою роботи СТС.

Така форма подання використовується на самому загальному рівні опису перспективної СТС, яка функціонує на НПД. В іншому випадку мова йде про фізичний ПД СТС - структуру сумісних і об'єднаних фізичних ефектів (ФЕ), що забезпечують перетворення заданого початкового вхідного впливу A_I на заданий кінцевий результат Z_n . У свою чергу ФЕ визначається як реальне явище, що відбувається у СТС і характеризується причинно-наслідковим зв'язком між двома або кількома фізичними величинами. Цей зв'язок може бути виражений аналітичним, графічним або табличним способом. Існують елементарні фізичні принципи дії, що засновані на одному ФЕ, і лінійні, засновані на декількох сумісних ФЕ.

На ранніх етапах розробки, загалом, неважко синтезувати ПД лінійними структурами. Однак такі структури часто виявляються непрацездатними з наступних причин: деякі ФЕ можуть працювати в жорстко обмежених умовах, що сильно відрізняються від параметрів навколишнього середовища; окремі пари ФЕ тільки якісно сумісні, але не забезпечують кількісної сумісної вихідної C_j і вхідний A_{j+1} фізичних величин і т.п. Крім того, слід зазначити, що весь цикл впровадження поділяється на дві частини: відпрацювання сформованого ПД і його реалізованість в конкретній конструктивній схемі СТС. Процес відпрацювання характеризується стадіями: створення моделі експериментальної СТС і розробка самої СТС, на якій перевіряється ПД. Реалізованість ПД в конкретній конструктивній схемі СТС перевіряється на її макеті і за допомогою створення експериментального об'єкта. Якщо в першому випадку не враховується, якою повинна бути СТС, то в другому - вже враховуються вигідні умови її застосування і необхідна для реалізації технологія. Тому, сформований ПД, при його впровадженні, повинен мати властивості відпрацьованості і здатності до реалізації.

Відпрацьованість ПД відображає пристосованість розглянутого принципу до технічної реалізації для перевірки на працездатність. При оцінці та прогнозуванні відпрацьованого ПД враховуються, насамперед, візичні ефекти в сукупності характеризують даний принцип, і умови забезпечення технічної реалізації для перевірки на працездатність. Оцінка ФЕ і умов забезпечення технічної реалізації, а отже, і оцінка ПД що відпрацьовується, відноситься до слабо структурованих завдань прийняття рішень. Для вимірювання відпрацьованості можна скористатися відомим підходом теорії розмитих множин [1, 37]. Вимірювання слід проводити в якісних, змістовних величинах, але потім за допомогою заданої функції приналежності (що ставить у відповідність будь-яким символам числа) вони перетворюються в кількісні показники. У зв'язку з недостатньою обґрунтованістю процесу отримання функції приналежності, від якої залежить кінцевий результат, у таблиці (Додаток Б. 2) запропоновано алгоритм її отримання.

Даний алгоритм використовує теоретичні залежності, встановлює зв'язок між відомими ступенями приналежності $\mu_A(x_i)$ елементів універсальної множини $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ до нечіткої множини A і ймовірністю вибору $p(x_i)$ цих елементів з X при проведенні гіпотетичних експериментів, організованих певним чином. При цьому вводяться рівневі множини $A_{\alpha_1}, A_{\alpha_2}, \dots, A_{\alpha_n}$ виду $A_\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\}$, тобто множиною α -рівня ($\alpha \in X[0,1]$) нечіткої множини A , заданої в просторі X , називається така звичайна множина $A_\alpha (A_\alpha \subseteq X)$, ступінь приналежності елементів якої до A більше або дорівнює α .

Кожна множина рівня A_{α_j} визначається умовою $\alpha_j = \mu(x_j)$. Без обмеження спільності можна вважати, що елементи x_i пронумеровані в порядку зростання ступенів належності. Тоді множини A_{α_j} матимуть наступний вигляд:

$$A_{\alpha_1} = X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, A_{\alpha_2} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \dots, A_{\alpha_n} = \{x_n\}$$

Зазначені гіпотетичні експерименти полягають у тому, що з безлічі $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ обирається випадковим чином елемент α_j , а з відповідного йому елементу множини рівня A_{α_j} також випадковим чином обирається елемент x_i . При цьому ймовірності для механізму вибору α_j і, відповідно, A_{α_j} встановлюються як

$$p(\alpha_j) = p(A_{\alpha_j}) = \mu(x_j) - \mu(x_{j-1}),$$

тобто визначаються інтервалом між рівнями. Ймовірності для механізму вибору елемента x_i із A_{α_j} приймаються як

$$p(x_i | A_{\alpha_j}) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \notin A_{\alpha_j}; \\ 1/n_j, & \text{при } x_i \in A_{\alpha_j}, \end{cases}$$

де n_j – кількість елементів множини A_{α_j} . Ймовірність $p_i(x_i)$ вибору елемента x_i у зазначених експериментах, визначена на основі знання ймовірностей $p(A_{\alpha_j}), p(x_i | A_{\alpha_j}), (j = \overline{1, n})$, може бути підрахована за формулою

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^n p(x_i | A_{\alpha_j}) p(\alpha_j), \quad (i = \overline{1, 2, \dots, n}).$$

З урахуванням зазначених вище правил, знаходження елементів, що входять до неї, маємо

$$p(x_1) = \frac{1}{n} \mu(x_1), \quad p(x_2) = p(x_1) + \frac{1}{n-1} (\mu(x_2) - \mu(x_1)),$$

$$p(x_{i+1}) = p(x_i) + \frac{1}{n-i} (\mu(x_{i+1}) - \mu(x_i)),$$

$$p(x_n) = p(x_{n-1}) + (\mu(x_n) - \mu(x_{n-1})).$$

Дане рівняння можна застосувати до величин $\mu(x_i)$, ($i = 1, 2, \dots, n$). У результаті виходять наступні співвідношення

$$\mu(x_1) = np(x_1), \quad \mu(x_2) = (n-1)p(x_2) + p(x_1), \dots,$$

$$\mu(x_{i+1}) = (n-i)p(x_{i+1}) + \sum_{j=1}^i p(x_j), \dots, \quad \mu(x_n) = \sum_{j=1}^n p(x_j).$$

На основі використання цих співвідношень може бути вирішена задача, інверсна по відношенню до тієї, вирішення якої призвело до отримання їх.

Для усунення недоліків оцінки, що обумовлені суб'єктивністю експерта, в роботах [78, 79] висуваються вимоги до показників, які виміряні в порядковій шкалі: якісних характеристик (градацій якісної ознаки) не повинно бути багато, інакше вони стануть погано помітними для осіб які виконують вимір; якісні характеристики, які відповідають певним точкам на порядковій шкалі, повинні бути докладно пояснені і бути зрозумілі всім експертам; на шкалах необхідно мати детальні словесні формулювання якісних характеристик, які робляться особами, що побудували шкали.

Реалізованість ПД відображає пристосованість розглянутого принципу до конкретної конструктивної схеми СТС, відповідної умовам її застосування. У цьому випадку можна стверджувати про корисність даного ПД у конструктивній схемі СТС. Крім того, процесом відновлення обрису СТС, який функціонує на НПД, керують найбільш важливі цілі, що впливають в основному на його ТР, інші цілі теж мають вплив, хоча і слабкий. І, нарешті, найбільш часто приймаються

рішення, які не набагато відрізняються від тих, на яких акцентувалась попередня увага.

Ці положення використовуються з урахуванням наступних принципів: прогноз повинен вестися стосовно до реалізації функцій СТС; нові принципи її дії є комбінаціями відомих ФЕ, що формуються у спеціальні фонди; методологія прогнозування нових ПД повинна орієнтуватися на людино-машинні процедури, які поєднують обробку інформації на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) і експертні методи [88, 90].

Таким чином, розглянуті основні поняття, які розкривають СТС, як об'єкт розвитку та системно-структурне утворення, яким на ранніх етапах розробки не приділялося належної уваги. У випадку, якщо оцінюються перспективи розвитку СТС, яка функціонує на ТПД, то, в першу чергу, слід брати до уваги властивості новизни, прогресивності, здібності до модернізації, вживаності і морального старіння. Якщо на НПД, то, оцінюються ПД на відпрацьованість і реалізованість. З урахуванням даних понять, логічно перейти до побудови системи властивостей, яка повинна бути основною на ранніх етапах розробки.

У загальному вигляді при формуванні системи властивостей СТС, як об'єкту розвитку, є доцільним виділити наступне: інформаційне забезпечення процесів розробки пов'язане з системо-генетичним аналізом і особливостями розвитку СТС; проведення операційно-параметричного аналізу об'єкта, що досліджується, і виявлення сукупності ситуацій його розвитку; безпосередній вибір системи властивостей, на основі яких робиться висновок про перевагу розробки СТС і прогнозування її розвитку.

Інформаційне забезпечення прогнозних досліджень базується на зборі інформації про об'єкт прогнозування і його зовнішнє середовище. Специфічною особливістю є те, що всі інформаційні дані мають яскраво виражений спадкоємний характер, та характеризують здатність СТС до вдосконалення (розвитку), виконувати завдання свого призначення, і її обрис. Це сприяє тому, що СТС розглядається як об'єкт розвитку, як об'єкт функціонування і як системно-

структурне утворення. Відповідно, і зовнішнє середовище об'єкта аналізується на стан НТП в розвитку СТС, та умови її застосування тощо.

Інформація на ранніх етапах розробки має велику ступінь спільності, тому слід враховувати її за всіма етапами ЖЦ, які відображають спадкоємний характер розвитку, тобто виділяти групи вихідних даних, що характеризують СТС, і її зовнішнє середовище (Додаток таблиця В. 3). Така система вихідних даних отримана в результаті аналізу схеми і змісту ЖЦ СТС [83-85].

Тимчасові характеристики зведені в окрему групу, що обумовлено їх важливістю для ранніх етапів розробки. Як правило, економія часу і ресурсів за рахунок скорочення робіт, пов'язаних з науковими дослідженнями (як свідчить вітчизняна та зарубіжна практика), часто призводить до того, що СТС, яка створюється, за своїми якісними параметрами, не відповідає кращим досягненням науки і техніки. Це робить весь ЖЦ СТС в більшості випадків малоефективним.

Його функціональні та структурні характеристики визначаються якісними параметрами ЖЦ і відповідають вимогам функціонально-структурного підходу до аналізу СТС.

Для більш повного аналізу та подання самого об'єкта прогнозування, його зовнішнього середовища, з урахуванням існуючих тенденцій розвитку, проводиться операційно-параметричний аналіз. За результатами такого аналізу виділяються найбільш важливі функції СТС, перспективна елементна база, що реалізує ці функції, здійснюється коригуванням її параметричного опису. Окремо проводиться опис ситуацій розвитку та застосування СТС.

Безпосереднє формування та оцінка властивостей включає в себе пояснення системи властивостей СТС, як об'єкта розвитку і функціонування. При цьому проводиться опис її обрису, оцінка показників відповідно до обраних властивостей і попередній аналіз варіантів СТС, що розробляється. Всі ці фази тісно між собою пов'язані. Виділення характеристик, що описують системно-структурну організацію, робиться з метою встановлення їх залежності від властивостей СТС, як об'єкта розвитку, так і об'єкта функціонування.

При формуванні якісних характеристик (ЯХ), що відображають обрис, виділяються системні та структурні характеристики. Перші – пов'язані із завданнями, які виконує СТС в цілому, другі - подають її конструкцію. Враховуючи відповідний характер їх розвитку, на ранніх етапах розробки необхідно виділяти елементну базу, яка найбільш часто змінюється. Тут важливо встановити зв'язок ЯХ обрису з виділеними властивостями об'єкта прогнозування. Це дає можливість розробнику варіювати елементною базою СТС і домагатися отримання необхідних властивостей.

Приймаючи до уваги особливості ранніх етапів розробки, необхідно створювати модель, яка сприяє встановленню зв'язку ЯХ обрису з виділеними властивостями. Досвід розробки СТС [43] свідчить, що доводиться мати справу, як з якісними, так і з кількісними характеристиками. Це вказує на необхідність створення методик оцінки варіантів СТС що розробляються, які б дали можливість врахувати її нові властивості, тобто властивості розвитку.

Рішення прогнозних завдань неможливо без побудови ієрархічної структури властивостей СТС, як об'єкта розвитку. Керуючись принципом декомпозиції, прийнятими властивостями (Додаток таблиця Б. 1) та ентропійним підходом при формуванні загальної ієрархічної структури властивостей, на рис. 2.1 подана така структура властивостей СТС, як об'єкта розвитку. На першому рівні виділено властивість наступності, як всеосяжну властивість об'єкта, що розвивається.

У роботі [2] запропонована структура властивостей СТС, що розвивається, яка володіє великим ступенем спільності і орієнтована на проведення вже конструкторських розробок, але не згадується значущість їх обліку на ранніх етапах розробки (дослідження, що передують проекту).

У даній структурі не визначено жодної властивості. Усе зведено до докладного викладу принципів, що пояснюють сутність розвитку СТС, формулюванню аксіом, що відображають специфічні особливості їх розвитку, на відміну від систем будь-якої іншої природи. Таким чином, на стадії дослідження та обґрунтування розробки СТС, яка обумовлена своєю концептуальністю, досі не сформована чітка ієрархічна структура властивостей до СТС як об'єкта розвитку.

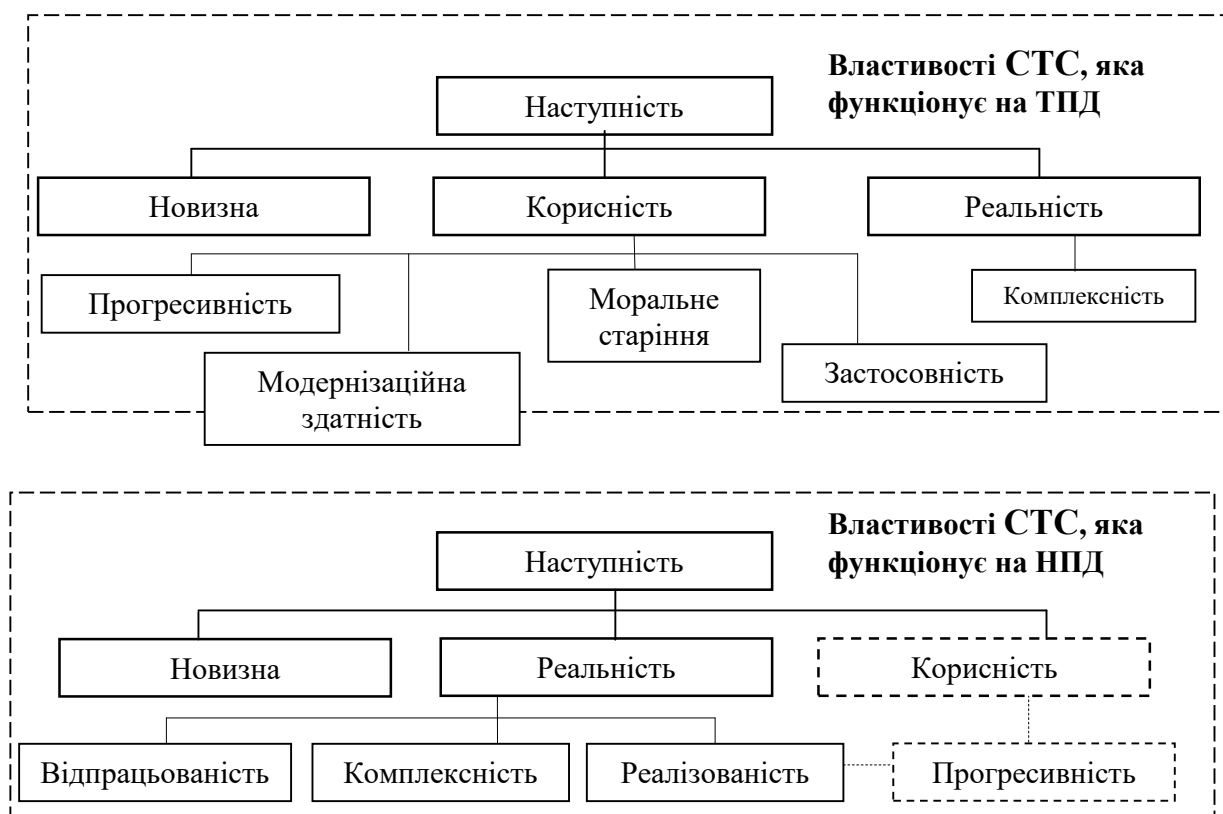


Рисунок 2.1 – Структура властивостей СТС, як об'єкту розвитку

У той же час, для вирішення практичних завдань [79, 84] на стадіях безпосередньої розробки, виробництва та експлуатації всі базові властивості СТС поєднані в конкретні групи: промислову і функціональну. Кожна група складає дві підгрупи базових властивостей: розроблюваної і виробничої, експлуатаційної та цільового використання. Ці групи властивостей характеризують СТС, як об'єкт розробки і виробництва, експлуатації та цільового використання. До підгрупи базових властивостей, що розробляються, відносяться вписуваність і перспективність. Причому, в подальшому ці властивості розкриваються на загальному рівні, а оцінку їх показників пропонується здійснювати тільки для конкретних розроблених операційних систем і середовищ з використанням даних по витратах на розробку. Але ці властивості не можуть бути використані на концептуальній стадії формування обрису СТС, тому що вони не відображають її основну рису розвитку - наступність.

Враховуючи особливості розробки СТС, не викликає сумніву, що на ранніх етапах, коли тільки формуються орієнтовні варіанти обрису майбутньої СТС, її

основні ПД, кожен з яких повинен володіти новизною, корисністю і реальністю створення. Тому логічно припустити, що дані властивості є складовими складної властивості-наступності, що характеризує ідентичність розроблюваної чи запропонованої до розробки СТС її прототипам (рис. 2.1).

Всі властивості СТС на концептуальній фазі розробки слід поділити на дві групи: ТПД і НПД. У кожній групі передбачається мати три рівня властивостей, виходячи з принципу від загального до більш часткового. На рисунку 2.1 подана ієрархічна структура властивостей СТС, як об'єкта розвитку, характеристика яких дана в таблиці (Додаток Б. 1). На першому рівні знаходиться властивість наступності, на другому - новизни, корисності і реальності. На третьому рівні, в основному надані властивості, що відносяться до корисності. Для обліку всього спектру можливих розробок СТС, в подальшому, пояснені властивості відпрацьованості і реалізованості, що відображають її реальність створення (для СТС, яка функціонує на НПД).

Необхідно відзначити, що для СТС, яка функціонує на ТПД, властивості другого рівня розташовані зліва направо за зниженням їх важливості. Видно, що пріоритет властивостей другого рівня для СТС, яка функціонує на НПД, змінюється. Наприклад, у порівнянні з корисністю, властивість реальності стає більш важливою. Відповідно і прогресивність СТС, яка функціонує на НПД, можна оцінити, тільки використовуючи спеціальний науково-методичний апарат, заснований на теорії нечітких множин і теорії можливостей. НПД можна оцінити тільки використовуючи спеціальний науково-методичний апарат, заснований на теорії нечітких множин і теорії ймовірностей.

2.2 Формування системи показників складної технічної системи, як об'єкта розвитку

Виділені у розділі 1 властивості СТС, як об'єкта розвитку, необхідні для вирішення γ – задач на ранніх етапах розробки. При цьому присутній високий ступінь невизначеності інформаційного забезпечення та нечіткості вихідних

даних. Все це накладає певні труднощі при формуванні системи показників та оцінці цих властивостей.

Відповідно до [51], властивість це форма існування ознаки СТС, за допомогою якої встановлюється подібність або відмінність її з іншими. Показники можуть бути кількісними або якісними, що накладає певні труднощі при їх оцінці. В [41] наведені загальні вимоги з формування та оцінки якісних і кількісних показників, що являють собою ознаки СТС.

Надалі застосовуються три типи ознак (номінальні, рангові, кількісні). Якщо враховувати, що наступність є узагальненою властивістю, то можна розглянути побудову показників властивостей новизни, прогресивності, здібності до модернізації і морального старіння. Ці властивості є основними складовими послідовності, їх оцінка має ряд особливостей, одна з яких – нечіткість вигляду перспективних варіантів, притаманна раннім етапам розробки. У зв'язку з цим, логічно припустити, що й самі значення показників даних властивостей повинні мати нечіткий характер. В даних умовах припускається оцінювати властивості, які розглядаються за допомогою ЯХ, при формуванні яких використовується наступна схема розвитку СТС: "базовий зразок - його наступник". У табл. 2.1, для прикладу, поданні ЯХ, які (у своїй сукупності) формують якісні показники виділених властивостей.

Таблиця 2.1 – Варіант якісних характеристик СТС, як об'єкта розвитку

Якісні характеристики			
Новизна	Прогресивність	Здатність до модернізації	Моральне старіння
1. Модернізаційна	1. Слабка	1. Слабка	1. Повне
2. Модернізаційно-конструктивна	2. Задовільна	2. Задовільна	2. Велике
3. Конструктивно-модернізаційна	3. Нормальна	3. Нормальна	3. Середнє
4. Конструктивна	4. Висока	4. Висока	4. Часткове
5. Новофізична	5. Переважна	5. Переважна	5. Слабкі ознаки
			6. Відсутність будь-яких ознак

Ці ЯХ відповідають відомим відомостям формування та оцінки якісних ознак СТС [31]:

чим більш новою є пропонована СТС, тим більше місце у визначенні її ТР грають якісні оцінки, і тим більше звичних кількісних показників виявляються не придатними для практики;

прагнення формалізувати оцінку ТР з обмеженнями і звести її до єдиного (одиночного) показника, часто визначає недооцінку різноманітних факторів, що впливають на неї, не враховуючи діалектики і динаміки самого НТП;

комплексна оцінка не зводиться тільки до економічних показників. Вона завжди є результатом поєднання кількісних і якісних оцінок, які "приводяться" до консенсусу в процесі експертного узгодження думок, позицій і точок зору розробника та замовника нової СТС, що відображає і, одночасно, формує історичну логіку її розвитку;

сукупність якісно-кількісних даних, які формують інформаційну базу для оцінки ТР, являє собою обмежений деякими межами простір предметно-оцінюваної інформації, мінімум якої визначається рівнем прийнятих рішень, а максимум – інформаційно-аналітичними ресурсами галузі, соціальної спільноти і часом, що відведено на прийняте рішення.

Розглянуто підходи вимірювання якісних змінних, основним недоліком яких є те, що немає логічної основи для приписування тих чи інших чисел якісним первинним оцінкам. Тому оцінка ЯХ новизни, прогресивності, модернізаційної здатності (МДЗ) і морального старіння, перш за все, заснована на логіці спадкоємного розвитку, яка пов'язує тимчасові характеристики СТС з її структурними характеристиками. Дані показники розкривають СТС, як об'єкт розвитку і як системно-структурне утворення. Якщо оцінюються перспективи її розвитку на ТПД, то, в першу чергу, розглядаються властивості новизни, прогресивності, МДЗ. Якщо на НПД, то, перш за все, оцінюється ПД на відпрацьованість і реалізованість. З урахуванням побудованої системи властивостей і відзначенням великої ролі якісних оцінок на ранніх етапах розробки логічно перейти до побудови її показників.

Формулювання і оцінка показників властивостей СТС ґрунтується на прийнятих вихідних даних (табл. 2.1) і структурі властивостей (Додаток Б. 4).

Первісна оцінка таких важливих властивостей як новизна, прогресивність, МДЗ і моральне старіння виконується на якісному рівні. У зв'язку з цим, надалі наводяться описи якісних шкал, які враховують особливості вихідних даних і модель прогнозування.

Кількісний показник новизни, що відображає "бінарну" схему розвитку "базова СТС - її послідовниця", може бути поданий на основі структурних характеристик. Рівень новизни оцінюється відносним числом нових компонентів (блоків, елементів, підсистем), що входять до СТС [2]

$$K = k/M_n, \quad (2.1)$$

де k – кількість нових блоків, елементів, підсистем послідовниці;

M_n – загальна кількість блоків, елементів, підсистем послідовниці.

Величина K відображає початковий обсяг знань u_n про передбачувану СТС ($0 \leq u_n \leq 1$), а також відображає склад стадій і етапів, необхідних для її освоєння. Виходячи з цього, логічно припустити, що існує залежність новизни від тимчасових характеристик розробки СТС. У загальному випадку, обсяг знань в процесі освоєння технічних ідей, закладених у ній, повинен зрости від $\bar{u}_n \geq 0$ до $\bar{u}_n = 1$. У реальних умовах на початку розробки, як правило, є певний обсяг знань, відносно значення якого коливається в межах $\bar{u}_{n_0} \leq \bar{u}_n \leq 1$, $K_{n_0} \leq K \leq 0$. Але показник (2.1) не враховує того, що існуючі компоненти СТС можуть бути вдосконалені шляхом незначних змін до конструкції, або застосуванням оригінальних конструктивно-схемних рішень. Тому показник новизни має вигляд

$$K = \frac{m+n+k}{M_n} \quad \text{або} \quad K = \frac{\varepsilon_1 \cdot m + \varepsilon_2 \cdot n + \varepsilon_3 \cdot k}{M_n}, \quad (2.2)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – коефіцієнти важливості структурних характеристик.

Показник дозволяє здійснити перехід до імовірнісних оцінок ЯХ новизни. При розгляді характерної особливості процесу розвитку СТС на ранніх етапах розробки, для її оцінки, був обраний показник прогресивності $W = W_n/W_0$, в якому

значення W_{Π} і W_{σ} визначаються на основі показників СТС, як об'єкта функціонування. Використовуючи показник W , формуються імовірнісні оцінки ЯХ прогресивності.

Початком морального старіння прийнято вважати появу розробки нової СТС аналогічного призначення. У цьому випадку показником морального старіння СТС вважається час морального старіння T , який визначається виразом $T = T_p + T_{\sigma}$, де значення T_p і T_{σ} . Але цей показник не відображає імовірнісну природу морального старіння.

Тому, слід розробляти спеціальні математичні моделі з визначення ймовірності того, що СТС не застаріє. Для розрахунку основного показника морального старіння використовується модель, для якої імовірність того, що СТС морально не застаріє, має вигляд [54]

$$P(t) = P\{T \geq t\} = \exp \left\{ -\lambda_c t + \ln \left[(\lambda_c t + 1)^2 + 1 \right] - \ln 2 \right\}, \quad (2.3)$$

де λ_c – параметр закону розподілу T .

На основі цієї моделі сформовані імовірнісні оцінки ЯХ морального старіння (Додаток рисунок Б. 4).

Кількісні показники властивості МДЗ формуються на основі аналізу процесу модернізації СТС. При цьому, до уваги беруться результати аналізу спадкоємного розвитку. Показники ґрунтуються на кількості модернізацій базової СТС до рівня конструктивно-модернізаційної новизни (КМН). У цьому випадку, показник МДЗ для η -ї схеми процесу модернізації має вигляд

$$M_{\text{МД}}^{\eta} = \sum_j^3 \alpha_j \sum_{i \in \tilde{N}_j^{\eta}} W_i^{\eta}, \quad \eta = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, 3}, \quad (2.4)$$

де α_j – коефіцієнт важливості j -го рівня модернізації (всього визначено три рівня: модернізаційний, $j=1$; модернізаційно-конструктивний, $j=2$; конструктивно-модернізаційний, $j=3$);

\tilde{N}_j^{η} – безліч індексів, відповідних j -му рівню модернізації СТС;

$\tilde{N}^\eta = \bigcup_j \tilde{N}_j^\eta = \{1, 2, \dots, N^\eta\}$ – безліч індексів для η -ї схеми модернізації);

H – кількість розглянутих схем модернізації;

W_i^η – коефіцієнт прогресивності i -ї модернізації СТС в η -й схемі.

З урахуванням структурних характеристик МДЗ можна оцінювати коефіцієнтом [67]

$$\Phi_{t_j} = I_{t_j}^+ - I_{t_j}^-, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (2.5)$$

де $I_{t_j}^+, I_{t_j}^-$ – загальна кількість здатних і нездатних до модернізації елементів в блоках, підсистемах СТС за j -ї модернізації. Для СТС, що розроблюється, при посиленні невизначеності суджень, здійснюється перехід до ЯХ здатності до модернізації (табл. 2.1), які кількісно оцінюються на основі правил нечітких суджень (Додаток рисунок Б. 4).

Показник застосовності варіанту перспективної СТС формується у вигляді оцінки гнучкого реагування [48]

$$P = (P_1, P_2, P_3), \quad (2.6)$$

де P_1 – можливість зміни способів застосування;

P_2 – можливість реагування на зміну типів об'єктів впливу;

P_3 – можливість розширення області застосування.

Надалі використовуються дані експертизи, на основі яких формують узагальнений показник вживаності. Але, суб'єктивність його досить велика, тому що визначається складом групи експертів. Враховуючи це, застосовність СТС пропонується визначати за допомогою виразу [54]

$$P_{Прм} = \prod_{j=1}^{N_3} P_{i_j^t}^j, \quad j = \overline{1, N_3}, \quad i_j = \overline{1, n_3^j}, \quad (2.7)$$

де N_3 – кількість блоків, елементів, підсистем СТС;

n_3^j – кількість типів j -го блоку, елемента, підсистеми СТС;

$P_{i,t}^j = g_{i,t} / G_t$ – застосовність i -го типу j -го блоку, елемента, підсистеми;

$g_{i,t}$ – кількість j -х блоків, елементів, підсистем i -го типу, застосовуваних у СТС, які розроблені до моменту часу t ;

G_t – загальна кількість СТС, розроблених до моменту t (Додаток рисунок Б 4).

Показники, що відображають реальність створення обраного варіанту СТС, мають, як правило, нечітку основу. Найбільш важливим показником реальності є ризик розробки перспективного варіанту СТС. Показник ризику описується залежністю

$$R = 1 - \bar{R}, \text{ де } \bar{R} = \begin{cases} 1, & \text{при } T_{\text{унр}} \geq (t^{\text{вн}} - t^{\text{н.в.}}); \\ \bar{T}/T, & \text{при } \bar{T} < T. \end{cases} \quad (2.8)$$

Величина R характеризує ймовірність того, що СТС через час $T_{\text{унр}}$ не буде розроблена (Додаток рисунок Б. 4). Для показника характерно те, що використовуються тільки тимчасові характеристики. Це вносить деяку односторонність, не беруться до уваги ряд важливих моментів. Тому, показник ризику буде поданий ймовірністю того, що за певної час, з виділеними ресурсами для розробки, буде реалізований конкретний варіант СТС

$$\bar{R} = \sum_{k=1}^{k^*} VG(k) \times R2(k), \quad \left(\sum_{k=1}^{k^*} R2(k) = 1 \right), \quad (2.9)$$

і ймовірністю несприятливого результату з його розробки [96]

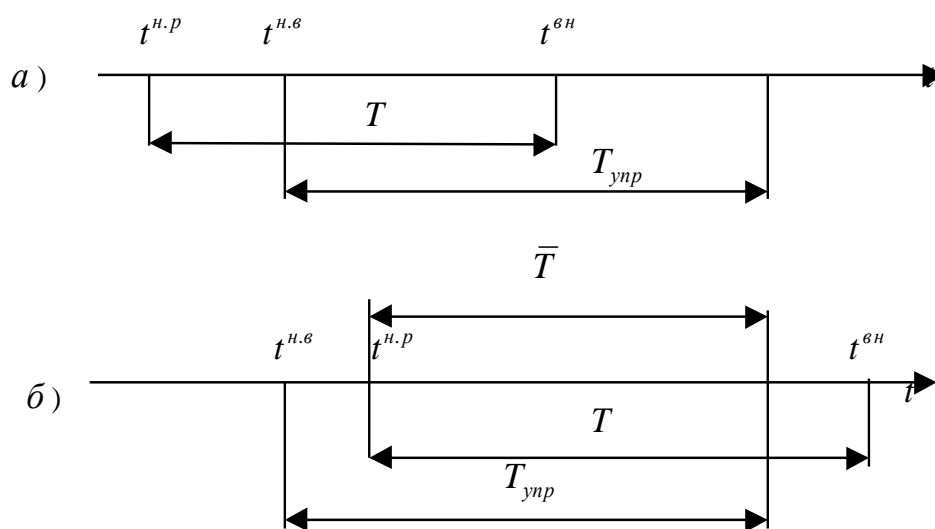
$$P(A) = \sum_{j=1}^m P_j \mu_j, \quad (2.10)$$

де $VG(k)$ – центроїд s -й лінгвістичної оцінки фактора ризику;

$R2(k)$ – важливість s -й лінгвістичної оцінки фактора ризику;

P_j – ймовірність j -го стану ризику;

μ_j – функція приналежності, що відображає ступінь ризику створення СТС для j -го стану.



$t^{н.р}$ – час початку розробки СТС; $t^{н.б}$ – даний час;
 $t^{бн}$ – час впровадження СТС, що розробляється.

Рисунок 2.2 – Випадки для формування оцінок ризику

У першому випадку, показник (2.9) використовується, як правило, для розробки СТС, яка функціонує на ТПД. При цьому враховуються фактори ризику розробки та їх характеристики. Він застосовується, в основному, для розробок модернізації СТС, які проводяться вдало. Тому мова ведеться про ймовірність сприятливої розробки. У другому - показник (2.10) орієнтований на розробку СТС, яка функціонує на НПД. Ймовірність вдалості такої розробки невелика, тому використовується ймовірність несприятливого результату процесу розробки.

Показник, що відображає узгодженість і сумісність СТС, являє собою, як правило, його застосовність. Він придатний лише для модернізацій цих розробок. Істотно, що більш універсальним є показник комплексності СТС, який виражається ранговою характеристикою

$$\beta(t_{\zeta}) = \min(T(1), T(2), \dots, T(i), \dots, T(m^*)), \quad \zeta = \overline{1, N}, \quad i = \overline{1, m^*}, \quad (2.11)$$

де N – кількість аналізованих на комплексність варіантів СТС;

m^* – кількість його складових;

$T(i)$ – рангова характеристика розширеного вектора T , яка відповідає i -й складовій СТС і відображає її комплексність;

t_ζ – лінгвістичний термін комплексності ζ -го СТС (Додаток рисунок Б. 4).

Для СТС, яка функціонує на НПД, виділяються властивості відпрацьованості і реалізованості, які оцінюються відповідно показниками відпрацьованості і реалізованості. Показник відпрацьованості ПД виражається нечіткою множиною [71]

$$B_0 = \sum_{g=1}^m z_g / V_g, \quad g = \overline{1, m}, \quad (2.12)$$

де z_g – функція приналежності, що відображає g -у ступінь відпрацьованості ПД;

V_g – область відпрацьованості ПД (V_1 – дуже мало відпрацьований; V_2 – мало відпрацьований; і т.п.);

m – кількість лінгвістичних термінів, які фіксують ступінь відпрацьованості ПД.

Показник відпрацьованості застосовується, в першу чергу, з метою оцінки самого принципу дії, який передбачається використовувати. У подальшому оцінюється ступінь реалізованості j -го ПД в конкретному бажаному варіанті СТС за допомогою показника реалізованості, вираженого інтервалом нечіткої очікуваної вигоди [72]

$$E_j = \left[\underline{E}(D_j), \overline{E}(D_j) \right], \quad (2.13)$$

де $\underline{E}(D_j)$, $\overline{E}(D_j)$ – нижня і верхня межі інтервалу для j -го ПД.

При використанні зазначених показників, для оцінки кращих варіантів перспективної СТС на ранніх етапах розробки, необхідно провести їх нормування. Причому, воно буде супроводжуватися з'ясуванням фізичної сутності показників і їх взаємозв'язку, що відбиває протиріччя властивостей.

Новизна СТС, що розробляється, буде побічно відбивати величину витрат, необхідних для її розробки. Тому, з цього боку, збільшення новизни небажано,

тому що зростають витрати. Але, з іншого боку, збільшення новизни впливає на підвищення цільових та експлуатаційних властивостей СТС. Проявляється явна суперечливість показника новизни. У цьому випадку, пропонується наступний її нормований показник

$$r_n = 1 - \frac{|K - k_{n_{opt}}|}{k_{n_{opt}}}, \quad (2.14)$$

де K – показник новизни, який розраховується за виразом (2.2);

$k_{n_{opt}}$ – раціональне (оптимальне) значення новизни, отримане на основі аналізу процесів розвитку СТС.

Нормований показник прогресивності матиме вигляд

$$r_{Ipe} = \frac{W_{\pi} - W_{\sigma}}{W_{\pi}} = 1 - \frac{W_{\sigma}}{W_{\pi}}, \quad (2.15)$$

Для даного виразу повинна дотримуватися нерівність $W_{\sigma} \leq W_{\pi}$.

Нормований показник морального старіння розраховується за допомогою формули

$$r_{MPC} = \frac{1}{N_{MPC}} \sum_{i=1}^{N_{MPC}} P_i, \quad (2.16)$$

де N_{MPC} – кількість існуючих СТС, вигляд яких є ідентичним вигляду переважного варіанту перспективної СТС;

$P_i = P(t_i)$ – показник морального старіння для i -го СТС з часом морального старіння t_i .

Враховуючи те, що показник МДЗ (2.4) залежить від суперечливих факторів, то, на ранніх етапах розробки, необхідно орієнтуватися на середній рівень цього показника для обраних схем модернізації

$$M_{MД}^{\varphi} = \frac{1}{H} \sum_{\eta} M_{MД}^{\eta}, \quad \eta = \overline{1, H}, \quad (2.17)$$

Причому, перші СТС в кожній схемі повинні бути ідентичні СТС, що розробляється. Тоді, нормований показник модернізаційної спроможності може бути представлений залежністю

$$r_{\text{Мд}} = 1 - \frac{|M_{\text{Мд}} - M_{\text{Мд}}^{\text{сп}}|}{M_{\text{Мд}}^{\text{сп}}}, \quad (2.18)$$

де $M_{\text{Мд}}$ – модернізаційна здатність, розрахована на основі перспективного планування модернізації СТС.

Нормований показник вживаності СТС знаходиться за виразом

$$r_{\text{Прм}} = \frac{\prod_{j=1}^{N_{\text{об}}} P_{i_j t_{\text{п}}}^j}{\prod_{j=1}^{N_{\text{об}}} \left\{ \max_{i_j, t} P_{i_j t}^j \right\}}, \quad (2.19)$$

де $P_{i_j t_{\text{п}}}^j$ – застосування i -го типу j -го блоку, відповідного кращого варіанту розроблюваної СТС до моменту часу $t_{\text{п}}$;

$P_{i_j t}^j$ – застосовуваність i -го типу j -го блоку для СТС на ділянці підстави t (за їх кількістю).

Нормовані показники ризику відповідно для СТС, що функціонують на ТПД або НПД, мають вигляд

$$r_{\text{ТПД}} = \bar{R}, \quad (2.20)$$

$$r_{\text{НПД}} = 1 - R(A), \quad (2.21)$$

Ранговій характеристиці комплексності СТС $\beta(t_{\zeta})$ (2.11) відповідає трапецієподібне нечітке число (A, B, a, b) . Тоді, нормована характеристика комплексності СТС знаходиться як

$$r_{\text{ком}} = (A + B)/2, \quad (2.22)$$

при α -зрізі, $\alpha = 1$.

Нормування показників відпрацьованості проводиться за схемою нормування показника комплексності. На основі формули (2.12) визнається найбільш ймовірна ступінь відпрацьованості ПД, яка виражається лінгвістичним терміном. Тоді, аналогічно оцінці комплексності, виділяється відповідне цьому терміну нечітке число і (A, B, a, b) розраховується нормований показник відпрацьованості

$$r_{om.ПД} = (A + B)/2, \text{ при } \alpha = 1. \quad (2.23)$$

Необхідно зазначити, що показники відпрацьованості і реалізованості ПД можуть бути суперечливими. Добре відпрацьований ПД не завжди може бути використаний у СТС з ряду причин. Тому, на ранніх етапах розробки, розглядають кілька ПД і оцінюють їх реалізованість за виразом (2.13), а потім, здійснюється порівняльна оцінка інтервалів нечіткої очікуваної вигоди і здійснюється ранжування обраних ПД. На основі результатів ранжування, розраховується нормований показник реалізованості $r_{рл.ПД}$, за виразом (2.23).

Отримані нормовані показники (2.14) – (2.23) можуть бути використані для початкового відбору бажаних варіантів (обрису) СТС, що істотно спростить подальшу роботу, як замовника, так і розробника.

2.3 Метод відбору варіантів складної технічної системи

На ранніх етапах розробки СТС виникають питання щодо відбору її перспективних варіантів, які сформовані за допомогою методик експертного оцінювання, чи іншим шляхом. Такі варіанти описуються, як якісними, так і кількісними показниками, що відображають СТС, як об'єкт розвитку.

Це обумовлює необхідність, при відборі кращих варіантів, здійснювати послідовне погодження прийнятих рішень. Відомі методи порівняльної оцінки варіантів СТС за сукупністю кількісних і якісних показників такого погодження не забезпечують. Тому пропонується використовувати для визначення раціональної підмножини варіантів СТС і виділення серед них найбільш бажаного

варіанту методу відбору на основі послідовного узгодження рішень, який дозволяє, з достатнім ступенем вірогідності, "відсіювати" безперспективні варіанти об'єкту з погляду їхнього розвитку.

Метод відбору варіантів СТС включає наступні етапи:

1. **Визначення нормованої матриці.** Вихідна матриця, подається у вигляді матриці прийняття рішень

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right\| \end{matrix},$$

де a_1, \dots, a_m – варіанти порівняння;

x_1, \dots, x_n – показники СТС, як об'єкта розвитку;

x_{11}, \dots, x_{mn} – значення показників СТС, як об'єкта розвитку.

На основі цієї матриці здійснюється перехід до матриці рішень

$$\bar{\mathbf{P}} = \left\| \begin{matrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{matrix} \right\|,$$

де $\bar{x}_{11}, \dots, \bar{x}_{ij}, \dots, \bar{x}_{mn}$, $\forall i, j, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ – нормовані значення показників СТС як об'єкта розвитку.

2. **Визначення матриці рішень $\hat{\mathbf{P}}$.** За допомогою коефіцієнтів вагомості показників $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, елементи стовпців матриці $\bar{\mathbf{P}}$ помножуються на відповідні їх значення

$$\hat{\mathbf{P}} = \left\| \begin{matrix} a_1 \bar{x}_{11} \dots & a_j \bar{x}_{1j} & \dots & a_n \bar{x}_{1n} \\ a_1 \bar{x}_{21} \dots & a_j \bar{x}_{2j} & \dots & a_n \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 \bar{x}_{m1} \dots & a_j \bar{x}_{mj} & \dots & a_n \bar{x}_{mn} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} f_{11} \dots & f_{1j} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} \dots & f_{2j} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} \dots & f_{mj} & \dots & f_{mn} \end{matrix} \right\|.$$

3. **Визначення безлічі згод і незгод.** Для кожної пари варіантів a_k і a_l ($\forall l, k; l, k = \overline{1, m}, k \neq l$) обчислюється безліч погоджень $S_{kl} = \{j / \bar{x}_{kj} \geq \bar{x}_{lj}\}$

Ця безліч складається з індексів тих показників, за якими k -й варіант не гірше ніж варіант l . Після його обчислення визначається безліч незгод $H_{kl} = \{j / \bar{x}_{kj} < \bar{x}_{lj}\}$, яка складається з індексів тих показників, за якими l -й варіант перевершує k -й. Таким чином, $H_{kl} = \{1, 2, \dots, n\} \setminus S_{kl}$.

4. **Визначення матриці згоди.** Для цієї мети знаходяться індекси згоди. Для пари варіантів a_k і a_l індекси згоди визначають наступним чином

$$\tilde{S}_{kl} = \frac{\sum_{j \in S_{kl}} \alpha_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j}.$$

Якщо $\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1$, то $\tilde{S}_{kl} = \sum_{j \in S_{kl}} \alpha_j$.

Індекс згоди відображає важливість (перевагу) a_k по відношенню до a_l . З цих індексів згоди утворюється матриця згоди \mathbf{S} , розмірності $m \times m$

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} - & \tilde{S}_{12} & \dots & \tilde{S}_{1n} \\ \tilde{S}_{21} & - & \dots & \tilde{S}_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \dots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & - \end{pmatrix}.$$

5. **Визначення матриці незгоди.** Якщо матриця згоди визначається на основі величин вагомості показників якості, то матриця незгоди - на основі значень показників. Індекс незгоди розраховується для кожної пари варіантів k, l ($\forall k, l; k, l = \overline{1, m}; k \neq l$) за допомогою формули

$$\tilde{H}_{kl} = \max_{j \in H_{kl}} |f_{kj} - f_{lj}| / \max_{j \in \overline{1, n}} |f_{kj} - f_{lj}|.$$

З індексів незгоди складається матриця незгоди \mathbf{H} , розмірності $m \times m$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} - & \tilde{H}_{12} & \dots & \tilde{H}_{1n} \\ \tilde{H}_{21} & - & \dots & \tilde{H}_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \dots \\ \tilde{H}_{m1} & \tilde{H}_{m2} & \dots & - \end{pmatrix}.$$

У матриці згоди \mathbf{S} в основному, відображена інформація про важливість показників, тобто про величини вагомості, а в матриці незгоди \mathbf{H} наводиться інформація про відмінності між значеннями показників СТС як об'єкта розвитку.

6. Визначення домінуючої матриці згоди. Ця матриця $D_S = \|r_{kl}\|$ складається з нулів і одиниць, причому

$$r_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tilde{S}_{kl} \leq \bar{S}; \\ 0, & \text{якщо } \tilde{S}_{kl} > \bar{S}. \end{cases}$$

Значення \bar{S} можуть бути визначені різними способами, наприклад, як середній індекс згоди, тобто

$$\bar{S} = \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \tilde{S}_{kl} \right) / [m(m-1)]$$

Елементи матриці $D_S = \|r_{kl}\|$ відображають факт домінування одного варіанта СТС над іншим за показниками, які характеризують її, як об'єкт розвитку.

7. Визначення домінуючої матриці незгоди. Ця матриця $D_H = \|q_{kl}\|$ будується аналогічно матриці $D_S = \|r_{kl}\|$. Так

$$q_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tilde{H}_{kl} \leq \bar{H}; \\ 0, & \text{якщо } \tilde{H}_{kl} > \bar{H}. \end{cases}$$

де \bar{H} може знаходитися, як середній індекс незгоди

$$\bar{H} = \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \tilde{H}_{kl} \right) / [m(m-1)]$$

8. Визначення агрегованої матриці домінування $D_A = \|v_{kl}\|$. Ця матриця формується перемноженням відповідних елементів матриці D_S і D_H , тобто $D_A = D_S \cdot D_H = \|r_{kl}\| \cdot \|q_{kl}\| = \|v_{kl}\|$, $\forall k, l; k, l = \overline{1, m}; k \neq l$.

9. Видалення менш бажаних варіантів. Матриця задає часткове впорядкування на безлічі варіантів. Якщо $v_{kl} = 1$, то варіант a_k переважніше варіанта a_l , як за критерієм згоди, так і за критерієм незгоди.

Таким чином, для того щоб вилучити гірші за інші варіанти, потрібно вилучити ті варіанти, для яких у відповідних їм стовбцях матриці D_A , є хоча б одна одиниця. В наслідок того здійснюється цілеспрямований відбір безлічі не домінуючих варіантів. Причому, розглянутий підхід вигідно відрізняється від інших існуючих методів своєю універсальністю і, головне, можливістю коригування результатів вибору по мірі надходження нової інформації про СТС, що розроблюється.

Для подальшого скорочення і оцінки технічного рішення варіантів СТС використовуються, в основному, її показники, як об'єкта функціонування. Але тут потрібно вирішити два питання, які пов'язані з обґрунтуванням номенклатури показників і вибором комплексного показника технічного рішення СТС.

2.4 Обґрунтування номенклатури показників для оцінки технічного рівня варіантів складної технічної системи

До складу показників для оцінки ТР варіантів СТС доцільно включати лише ті показники, які знаходяться в суперечності один з одним. Антагонізм виявляється в тому, що при поліпшенні одного показника спостерігається погіршення іншого. І навпаки, відсутність антагонізму виявляється в тому, що при поліпшенні одного з показників відбувається поліпшення іншого. Вочевидь, що при оцінці варіантів СТС, достатньо враховувати тільки один з таких показників, узагальнюючий деяким чином дані про два показники. Для деяких з них, що є явними антагоністами, суперечливість не треба з'ясовувати, наприклад, прогресивність і комплексність зразка, вага СТС і т.п. Проте, в загальному випадку, визначити наявність або відсутність протиріччя чи інших показників, без спеціальних досліджень важко, так як це залежить як від самих показників, так і від зовнішнього середовища розвитку СТС.

Істотно, що суперечливість тих чи інших показників, при оцінці його варіантів, може виявлятися за різним ступенем. У зв'язку з цим, доцільно ввести якусь міру протиріччя двох показників, яка б показувала як "сильно" суперечать вони один одному. Зокрема, в якості такої міри для двох показників J_i і J_j в ряді джерел [8, 29, 41] пропонується брати довжину Ω_{ij} лівої нижньої межі (ЛНМ), побудованої в відносних координатах (J_i^{omn}, J_j^{omn}) , де J_i^{omn} і J_j^{omn} подані в нормованому вигляді. Дійсно, чим менше ця довжина, тим менше область компромісів (взаємних поступок), отже, тим менше показники суперечать один одному. У межі $\Omega_{ij} = 0$, тобто має місце абсолютне протиріччя показників J_i і J_j . Величина Ω_{ij} в цьому випадку має вигляд

$$\Omega_{ij} = \int_0^1 \sqrt{1 + \left(\frac{dF(J_j^{omn})}{dJ_j^{omn}} \right)^2} dJ_j^{omn}, \quad (2.24)$$

де $J_i^{omn} = F(J_j^{omn})$ рівняння кривої ЛНМ.

У разі, коли ЛНМ носить дискретний характер, тобто складається з дискретної сукупності точок з координатами (J_{ik}, J_{jk}) , то

$$\Omega_{ij} = \sum_{k=1}^{M-1} \sqrt{(J_{ij}^{omn} - J_{ij+1}^{omn})^2 + (J_{jk}^{omn} - J_{jk+1}^{omn})^2}, \quad (2.25)$$

де $k = 1, 2, \dots, M; M \geq 2$.

Але, заходи суперечливості у вигляді (2.24) і (2.25) доволі специфічні і не завжди придатні для вирішення конкретних завдань. Тому, для оцінки міри суперечливості показників СТС, пропонується використовувати ентропійний підхід із залученням методів кластерного аналізу. Це підвищує об'єктивність оцінок суперечливості, дозволяє виявляти раціональне число компонент,

знайдених за результатом оптимізації векторного критерію [62]. Сутність цього підходу полягає в наступному.

Нехай задана матриця значень показників ТР (визначена в ході дослідження) для СТС

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} & J_1 & J_2 & \dots & J_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right\|, \end{matrix} \quad (2.26)$$

де a_1, a_2, \dots, a_m – переважні варіанти вигляду;

J_1, J_2, \dots, J_n – показники ТР;

x_{11}, \dots, x_{mn} – значення показників ТР.

Величини показників ТР нормуються і позначаються r_{ij} . Матриця, складена з безрозмірних показників якості, приймає форму

$$\bar{\mathbf{P}} = \begin{matrix} & J_1 & J_2 & \dots & J_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{matrix} \right\|. \end{matrix} \quad (2.27)$$

Далі знаходиться матриця суперечливих показників ТР відносно один одного. Обчислення проводяться в наступному порядку. Складається n матриць відносних відхилень для кожного i -го показника ТР. Так, для першого показника ТР, матриця $A^{(1)}$ записується у вигляді

$$\mathbf{A}^{(1)} = \left\| \begin{matrix} 1 & A_{21}^{(1)} & \dots & A_{n1}^{(1)} \\ 1 & A_{22}^{(1)} & \dots & A_{n2}^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & A_{2m}^{(1)} & \dots & A_{nm}^{(1)} \end{matrix} \right\|, \quad (2.28)$$

де $\Delta_{ij}^{(1)} = \frac{\min\{r_{i1}, r_{ij}\}}{\max\{r_{i1}, r_{ij}\}}$ – відхилення j -го показника ТР від першого до i -го

варіанту.

На підставі даних матриці $\Lambda^{(1)}$ розраховується рівень ентропії відхилень кожного показника від першого

$$H_j^{(1)} = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta_{ij}^{(1)} \ln(\Delta_{ij}^{(1)}). \quad (2.29)$$

Так як $0 \leq H_j^{(1)} \leq 1$, то можна знайти рівень мінливості j -го показника в межах розглянутої задачі

$$d_j^{(1)} = 1 - H_j^{(1)}, \quad j = \overline{2, n}, \quad (2.30)$$

який за своєю фізичною суттю і визначатиме область компромісів (взаємних поступок) першого показника ТР по відношенню до j -го. Аналогічно складаються матриці для інших показників і по (2.28) – (2.30), відповідно проводяться розрахунки. У результаті обчислень, формується симетрична, з нулями по діагоналі матриця $\|\Omega_{ij}\|_{n \times n}$ суперечливості показників. На рисунку (Додаток Б. 5) показаний алгоритм формування даної матриці.

Далі виявляється кількість груп, які об'єднують показники таким чином, щоб забезпечувалося мінімальне значення сумарної міри суперечливості в кожній з груп. Для цієї мети використовуються методи теорії кластерного аналізу, де в якості «ядер» груп показників виступають центри кластерів, а самі групи в якості кластерів.

Зокрема, можна скористатися методом мінімальної відстані, в якому в якості вихідних даних приймається матриця суперечливості між компонентами $\|\Omega_{ij}\|$. У даній матриці шукається максимальна міра протиріччя Ω_{max} і, якщо $\Omega_{max} < \Omega_{nor}$, то всі первісні компоненти зараховуються в одну групу і робота алгоритму припиняється. Якщо $\Omega_{max} > \Omega_{nor}$, то показники, відповідні відстані Ω_{max} , призначаються центрами кластерів Z_1 і Z_2 . На другому кроці алгоритму

проводиться порівняння між всіма іншими образами вибірки та центрами кластерів Z_1 і Z_2 .

У кожній парі цих мір суперечливостей виділяється мінімальна. Після цього виділяється максимальна з цих мінімальних мір суперечливості. Якщо останнє складає значну частину суперечливості між центрами кластерів Z_1 і Z_2 (наприклад, половину цієї відстані, що дорівнює l), відповідний показник призначається центром кластера Z_3 . В іншому випадку, робота алгоритму припиняється. Необхідно відзначити, що вибором значення l і визначається в результаті кількість одержуваних кластерів («ядер» компонент). На наступному кроці алгоритму проводиться аналогічне порівняння між трьома виділеними центрами кластерів і всіма іншими вибірковими показниками. У кожній групі з трьох заходів суперечливості вибирається мінімальна міра.

Після цього, як і на попередньому кроці, знаходиться максимальна з цих мінімальних мір суперечливостей. Якщо остання складає значну частину «типових» попередніх максимальних мір суперечливостей, то відповідний образ призначається центром кластера Z_4 . В іншому випадку робота алгоритму припиняється.

Рознесення інших компонент за виявленими групами проводиться таким чином, щоб забезпечувалося мінімальне значення сумарної міри суперечливості Ω_q в середині кожної з k виявлених груп. Тут

$$\Omega_q = \sum_{(i,j) \in U_q} \Omega_{ij} \quad , \quad q = \overline{1, k}$$

де U_q – безліч пар (I, J) індексів елементів q -й групи компонентів J_n .

Дані алгоритми, побудовані з урахуванням суперечливості показників, вигідно відрізняються тим, що в кінцевому підсумку виходить обмежена сукупність найбільш суперечливих показників. Кількість цих показників (їх номенклатура) залежатиме від обраного рівня суперечливості, який виражається у визначенні порогу значення Ω_{nor} для вихідної матриці суперечливості, значення якої знаходяться в результаті реалізації алгоритму.

Рівень порогу обирається експертами виходячи із загальної кількості показників і аналізу матриці суперечливості. За даним рівнем порогу і встановлюється остаточно номенклатура, яка включає і показники СТС, як об'єкта розвитку.

Дані алгоритми, побудовані з урахуванням суперечливості показників, вигідно відрізняються тим, що в кінцевому підсумку виходить обмежена сукупність найбільш суперечливих показників. Кількість цих показників (їх номенклатура) залежатиме від обраного рівня суперечності, який виражається у визначенні порогу значення Ω_{nor} для вихідної матриці суперечливості, значення якої знаходяться в результаті реалізації алгоритму (Додаток Б. 5). Рівень порогу обирається експертами із загальної кількості показників і аналізу матриці суперечливості. За даним рівнем порогу встановлюється остаточно номенклатура, яка включає і показники СТС як об'єкта розвитку.

2.5 Визначення комплексного показника оцінки технічного рівня варіантів складної технічної системи

Для подальшого аналізу варіантів СТС пропонується універсальний метод оцінки ТР, який би враховував динаміку зміни ваги показників. На даний час найбільшого поширення набули мультиплікативний і адитивний методи [52, 53]. Перший з них має суттєві недоліки, в силу яких він менш прийнятний до використання. Другий – знайшов більш широке поширення і передбачає отримання узагальненого показника у вигляді суми одиничних

$$R_0 = \sum_{i=1}^N K_i r_i, \quad (2.31)$$

де N – число показників, що знаходяться на нижньому рівні ієрархії;

K_i – коефіцієнт вагомості показника i -ї властивості (кожна властивість характеризується одним або декількома одиничними показниками).

Слід зазначити, що іноді знаходять застосування й інші комплексні показники, але вони, як правило, не мають ясної фізичної сутності [52].

Вочевидь, що далі необхідно визначити коефіцієнти вагомості K_i . При цьому слід врахувати, що коефіцієнт вагомості будь-якого i -го показника K_i відображає відносну вагомість однієї одиниці r_i по відношенню до інших безрозмірних показників, які знаходяться на одному рівні ієрархії. Отже, вагомість, що характеризує важливість i -ої властивості по відношенню до сукупності інших властивостей, залежить від показників цих властивостей, тобто $K_i = F(r_1, r_2, \dots, r_N)$.

Природно, що для конкретного оцінюваного варіанту СТС добуток $K_i r_i$ є величина постійна. Співмножники добутку ($K_i r_i$) можуть приймати будь-які значення в залежності від вибору системи координат, але такі, що за будь-яких перетворень добуток величин

$$K_i^{j_k} r_i^{j_k} = \text{const}_i, \quad (2.32)$$

де j_k – номер системи координат або номер перетворення.

Вираз (2.32) ілюструє інваріантність кількісної оцінки властивості $K_i r_i$ щодо перетворень. Якщо розглядати з позицій інваріантності (2.32) внесок кожної з двох властивостей, що входять у комплексну властивість більш високого рівня ієрархії, то цей внесок буде різний. Нерівноцінність вкладу ΔR також інваріантна щодо рівнянь перетворення, тобто

$$\Delta R = K_i r_i - K_{i-1} r_{i-1}. \quad (2.33)$$

Це обумовлено одним з трьох поєднань показників вагомості

$$K_i \neq K_{i-1}, \quad r_i \neq r_{i-1};$$

$$K_i \neq K_{i-1}, \quad r_i = r_{i-1};$$

$$K_i = K_{i-1}, \quad r_i \neq r_{i-1}.$$

Як видно, необхідно детально досліджувати (2.33) у кожному з трьох випадків. Для цієї мети доцільно взяти систему координат K, r , в якій

комплексний показник R_0 визначається сумою показників r_i^0 , що мають значущість K_0

$$R_0 = \sum_{i=1}^N K_0 r_i^0 = \sum_{i=1}^N K_i r_i$$

З умови інваріантності знаходиться

$$K_i = K_0 \frac{r_i^0}{r_i} \quad (2.34)$$

Щоб встановити зв'язок між r_i , що мають різні ваги та показниками r_i^0 , що мають рівні ваги K_0 і далі визначити за (2.34) K_i , потрібно розглянути один приватний випадок. Нехай $N = 2$, $\Delta R > 0$, тобто $r_1 < r_2$ і $r_1^0 < r_2^0$, тоді вираз (2.33) прийме вигляд

$$\Delta R = (r_2^0 - r_1^0) K_0 \quad (2.35)$$

Нерівноцінність, виражена в різниці ваг кожної з властивостей при показниках r_1^0 і r_2^0 , знаходиться за формулами

$$\Delta R = (K_1 - K_0) r_1^0; \quad (2.36)$$

$$\Delta R = (K_0 - K_2) r_2^0. \quad (2.37)$$

Нерівноцінність показників різної ваги розраховується за виразом

$$\Delta R = K_2 r_2 - K_1 r_1. \quad (2.38)$$

Підставлення ΔR з (2.35) залежно у (2.36) і (2.37), дає:

$$K_1 r_1^0 = K_0 r_2^0;$$

$$K_2 r_2^0 = K_0 r_1^0.$$

При порівнянні (2.35) і (2.38), можливо прийти до рівняння $K_0 r_2^0 - K_0 r_1^0 = K_2 r_2 - K_1 r_1$, з якого в силу умови (2.34) випливає, що

$$K_1 r_1 = K_0 r_1^0;$$

$$K_2 r_2 = K_0 r_2^0.$$

Так як усі коефіцієнти і показники пов'язані інваріантністю (2.32), то визначення показників r_1^0 , r_2^0 , приведених до вагомості K_0 , повинно здійснюватися шляхом спільного вирішення системи чотирьох рівнянь

$$\begin{aligned} K_1 r_1^0 &= K_0 r_2^0 ; \\ K_2 r_2^0 &= K_0 r_1^0 ; \\ K_1 r_1 &= K_0 r_1^0 ; \\ K_2 r_2 &= K_0 r_2^0 . \end{aligned} \quad (2.39)$$

Вирішення системи (2.39) щодо r_1^0 , r_2^0 дає

$$r_1^0 = \sqrt[3]{r_1^2 r_2} ; \quad r_2^0 = \sqrt[3]{r_1 r_2^2} .$$

Тоді рівняння (2.34) буде мати вигляд

$$\begin{aligned} K_i &= K_0 \sqrt[3]{r_i^2 r_j} (r_i)^{-1} \quad \text{для } i = 1 ; \\ K_2 &= K_0 \sqrt[3]{r_1 r_2^2} (r_2)^{-1} \quad \text{для } i = 2 \end{aligned} \quad (2.40)$$

У рівняннях (2.40) вагомості K_1 і K_2 виражені через безрозмірні показники властивостей r_1 , r_2 , які відомі за умовою, і невідому постійну K_0 .

Комплексний показник в цьому випадку є співвідношення

$$R_0 = K_0 \left(\sqrt[3]{r_1^2 r_2} + \sqrt[3]{r_1 r_2^2} \right). \quad (2.41)$$

Як видно з (2.41), значення R_0 залишити невідомою величиною. вираженого сумою ступеневих функцій безрозмірних показників і постійної K_0 . Так як стоїть завдання оцінки рівня якості, а не обчислення абсолютного значення R_0 , то цілком припустимо довільно обране.

Наведені вище математичні викладки зроблені при обмеженнях, що накладаються на співвідношення між показниками та між вагами. Якщо розглядати більш загальний випадок $|\Delta R|$ і не накладати обмеження на співвідношення між показниками і вагою, то можна отримати системи рівнянь, відмінні від (2.39). Однак, умовам безперервності всередині діапазону зміни безрозмірних показників $0 \leq r_i \leq 1$ і умові незалежності показників відповідає

лише система (2.39) і відповідні їй співвідношення ваг і показників. В іншому випадку інваріантність (2.32) не існує, а, отже, застосування адитивної форми комплексного показника неправомірно. Якщо комплексний показник визначається трьома, чотирма та більшим числом показників, то, за аналогією з попереднім складається система шести, восьми і т.д. рівнянь, вирішення якої для любого r_i^0 має вигляд

$$r_i^0 = 2^{N_k - 1} \sqrt[N_k]{\prod_{i=1}^{N_k} r_i^{2^p}}. \quad (2.42)$$

де N_k – число безрозмірних показників, що складають комплексний показник;

p – змінний показник ступеня, значення якого визначається з квадратної таблиці матриці

$$P = \{p_{ij}\} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & \dots & N_k \end{matrix} \\ \begin{matrix} r_1^0 \\ r_2^0 \\ r_3^0 \\ \dots \\ r_{N_k}^0 \end{matrix} & \left\| \begin{array}{ccccc} N_k - 1 & N_k - 2 & N_k - 3 & \dots & 0 \\ 0 & N_k - 1 & N_k - 2 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & N_k - 1 & \dots & 2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_k - 2 & N_k - 3 & N_k - 4 & \dots & N_k - 1 \end{array} \right\| \end{matrix}.$$

Остаточню комплексний показник знаходиться за допомогою виразу

$$R_0' = \frac{R_0}{K_0} = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} r_i^0 = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} 2^{N_k - 1} \sqrt[N_k]{\prod_{i=1}^{N_k} r_i^{2^p}}, \quad (2.43)$$

де R_0' – комплексний показник, віднесений до вагомості K_0 ;

p_{ij} – значення в квадратичній таблиці-матриці P , яке знаходиться в i -му рядку і j -му стовпці. Коефіцієнт $1/N_k$ уведений у формулу для того, щоб незалежно від числа N_k значення комплексного показника було в межах $0 \dots 1$.

Особливим є випадок, коли в якості вагомості, до якої наводяться значущості всіх показників, обирається вагомість одного з них, тобто $K_0 = K_i$.

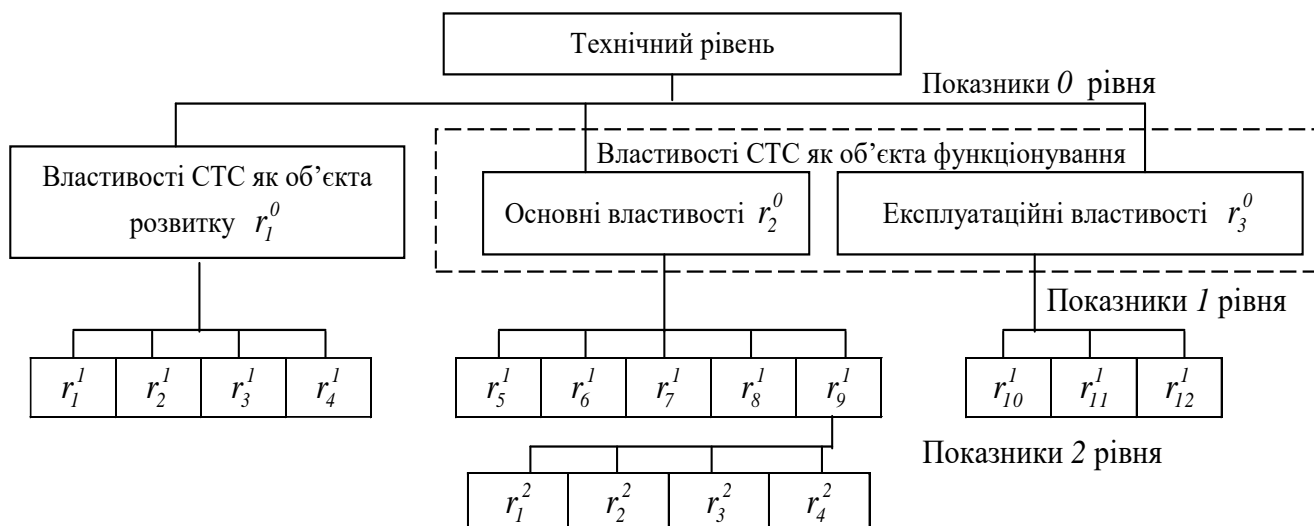


Рисунок 2.3 – Ієрархічна структура властивостей і показників варіанту СТС
(варіант структури властивостей)

Нехай для визначеності $K_0 = K_i$, тоді, аналогічно попередньому, нерівноцінність рівних показників при різних вагах виразиться наступними трьома рівняннями

$$\Delta R = K_2 r_2 - K_1 r_1; \quad (2.44)$$

$$\Delta R = (K_1 - K_2) r_1^0; \quad (2.45)$$

$$\Delta R = K_1 (r_1^0 - r_1). \quad (2.46)$$

Підставивши в рівності (2.44) і (2.45) замість ΔR його значення з виразу (2.46), можна отримати систему

$$\begin{cases} K_2 r_2 = K_1 r_1^0 \\ K_1 r_1 = K_2 r_1^0 \end{cases} \quad (2.47)$$

вирішення якої дає

$$r_1^0 = \sqrt{r_1 r_2}. \quad (2.48)$$

У цьому випадку, відповідно до рівності (2.31),

$$R_0 = K_1 (r_1 + \sqrt{r_1 r_2}) = K_1 r_1 + K_2 r_2, \quad (2.49)$$

де $K_2 r_2 = K_1 r_1^0 = K_1 \sqrt{r_1 r_2}$.

Якщо наводити R_0 до показника вагомості K_2 , то $R_0 = K_2 (r_2 + \sqrt{r_1 r_2})$. Як і в раніше розглянутій ситуації, приведення всіх показників до вагомості K_1 або K_2

замість K_0 , дозволяє скласти інші системи рівнянь. Однак, якщо показники незалежні і безперервні в діапазоні $0 \dots 1$, то існує єдине рішення у формі (2.43).

Зіставляючи два випадки приведення до однієї вагомості (2.43) і (2.49), видно, що вираз (2.43) відповідає умові: якщо хоча б один з безрозмірних показників, що входять в комплексний, дорівнює нулю, то комплексний показник дорівнює нулю ($r_l = 0, R_0 = 0$).

Вираз (2.49) відповідає умові: один з безрозмірних показників, що входять в комплексний, дорівнює нулю, а комплексний показник в нуль не звертається ($r_l = 0, R_0 \neq 0$).

Відмінною рисою викладеного методу є те, що коефіцієнти вагомості не розглядаються як визначення величини, рівняння (2.40), (2.42) і (2.49). Чим важче забезпечити задане значення показника, тим важливішим він є. Чим ближче показник до свого граничного значення, тим менше його вагомість.

Основним законом розвитку будь-якої СТС є неявний взаємозв'язок показників. При зміні одного показника, навіть найбільш важливого, його вплив на зростання комплексного показника поступово згасає через обмеження, що створюється іншими показниками, які не змінюються.

Постійний темп зростання комплексного показника може бути тільки при одночасному і пропорційному змінненні всіх показників. Таким чином, якщо оцінюється конкретна СТС з певними значеннями показників, то кожен з них має постійну вагомість. Якщо в розглянутій СТС, у порівнянні з базовою, змінений хоча б один показник, то зміняться вагомості всіх показників, що входять в ієрархію. Це знаходить відображення, як в первинній передумові $K_i = F(r_1, r_2, \dots, r_N)$, так і в структурі формул для визначення комплексного показника, що є сумою показових функцій.

Постійний темп зростання комплексного показника може бути тільки при одночасному і пропорційному вимірюванні всіх показників. Тому, якщо оцінюється конкретна СТС з певними значеннями показників, то кожен з них має постійну вагомість. Якщо в СТС, яка розглядається, в порівнянні з базовою, змінений хоча б один показник, то зміняться вагомості усіх показників, що

входять в ієрархію. Це знаходить відображення, як в первинній передумові $K_i = F(r_1, r_2, \dots, r_N)$, так і в структурі формул для визначення комплексного показника, що є сумою показників функцій.

Що стосується визначення комплексного показника R_0 на основі викладених передумов, то він є відносною величиною, пропорційною K_0 . Для визначення K_0 вихідної інформації недостатньо, але для того, щоб зробити висновок, який з варіантів СТС краще, цілком достатньо відносного значення R_0/K_0 .

2.6 Оцінка ступеню впливу показників складної технічної системи, як об'єкта розвитку на комплексний показник технічного рівня

На кінцевому етапі прийняття рішення щодо перспективної СТС необхідно оцінити ступінь впливу її на комплексний показник ТР. Доцільність вирішення поставленого завдання впливає з реально існуючого процесу узгодження між розробником і замовником остаточних властивостей і показників СТС. Вочевидь, що при цьому необхідно дослідити функцію багатьох змінних, щоб встановити, як зміна одного з аргументів впливає на функцію, і знайти такі показники, зміна яких на величину δ дає найбільший приріст функції, тобто комплексного показника ТР.

Рішення цієї задачі найбільш зручно здійснити за допомогою методу градієнтного спуску, оскільки в даному випадку важливо не кінцеве значення R_0 (воно може бути задано), а динаміка його зміни і послідовність властивостей, показників, що здійснюють найбільший вплив на приріст величини ТР при пошуку градієнта в кожній точці функції $R_0 = f(r_1, \dots, r_N)$.

Якщо надавати приріст поодиноким показникам, то можна спостерігати картину зростання, а потім зменшення впливу їх на зростання комплексного показника, а також фіксувати послідовність переходу пріоритету важливості від одних властивостей до інших. При дослідженні градієнту функції комплексного

показника, легко простежити ступінь впливу поодиноких показників СТС, як об'єкта розвитку, на комплексний показник і дати висновок про доцільність їх обліку на ранніх етапах розробки.

Алгоритм оцінки впливу цих показників на величину його комплексного показника на основі дослідження градієнта функції, що розглядається, включає наступні етапи:

1. Встановлюється вид функції на основі ієрархії властивостей, $R_0 = f(r_1, \dots, r_N)$.

2. Задаються межі зміни аргументів і кроки зміни δ , загальні для всіх показників, тобто $r_{0,j} \leq r_j \leq r_{jmax}$,

де $r_{0,j}$ – найменше значення j -го безрозмірного показника;

r_{jmax} – можливе найбільше значення j -го безрозмірного показника.

3. Задається необхідне значення комплексного (узагальненого) показника СТС, що розроблюється R_0^{TP} .

4. Обчислюється значення функції в точці з координатами $R_0 = f(r_1, \dots, r_N)$.

5. Визначається N нових значень узагальненого показника за умови, що кожному з аргументів надається прирощення δ

$$\begin{aligned} & R_{0,1}^u(r_{0,1} + \delta, r_{0,2}, \dots, r_{0,N}) ; \\ & R_{0,2}^u(r_{0,1}, r_{0,2} + \delta, \dots, r_{0,N}) ; \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \\ & R_{0,j}^u(r_{0,1}, r_{0,2}, \dots, r_{0,j} + \delta, \dots, r_{0,N}) ; \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \\ & R_{0,N}^u(r_{0,1}, r_{0,2}, \dots, r_{0,N} + \delta) , \end{aligned}$$

де $R_{0,j}^u$ – значення узагальненого показника при зміні j -го показника на величину δ .

6. Перевіряється умова $r_j + \delta \leq r_{jmax}$. Якщо умова не виконується, то приймається $r_j + \delta = r_{jmax}$.

7. Знаходиться приріст функції $\Delta R_{0,j}^u$ при зміні j -го показника на величину δ

$$\Delta R_{0,1}^u = R_{0,1}^u - R_0^u ;$$

$$\Delta R_{0,2}^u = R_{0,2}^u - R_0^u ;$$

... ..

$$\Delta R_{0,j}^u = R_{0,j}^u - R_0^u ;$$

... ..

$$\Delta R_{0,N}^u = R_{0,N}^u - R_0^u .$$

8. Виконується ранжування приросту функції. Кожному $R_{0,j}^u$ ставиться у відповідність прирощення $\Delta R_{0,j}^u$, тобто

$$\Delta R_{0,j}^u < \Delta R_{0,j-k}^u < \dots < \Delta R_{0,N-1}^u .$$

9. Визначається максимальне збільшення $\max \Delta R_{0,j}^u$.

10. Для всіх $J = 1, \dots, N$ обчислення за етапами 4 ... 8 повторюються до тих пір, поки $R_{0,j}^u \geq R_0^{TP}$.

На рисунку (Додаток Б. 6) наведена схема розглянутого алгоритму.

В ході реалізації наведеного алгоритму визначаються показники, які надають значний вплив на комплексний показник СТС, оцінюється вклад властивостей (поодиноких показників) в досягнення необхідного ТР, оцінюється роль показників, які раніше не враховувалися.

Висновки за розділом 2

Проведено обґрунтування номенклатури властивостей СТС, як об'єкта розвитку і побудована відповідна ієрархічна структура. Ці властивості враховують всі види розробки СТС (модернізаційну, на оригінальних технічних рішеннях і на НПД), що забезпечує облік законів і закономірностей розвитку СТС.

Визначено підходи до формування показників властивостей СТС, як об'єкта розвитку на якісній основі.

Розроблено алгоритм побудови функції приналежності, який призначений для оцінки властивостей СТС, яка функціонує на НПД.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТА РОЗВИТКУ

3.1 Модель прогнозування новизни складної технічної системи

Аналіз процесу розвитку зразка СТС показує, що на ранніх етапах розробки, коли ще не розроблена концепція побудови майбутньої СТС, необхідно знати, на скільки зміниться її обрис з урахуванням існуючих тенденцій розвитку. Прогнозування новизни має, передусім, враховувати наступне: результати аналізу процесу розвитку СТС, можливі види новизни і доцільні методи їх прогнозування.

При аналізі процесу розвитку і визначенні видів новизни слід керуватися даними щодо структурних змін зразка СТС відносно базового. Тому можна простежити зв'язок тимчасових характеристик розробки з новизною і скористатися їй у запропонованій постановці завдання. Це дасть можливість в залежності від періоду упередження прогнозу зробити висновок про вид новизни майбутньої СТС, маючи при цьому тільки інформацію щодо її ймовірних прототипів.

З урахуванням першої характерної особливості розвитку СТС, яка підкреслює спадкоємність розвитку, новизна може мати свої, не вивчені різновиди.

Модернізаційна новизна (МН) передбачає у наступника, по відношенню до базової СТС, наявність більш досконалих блоків, підсистем, які відповідно видозмінені. Загальна схема організації конструкції наступника не змінюється або змінюється, але зовсім незначно. Це призводить до поліпшення окремих характеристик наступника і розширенню його функціональних можливостей.

Конструктивна новизна (КН) зустрічається не так часто як модернізаційна. У цьому випадку у наступника, в порівнянні з базовою СТС, спостерігається ряд принципових відмінностей в загальній конструктивній схемі, які обумовлені

появою нових блоків, елементів, підсистем або оригінальних технічних рішень в рамках класичної схеми на старих ПД.

Модернізаційно-конструктивна (МКН) і конструктивно-модернізаційна (КМН) новизна припускає наявність у наступника елементів одночасно МН і КН.

У загальному випадку новизна оцінюється показником:

$$K = 1 - \frac{M_n - m - n - k}{M_{\pi}} = \frac{m + n + k}{M_{\pi}}, \quad (3.1)$$

де M_n – кількість основних блоків, елементів, підсистем наступника;

m – кількість основних блоків, елементів, підсистем наступника, в яких була проведена модернізація;

n – кількість основних блоків, елементів, підсистем, виконаних на оригінальних технічних рішеннях в рамках існуючої класичної схеми;

k – кількість нових основних блоків, елементів, підсистем наступника по відношенню до базової СТС ($M_{\pi} = M_{\delta} + k$, M_{δ} – кількість основних блоків, підсистем базової СТС).

У цьому випадку показники m , n і k можна назвати структурними характеристиками прийнятливої схеми розвитку і вважати, що при:

$$\begin{aligned} m \geq 1, n = 0, k = 0 & \text{ – спостерігається МН,} \\ m \geq 1, n \geq 1, k = 0 & \text{ – спостерігається МКН,} \\ m \geq 1, n \geq 1, k \geq 0, (m > n + k) & \text{ – спостерігається КМН,} \\ m \geq 0, n \geq 0, k \geq 1, (m < n + k) & \text{ – спостерігається КН.} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Так встановлюються межі, при зміні яких змінюється вид новизни СТС.

Необхідно зупинитися на факті існування новофізичної новизни (НН), яка порівняно рідко зустрічається в процесах розвитку. Вона пов'язана з появою у СТС нових принципів функціонування, які до цього не використовувалися. При цьому її стара класична схема замінюється новою і з'являється зовсім інше покоління. При цьому важко обрати коефіцієнт новизни, його вид, тому що відсутні дані про структурні параметри таких СТС. У зв'язку з цим є логічним подати коефіцієнт новизни через тимчасові характеристики (час розробки базової

СТС $t_{p\bar{o}}$ і час розробки наступниці t_p) і надати йому вірогідне трактування. Тоді приймається припущення, що чим більше час розробки СТС, тим новіше її конструкція. В цьому випадку коефіцієнт новизни має вигляд $K = t_p/t_{p\bar{o}}$. Таким чином, для кожної i -й пари СТС (базова-наступниця) можна визначити значення K_i . Припускаючи, що величини $t_p, t_{p\bar{o}}$ випадкові, і розподілені за експоненціальним законом відповідно з параметрами $\lambda_p, \lambda_{p\bar{o}}$ і густиною ймовірностей $f(t_{p\bar{o}}K), f(t_{p\bar{o}})$, можна визначити аналогічно густину ймовірності для K .

$$g(K) = \int_0^{\infty} t_{p\bar{o}} f(t_{p\bar{o}}K) f(t_{p\bar{o}}) dt_{p\bar{o}} = \frac{\lambda_p \lambda_{p\bar{o}}}{(\lambda_{p\bar{o}} + \lambda_p K)^2}.$$

Тоді граничні коефіцієнти, при зміні яких змінюється вид новизни, знаходяться за виразами:

$$\begin{aligned} K^1 &= \frac{1}{l_M} \sum_i K_i^1, & K^3 &= \frac{1}{l_{K-M}} \sum_i K_i^3, \\ K^2 &= \frac{1}{l_{M-K}} \sum_i K_i^2, & K^4 &= \frac{1}{l_K} \sum_i K_i^4, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де $l_M, l_{M-K}, l_{K-M}, l_K$ – кількість пар СТС (базова-наступниця) з МН, МКН, КМН і КН відповідно;

$K_i^1, K_i^2, K_i^3, K_i^4$ – значення коефіцієнта новизни i -й пари СТС відповідно з МН, МКН, КМН і КН.

Відомі граничні коефіцієнти, дозволяють визначити ймовірності оцінки новизни на ділянці ретроспекції

$$\begin{aligned} P_1 &= \int_0^{K^1} g(K) dK = \frac{\lambda_p K^1}{\lambda_{p\bar{o}} + \lambda_p K^1}, \quad (\text{МН}) \\ P_j &= \int_{K^{j-1}}^{K^j} g(K) dK = \frac{\lambda_p \lambda_{p\bar{o}} (K^j - K^{j-1})}{(\lambda_{p\bar{o}} + \lambda_p K^j)(\lambda_{p\bar{o}} + \lambda_p K^{j-1})}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

($j=2$ -МКН, $j=3$ -КМН, $j=4$ -КН),

$$P_5 = \int_{K^4}^{\infty} g(K) dK = \frac{\lambda_{p\bar{o}}}{\lambda_{p\bar{o}} + \lambda_p K^4} \cdot (\text{НН})$$

Ці ймовірнісні оцінки новизни, що залежать від граничних коефіцієнтів K^j , $j = \overline{1,4}$ (3.3) і параметрів законів розподілу величин $t_p, t_{p\bar{o}}$, задовольняють умові нормування $\sum_i^5 P_i = 1$.

При прогнозуванні новизни доцільно використовувати прийняту схему посилення новизни (МН - МКН - КМН - КН - ПН), яка характерна розвитку, що приймається. Тоді ступеню новизни конструкції майбутньої СТС можна поставити у відповідність вірогідну оцінку

$$P(K^*) = P(K < K^*) = \int_0^{K^*} g(K) dK = \frac{\lambda_{\odot p} K^*}{\lambda_{p\ddagger} + \lambda_{\odot p} K^*}, \quad (3.5)$$

де $K^* = (t_{упр} + \Delta t) / t_{упр}$ – значення коефіцієнта її новизни, для якого можлива базова СТС має час розробки $t_{p\bar{o}}$

Δt – проміжок часу між початком розробки майбутньої СТС і часом проведення прогнозу («+» ставиться, якщо розробка почалася до моменту проведення прогнозу, «-» – після).

Висновок про новизну робиться шляхом перевірки наступних нерівностей:

$$\begin{aligned} P(K^*) &\leq P_1^* - \text{МН}; \\ P(K^*) &\leq \sum_i^2 P_i^* - \text{МКН}, \\ P(K^*) &\leq \sum_i^3 P_i^* - \text{КМН}; \\ P(K^*) &\leq \sum_i^4 P_i^* - \text{КН}; \\ P(K^*) &> \sum_i^4 P_i^* - \text{НН}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Якщо нерівність не виконується, то переходять до наступної, якщо виконується, то відповідний йому вид новизни є остаточним. Розрахунок K^* передбачає використання середнього часу розробки декількох базових СТС.

Необхідно розглянути виконання окремих процедур прогнозування новизни. При знаходженні прогнозних значень K_*^j , $j = \overline{1,4}$ потрібно використовувати методи прогнозування кількісних характеристик на основі коротких динамічних рядів. Це пояснюється обмеженою інформацією щодо наступності СТС. Найбільш ефективним, в цьому випадку, буде метод прогнозування на основі орієнтованого процесу випадкового пошуку [126].

При обмеженій інформації щодо наступності при прогнозуванні необхідно обов'язково використовувати інформацію про СТС, розробка яких розпочата, але не завершена. Для цього застосовується метод максимальної правдоподібності. Спочатку формується функція правдоподібності, потім вона логарифмується і результат диференціюється по λ_p , а отриманий вираз прирівнюється до нуля:

$$\frac{n_o}{\lambda_p} - \left(\sum_{i=1}^{n_o} t_{pi} + \sum_{i=1}^{N_o} t_{pi}^{H\%} \right) = 0,$$

$$\text{звідки } \lambda_p' = \frac{n_o}{\sum_{i=1}^{n_o} t_{pi} + \sum_{i=1}^{N_o} t_{pi}^{H\%}}, \quad (3.7)$$

де n_o , N_o – кількість СТС, розробка яких завершена чи не завершена.

Використовуючи n_o значень t_{pi} і N_o значень інтервалів часу від початку розробки i -ї СТС до поточного часу $t_{pi}^{H\%}$ можна отримати уточнену оцінку λ_p' .

Основні етапи алгоритму прогнозування наведені в таблиці 3.1.

Необхідно відзначити, що в разі зміни законів розподілу величин t_p і $t_{p\delta}$ порядок одержання оцінок новизни залишається незмінним.

Запропонований методичний апарат дає можливість прогнозувати появу СТС, яка не має аналогу, що є, безсумнівно, його перевагою. Це підтверджується тим, що відповідно до (3.6) спостерігається НН.

При виконанні етапу 3 алгоритму прогнозування новизни, як правило, будуються екстраполяційні моделі прогнозування величин K_i . Враховуючи специфіку такого прогнозування, яка полягає в наявності короткого динамічного ряду і кореляційного зв'язку між наступними і попередніми його зростаннями, пропонується використовувати модель прогнозування на основі орієнтованого процесу випадкового пошуку [52].

Таблиця 3.1 – Алгоритм прогнозування новизни зразка СТС

Основні етапи прогнозування
<p>1. Формування масиву вихідних даних за величинами $t_p, t_{pб}$, видам новизни, величинам K_i (наприклад, табл. А.1) і інтервалами часу $t_{pi}^{нв}$. Перевірка експоненціальності величин $t_p, t_{pб}$ і розрахунок параметрів $\lambda_{pб} = 1/\bar{t}_{pб}, \lambda_p = 1/\bar{t}_p$ де $\bar{t}_{pб}$ і \bar{t}_p відповідно середні значення $t_{pб}, t_p$. Величини K_i і види, або ЯХ, новизни визначаються послідовним аналізом базових зразків СТС і їх наступників і розрахунком за (1.2).</p> <p>2. Розрахунок граничних коефіцієнтів за виразами (1.3) і імовірносних оцінок новизни за (1.4) на ділянці ретроспекції.</p> <p>3. Побудова екстраполяційної моделі зміни величин K_i для j-го виду новизни $K^j(t)$ ($j=1$-МН, $j=2$-МКН, $j=3$-КМН, $j=4$-КН) і отримання відповідно до періоду упередження t_{ynp} прогнозних значень $K_*^j(t)$, $j = \overline{1,4}$.</p> <p>4. Розрахунок уточненої оцінки λ'_p за (1.7) за наявності даних про зразки СТС, розробка яких не закінчена ($t_{pi}^{нв}$).</p> <p>5. Розрахунок імовірнісних оцінок новизни на період упередження t_{ynp} за виразами (1.4), з використанням значень K_*^j і λ'_p.</p> <p>6. Визначення коефіцієнтів новизни K^* для майбутнього зразка СТС на основі відомостей про його можливий базовий зразок (зразки) СТС.</p> <p>7. Розрахунок за (1.5) ймовірнісної оцінки $P(K^*)$, на основі якої по (1.6) робиться висновок про вид новизни майбутнього зразка СТС.</p>

Нехай є короткий динамічний ряд зміни величин $K_i, i = \overline{1, N}$ (N -число членів ряду) для j -го виду новизни СТС ($j=1$ -МН, $j=2$ -МКН, $j=3$ -КМН, $j=4$ -КН). Передбачається існування кореляційного зв'язку між наступними і попередніми зростаннями ряду і наявність їх нормального двовимірного розподілу. Необхідно здійснити прогноз коефіцієнта новизни, визначити середнє значення прогнозу і його дисперсію для числа реалізацій точкового прогнозу до k при періоді упередження $t_{упр}$. Алгоритм прогнозування наведений в таблиці (Додаток В. 1)

Таким чином, розроблена модель прогнозування новизни перспективної СТС, яка може бути використана в подальшому при розробці спрощених процедур формування її обрису за очікуваною новизною.

3.2 Модель прогнозування морального старіння складної технічної системи

Для складних технічних систем розрізняють два види морального старіння (МрС) [2]. Перше з них - це процес зменшення витрат на створення нових виробів з аналогічними технічними параметрами. Другий полягає в зменшенні або втраті частини вартості (знеціненні) внаслідок створення та впровадження у виробництво більш нових, більш продуктивних і економічних виробів. Тому є доцільним за момент морального старіння зразка СТС приймати початок розробки нового об'єкта аналогічного призначення. Тоді процес морального старіння можна характеризувати проміжком часу T від початку розробки зразка СТС, що досліджується до початку розробки його наступника. Час T використовується в моделях, які тим чи іншим чином відображають процеси морального старіння. Складовими його є час розробки T_p і час активної експлуатації T_e . Для визначення законів розподілу цих складових слід опрацьовувати статистичні дані за певний період [4]. Густина ймовірностей цих даних дозволяє сформулювати моделі морального старіння СТС за окремі періоди її ЖЦ і циклу в цілому, модель впливу на моральне старіння існуючого зразка СТС,

модель технічного рівня зразка СТС, що розроблюється і модель впливу тривалості окремих стадій ЖЦ.

Закони розподілу величин T , T_p , T_e мають вигляд

$$\begin{aligned} f(t) &= 0,5 \cdot \lambda_c^3 \cdot t^2 \cdot \exp(-\lambda_c t), \\ f_p(t) &= \lambda_p \cdot \exp(-\lambda_p t), \\ f_e(t) &= 0,5 \cdot \mu^3 \cdot t^3 \cdot \exp(-\mu t). \end{aligned}$$

Припустимо, що ймовірність морального старіння за весь період ЖЦ визначається законом розподілу випадкової величини T і заданим терміном t :

$$F(t) = P\{T < t\} = 1 - \exp\left\{ -\lambda_c t + \ln\left[(\lambda_c t + 1)^2 + 1 \right] \ln 2 \right\}, \quad (3.8)$$

Тоді ймовірність протилежної події, або ймовірність того, що СТС не застаріє, буде мати вигляд:

$$P(t) = P\{T \geq t\} = \exp\left\{ -\lambda_c t + \ln\left[(\lambda_c t + 1)^2 + 1 \right] \ln 2 \right\}, \quad (3.9)$$

де λ_c - інтенсивність старіння.

А інтенсивність морального старіння СТС на обраній ділянці ретроспекції:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\lambda_c^3 t^2}{(\lambda_c t + 1)^2 + 1}, \quad (3.10)$$

В якості основної моделі морального старіння приймається залежність (3.9) в силу її більшої спільності.

Модель розрахунку ймовірності події A , що полягає в тому, що СТС морально не застаріє на етапі розробки, необхідна у зв'язку з беззупинним зростанням темпів НТП. Для визначення ймовірності події A введемо індикаторну функцію $z = T_p/T$ з густиною розподілу $g(z)$. При $z < 1$ проявляється подія A тоді:

$$P(A) = \int_0^1 g(z) dz, \quad (3.11)$$

Тому, що величини T і T_p - є позитивними, функція $g(z)$ має вигляд:

$$g(z) = \int_0^{\infty} T f(zT) f(T) dT \quad (3.12)$$

Тоді:

$$g(z) = \frac{\lambda_p \lambda_c^{k+1}}{k!} \times \frac{\Gamma(k+2)}{(\lambda_p z + \lambda_c)^{k+2}}, \text{ при } k=2,$$

$$P(A) = \frac{3\lambda_c \lambda_p (\lambda_c + \lambda_p) + \lambda_p^3}{(\lambda_c + \lambda_p)^3}. \quad (3.13)$$

Задача оцінки ступеню впливу технічного рівня нових СТС, що розроблюються, на моральне старіння існуючого зразка доцільна в плані перевірки основної моделі. Розглянемо події:

M – СТС не застаріла за час $(t, t + dt)$ (\bar{M} – протилежна подія);

B – СТС застаріла за час $(0, t)$;

C – СТС застаріла за час $(0, t + dt)$.

Якщо, події \bar{M} і B незалежні, можна визначити ймовірність події C :

$$P(C) = P(\bar{M}) \times P(B),$$

$$\text{але } P(\bar{M}) = 1 - P(M), P(B) = 1 - P(t), P(C) = 1 - P(t + dt).$$

$$\text{Тоді } P(M) | 1 - P(t) | = P(t + dt) - P(t), P(M) = \frac{P(t + dt) - P(t)}{1 - P(t)}.$$

Якщо припустити, що ймовірність еквівалентна зміні технічного рівня dW за час dt , можна записати[11]:

$$P(M) \approx dW \text{ або } \frac{P(t + dt) - P(t)}{1 - P(t)} \approx dW, \quad (3.14)$$

Інтегрування обох частин виразу (3.14), дає:

$$\int_0^{P(t)} \frac{dP(t)}{1 - P(t)} = \int_0^{\Delta W} dW, \quad P(t) = 1 - \exp\{-\Delta W\}, \quad (3.15)$$

де ΔW – приріст технічного рівня.

Таким чином, вираз (3.15) дає можливість визначити значення ймовірності того, що СТС морально не застаріє в момент, коли була почата розробка її наступниці. Величина ΔW є випадковою, тому неважко визначити значення:

$$P_{-p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i,$$

де N – обсяг досліджуваної вибірки;

P_i – значення ймовірності, розраховане за виразом (3.15) для i -й реалізації.

Для знаходження ΔW використовується моделююча залежність з оцінки технічного рівня. Модель, яка оцінює вплив тривалості етапів ЖЦ, заснована на визначенні законів розподілу часів T_p і T_e . Якщо час морального старіння T є сумою часу T_p і T_e і вони є незалежними, отримаємо закон розподілу T

$$f(t) = \int_0^{\infty} f(T - T_e) f(T_e) dT_e$$

На основі даних після відповідних перетворень, маємо:

$$f(t) = \frac{\lambda_p \mu^3}{(\mu - \lambda_p)^3} \times (e^{-\lambda_p t} - e^{-\mu t}) - \frac{\lambda_p \mu^3 t^2}{2(\mu - \lambda_p)^2} \times e^{-\mu t} - \frac{\lambda_p \mu^3 t}{(\mu - \lambda_p)^2} \times e^{-\mu t}$$

$$P(t) = 1 - \left\{ \frac{\mu^2}{(\mu - \lambda_p)^2} - \frac{\mu^2}{(\mu - \lambda_p)^3} \times \left(\lambda_p e^{-\mu t} - \mu e^{-\lambda_p t} \right) - \frac{\lambda_p}{2(\mu - \lambda_p)^2} \times \right.$$

$$\left. \times \left(2 - e^{-\mu t} \{ (\mu t + 1)^2 + 1 \} \right) - \frac{\mu \lambda_p}{(\mu - \lambda_p)^2} \times \left(1 - e^{-\mu t} (\mu t + 1) \right) \right\}.$$

Дані моделі характеризують процес морального старіння СТС на ділянці ретроспекції. Перша з них є основною, тому що вона в загальному вигляді показує зміну ймовірності того, що СТС не застаріє протягом ЖЦ. Друга модель (3.13) доповнює першу і характеризує моральне старіння СТС на етапі розробки. Третя і четверта моделі можуть бути використані для перевірки адекватності основної моделі. Одним з показників адекватності може бути невелика відмінність ймовірностей того, що СТС морально не застаріє в момент початку розробки її наступниці, визначених за першою, третьою і четвертою моделями.

Другим етапом прогнозування морального старіння є визначення параметрів основної моделі. При розгляді процесу морального старіння на ділянці ретроспекції враховувалися СТС, заміна яких вже проведена. При прогнозуванні цього процесу потрібно враховувати всю інформацію про зразки СТС, в тому числі і про тих, які ще морально не застаріли. Для охоплення всієї сукупності розглянутих зразків СТС доцільно використовувати метод максимальної

правдоподібності. Для цього потрібно ввести функцію ймовірності їх станів. Тоді прогнозовані параметри основної моделі обираються з умови максимуму цієї ймовірності. У розглянутій задачі її можна подати у вигляді

$$L = \prod_{i=1}^{n_0} f(t_i) \Delta t_i \prod_{i=n_0+1}^{n_0+N_0} [1 - F(t_i)]$$

де n_0 і N_0 – кількість морально застарілих і не застарілих зразків СТС.

Шляхом перетворень приходимо до виразу

$$\frac{d \ln L}{d \lambda_c} = \frac{3n_0}{\lambda_c} - \sum_{i=1}^{n_0+N_0} t_i + \sum_{i=1}^{N_0} 2t_i \frac{(\lambda_c t_i + 1)}{(\lambda_c t_i + 1)^2 + 1} = 0.$$

Його рішення дозволяє визначити параметр моделі λ_c . Період попередження прогнозу морального старіння характеризується співвідношенням

$$t_{ynp} = t_{н.в.} - T_{н.в.}^{cp} + \bar{m}$$

де $t_{н.в.}$ – момент теперішнього часу;

$$T_{н.в.}^{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_0} T_{н.в.}^i - \text{середнє значення } T_{н.в.}^i;$$

\bar{m} – математичне очікування випадкової величини, з законом $f(t)$.

З урахуванням залежності (3.13), прогноз морального старіння доповнюється характеристикою його на етапі розроблення.

На ранніх етапах розробки оцінка рівня морального старіння проводиться за допомогою якісних характеристик (ЯХ). Серед них:

відсутність ознак морального старіння, як правило, це спостерігається на самому початку розробки СТС;

слабкі ознаки морального старіння, чітко проявляються до кінця розробки;

часткове моральне старіння, обумовлено початком розроблення нових СТС, що за своїм рівнем значно перевищують існуючі СТС (але розробка нової СТС ще не розпочата);

середнє моральне старіння, обумовлено початком розробки нової СТС на заміну існуючої;

велике моральне старіння, відповідає прийняттю до експлуатації наступниці;

повне моральне старіння, відповідає фізичній утилізації СТС.

Розроблені моделі МрС дають можливість цим ЯХ поставити у відповідність конкретні кількісні значення ймовірності того, що СТС не застаріє. Так, наприклад, для конкретної СТС на ділянці ретроспекції за моделлю (3.9) отримані наступні значення $P(t)$:

$$\text{ВМрС}, P(0) = 1;$$

$$\text{СМрС}, P(t_p^{cp}) = 0.9182;$$

$$\text{ЧМрС}, P(t_p^{cp} + t_3^{cp} / 2) = 0.5795;$$

$$\text{СрМрС}, P(t^{cp}) = 0.424;$$

$$\text{ВМрС}, P(t^{cp} + t_p^{cp}) = 0.2377;$$

$$\text{ПМрС}, P(t) = 0 \quad (t^{cp} = 18.9524; t_3^{cp} = 17.14285; t_p^{cp} = 6.381).$$

Аналогічно, за результатами моделювання процесу МрС визначено прогнозні значення $P(t)$ для ЯХ МрС:

$$\text{ВМрС}, P^*(0) = 1;$$

$$\text{СМрС}, P^*(t_p^{cp}) = 0.9334;$$

$$\text{ЧМрС}, P^*(t_p^{cp} + t_3^{cp} / 2) = 0.6329;$$

$$\text{СрМрС}, P^*(t^{cp}) = 0.4838;$$

$$\text{ВМрС}, P^*(t^{cp} + t_p^{cp}) = 0.2917.$$

Використовуючи введені ЯХ, можна прогнозувати МрС СТС, що розробляється. Для цього потрібно знати плановий час закінчення її розробки і вводу до експлуатації. Тоді розраховується повний час t_n від початку розробки СТС до її вводу до експлуатації визначається за основною моделлю (3.9) з

прогнозним параметром λ_{cn} імовірність того, що він не застаріє $P(t_n)$ в момент вводу до експлуатації. Далі, шляхом послідовної перевірки нерівність робиться висновок про ЯХ МрС зразка СТС, що розроблюється:

$$P(t_n) \geq P^*(t_p^{cp}) - \text{СМрС};$$

$$P(t_n) \geq P^*(t_p^{cp} + t_3^{cp}/2) - \text{ЧМрС};$$

$$P(t_n) \geq P^*(t^{cp}) - \text{СрМрС};$$

$$P(t_n) \geq P^*(t^{cp} + t_p^{cp}) - \text{ВМрС};$$

$$P(t_n) < P^*(t^{cp} + t_p^{cp}) - \text{ПМрС}.$$

Якщо $P(t_n)$ має значення, при якому нерівність виконується, то моральне старіння зразка СТС відповідає ЯХ для даної нерівності. Якщо вона не виконується, то перевіряється наступна нерівність.

3.3 Модель прогнозування прогресивності складної технічної системи

Об'єктивно нові зміни у СТС, як фактор розвитку, характеризуються ознакою прогресивності, під якою розуміють застосування в ній наукового відкриття, технічного рішення на рівні винаходу та інші [103]. Це веде до позитивних зрушень у технічному рівні СТС. Відомо, що винахід у два і більше разів має підвищувати ефект використання того або іншого пристрою, будь то елемент, підсистема або блок. З урахуванням прийнятої схеми "базовий зразок - його наступник", будемо розглядати прогресивність наступниці по відношенню до базового зразка СТС. З метою формування вихідних даних для оцінки та прогнозування прогресивності розглянемо її якісні характеристики.

Припустимо, що прогресивність може бути слабкою (С), задовільною (З), нормальною (Н), високою (В) і переважаючою (П). Слабка прогресивність СТС передбачає застосування в ній $n_{окр}$ технічних рішень на рівні винаходів, які реалізуються для малозначущих окремих елементів і блоків. Задовільна

прогресивність в свою чергу передбачає реалізацію в ній винаходів для малозначущих і не основних елементів і блоків (n_{ny} – кількість винаходів для не основних елементів і блоків). Нормальна прогресивність, крім того, що реалізуються винаходи для малозначущих і не основних елементів і блоків, передбачає ще й використання n_{oy} технічних рішень на рівні винаходів, що стосуються основних елементів та блоків. Відповідно висока прогресивність на відміну від нормальної передбачає додаткове застосування n_{ob} технічних рішень на рівні винаходу, що стосуються всієї конструкції СТС або її частини. Переважна прогресивність відрізняється від високої великою кількістю впроваджених винаходів і наявністю ТР, заснованих на розробці нових принципів дії. Так, наприклад, на основі аналізу спадкоємного розвитку конкретної СТС можна встановити наступні межі прогресивності:

$$\begin{aligned} n_{окр} &\geq 1 - \text{СПр}, \\ n_{окр} &\geq 0, n_{ny} \geq 1 - \text{ЗПр}, \\ n_{окр} &\geq 0, n_{ny} \geq 0, n_{oy} \geq 1 - \text{НПр}, \\ n_{окр} &\geq 0, n_{ny} \geq 0, n_{oy} \geq 1, n_{ob} \geq 1 - \text{ВПр}. \end{aligned} \quad (3.16)$$

можливе застосування технічних рішень на якісних ПД – ППр.

Розгляд прогресивності проводиться, як правило, при оцінці ТР СТС [8] та якості технологічних процесів, характеристики ТР виробництва [97]. Для оцінки ТР використовується індексний метод, який дозволяє встановити ступінь відповідності СТС, що створюється, світовому рівню. Але така оцінка статична, тому що вона не дозволяє робити висновки про те, наскільки СТС прогресивна. Щоб оцінити її, необхідно враховувати динаміку розвитку СТС, тобто використовувати методологію наступності. Відомі підходи оцінки прогресивності не враховують принцип єдності змінності та повторюваності, в еволюційному циклі розвитку, і в основному придатні для порівняння різнорідних СТС. Тому логічно подавати прогресивність наступниці по відношенню до базової СТС. Коефіцієнт прогресивності в цьому випадку буде визначатися виразом:

$$W = W_n / W_{\delta} \quad (3.17)$$

де W_n (W_{δ}) – технічний рівень наступниці (базова СТС).

У даному випадку здійснюється відхід від ЯХ прогресивності за рахунок введення коефіцієнта прогресивності, який передбачає їх вторинність. Показник $W_n(\delta)$ враховує зміну сукупності основних характеристик СТС.

Для кожної пари «базова СТС- її наступниця» можливість визначити W_i , які в силу об'єктивних причин є випадковими величинами і мають певний закон розподілу, який знаходиться за вибірковими даними. До таких причин належать:

неоднозначність оцінки величин W_n , W_{δ} , обумовлена методом оцінки;

неоднозначність при виборі для СТС основних характеристик, що відображають його технічний рівень;

різні цілі щодо створення СТС (наприклад, якщо метою є підвищення надійності, то оцінка W_n , не враховує показник надійності, може бути нижче, ніж оцінка W_{δ}) і інші.

На рисунку (Додаток В. 5) у відповідності з вихідними даними наведені дослідний і теоретичний розподіли величини прогресивності W .

У ході дослідження визначено граничні коефіцієнти W^1, W^2, W^3, W^4 , при зміні яких змінюється вид прогресивності

$$W^j = \frac{1}{l_j} \sum_i W_i^j,$$

де l_j – кількість пар СТС з Спр ($j=1$), ЗПр ($j=2$), НПр ($j=3$), ВПр ($j=4$);

W_i^j – значення прогресивності для першої пари з j -м видом прогресивності.

Якщо такі граничні коефіцієнти відомі, то можна визначити імовірнісні оцінки прогресивності за виразами

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 - \exp(-\lambda(W^1 - W_0)) - \text{СПр}, \\ P_j &= \exp(\lambda W_0) \{ \exp(-\lambda W^{j-1}) - \exp(-\lambda W^j) \}, \\ &(j=2\text{-ЗПр}, j=3\text{-НПр}, j=4\text{-ВПр}), \\ P_5 &= \exp(-\lambda(W^4 - W_0)) - \text{ППр}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Значення граничних коефіцієнтів майже не відрізняються один від одного ($W^1 = 1,02117$; $W^2 = 1,04051$; $W^3 = 1,0657$; $W^4 = 1,20243$), тому має сенс об'єднати перші три коефіцієнта в один узагальнений $W^{1,2,3} = 1,0657$. Тоді імовірнісні оцінки прогресивності мають вигляд: $P_{1,2,3} = 0,502$ ($P_1 = 0,311$; $P_2 = 0,091$; $P_3 = 0,1$); $P_4 = 0,314$; $P_5 = 0,184$.

Розгляд основних видів прогресивності і формування на основі значень прогресивності W_i їх вірогідних оцінок, дозволяє перейти безпосередньо до прогнозування прогресивності майбутньої СТС. Для цього, за наявності достатньої статистики, здійснюється побудова екстраполяційних $W^j(t)$, $j = \overline{1,4}$ моделей і розрахунок прогнозного W_*^j , з урахуванням якого і за допомогою виразу (3.18) виходять оцінки видів прогресивності P_j^* .

З урахуванням великої кількості факторів, що впливають на результат прогнозування, показник прогресивності W^* СТС, що розробляється має імовірнісне трактування:

$$P(W^*) = P(W < W^*) = \int_0^{W^*} f(W) dW = 1 - \exp(-\lambda(W^* - W_0)), \quad (3.19)$$

де $W^* = W_p / W_0$ – значення прогресивності СТС, що розробляється (W_p – ТР СТС, що розробляється, сформоване за даними оцінки).

Висновок щодо виду прогресивності можна зробити шляхом послідовної перевірки нерівностей

$$P(W^*) \leq P_1^* - \text{СПр}; \quad P(W^*) \leq \sum_j^2 P_j^* - \text{ЗПр}, \quad (3.20)$$

$$P(W^*) \leq \sum_j^3 P_j^* - \text{НПр}; \quad P(W^*) \leq \sum_j^4 P_j^* - \text{ВПр}; \quad P(W^*) > \sum_j^4 P_j^* - \text{ППр}.$$

При цьому необхідно, щоб оцінка W_p відповідала періоду упередження прогнозу $T_{упр}$, для чого треба знати приблизний час введення СТС, що

розробляється в експлуатацію T . При визначенні часу T можна використати модель "швидкості" зміни терміну впровадження нової СТС $dW/d\bar{W} = T(1 - \bar{W})$,

де $\bar{W} = W_p/W_{\max}$ – нормовані значення ТР СТС, що розробляється

(W_{\max} – максимальне значення ТР для вихідної сукупності).

На основі цієї моделі:

$$T = T_0 \exp\left(0.5\bar{W}^2 - \bar{W} - \bar{W}_0(0.5\bar{W}_0 - 1)\right), \quad (3.21)$$

де $\bar{W}_0 = W_0/W_{\max}$ – мінімальне нормоване значення ТР, яке відповідає аналогічним СТС на даний час;

T_0 – середній період впровадження у виробництво сучасних зразків – аналогів.

Величини \bar{W}_0 і T_0 формуються на основі вихідних даних.

Таким чином, якщо на момент часу проведення прогнозу $t^{н.б}$ розробка перспективної СТС вже ведеться, час $(t^{' \%0} - t^{' p})$, то значення W_p визначається за даними опису СТС, що розробляється. Якщо розробка перспективної СТС не розпочата, то W_p формується на основі технічних вимог. Виділимо основні етапи формування ймовірнісної оцінки прогресивності СТС, що розробляється, характеристики її конструкції і термінів впровадження.

1. Аналіз спадкоємного розвитку СТС. Вибір методу оцінки її ТР, визначення коефіцієнта прогресивності і побудова за набраними вихідними даними емпіричної гістограми, з подальшим підбором теоретичного закону розподілу.

2. Формування якісних характеристик за видом прогресивності конструкції СТС з відповідними її ймовірнісними оцінками.

3. Побудова екстраполяційних моделей $W^j(t)$, $j = \overline{1,4}$ і розрахунок прогнозного значення W_*^j , з урахуванням якого за виразом (3.18) визначаються оцінки видів прогресивності P_j^* .

4. Розрахунок коефіцієнта прогресивності майбутньої СТС W^* , її ймовірнісної оцінки (3.19), на основі якої за (3.20) отримують експрес - характеристику конструкції СТС за видом прогресивності.

5. Оцінка ризику розробки.

Аналіз спадкоємного розвитку полягає, насамперед, у з'ясуванні базових СТС і їх наступниць. Вибір методу оцінки ТР залежить від цілей дослідження. Аналіз сукупності схем «базовий зразок - його наступник», з наступним визначенням за виразом (3.17) коефіцієнта прогресивності і за (3.16) її виду, є перед модельним етапом у прогнозуванні прогресивності та надалі використовується для встановлення зв'язку розрахункового коефіцієнта з її виглядом. Другий етап визначає зв'язок виду прогресивності конструкції з коефіцієнтом прогресивності. З використанням граничних коефіцієнтів W^1, W^2, W^3, W^4 отримані ймовірнісні оцінки прогресивності (3.18). Особливістю четвертого етапу є те, що порядок формування прогресивності СТС, яка розробляється, W^* відповідає ймовірнісному трактуванню W . У висновку робиться пропозиція про пропорційність "швидкості" зміни терміну впровадження нової СТС (dT/dW) абсолютною величиною періоду впровадження (T).

Основною перевагою даної моделі є те, що розробник, на основі кількісних характеристик перспективної СТС, буде відразу одержувати її переваги над базовою (прогресивність) і термін впровадження.

3.4 Модель прогнозування здатності до модернізації складної технічної системи

Досвід розробки СТС показує [104-106], що для окремих СТС при створенні була вдало обрана принципова схема. Це дозволило надалі неодноразово проводити їх модернізацію і тим самим підвищувати ТУ без істотних витрат. У даному випадку на етапі дослідження та обґрунтування розробки була закладена здатність до модернізації СТС, обрис якої дозволив раціонально здійснювати

розподіл асигнувань між новими розробками та заходами з модернізації СТС. При цьому враховуються такі показники, що відображають її здатність до розвитку: – моральне старіння, – гнучке реагування, – коефіцієнт "бажаності", – перспективність та інші. Однак, їх відмінною рисою є те, що вони вельми загальні, тобто якщо і враховують здатність конструкції СТС до вдосконалення, то в неявному вигляді. На етапах розробки і виробництва розглянута методологія обґрунтування напрямів і обсягів модернізації СТС. Науково-методичний апарат призначений для конкретного визначення обсягу необхідної модернізації СТС та її напрямків шляхом вирішення завдань порівняльної оцінки ТР модернізованих СТС та визначення необхідного обсягу їх випробувань.

Однак, модернізаційної здатності (МдЗ) необхідно враховувати раніше (на етапі досліджень та обґрунтування розробки), коли тільки формується переважний обрис СТС, використовуючи властивості і показники, що визначають її як об'єкт розвитку. У зв'язку з цим, враховуючи велику ступінь невизначеності вихідних даних, логічно використовувати якісні методи прийняття рішень, засновані на нечітких судженнях і нечіткому структурному моделюванні. Прогнозування модернізаційної здатності полягає в послідовному виконанні етапів алгоритму:

1. Аналіз процесів модернізації СТС, виявлення відповідних їй базових СТС (наступниць) і побудова схем модернізації. Формування вихідних даних для проведення модернізації.

2. Формування коефіцієнта базової СТС і градацій (або ЯХ) ознаки здатності до модернізації.

3. Вибір (уточнення) мотивів на перспективу по визначенню ЯХ здатності до модернізації СТС, що розроблюється та порівняння її з базовою.

4. Прогнозування ЯХ МдЗ за нечіткими судженнями експертів.

5. Побудова нечітких структурних моделей мотивів МдЗ.

6. Аналіз результатів прогнозування ЯХ МдЗ за непарними судженнями експертів з урахуванням нечітких структурних моделей мотивів МдЗ. У разі їх

суперечності здійснюється перехід до етапу 3, якщо суперечностей немає, то робиться перехід до етапу 7.

7. Виводи щодо прогнозованої ЯХ МдЗ і відповідного їй коефіцієнту.

Аналіз процесів модернізації СТС, аналогічних за призначенням той, що розроблюється полягає в наступному:

- визначення послідовності модернізацій базової СТС і побудова її структурної схеми;
- розрахунок ступеня новизни і прогресивності модернізацій;
- дослідження динаміки елементної бази модернізованих СТС, здатних гнучко реагувати на зміни в загальній конструкції та які втратили здатність до вдосконалення;
- формування орієнтовного обрису СТС, що розроблюється та узгодження її з перспективними довгостроковими розробками елементної бази;
- виявлення факторів (мотивів), що впливають на модернізаційну здатність базових СТС (фактор морального старіння, фактор потенціалу розробника, фактор узгодженості замовника і розробника, фактор фінансування і т.п.).

Результати аналізу формуються в систему вихідних даних для реалізації моделі нечітких міркувань і нечітких структурних моделей, яка включає в себе:

- конкретні схеми процесів модернізації СТС, аналогічних за призначенням СТС, що розроблюється;
- розрахункові величини новизни і прогресивності для кожної схеми модернізаційних процесів;
- дані щодо динаміки змін в елементах, блоках, підсистемах базових СТС за весь процес модернізації;
- орієнтовний обрис СТС, що розроблюється і перспективні довгострокові розробки елементної бази для неї;
- прогнозні дані щодо розвитку НТП, новітніх розробок (дані мають опис про напрямки розробки);
- список факторів (мотивів), які можуть зробити безпосередній вплив на здатність до модернізації СТС, що розроблюється.

Спираючись на результати аналізу СТС, можна зробити висновок, що модернізована СТС має певний ступінь новизни і прогресивності по відношенню до свого прототипу. Встановлення градацій (якісних характеристик) МдЗ проводиться на основі аналізу існуючих схем модернізації СТС. Наприклад, для СТС ЯХ можна обирати за кількістю модернізації:

- слабка здатність до модернізації – 1-2 модернізації;
- задовільна здатність до модернізації – 3-4 модернізації;
- нормальна здатність до модернізації – 5-6;
- висока здатність до модернізації – 7-8;
- переважна здатність до модернізації – понад 8.

У даному випадку розглядається кількість модернізацій. Для обліку вагомості новизни і прогресивності здійснюється перехід до кількісної оцінки МдЗ.

Практика показує [102], що розробник, як правило, при визначенні МдЗ СТС, що розроблюється приймає рішення без певного сенсу своїх мотивів. Тим часом кожен мотив має певну силу, якою не можна нехтувати. Наприклад, отримання знань щодо можливих шляхів подальшого удосконалення СТС, яка розроблюється, може бути сильним мотивом для деяких фахівців при визначенні її МдЗ, але для інших цей мотив може бути не таким сильним. У цьому випадку зручно використовувати теорію нечітких чисел. Відомо, що при розробці СТС багато фахівців мають іноді лише орієнтовне уявлення про те, якою МдЗ він буде володіти. Тому дуже важливо розробити систему забезпечення для вибору ступеня МдЗ прогнозованого обрису СТС. У такій системі визначальну роль відіграє вибір мотивів, що впливають на МдЗ. Так, для прикладу, нижче взято тільки чотири мотиви. Для підвищення ступеня достовірності прогнозування МдЗ можна використати в подальшому більш широкий і докладний спектр мотивів, який охоплює період часу експлуатації СТС, що розроблюється. Мотиви можуть уточнюватися після докладного дослідження їх сутності.

Як модель для прогнозування (прийняття рішення за вибором) ЯХ МдЗ пропонується використовувати модель нечіткого міркування:

Правило 1: $A_1 \text{ і } B_1 \text{ і } \dots \Rightarrow P_1$.

Правило 2: $A_2 \text{ і } B_2 \text{ і } \dots \Rightarrow P_2$.

Правило 3: $A_3 \text{ і } B_3 \text{ і } \dots \Rightarrow P_3$.

(3.22)

Факт: $a_0 \text{ і } b_0 \text{ і } \dots$

Висновок: P ,

де $A_i, B_i, \dots (i=1,2,3)$ – в першій частині відносини не є чіткими множинами мотивів вибору ЯХ МдЗ;

$P_i (i=1,2,3)$ – нечіткі множини прогнозованих ЯХ [$i=1$ - В (П) МдЗ; $i=2$ - НМдЗ; $i=3$ - З (С) МдЗ].

На рисунку 3.1 подана пропонована модель нечіткого міркування для прийняття рішення щодо вибору ЯХ МдЗ СТС. Вісь абсцис відображає інтенсивність кожного мотиву, а ордината - ступінь приналежності до кожного мотиву вибору ЯХ МдЗ. Трикутна форма подання функції належності обрана через наочність і простоту подання моделі нечіткого міркування. На рисунку 3.1 правило 1 означає, якщо мотив підвищення прогресивності сильний, мотив розвитку творчого потенціалу середній, мотив забезпечення фінансуванням сильний, а мотив відстрочки змін у технології слабкий, то зразок СТС буде володіти високою (переважаючою) МдЗ. Аналогічно можна пояснити правила 2 і 3.

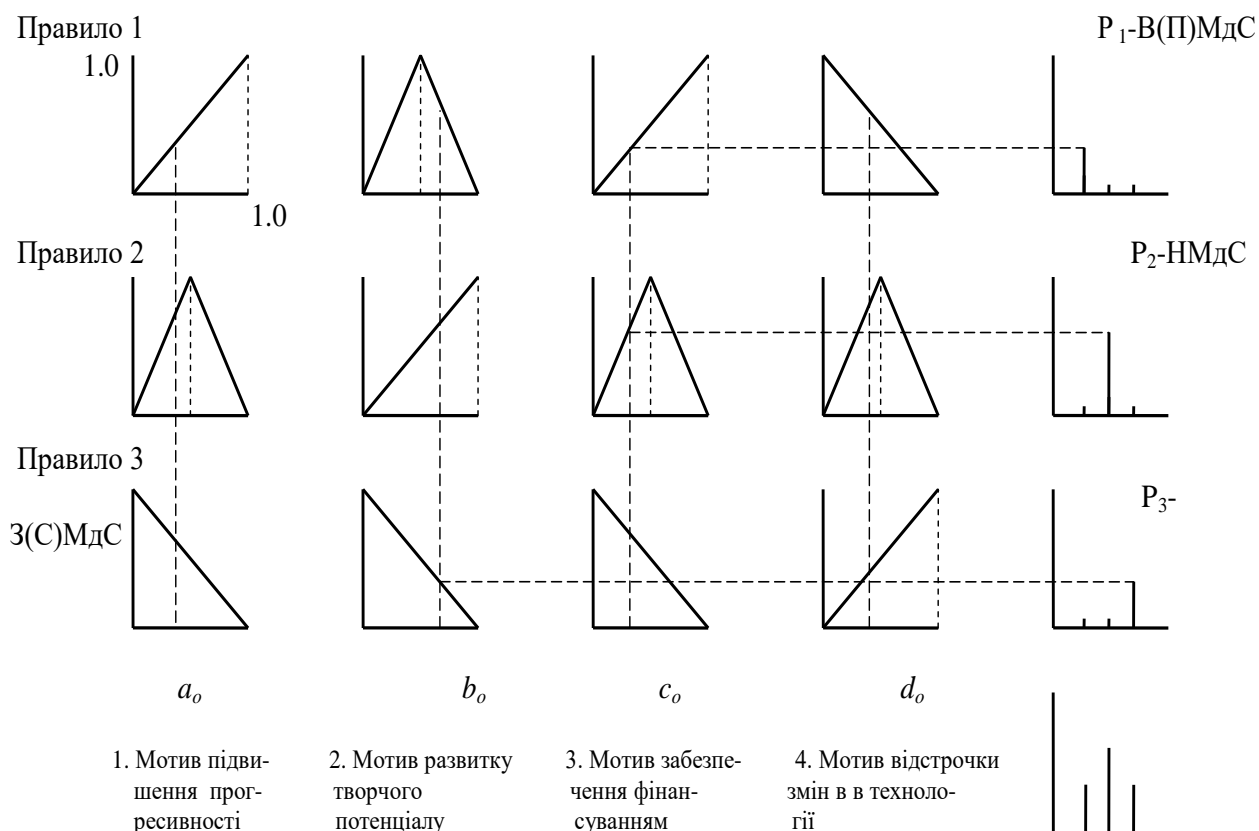


Рисунок. 3.1 – Модель нечіткого міркування щодо визначення МдЗ

Для оцінки величин a_0, b_0, c_0, d_0 проводиться експертне опитування серед фахівців, які займаються прогнозуванням на далеку перспективу появи високоефективних СТС аналогічного призначення. Суть експертного опитування зводиться до наступного.

Кожному експерту пропонують список мотивів, навпроти кожного мотиву проводиться горизонтальна лінія з позначкою лівого кінця словом "слабкий", а правого кінця "сильний". Експерт робить відмітку на горизонтальній лінії у відповідності з тим, наскільки вірогідний цей мотив у майбутньому після вводу СТС до експлуатації.

Після такого опитування розрахункові величини на горизонтальних лініях мотивів перетворюються у величини a_0, b_0, c_0, d_0 , що лежать в інтервалі $[0,1]$. За нечіткої моделі на (рис. 3.1) для кожного експерта прогноуються функції приналежності: $\tilde{\mu}_{P_1}(z)$ – для В (П) МдЗ, $\tilde{\mu}_{P_2}(z)$ – для Н МдЗ і $\tilde{\mu}_{P_3}(z)$ – для З (С) МдЗ. Отримані оцінки по кожному мотиву і кожному правилу усереднюються за всією сукупністю експертів. У даному випадку чотирьом мотивам відповідають оцінки a_0 (перший мотив), b_0 (другий мотив), c_0 (третій мотив), d_0 (четвертий мотив) і трьом правилам $\mu_{P_i}(z), i = \overline{1,3}$. На основі цих оцінок, обчислюється результат нечіткого міркування першого правила ($i = 1,2,3$) за висловом

$$\mu_{P_i}(z) = \mu_{A_i}(a_0) \wedge \mu_{B_i}(b_0) \wedge \mu_{C_i}(c_0) \wedge \mu_{D_i}(d_0) \wedge \mu_{P_i}(z),$$

об'єднаний висновок для правил 1,2 і 3 має вигляд

$$\mu_{P^{\circ}}(z) = \mu_{P_1^{\circ}}(z) \vee \mu_{P_2^{\circ}}(z) \vee \mu_{P_3^{\circ}}(z) ,$$

Таким чином, за найбільшим значенням $\mu_{P_i^{\circ}}(z)$ визначається ЯХ МдЗ.

Наступний етап прогнозування полягає в нечіткому структурному моделюванні для з'ясування структури мотивів експертів при виборі ЯХ МдЗ СТС, що розроблюється. Для цього будується матриця А, яка відображає нечітку субординацію між мотивами МдЗ

$$A = \{a_{ij}\}, \quad i, j = 1, 2, 3, 4,$$

де A – квадратна матриця 4×4 ;

$$a_{ij} = f_R(m_i, m_j), 0 \leq a_{ij} \leq 1 - \text{нечітке бінарне відношення } f_R.$$

Аналогічно, як і для моделі нечіткого міркування, для оцінки величин a_{ij} проводиться експертне опитування фахівців за мотивами вибору ЯХ МдЗ. Фахівцю пропонується порівняти два мотиви і дати відповідь, який з них є більш важливим для визначення ЯХ МдЗ і наскільки він важливий шляхом постановки знаку нерівності і числа, яке лежить у діапазоні від 0 до 100. Наприклад, якщо фахівець вважає, що мотив m_i є набагато важливішим в порівнянні з мотивом m_j , то фіксується, що $m_i [>] m_j$. При абсолютній важливості мотиву m_j над m_i мотивом записується $m_i [<] m_j$. Числа в інтервалі $[0, 100]$ потім перетворюються

у величини в інтервалі $[0.5, 1]$ таким чином: $a_{ij} = r/200 + 0.5$, де r - число за оцінкою фахівця. У методі парного порівняння використовувалися чотири мотиву вибору ЯХ МдЗ. При отриманні a_{ij} в якості оцінки фахівця, пропонується визначати як доповнення до залежності

$$f_R(m_j, m_i) = (1 - f_R(m_i, m_j)) / (1 + \lambda f_R(m_i, m_j)),$$

де λ є дійсним числом в діапазоні $-1 < \lambda < \infty$. Структурна модель має два параметри: нечіткий структурний параметр λ і поріг. Надалі для прикладу і простоти приймалося $p = 0.7$ і $\lambda = 0$. Потім проводився аналіз нечіткої матриці з урахуванням порога p (значення a_{ij} менше p відкидалися) і будувалася нечітка структурна модель по зростанню a_{ij} . На (рис. 3.2) показані дві нечіткі структури, які отримали два експерта. Як видно, вони обрали одну і ту ж саму ЯХ МдЗ. Звідси випливає, що експерти, які мають подібні функції відповідності певної ЯХ МдЗ, можуть мати різні мотиви з її вибору. Однорідність їх відповідей, насамперед, визначаються рівністю мотивів на вершині структури (рис. 3.2 такий

мотив m_3 однаковий для обох експертів). Якщо більшість експертів дали неоднорідні моделі, то це є сигналом того, що модель нечіткого судження не може бути прийнята. Тому вона використовується знову, але вже з іншими вихідними даними. Після цього знову повертаємося до нечіткого структурного моделювання мотивів.

Таким чином, нечітка структурна модель доповнює попередню модель. Дійсно, модель за нечіткими судженнями дає прогноз ЯХ МдЗ, але вона не дає багато корисної інформації для фахівців і вони часто можуть визначати МдЗ за поверхневими причинами, не вникаючи в сутність сформованих мотивів. Тому логічно після нечіткого міркування провести кожному експерту структурування мотивів за визначенням ЯХ МдЗ для того, щоб більш чітко розібратися в них, а потім, якщо необхідно, знову повернутися до моделі з нечіткими судженнями. Може в цьому випадку виявитися, що буде потрібно уточнити або змінити і самі мотиви. Це підвищить достовірність прогнозування (прийняття рішення за вибором) ЯХ МдЗ СТС, що розроблюється.

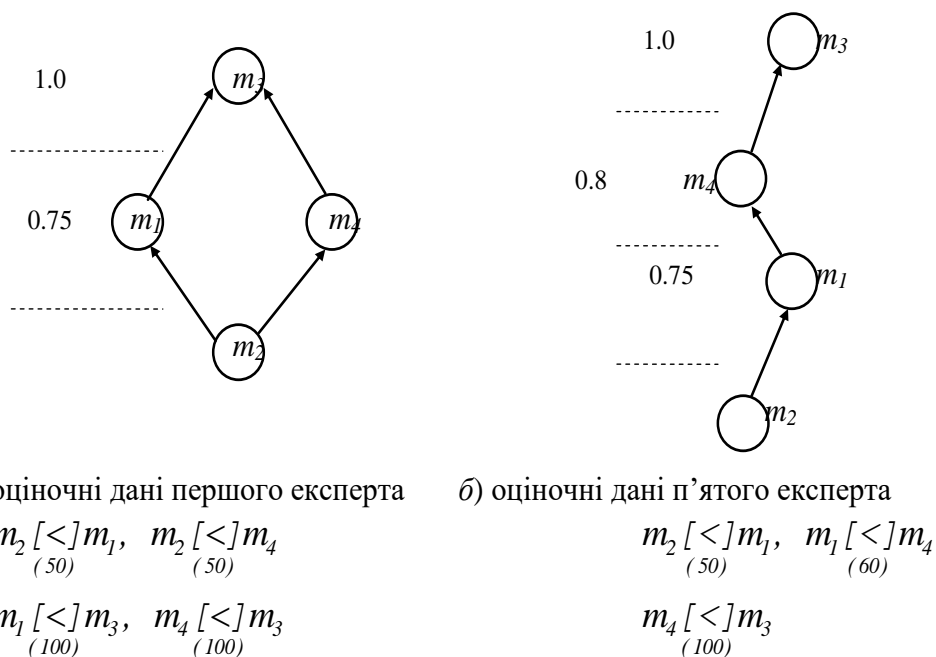


Рисунок 3.2 – Графічні структури мотивів, отримані на основі нечіткого структурного моделювання першим і п'ятим експертами

Останній етап прогнозування МдЗ полягає в аналізі результатів прогнозування на основі моделі з нечіткими судженнями, з'ясуванні ступеня їх

правдоподібності. Далі встановлюється найбільш ймовірна ЯХ МдЗ варіанту СТС, який пропонується і їй у відповідність ставиться розрахований коефіцієнт $M_{МД}$, визначений на основі аналізу процесів модернізації аналогічних зразків СТС. Коефіцієнт прогресивності першої модернізації W_i визначається відношенням ТР модернізованого зразка СТС $W_i^{МД}$ до ТР базового W_i^{δ} .

Запропонований науково – методичний апарат прогнозування МдЗ СТС може бути використаний на ранніх етапах розробки при формуванні її технічного обрису. Перевагою є те, що розглянутий показник МдЗ, відображає схему модернізації СТС аналогічного призначення. Це робить реальним кількісно враховувати ступінь МдЗ при синтезі переважного варіанту СТС. Крім того, передбачається проведення нечіткого структурного моделювання мотивів, які впливають на МдЗ, що підвищує достовірність результатів прогнозування.

3.5 Метод порівняння варіантів модернізації складних технічних систем за узагальненим критерієм «ефективність – вартість – час»

Техніко-економічне обґрунтування, практичне порівняння та вибір варіантів розробки СТС, відповідно до державних стандартів, щодо техніко-економічного обґрунтування розробки СТС, – все це можливо здійснювати у повному обсязі лише після одержання великої кількості конкретних технічних параметрів СТС, коли є відомим не тільки її конкретний вид, але і є відомими і затвердженими результати ескізного проектування СТС.

Попередньо системне, тобто теоретичне, порівняння і вибір варіанта СТС із сукупності альтернативних, через невизначеності випадкового, антагоністичного і природного характеру, часто здійснюють за критерієм «ефективність – вартість».

Але цей критерій є більш зручним, коли мова йде про порівняння варіантів розробки нової СТС. Технічне завдання формування і використання критерію, більш прийняттого у випадку обґрунтування рішення на модернізацію з урахуванням фактора часу, залишається зараз актуальним. Це є особливо

актуальним в умовах обмежених можливостей промислової бази для здійснення модернізації та відсутності своєчасного оновлення СТС.

Під час прийняття рішень про доцільність модернізації будь-якої СТС важливою є необхідність враховувати фактор дефіциту часу на модернізацію та фактор наявності достатнього рівня остаточного технічного ресурсу СТС.

Метод вирішення науково-технічного завдання вибору альтернативи згідно до вимог стандартів, що існують зараз більш доцільно пов'язувати не тільки з *витратами фінансів*, але і з *оцінкою часу*, потрібного для вдосконалення варіанту СТС, яку необхідно модернізувати або замінити її новою (після її розробки чи закупівлі).

Вирішення завдання порівняння і вибору прийнятної СТС з альтернативних варіантів впровадження нової шляхом: її модернізації або розробки подібної, або закупівлі рівноцінної існуючої СТС, доцільно здійснювати на основі застосування критерію «ефективність – вартість – час». Критерій максимізує показник у вигляді нормованого приросту ефективності існуючої СТС, який віднесено до нормованого середньгеометричного приросту витрат фінансових ресурсів і часу для досягнення ефекту від впровадження СТС.

Сутність і особливості застосування цього критерію, тобто правила для порівняння альтернатив і вибору однієї із декількох, потребує далі додаткових пояснень.

На етапі ескізного проектування СТС конкретного виду і відомого призначення, яка повинна мати показники якості, що є більш високими, ніж у існуючого аналогу, здійснюється шляхом розв'язання декількох завдань. Поряд з максимізацією позитивного ефекту, необхідно врахувати і можливості виконання робіт за варіантом з урахуванням наявності відповідної промислової бази, який є обраним із сукупності альтернативних. Необхідно врахувати також достатність ресурсів і наявного часу на досягнення мети впровадження СТС нового типу.

Порівняння варіантів і вибір найбільш прийнятної із сукупності можливих є науково-технічною задачею, яка відноситься до класу погано визначених через невизначеності, які раніше були вказані.

У реальних умовах необхідно враховувати: суттєве відставання рівня реальних можливостей промислової бази для реалізації плану розробки і впровадження нової СТС; рівень потреб у нових СТС під час відсутності планового оновлення зразків подібних засобів і процесу планового вдосконалення їх показників якості. Все це попередньо визначає зміст і форму критерію для порівняння альтернативних варіантів і вибору більш прийняттого.

У показнику якості варіантів розробки СТС необхідно враховувати також фактор фізичного і морального старіння СТС, які необхідно застосовувати сумісно з новими СТС, за умов витрат часу на розробку і впровадження нових науково-технічних рішень.

Таким чином, найбільш прийнятним показником доцільності конкретної СТС по кожному з можливих варіантів є показник «ефективність – вартість – час».

В якості показника, який віддзеркалює перевагу з урахуванням ефективності, фінансових і часових витрат на реалізацію кожного із варіантів розробки СТС, доцільно прийняти відношення нормованого прирощення її ефективності, що очікується, у зв'язку з впровадженням нової СТС, до середньгеометричної величини добутку нормованих фінансових витрат та витрат часу на цю розробку і впровадження. Нормування повинно здійснюватися за параметрами, що характеризують аналог СТС перед її заміною на нову.

При такій побудові, що пропонується, цей показник має зрозумілий фізичний сенс і чітко як кількісне, так і фізичне визначення. Він показує: *на яку кількість відсотків збільшиться ефективність нової СТС на кожен відсоток узагальнених часо-фінансових витрат на це збільшення за обраним варіантом.*

При цьому, витрати часу на розробку і впровадження технічних рішень доцільно визначати у виді різниці між остаточними значеннями остаточного строку експлуатації СТС до початку та після закінчення розробки і впровадження нової СТС.

Показник (цільова функція), що відповідає цілі операції порівняння альтернативних варіантів модернізації і вибору прийняттого варіанта удосконалення СТС дорівнює

$$E = \frac{\Delta Q/Q}{\sqrt{[(\Delta S/S) \cdot (\Delta T/T)]}}, \quad (3.23)$$

де Δ – прирощення кожного з параметрів (аргументів) показника (функції) E , що очікується у випадку впровадження конкретного варіанта;

Q – показник ефективності СТС, яка існувала до впровадження оновленої СТС;

S – середня остаточна вартість СТС, яка підлягає заміні під час модернізації;

T – середній остаточний строк експлуатації СТС (до моменту початку модернізації або розробки нової), яка підлягає заміні новою.

Тоді, критерій (цільова функція) для техніко-економічного порівняння і вибору альтернативи доцільно сформулювати у виді максимального значення запропонованого показника зі всієї сукупності, що є обчисленою для кожного з m значень альтернативних варіантів модернізації, розробки (або закупівлі) СТС, у вигляді

$$E^* = \max_{i=1 \dots m} \frac{\Delta Q_i/Q}{[(\Delta S_i/S) \cdot (\Delta T_i/T)]^{0,5}}, \quad (3.24)$$

$$\Delta Q_i = Q_i - Q; \quad \Delta S_i = S_i - S; \quad \Delta T_i = T_i - T,$$

де Q_i – показник ефективності СТС після її оновлення за i -м варіантом;

S_i – вартість СТС після реалізації i -го варіанта її оновлення;

T_i – середній остаточний строк застосування СТС, яка експлуатується в мить закінчення впровадження СТС, яку модернізовано, (або закуплено) за i -м варіантом.

Для подолання невизначеностей антагоністичного характеру під час порівняння альтернативних варіантів модернізації з метою вибору більш прийняттого, доцільно використовувати *принцип мінімакса цільової функції* (3.23).

Реалізація цього принципу вимагає, по-перше, урахування сукупності варіантів застосування майбутньої СТС, по-друге, виявлення (для подальших розрахунків) із цієї сукупності такого варіанта модернізації, при якому цільова функція приймає найменше значення; по-третє, здійснення вибору далі такого варіанту модернізації СТС, який максимізує цільову функцію в найбільш складних умовах.

В такому разі критерій для порівняння альтернатив і вибору кращої має наступний вид

$$E = \max_Y \min_X \frac{\Delta Q(X, Y) / Q(X, Y)}{\sqrt{[(\Delta S(X, Y) / S(X, Y))] \cdot [(\Delta T(X, Y) / T(X, Y))]}}, \quad (3.25)$$

де X – вектор варіантів можливих умов;

Y – вектор варіантів модернізації СТС, який максимізує цільову функцію в найбільш складних умовах застосування.

Метод обґрунтування напрямку удосконалення СТС дозволяє достатньо об'єктивно на підставі узагальненого критерію, який має зрозумілий сенс, порівнювати альтернативні варіанти напрямків, що не сприяє особі, яка приймає рішення, краще орієнтуватися в ситуації під час обґрунтування (підготовки) і прийняття рішення.

Розробка і застосування відповідного програмного продукту на основі цього методу дає можливість суттєво спрощувати і прискорювати необхідні розрахунки, навіть в умовах великої кількості альтернативних варіантів, а також в умовах дії невизначеностей випадкового і антагоністичного характеру.

3.6 Модель прогнозування вживаності елементів складної технічної системи

Якісний аналіз розвитку СТС показав, що в ході еволюційного розвитку на даній ділянці ретроспекції встановилися певні конструктивно - схемні рішення, які сприяють необхідному перерозподілу функцій між блоками, елементами і

підсистемами. Виділилися найбільш застосовувані з них, які показали свою здатність реагувати як на зміни в сусідніх блоках, елементах і підсистемах, так і у всій конструкції. Тому при прогнозуванні обрису СТС необхідно в обов'язковому порядку оцінювати її застосовність, яка відображає її здатність (при внесенні змін у конструкцію з метою її вдосконалення) перерозподіляти функції між своїми складовими. Для оцінки застосовності СТС в цілому виділяється група блоків, елементів і підсистем, що визначають принцип її побудови, і оцінюється їх застосовність в існуючих СТС. Аналогічно через застосовність оцінюється і властивість окремого блоку, елемента і підсистеми реагувати на зовнішні зміни. Розглянемо оцінку і прогнозування вживаності на основі блоку, підсистеми.

На практиці застосовність блоку, підсистеми обумовлюється частиною його використання в загальній схемі СТС і може бути знайдена на основі евристичних процедур [64, 69]. Але, з огляду на загальні недоліки евристичного підходу, введемо коефіцієнт застосовності в наступному вигляді:

$$P_{it} = g_{it}/G_t, \quad i = \overline{1, m}, \quad t = t_0 + \Delta \times j, \quad j = \overline{1, n_t}. \quad (3.26)$$

де g_{it} – кількість блоків, підсистем i -го типу, застосовуваних у СТС, які розроблені на інтервалі Δ до моменту часу t ;

G_t – загальна кількість СТС, розроблених на інтервалі Δ до моменту часу t ;

M – кількість типів розглянутих блоків, підсистем;

t_0 – початковий момент часу, з якого розглядається застосування типів блоку, підсистеми;

Δ – часовий інтервал;

n_t – кількість розглянутих часових інтервалів Δ .

Якщо цей показник є ймовірністю застосування того чи іншого типу складової СТС, можна прогнозувати застосовність різних типів його блоків і підсистем з використанням марковської моделі:

$$g_{t+1} = \tilde{H} \times g_t, \quad g_{t+q} = \tilde{H}^q \times g_t, \quad (3.27)$$

g_t

де $\vec{A}(t)$ – вектор значень прогнозованих показників у момент часу t ;

\tilde{H} – матриця перехідних ймовірностей [29].

Тоді прогнозування застосовування зводиться до послідовного виконання ряду етапів, поданих у таблиці (Додаток В. 2).

Перевагою даного підходу до прогнозування застосовування є можливість:

- кількісного визначення імовірнісного нерухомого вектору розподілу блоків, підсистем СТС за їх типами через великий проміжок часу;
- регулярного коригування результатів у міру уточнення вихідних даних і отримування для розглянутого стану результатів зростаючої точності;
- за допомогою матриці переходу передбачати інформаційну неточність прогнозу;
- при прогнозуванні не враховувати загальну кількість розроблених в майбутньому СТС, як того вимагає застосування регресійних моделей.

Розглянута модель відповідає марковським процесам і її необхідно кожен раз перевіряти на адекватність. У випадках, коли вона не підтверджена необхідно використовувати методику евристичного прогнозування. Знання найбільш вживаної елементної бази на перспективу, що отримана на основі моделі прогнозування застосовування, а також враховуючи новітні розробки на оригінальних технічних рішеннях, можна прогнозувати і уточнювати окремі характеристики, що визначаються обраною елементною базою (обраними блоками і підсистемами). У цьому випадку зручно використовувати модель прогнозування на основі нечітких часових рядів.

Основна відмінність нечіткого часового ряду від звичайного полягає в тому, що його величини є нечіткими множинами. Нехай U - область дослідження (міркування), і в кожній першій точці тимчасової осі визначена нечітка множина:

$$A(t_i) = f_{A_i}(U_1)/U_1 + f_{A_i}(U_2)/U_2 + \dots + f_{A_i}(U_n)/U_n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3.28)$$

$$\bar{A}(t) = \{A(t_1), A(t_2), \dots, A(t_m)\}.$$

Тоді $\bar{A}(t)$ буде нечітким тимчасовим рядом:

$$A(t-1) \rightarrow A(t), t = 1, 2, \dots \quad (3.29)$$

яка з тією чи іншою силою проявляється протягом усього часового ряду. Значення $A(t-1)$ визначено як поточне, а $A(t)$ як наступний стан. Така залежність визначається специфікою спадкоємного процесу. У цьому випадку можна здійснювати прогнозування з використанням базової моделі

$$A_i = A_{i-1} \circ R ,$$

де $A_i(A_{i-1})$ – нечітка множина, що відбиває застосовність СТС, в момент часу;

R – нечітке ставлення, що характеризує нечіткий взаємозв'язок часового ряду;

\circ – оператор максимінної композиції.

Враховуючи дані теоретичні положення за нечіткими тимчасовими рядами, запропоновано алгоритм прогнозування та уточнення характеристик, обумовлених типом блоку, підсистеми СТС у таблиці (Додаток В. 3). Він добре зарекомендував себе на практиці, навіть при неточних вихідних даних за кількісними характеристиками, що підтверджує стійкість запропонованої моделі. Крім того, тут, використовуються спрощені операції з визначення прогнозних значень кількісних характеристик, а не складні операції мінімаксної композиції, що вимагають проведення об'ємних розрахунків на ЕОМ. Уводиться поняття розпливчатою ЯХ вигляду, яке відповідає умовам прогнозування на ранніх етапах розробки СТС.

Висновки за розділом 3

1. Розроблено модель прогнозування новизни СТС в умовах недостатньо повної і не повністю достовірної вихідної інформації. Визначено види новизни і способи їх оцінювання, наведені прогнозуючі залежності, які мають теоретичну та практичну цінність. Надані рекомендації з використання моделі прогнозування новизни для різних законів розподілу статистичних даних, а також розроблений алгоритм прогнозування, який можливо реалізувати в системі MathCAD.

2. Запропоновано моделі прогнозування показників морального старіння, які дозволяють врахувати зміну загальної інноваційності в процесах розвитку СТС. Вони включають в себе моделі морального старіння за окремі періоди ЖЦ і циклу в цілому, модель впливу на моральне старіння існуючого зразка СТС, ТУ об'єкта, що розробляється і модель впливу тривалості окремих етапів ЖЦ.

3. Розроблено модель прогнозування прогресивності СТС, яка відображає ступінь збільшення її технічної досконалості на період попереджувального прогнозу за рахунок використання в його конструкції нових рішень на рівні винаходів.

4. Запропоновано алгоритм прогнозування здатності СТС до модернізації, який заснований на правилах нечіткого міркування і нечіткого структурного моделювання мотивів збереження здатності до модернізації при подальшому його розвитку. Розроблено правила прийняття рішень щодо найбільш важливих мотивів зовнішнього середовища, за допомогою яких робиться висновок про рівень здатності СТС до модернізації. Для підвищення достовірності результатів прогнозування використовується нечітке структурне моделювання, яке дозволяє експерту більш чітко розібратися в можливих ситуаціях розвитку, змінювати мотиви в разі потреби і знову використовувати модель нечіткого міркування.

5. Запропоновано модель прогнозування вживаності елементів, підсистем СТС на основі теорії марковських процесів. Враховуючи їх загальні недоліки, а також невизначеність умов прогнозування на ранніх етапах розробки, додатково розглянуті моделі прогнозування на основі експертного опитування та нечітких строків, що забезпечують верифікацію результатів прогнозу.

6. Розроблено метод обґрунтування напрямку удосконалення СТС, який дозволяє на підставі узагальненого критерію «ефективність – вартість – час» обґрунтувати прийняття рішень щодо удосконалення СТС.

7. Запропоновано модель прогнозування реалізованості і корисності конкретного ПД у конструктивній схемі СТС. Наведено аналіз умов прогнозування, їх особливостей, а також аналіз нечітко - бесілівських правил прийняття рішень, виділені найбільш прийнятні, які використовувалися при розробці моделі. Описана процедура формалізації вихідних даних у нечітких категоріях, що сприяє якісному вирішенню задачі за допомогою розробленої моделі.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ
ОБРИСУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ЇЇ ПРОЕКТУВАННІ

4.1 Операційно-параметричний аналіз складної технічної системи

Загальна схема прогнозування обрису СТС включає етапи: інформаційного забезпечення, досліджень, що передують модельним і прогнозне моделювання. На етапі досліджень, що передують модельним, пропонується використовувати операційно-параметричний аналіз (ОПА), який включає в себе операційно-функціональний аналіз (ОФА), функціонально-структурний аналіз (ФСА) і параметричний аналіз (ПА). Схема ОПА наведена на рис. 4.1. Результати його необхідні для моделювання варіантів СТС і виявлення найбільш бажаних.

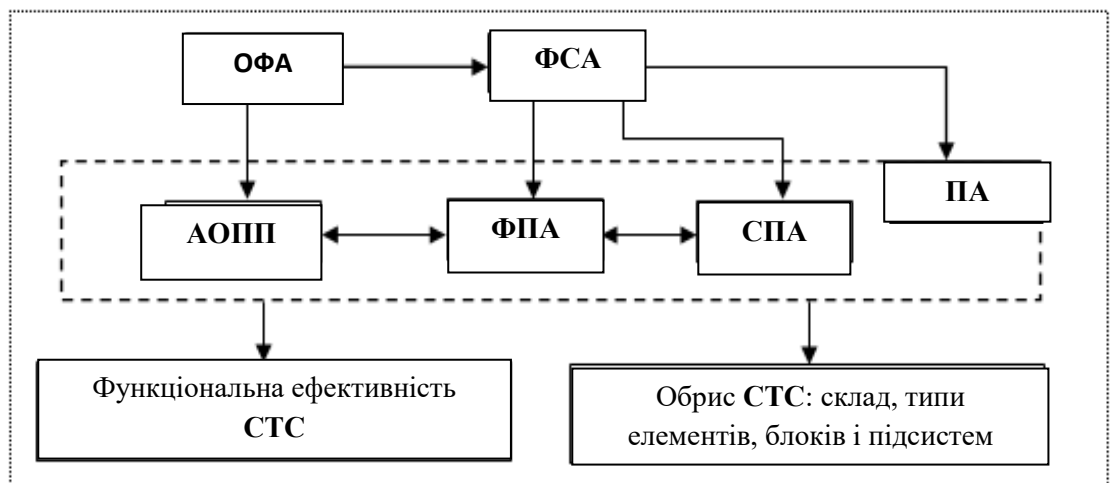


Рисунок 4.1 – Схема операційно-параметричного аналізу

Основною метою ОФА є встановлення зв'язку між умовами застосування СТС та її функціями. Це дозволяє зробити висновки щодо необхідності змін функціональної схеми і найбільш важливих функцій СТС. Функціонально-структурний аналіз (ФСА) сприяє визначенню можливостей щодо виконання необхідних функцій, які, як правило, суперечливі. Головним його результатом є отримання узагальненого функціонально-структурного опису СТС. Метою ПА є

виявлення операційних, функціональних та структурних параметрів, встановлення їх зв'язків, на основі яких буде проводитися моделювання варіантів обрису СТС.

Операційно-функціональний аналіз (ОФА) застосування СТС виконується на всіх рівнях його ієрархії в залежності від цілей дослідження. Він полягає в розгляді завдань СТС на перспективу і формуванні її основних функцій при застосуванні.

Завдання СТС на перспективу будуть визначатися умовами застосування та природно-кліматичними особливостями, які залежать від характеристик об'єктів і природи, що взаємодіють з об'єктом прогнозування. Виділяючи об'єкти, які взаємодіють із СТС, необхідно розглянути зміну їх характеристик і її завдань на перспективу. Ретроспективний аналіз розвитку СТС показує, що їх завдання змінюються незначно. Тому є підстави припускати, що вони є досить стабільними.

Визначення майбутньої ситуації застосування СТС проводиться за допомогою побудови сценаріїв її застосування, відповідних горизонту прогнозування. За сукупністю таких сценаріїв визначається, наскільки зміняться її завдання. Необхідно взяти до уваги, що майбутнє зароджується і формується в надрах сьогодення, і передбачення має базуватися на дослідженні існуючих тенденцій. Облік з прийнятним ступенем точності різноманітності факторів, що визначають кількісні результати операцій в майбутньому, пов'язаний з великими труднощами і необхідністю вирішення задач великої розмірності. Тому доцільно проводити укрупнений аналіз на базі типових завдань застосування СТС.

Для цього потрібно підібрати показники типових завдань, які б відповідали сукупності головних характеристик об'єкта прогнозування, характеристик, що визначають, найбільшою мірою, її призначення та відображають здатність СТС до вирішення завдань в конкретних умовах її застосування. При цьому виконується детальний аналіз перспектив розвитку об'єктів, які взаємодіють з прогнозованою СТС, і формуються показники типових завдань її застосування.

Після аналізу завдань СТС і супутніх їх виконанню умов на перспективу, логічно перейти до основних функцій, які вона виконує при цьому. Система функцій $\{\Phi\}$ формалізується на основі сформульованого переліку завдань і

виділення безлічі типових операцій центрального елементу $\{ЦЕ\}$, планів операцій і їх етапів, що визначаються впливом системи завдань $\{Z\}$, об'єктів - цілей $\{O-Ц\}$, природно - кліматичних $\{ПКУ\}$ і операційних умов $\{OU\}$.

Відповідно на рис. 4.2 подані результати формування основних функцій СТС. Таким чином, з одного боку ОФА передбачає знаходження умов, в яких проводяться операції за участю СТС, а з іншого - функцій, які вона виконує в тих чи інших умовах. За допомогою ОФА забезпечується виділення найбільш вірогідних умов, в яких функціонує СТС, здійснюється виявлення її нових функціональних можливостей і встановлення найбільш важливих функцій. Потім для досліджуваної СТС з урахуванням умов застосування виділяються типові завдання.

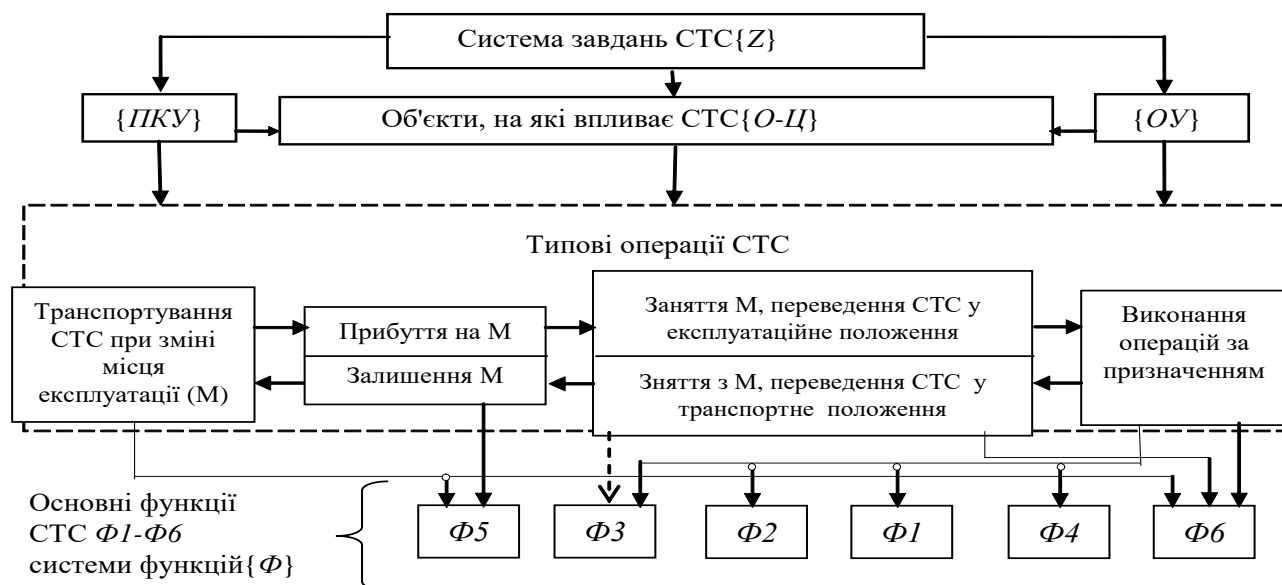


Рисунок 4.2. – Схема формування основних функцій СТС $\{Ф\}$

Вони відповідають конкретному варіанту застосування СТС. При виконанні кожного з перерахованих завдань формуються функції перспективної СТС. Крім того, кожному j -ому завданню ставиться у відповідність коефіцієнт важливості. На основі матричного аналізу виконується оцінка відносної важливості функцій зразків 1-го і 2-го рівнів, результати оцінки важливості зводяться в таблиці. Значимість функцій 1-го і 2-го рівнів розраховується за наступними залежностями.

Для 1-го рівня

$$A_{i1} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{l_j} P_j a_{kil}, \quad i_1 = 1, \dots, K_1; \quad k = 1, \dots, l_j, \quad (4.1)$$

де K_1 – кількість розглянутих функцій 1-го рівня;

n – кількість завдань;

l_j – кількість об'єктів впливу для j -го завдання;

P_j – важливість j -го завдання;

$$a_{kil} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i_1\text{-а функція збігається з } j\text{-им завданням } k\text{-го об'єкту;} \\ 0, & \text{якщо } i_1\text{-а функція не збігається з } j\text{-им завданням } k\text{-го об'єкту.} \end{cases}$$

Для 2-го рівня

$$A_{i2} = \sum_{i1=1}^{K_1} A_{i1} b_{i2i1}, \quad i_2 = 1, \dots, K_2, \quad (4.2)$$

де K_2 – кількість розглянутих функцій 2-го рівня;

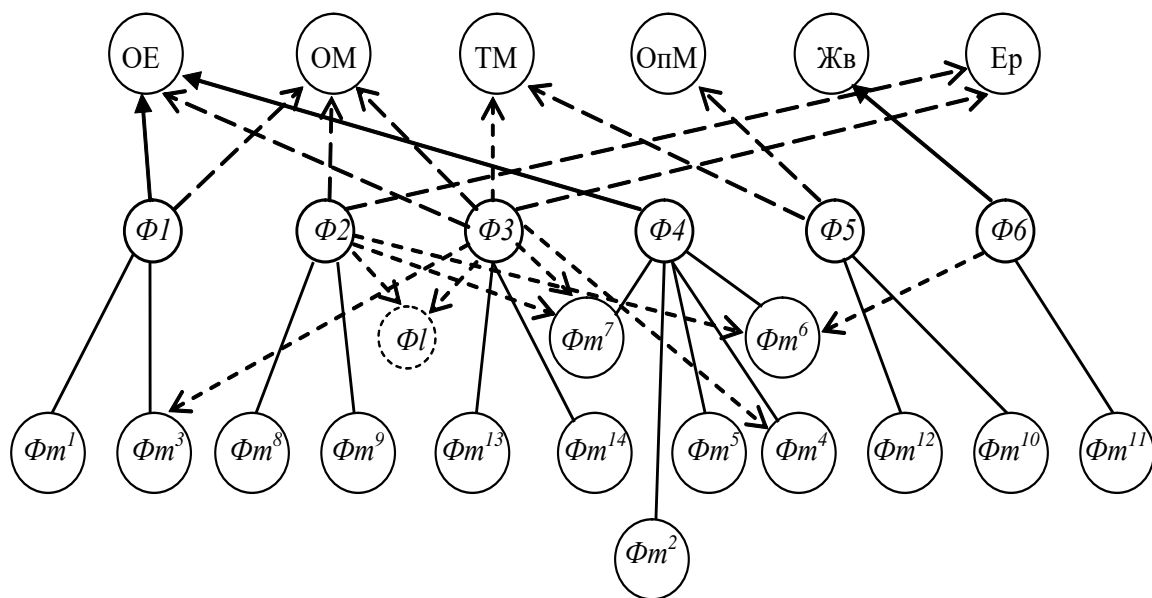
b_{i2i1} – кількість об'єктів для впливу, відповідне i_2 -й функції 2-го рівня і i_1 -й функції 1-го рівня.

Функціонально-структурний аналіз (ФСА) включає в себе формування узагальненої схеми СТС, побудову та аналіз функціональних груп її блоків, елементів.

Формування узагальненої функціональної схеми передбачає декомпозицію основних функцій СТС до функцій блоків, елементів та аналіз впливу їх на обрані її властивості. За результатами ОФА виявляються завдання та умови застосування об'єкта прогнозування, що є основою для встановлення основних функцій СТС. Кожна функція синтезує в собі функції блоків, елементів, які об'єднуються у функціональні групи. Декомпозиція основних функцій здійснюється паралельно декомпозиції самої СТС таким чином, щоб не виникло невизначеності щодо типів засобів, здатних реалізувати цільові вимоги. На рис. 4.2. показана схема формування основних функцій СТС. Далі здійснюється декомпозиція цих функцій до функцій блоків, елементів і створення розширеної системи функцій $\{\Phi\}$, на рис. 4.3 подана узагальнена функціональна схема СТС. Побудова та аналіз функціональних груп її блоків, елементів виконується на основі результатів ОФА

і в основному полягає у виявленні (уточненні) функцій СТС на більш низьких рівнях ієрархії в порівнянні з функціями ОФА і всіх можливих елементів її структури, призначених для виконання цих функцій.

Далі проводиться аналіз відповідності між функціями і засобами (структурами), що їх виконують.



Ф1 - функції, які виконує СТС

Рисунок 4.3 – Узагальнена схема функцій СТС

Тут використовується подання структури СТС узагальненим орієнтованим графом, сприятливому оцінці взаємозв'язку між його складовими.

Використовуючи цей факт, можна перейти до опису функціональної структури конкретних варіантів із знаходженням важливих структурних параметрів, що особливо важливо при розробці нових структур, бо є можливість сформулювати рекомендації, які б забезпечували функціональне розвантаження окремих складових (елементів) СТС, посилення слабких ланок структури шляхом введення структурної та функціональної надмірності, і нарешті, доцільно розподілити свої зусилля для досягнення найбільшої або заданої якості функціонування СТС в цілому.

Параметричний аналіз (ПА) передбачає детальний розгляд результатів ОФА і ФСА з акцентом на кількісні параметри, що характеризують умови застосування (проведення аналізу операційних параметрів (АОпП)) і можливості СТС ефективно виконувати свої завдання (функціонально-параметричний аналіз (ФПА) і структурно-параметричний аналіз (СПА)). Розбіжність між параметрами операційних досліджень з параметрами її функціонально-структурної схеми визначає необхідність їх вдосконалення у відповідних напрямках. Важливість такого ПА на вербально-логічному рівні обумовлена можливістю постійного коригування перспектив розвитку елементної бази СТС в міру надходження нової інформації про ймовірні зміни в умовах застосування тої чи іншої СТС. Параметричний аналіз включає: виділення операційних, функціональних і структурних параметрів відповідно з результатів ОФА і ФСА; порівняльну оцінку результатів АОпП, ФПА і СПА; корегування перспектив розвитку елементної бази.

Слід зазначити, що СПА є логічним продовженням ФСА. Він включає в себе аналіз конструктивних модулів блоків та елементів СТС і параметричний опис її функціонально-структурної цілісності. Сутність його полягає у формуванні залежності обрису СТС від її параметрів, яка виходить на основі аналізу аналітичних формул для розрахунку основних характеристик СТС, а також особливостей її загальної конструкції.

Таким чином, ОПА орієнтований на розкриття об'єкта прогнозування з системно-структурної та функціональної позицій. Подальше використання результатів ОПА в конкретній задачі прогнозування здійснюється після виявлення їх зв'язку з тимчасовим фактором. Для цього необхідно описати обрис СТС (подати її як системно-структурне утворення) і відзначити її зміни за часом.

Опис обрису СТС проводиться за допомогою якісних показників, які подаються в подальшому якісними ознаками. Для цього, з одного боку, необхідно визначити номенклатуру цих якісних показників, а з іншого боку, щоб оцінити функціональні можливості СТС, потрібно знати її основні властивості і як вони впливають на обрис СТС.

4.2 Опис складної технічної системи як об'єкта прогнозування

4.2.1 Вибір номенклатури якісних показників складної технічної системи.

При попередній формалізації СТС як системно-структурного утворення потрібно з необхідним ступенем точності формувати якісні характеристики (ЯХ), які визначаються типом і складом підсистем та елементів. У цьому випадку у вигляді якісної ознаки (ЯО) може виступати елемент, підсистема СТС, а в якості ЯХ - тип елемента, підсистеми. Тоді, кількість якісних ознак визначатиме число основних елементів, підсистем СТС. Тому, обираючи з якихось міркувань певну кількість її елементів і підсистем для опису обриса, тим самим, встановлюється номенклатура ЯО.

Враховуючи інформацію щодо об'єкта прогнозування, зовнішнього середовища і завдання прогнозних досліджень, мінімізація номенклатури ЯО виробляється інтуїтивно, і, так само, за допомогою формальних методів, що базуються на функціональному та статистичному аналізі. Останнім часом найбільшого поширення набули методи теорії розпізнавання образів, факторного аналізу, екстремального угруповання ознак.

Можливість використання цих методів для скорочення номенклатури ЯО ґрунтується на розгляді обриса СТС, як області одиничних показників в n -вимірному просторі. Вона має крапки, що характеризують обрис СТС. Достатність номенклатури показників визначається шляхом проведення формальної процедури розпізнавання, для чого в просторі ЯО на деякій навчальній вибірці будується вирішальна функція, за допомогою якої розпізнають класи ЯО. Це призводить до того, що виділяються найбільш інформативні ЯО. Всі ці методи в основному орієнтовані на оперування з кількісними ознаками, які до того ж ще мають і різні розмірності. При роботі з ЯО виникає необхідність використання нетрадиційних підходів, заснованих на застосуванні різного роду коефіцієнтів близькості. Так при визначенні інформативності i -ої ЯО, яка позначається вектором m^i , фіксованою сукупності з K об'єктів можна

використовувати загальне число значень ЯХ, що не збіглися між середнім вектором \bar{m}^i і векторами $m^{i\xi}$, $\xi = \overline{1, K}$,

$$n^{i\xi} = \sum_{\xi=1}^K \sum_{j=1}^{k_i} \left| \bar{m}_j^i - m_j^{i\xi} \right|, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4.3)$$

де k_i – кількість ЯХ, відповідних i -й ЯО;

n – кількість ЯО;

$\{\bar{m}_j^i\} = \bar{m}^i$ – вектор, найбільш часто повторюється в загальній сукупності

СТС;

$\{m_j^{i\xi}\} = m^{i\xi}$ – вектор i -ої ЯО ξ -ої СТС,

$$m_j^{i\xi} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \xi\text{-а СТС за } i\text{-ю ЯО володіє } j\text{-ю ЯХ,} \\ 0, & \text{якщо не володіє.} \end{cases}$$

При такому підході необхідно мати представницьку вибірку конкретних СТС (навчальну вибірку). Таким чином, завдання зводиться до вибору з великої кількості n ЯО m найбільш важливих відповідно до умов прогнозу. Повний перебір всіх можливих поєднань з n по m вельми трудомісткий. Тому при пошуку інформативних m ЯО доцільно йти шляхом "заохочення" і "покарання" їх. Для цього введемо в розгляд індикаторний вектор $U = (U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n)$, що характеризує конкретне поєднання ЯО з n по m , де

$$U_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо в поєднанні присутня } i\text{-а ЯО,} \\ 0, & \text{якщо не присутня.} \end{cases}$$

На першому кроці сукупність з m ЯО визначається випадково відповідно до розподілу $P_0(U) = 1/C_n^m$. Це досягається використанням датчика випадкових чисел (ДВЧ) з рівномірним розподілом в інтервалі $[0, 1]$. Відрізок $[0, 1]$ поділяється на n рівних частин, які відповідають ймовірності вибору визначальних ЯО $P_i^1 = 1/n$. Вектор U знаходиться при цьому наступним чином. Виходить випадкове число r за допомогою ДВЧ, а потім послідовно підсумовуються ймовірності

$$S_g = \sum_{j=1}^g P_j \quad (4.4)$$

до тих пір, поки $S_g \geq r$. Для відповідного значення вважаємо $U_g = 1$, тобто обрано g -у ЯО. Таким чином, обираються m ЯО, при цьому треба стежити, щоб всі ЯО були різними. Якщо, в отриманій сукупності ЯО є однакові, то знову реалізується випадкове число r і процедура визначення ознаки повторюється. Отже, на першому кроці визначається r' випадково вибраних сукупностей з m ЯО, яким відповідають індикаторні вектори $U_1^l, U_2^l, \dots, U_{r'}^l$.

Нехай необхідно визначити сукупність з m ЯО, якої би відповідав максимум вирішальною функції $F(U)$. Для цього на кожному q -м кроці визначається два

$$F_{\min}^q = \min_{\alpha} F(U_{\alpha}^q), F_{\max}^q = \max_{\alpha} F(U_{\alpha}^q), \alpha = \overline{1, r}, \text{ де } F(U_{\alpha}^q) = \sum_{i=1}^n \frac{n^{i \neq}}{K_i} U_{\alpha i}^q \quad (4.5)$$

значення і запам'ятовуються відповідно вектори $U_{\min}^q = (U_{1 \min}^q, U_{2 \min}^q, \dots, U_{n \min}^q)$ і $U_{\max}^q = (U_{1 \max}^q, U_{2 \max}^q, \dots, U_{n \max}^q)$, при яких отримані F_{\min}^q і F_{\max}^q . Адаптація зводиться до зміни вектора ймовірностей $P^q = (P_1^q, P_2^q, \dots, P_n^q)$ вибору ЯО на $(q+1)$ -м кроці пошуку. Так, після першого кроку, вектор ймовірностей $P^1 = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)$ змінюється на вектор ймовірностей для другого кроку:

$$\text{якщо } U_{i \max}^1 = 1, \text{ то } P_i^2 = P_i^1 + l, \text{ а при } U_{i \max}^1 = 0 \quad P_i^2 = P_i^1;$$

$$\text{якщо } U_{i \min}^1 = 1, \text{ то } P_i^2 = P_i^1 - l \text{ (зз умови, що } (P_i^1 - l) > 0),$$

$$P_i^2 = 0 \text{ (за умови, що } (P_i^1 - l) \leq 0), \text{ а при } U_{i \min}^1 = 0, \quad P_i^2 = P_i^1.$$

Через l позначений крок "заохочення" ("покарання") визначальної ознаки. За вектором U_{\max}^1 здійснюється "заохочення", а за U_{\min}^1 "покарання". Величина $l=H/m$, де H -сумарне "заохочення" ("покарання") визначальних ознак.

У відповідності з вектором P^2 на другому кроці виходять індикаторні вектори $U_1^2, U_2^2, \dots, U_{r'}^2$. Вектор P^3 виходить з P^2 за описаною схемою, вектор P^4

- із P^3 і т.п. Після Q кроків за ефективну групу ЯО приймається сукупність з індикаторним вектором U , для якого

$$F(U) = \max_q F_{\max}^q, \quad q = 1, \dots, Q.$$

де F_{\max}^q - вирішальна функція;
 q - кроки вибору.

Після невеликого числа кроків ймовірність вибору визначальних ознак, часто зустрічаються у вдалих поєднаннях, стає істотно більшою за інших. Тому, починаючи з певного кроку, весь час буде обиратися одна і та ж сукупність з m визначальних ознак.

Розглянутий порядок вибору ЯО ґрунтується на наступній гіпотезі: визначальні ознаки, що входять до найбільш інформативної сукупності з m ЯО, частіше зустрічаються в сукупностях, близьких до неї за критерієм F , і навпаки, ознаки, що входять у саму неінформативну сукупність, частіше зустрічаються в сукупностях, близьких до неї за даним критерієм. Число r' обирається таким, що між значеннями на q -м кроці F_{\min}^q і F_{\max}^q була укладена основна частина сукупностей з m ЯО. Відомо, що при нерівності $P_{r'} \{F^q(F_{\min}^q, F_{\max}^q)\} \geq \beta$ має місце співвідношення

$$P = 1 - r' \beta^{r'-1} + (r' - 1) \beta^{r'}. \quad (4.6)$$

Так, наприклад, для $P=0.98$ і $\beta=0.9$ число $r'=15$. Якщо гіпотеза вірна, то підвищується ймовірність вибору сукупностей з m ЯО, близьких до найкращої сукупності. Досвід вирішення практичних завдань показав, що добра збіжність виходить при невеликому числі кроків ($R=6...10$). (Додаток Г. 1).

4.2.2 Моделювання взаємозв'язку якісних показників складної технічної системи.

Застосувавши модель вибору номенклатури якісних показників, представлених ЯО, можна описати обрис СТС найбільш інформативними ЯО. Для

виявлення функціональних можливостей описаної СТС розглянемо модель визначення взаємозв'язку ЯО з її властивостями як об'єкта функціонування.

Дослідження динаміки розвитку СТС показують, що властивості, якими вона повинна володіти при застосуванні, не зазнають сильної зміни. У цих умовах можна, керуючись суб'єктивними уявленнями і переконаннями, розділити всю сукупність ЯО, що описують обрис СТС, на групи, число яких повинно знаходитися у відповідності з числом її властивостей. Таким чином, буде встановлено взаємозв'язок ЯО СТС з її властивостями.

Враховуючи той факт, що суб'єктивні уявлення в даному випадку є єдиним джерелом вихідних даних, можна стверджувати про їх важливу роль при виконанні класифікації ЯО. Ці суб'єктивні уявлення можна формалізувати за допомогою нечітких відносин, які не задовольняють аксіомам відстані, використовуваним для роботи з кількісною інформацією. Тому здійснюється перехід до n -мірних нечітких відносин, що задовольняє аксіомам відстаней. Відповідність ЯО заданій властивості, що визначена таким шляхом, стимулює відношення еквівалентності. Розглянемо основні теоретичні положення щодо відносин еквівалентності.

Нехай X набір ЯО. Нечітке відношення A на X характеризується функцією $f_A(x, y) \in [0, 1]$, для всіх $(x, y) \in [0, 1]$. Виділимо спочатку однокрокове відношення $f_1(x, y)$, що володіє властивостями рефлексивності і симетричності

$$\begin{aligned} f_1(x, x) &= 1, & \forall x \in X; \\ f_1(x, y) &= f_1(y, x), & \forall x, y \in X. \end{aligned}$$

Прийmemo припущення про те, що значення нечіткого однокрокового відношення $f_1(x, y)$ дається кожній парі ЯО з X . Значеннями $f_1(x, y)$ можуть бути суб'єктивні подібності, нормалізовані кореляції, потенційні функції та ін. У [47] вводиться поняття n -крокового відношення

$$f_n(x, y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_{n-1} \in X} \min [f_1(x, x_1), f_1(x_1, x_2), \dots, f_1(x_{n-1}, y)], \quad n=2, 3, \dots,$$

яке є n -ою композицією вихідного "експериментального" відношень $f_1(x, y)$ і являє собою в деякому розумінні його уточнення. З урахуванням зазначеного

$$f_{n+1}(x, y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n \in X} \min [f_1(x, x_1), \dots, f_1(x_{n-1}, x_n), f_1(x_n, y)] \geq \\ \geq \sup_{x_1, x_2, \dots, x_{n-2}, x_{n-1} \in X} \min [f_1(x, x_1), \dots, f_1(x_{n-1}, y), f_1(y, y)] = f_n(x, y).$$

Тому $0 \leq f_1(x, y) \leq f_2(x, y) \leq \dots \leq f_n(x, y) \leq f_{n+1}(x, y) \leq \dots \leq 1$, звідки для будь-яких $x, y \in X$ $f(x, y) = \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(x, y)$.

Для розуміння подальшої класифікації ЯО в таблиці (Додаток Г. 2) наведені визначення, лема і теореми 1-5 [47]. Коротко пояснимо їх сутність. Якщо поріг відносини λ не змінюється, то достатньо лише виявляти чи було кожне значення $f_1(x, y)$ більше ніж λ або ні. Таким чином, запам'ятовувати величини $f_1(x, y)$ не потрібно. Для цього випадку розглянемо транзитивне замикання

$$\hat{Q}\lambda = \bigcup_{i=1}^{\infty} Q\lambda^i = Q\lambda \cup (Q\lambda Q\lambda) \cup (Q\lambda Q\lambda Q\lambda) \cup \dots,$$

де $Q\lambda$ являється відношенням на X . Нехай $xQ\lambda y \leftrightarrow f_1(x, y) \geq \lambda$. Тоді, якщо маємо відношення $xQ\lambda y$ і $yQ\lambda z$, для всіх $\lambda \in [0, 1]$, то відомо, що транзитивне замикання $\hat{Q}\lambda$ є відношенням еквівалентності на X . Звідси випливає, що класифікація ЯО заснована на наявності зв'язку між двома ЯО. Теореми 6 і 8 розкривають властивості транзитивного замикання. Надалі можна показати, якщо X є кінцевим, то $\hat{Q}\lambda$ дорівнює $R\lambda$ і можна отримати теореми 2 і 3 для $\hat{Q}\lambda$.

Розглянемо скорочену форму запису $f_n(x, y)$ як попередній крок до обговорення властивостей у випадку, коли ряд ЯО кінцевий. Нехай

$$g_n(x, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, y) = \min [f_1(x, x_1), f_1(x_1, x_2), \dots, f_1(x_{n-1}, y)].$$

Тоді $f_n(x, y) = \sup_{x_1, \dots, x_{n-1} \in X} g_n(x, x_1, \dots, x_{n-1}, y)$. якщо $x_i = x_j$, тоді

$$g_n(x, x_1, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_j, x_{j+1}, \dots, x_{n-1}, y) \leq g_{n-j-i}(x, x_1, \dots, x_i, x_{j+1}, \dots, x_{n-1}, y)$$

Це означає, що можна усунути петлю $(x_i, x_{i+1}, \dots, x_j)$ в загальній низці $(x, x_1, \dots, x_{n-1}, y)$, коли розраховується $f_n(x, y)$. Тоді $f_n(x, y) = \max_{k \in K} g'_{nk}(x, y)$ в скороченому вигляді

$$f_n(x, y) = \max_{k \in K} g'_{nk}(x, y),$$

$$\text{де } g'_{nk}(x, y) = \begin{cases} \sup_{(x_1, \dots, x_k) \in X_k} g_n(x, x_1, \dots, x_k, y, y, \dots, y), & k = 1, 2, \dots, p, \\ f_1(x, y), & k = 0, \end{cases}$$

$$X_k = \{(x_1, \dots, x_k) / x_1 \in X - \{x, y\}, x_2 \in X - \{x, x_1, y\}, \dots, x_k \in X - \{x, x_1, \dots, x_{k-1}, y\}\}, \\ p = \min(n-1, N-2), \quad K = \{0, 1, \dots, p\}.$$

У даному випадку, коли $f_1(x, x) = 1$, з урахуванням того, що набір ЯО X кінцевий, маємо $f_{N-1}(x, y) = f_N(x, y) = \dots = f(x, y)$, де N – число елементів у X . Теорема 7 відображає властивість $f_n(x, y)$. На практиці завжди доводиться мати справу з кінцевим набором ЯО. Теорема 8 враховує відносини еквівалентності для кінцевого випадку.

За умови кінцівки безлічі X представимо нечітку матрицю $f_1(x, y)$ наступним чином:

$$F = \| f_1(x^i, x^j) \|, \quad i, j = 1, 2, \dots, N.$$

Покажемо деякі фундаментальні властивості даної нечіткої матриці. Позначимо елемент нечіткої матриці A через a_{ij} , $0 \leq a_{ij} \leq 1$. Визначимо наступні співвідношення

$$A < B \leftrightarrow a_{ij} \leq b_{ij}; \quad I = | m_{ij} |,$$

$$\text{де } m_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j; \end{cases}$$

$$C = A \circ B \leftrightarrow c_{ij} = \max_k \min(a_{ik}, b_{kj}); \quad A^{m+1} = A^m \circ A, \quad A^0 = I;$$

$$C = \max(A, B) \leftrightarrow c_{ij} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{якщо } a_{ij} \geq b_{ij}, \\ b_{ij} & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

Так як діагональні елементи нечіткої матриці F дорівнюють 1 , можемо записати

$$I < F < F^2 < \dots < F^{N-1} = F^N = \dots = F^\infty.$$

Спираючись на наведені теоретичні положення, алгоритм класифікації ЯО відповідно до властивостей СТС можна визначити шістьма етапами:

1. Формування N якісних ознак СТС і з'ясування їх можливих ЯХ.
2. Вибір розглянутих властивостей, N_1 .
3. Отримання на основі вихідної якісної інформації матриць однокрокових нечітких відносин $f_1^\xi(x, y)$, $\xi = \overline{1, N_1}$.
4. Розрахунок $(N-1)$ - крокових нечітких відносин $f_{N-1}(x, y)$.
5. Класифікація всієї сукупності ЯО за ξ -ю властивістю в N_1 груп і вибір визначальної групи властивості (фіксуються порогові значення λ^ξ для кожної ξ -ї властивості).
6. Встановлення визначальних груп ЯО, які відповідають усім властивостям.

Основна перевага такого підходу полягає в можливості використання суб'єктивних уявлень про СТС, які є єдиним джерелом інформації на ранніх етапах розробки.

Важливість запропонованої моделі для дослідження на ранніх етапах розробки підтверджується наступними міркуваннями. На основі ОПА виявляються найбільш важливі завдання СТС на перспективу, з урахуванням зміни умов застосування. Знаючи їх, не складе труднощів встановити сукупність пріоритетних властивостей СТС як об'єкта функціонування і, використовуючи дану модель, визначити її найбільш значущі блоки і елементи. Простежується зв'язок зміни умов застосування на перспективу безпосередньо із обрисом СТС. З іншого боку, знаючи перспективні блоки і елементи, використовуючи розроблену модель, не складе труднощів визначити для них властивості СТС як об'єкта розвитку.

4.3 Оцінка узгодженості та сумісності складної технічної системи

Аналіз характерних особливостей розвитку СТС показує, що її конструкція стає все більш прогресивною за рахунок впровадження нових ефективних технічних рішень. Але, разом з тим, не завжди повністю розкриваються її потенційні можливості при застосуванні через неузгодженість і несумісність з іншими зразками у складі комплексу складних технічних систем (КСТС), а також між елементами, блоками і підсистемами самої СТС. Без урахування цього факту при прогнозуванні обрису, можуть вийти варіанти з ефективним високоякісним елементним складом. Однак практика розробки СТС свідчить, що добре себе зарекомендували в експлуатації СТС, які не відрізняються кращою елементною базою. Прагнучи добитися узгодженої роботи блоків та елементів СТС, її сумісності з іншими СТС, розробник змушений постійно дозволяти технічні протиріччя в конструктивній схемі, що призводить до відмови від використання, на перший погляд, кращих блоків, елементів. Враховуючи цю обставину, при прогнозуванні обрису СТС, необхідно піддавати її варіанти аналізу на предмет комплексності (сумісності та узгодженості).

На основі прийнятого визначення комплексності і загальної характеристики умов ранньої розробки з СТС розглянемо модель оцінки узгодженості та сумісності її з іншими об'єктами.

Міру сумісності та узгодженості СТС можна відобразити системою правил

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_p\} \text{ виду:}$$

$$R_i : \text{якщо } C_j, \text{ то } C_k \text{ (} CF = t_i \text{)}, \quad (4.7)$$

де C_j і C_k – умови, описані припущеннями з необхідного обсягу знань, що мають певну істинність, яка визначається ранговою характеристикою $(\beta(t_j), \beta(t_k))$ або відповідною їй лінгвістичним терміном (t_j, t_k) ; t_i – лінгвістичний термін істинності i -го правила (див. табл. 4.1) CF – фактор визначеності. Якщо якась умова C_j складається з багатьох умов $(C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jn})$, зв'язаних разом відносинами I чи $АБО$ (наприклад, $C_j = C_{j1} C C_{j2} C \dots C C_{jn}$), то така умова називається комплексною, а правило з цією умовою – комплексним правилом.

Таблиця 4.1 – Безліч нечітких чисел і відповідних їм лінгвістичних термінів

Рангова характеристика, $\beta(t_i)$	Лінгвістичний термін, $t_i = \delta(\beta(t_i))$	Нечітке трапецієподібне число $[A, B, a, b]$
0	невідомий	(0, 0, 0, 0)
1	дуже малий	(0, 0.02, 0, 0.05)
2	малий	(0.1, 0.18, 0.06, 0.05)
3	середнє малий	(0.22, 0.36, 0.05, 0.06)
4	середній	(0.41, 0.58, 0.09, 0.07)
5	середнє великий	(0.63, 0.80, 0.05, 0.06)
6	великий	(0.78, 0.92, 0.06, 0.05)
7	дуже великий	(0.98, 1.0, 0.05, 0)
8	абсолютно істинно	(1.0, 1.0, 0, 0)

У таблиці (Додаток Г. 4) наведені типи комплексних правил, які можуть відображати сумісність та узгодженість складових СТС і самих об'єктів у складі комплексу.

Усі сформульовані правила виду (4.7) можна синтезувати у якісній матриці розмірністю $m \times m$ (m – кількість умов), кожен елемент якої

$$F(k, j) = \beta(t_i),$$

де $\beta(t_i)$ – рангова характеристика, що відповідає лінгвістичному терміну t_i , яка відбиває істинність правила R_i . Орієнтовні початкові істинності умов відображаються в якісному векторі істинності умов, будь-який елемент якого $T(i) = \beta(t_i)$. Якщо сукупність вихідних правил елементної узгодженості СТС сформована на основі m умов і k комплексних умов, з'являються в апіорній частині правил, то отримані якісна матриця правил і якісний вектор умов будуть розширеними і мати відповідно розмірність $(m+k) \times (m+k)$ і $(m+k) \times 1$.

Пропонується знаходити уточнений якісний вектор істинності умов

$$T^* = F \otimes T = \left[\begin{array}{c} \max \left[\min(x_{11}, y_1), \min(x_{12}, y_2), \dots, \min(x_{1(m+k)}, y_{m+k}) \right] \\ \max \left[\min(x_{21}, y_1), \min(x_{22}, y_2), \dots, \min(x_{2(m+k)}, y_{m+k}) \right] \\ \dots \\ \dots \\ \max \left[\min(x_{(m+k)1}, y_1), \min(x_{(m+k)2}, y_2), \dots, \min(x_{(m+k)(m+k)}, y_{m+k}) \right] \end{array} \right], \text{ де}$$

$$F = \left[\begin{array}{ccccc} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1(m+k)} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2(m+k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{(m+k)1} & x_{(m+k)2} & \dots & \dots & x_{(m+k)(m+k)} \end{array} \right], \quad T = \left[\begin{array}{c} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ \dots \\ y_{m+k} \end{array} \right].$$

– відповідно розширена якісна матриця правил і розширений якісний вектор умов, що відображає початкові їх істинності. За рахунок багаторазового повторення перетворення можна домогтися виконання $T^* = T$. У цьому випадку остаточний розширений якісний вектор умов буде повністю відображати нечіткість сформованих правил. Якщо правила відображають узгоджуючи зв'язки між складовими СТС (або між об'єктами в складі КСТС), то логічно вважати остаточний розширений якісний вектор умов величиною, що характеризує його комплексність. На рис. 4.1 поданий алгоритм нечітких міркувань, за допомогою якого розраховується розширений якісний вектор. Робота його включає ряд етапів:

1. Введення початкових наближень істинності умов $t_i, i = \overline{1, m, k}$ комплексних умов C_q на рисунку (додаток Г. 3) показані з відношенням I і розширеної якісної матриці F .

2. Формування початкового розширеного вектора умов T .

3. Розрахунок уточненого вектора умов $T^* = F \otimes T$, якщо $T^* \neq T$, то перехід до етапу 4, якщо $T^* = T$ – до етапу 5.

4. $T = T^*$ і повернення до етапу 3.

5. Отримання остаточної істинності умов, $T(i), i = \overline{1, m}$.

Таким чином, якщо вважати, що умови відображають складові СТС, а їх істинності комплексність цих складових, то комплексність її ζ -го варіанту

$$\beta(t_{\xi}) = \min(T(1), T(2), \dots, T(m)), \xi = \overline{1, N}, \quad (4.8)$$

де N – кількість аналізованих на комплексність варіантів.

У відповідності з таблицею (Додаток Г. 4) комплексність наводиться до лінгвістичного терміну чи нечіткому числу і враховується при прогнозуванні обрису СТС у складі комплексу.

Порядок формування показника комплексності СТС нечітким терміном полягає в наступному:

1. З'ясування системи зв'язків СТС у складі більш складної системи і відображення її в нечітких категоріях, що відповідають умовам ранніх етапів розробки.

2. Формування системи вихідних нечітких правил, що формалізують початкові уявлення про місце СТС в загальній схемі застосування в конкретних ситуаціях, і, відповідно, якісної матриці правил F та початкового якісного вектора умов T .

3. Реалізація алгоритму нечітких міркувань (Додаток Г. 3) та отримання остаточного розширеного якісного вектора T , що відображає сумісність і узгодженість складових СТС з урахуванням факторів, що діють на нього в складі комплексу.

4. Розрахунок показника комплексності ξ -ї СТС за виразом (4.8) яка функціонує у складі комплексу.

Запропонований науково-методичний апарат оцінки комплексності СТС може бути використаний при аналізі її варіантів, характерною рисою яких є розпливчастість обрису. Алгоритм нечітких міркувань істотно підвищить швидкість прийняття рішень і підвищить достовірність формування варіантів обрису СТС.

4.4 Оцінка ризику створення складної технічної системи

На основі аналізу процесів, що супроводжують створення СТС, виявлено ряд типових факторів, які пов'язані з відстроченим графіком виконання робіт, зростаючою їх вартістю, недостатньою ефективністю опрацювання варіантів та ін. Як правило, це є результатом загальних тенденцій, пов'язаних із збільшенням новизни, прогресивності і морального старіння, що віддаляє момент початку

використання СТС. Тому, в цих умовах, потрібно вміти оцінювати ризик створення СТС, результати якого використовувати при прийнятті остаточного рішення. Для цього необхідно розробити науково-методичний апарат, який буде залежати від того, які принципи дії закладаються в основу функціонування СТС.

Зважаючи на високі складності факторів ризику і накладення різних типів невизначеності, немає сенсу використовувати для оцінки ризику складний математичний апарат. В реальній ситуації фактори ризику розглядаються як лінгвістичні змінні: "дуже високий", "середній", "низький" і т.п. Тому надалі при оцінці ступеня ризику будуть використовуватися нечіткі терміни факторів ризику. Проводити її доцільно в два етапи. Причому етапність моделі оцінки ризику пояснюється тим, що враховується як фактор ризику, так і його важливість. У даному випадку розглядаються ступеня ризику чинників і ступеня важливості їх характеристик, які оцінюються рангами (табл. 4.2)

Таблиця 4.2 – Лінгвістичні змінні ступенів ризику і важливості

Ранги ступенів ризику і важливості	N_i
1 - гранично низька	(0 ; 0 ; 0.1)
2 - надзвичайно низька	(0 ; 0.1; 0.2)
3 - дуже низька	(0.1; 0.2; 0.3)
4 - низька	(0.2; 0.3; 0.4)
5 - не дуже низька	(0.3; 0.4; 0.5)
6 - середня	(0.4; 0.5; 0.6)
7 - не дуже висока	(0.5; 0.6; 0.7)
8 - висока	(0.6; 0.7; 0.8)
9 - дуже висока	(0.7; 0.8; 0.9)
10 - надзвичайно висока	(0.8; 0.9; 1)
11 - гранично висока	(0.9; 1; 1)

Лінгвістичні змінні $1, 2, \dots, 11$ перетворюються у відповідні нечіткі числа N_i , $i = \overline{1, 11}$, з трикутними функціями належності

$$\mu_{N_i}(x) = \begin{cases} 1 - 10 \times x, & 0 \leq x \leq 0.1, \\ 0, & 0.1 \leq x \leq 1.0; \end{cases}$$

$$\mu_{N_k}(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq (k-2)/10, \\ 10 \times x - (k-2), & (k-2)/10 \leq x \leq (k-1)/10, \\ k - 10 \times x, & (k-1)/10 \leq x \leq k/10, \\ 0, & k/10 \leq x \leq 1.0, \end{cases} \quad (4.9)$$

$k=2,3,\dots,10$;

$$\mu_{N_{11}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.9, \\ 10 \times x - 9, & 0.9 \leq x \leq 1.0 \end{cases}$$

Нехай ступеня ризику і важливості виражені нечіткими числами N_r і N_i з функціями приналежності $\mu_{N_r}(x)$ і $\mu_{N_i}(x)$ відповідно. Отримано вираз функції приналежності добутку цих нечітких чисел $\mu_{N_r \otimes N_i}(x)$. Розрахункові значення величин ступенів ризику мають вигляд

$$g(r, i) = \frac{\int_a^b x \mu_{N_r \otimes N_i}(x) dx}{\int_a^b \mu_{N_r \otimes N_i}(x) dx}.$$

Модель структури ризику заснована на виявленні для конкретного прогнозного дослідження факторів ризику та їх характеристик. Для прикладу (рис. 4.4.) подана ієрархічна структурна модель ризику R . В таблиці (Додаток Г. 5) наведені найбільш важливі фактори ризику та їх характеристика.

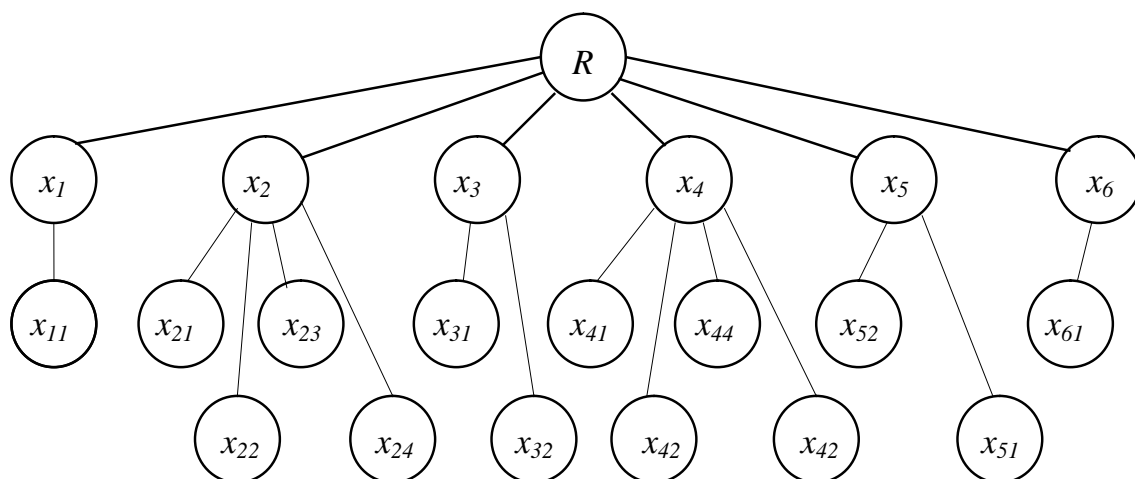


Рисунок 4.4 – Ієрархічна структурна модель ризику (варіант)

Природно, що запропоновані фактори ризику та їх характеристики обираються керівником робіт при безпосередній взаємодії з організаціями забезпечення та органами планування і оцінки розробки. Виходячи з оцінки

ситуації з проведення розробки визначаються ранги ступенів ризику за факторами і важливістю характеристик факторів з використанням лінгвістичних змін, що наведені в табл. 4.2.

Уведемо деякі позначення. Нехай $n(k)$ – кількість характеристик ризику для k -го фактора x_k , $k = \overline{1,6}$. Відповідно до прийнятої для прикладу структурною моделлю:

$$n(1)=1; n(2)=4; n(3)=2; n(4)=4; n(5)=2; n(6)=1.$$

Важливість факторів x_1, x_2, \dots, x_6 позначимо відповідно $W2(1), W2(2), \dots, W2(6)$. При цьому виконуються умови:

$$\sum_{i=1}^6 W2(k) = 1, \quad 0 \leq W2(k) \leq 1, \quad k = \overline{1,6}.$$

У свою чергу ваги характеристики ризику x_{kj} , $k = \overline{1,6}$, $j = \overline{1, n(k)}$, позначимо через $W1(k, j)$. Для них також виконуються умови:

$$\sum_{j=1}^{n(k)} W1(k, j) = 1, \quad 0 \leq W1(k, j) \leq 1.$$

З урахуванням цього алгоритм оцінки ризику буде полягати в наступному:

1. Формування N факторів ризику створення СТС і сукупності їх характеристик з наступною побудовою ієрархічної моделі ризику.

2. Визначення необхідної кількості лінгвістичних змінних s^* (у табл. 4.2 їх визначено 11) для оцінки факторів ризику. Побудова для них трикутних функцій належності (4.9) і відповідно отримання $VG(s)$, $k = \overline{1, k^*}$.

3. Побудова для кожного фактора ризику x_k нечіткої матриці $M(x_k)$ та оцінки ризику k -го фактора таблиця (Додаток Г. 4)

$$\begin{aligned} RI(k) &= (R(k, 1), R(k, 2), \dots, R(k, s), \dots, R(k, s^*)) = \\ &= (W1(k, 1), W1(k, 2), \dots, W1(k, n(k))) \times M(x_k), \quad s = \overline{1, s^*}, \quad k = \overline{1, N}, \end{aligned}$$

$$\text{де } R(s, k) = \sum_{j=1}^{n(s)} W1(s, j) \times V(r, i, k), \quad k = \overline{1, k^*}, \quad j = \overline{1, n(s)}.$$

Фактор ризику x_k має характеристики $x_{s,1}, x_{s,2}, \dots, x_{s,n(s)}$ і відповідні оцінки ризику дорівнюють $g(r_{s,1}, i_{s,1}), g(r_{s,2}, i_{s,2}), \dots, g(r_{s,n(s)}, i_{s,n(s)})$.

Значення $V(r_{sj}, i_{sj}, n)$ і $V(r_{sj}, i_{sj}, n+1)$ отримуються у результаті перетину $x = g(r_{sj}, i_{sj})$ і $\mu_{V_n}(x), \mu_{V_{n+1}}(x)$ ($n=1, 2, \dots, s^*-1$) відповідно. Тоді $V(r_{sj}, i_{sj}, n+1) = 1 - V(r_{sj}, i_{sj}, n)$ і $V(r_{sj}, i_{sj}, k) = 0$ для кожного s , але $s \neq n, n+1$.

Таким чином, створюється нечітка матриця

$$M(x_s) = \begin{matrix} & & V_1 & V_2 & \dots & V_{s^*} \\ \begin{matrix} x_{s,1} \\ x_{s,2} \\ \dots \\ \dots \\ x_{s,n(s)} \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc} V(r_{k,1}, i_{k,1}, 1) & V(r_{k,1}, i_{k,1}, 2) & \dots & V(r_{k,1}, i_{k,1}, s^*) \\ V(r_{k,2}, i_{k,2}, 1) & V(r_{k,2}, i_{k,2}, 2) & \dots & V(r_{k,2}, i_{k,2}, s^*) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)}, 1) & V(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)}, 2) & \dots & V(r_{k,n(k)}, i_{k,n(k)}, s^*) \end{array} \right] \end{matrix}.$$

4. Отримання нечіткої оцінки загального ризику за сукупністю виділених факторів

$$R^* = (R2(1), R2(2), \dots, R2(s), \dots, R2(s^*)) = (W2(1), W2(2), \dots, W2(N)) \times \begin{bmatrix} R(1) \\ R(2) \\ \dots \\ R(N) \end{bmatrix},$$

$$\text{де } R2(k) = \sum_{\gamma=1}^N W2(\gamma) \times R(\gamma, k), \text{ для } k = \overline{1, k^*}.$$

5. Знаходження остаточної оцінки ризику, в якій усунена нечіткість центроїдного ризику методом,

$$\bar{R} = \frac{\sum_{k=1}^{k^*} VG(k) \times R2(k)}{\sum_{k=1}^{k^*} R2(k)} = \sum_{k=1}^{k^*} VG(k) \times R2(k), \left(\sum_{k=1}^{k^*} R2(k) = 1 \right).$$

Величина \bar{R} являє собою оцінку загального ризику.

Для практичних цілей даний алгоритм істотно спрощується, якщо ввести операцію по зняттю нечіткості трапеційдального нечіткого числа M (рис. 4.5).

$$D(M) = e = \frac{a + b + c + d}{4}.$$

Трикутне нечітке число A , що параметризоване трійкою (a, b, c) , є окремим випадком трапеційдального нечіткого числа M . У цьому випадку, трикутне нечітке число A може також бути представлено четвіркою (a, b, b, c) .

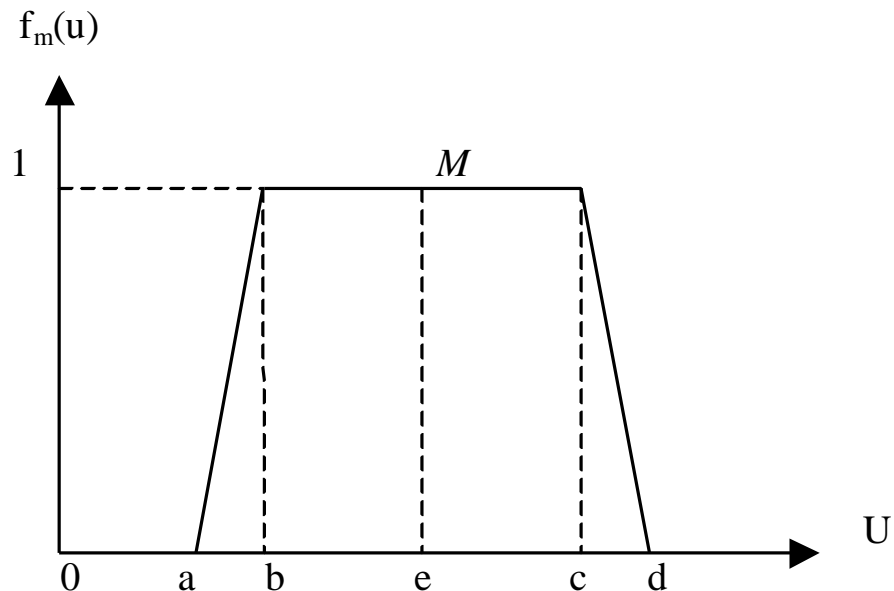


Рисунок 4.5 – Зняття нечіткості трапеційдального нечіткого числа

Тоді зняття нечіткості значення $D(A)$ трикутного нечіткого числа буде визначатися за допомогою залежності

$$D(A) = e = \frac{a + b + b + c}{4}. \quad (4.10)$$

Базуючись на вираженні (4.10) зміст ієрархічної структурної моделі, показаної на рис. 4.3 може бути представлено у вигляді таблиці (Додаток Г. 5). Тут оцінка ризику $R(r, i) = D(r) \times D(i)$, де $D(r)$ і $D(i)$ - значення трикутних нечітких чисел зі знятою нечіткістю, поданих відповідно ступенем ризику (r) і важливістю (i).

Нехай

$$P(1) = WI(1,1) \times R(r_{11}, i_{11}),$$

$$P(2) = WI(2,1) \times R(r_{21}, i_{21}) + WI(2,2) \times R(r_{22}, i_{22}) + \\ + WI(2,3) \times R(r_{23}, i_{23}) + WI(2,4) \times R(r_{24}, i_{24}),$$

$$P(3) = WI(3,1) \times R(r_{31}, i_{31}) + WI(3,2) \times R(r_{32}, i_{32}),$$

$$P(4) = WI(4,1) \times R(r_{41}, i_{41}) + WI(4,2) \times R(r_{42}, i_{42}) + \\ + WI(4,3) \times R(r_{43}, i_{43}) + WI(4,4) \times R(r_{44}, i_{44}),$$

$$P(5) = WI(5,1) \times R(r_{51}, i_{51}) + WI(5,2) \times R(r_{52}, i_{52}),$$

$$P(6) = WI(6,1) \times R(r_{61}, i_{61}).$$

Тоді кінцева оцінка ризику

$$RIK = W2(1) \times P(1) + W2(2) \times P(2) + W2(3) \times P(3) + W2(4) \times P(4) + \\ + W2(5) \times P(5) + W2(6) \times P(6).$$

Оцінки ризику створення за варіантом структурної моделі ризику (рис. 4.4) проводилась за двома варіантами. У першому варіанті проводилася оцінка з використанням центроїдного методу, а в другому - використовувалася процедура зняття нечіткості. Основною перевагою в другому варіанті є те, що не потрібно формувати нечіткі матриці та оцінки ризику чинників, щоб оцінити першорядні складові вектори оцінки. Крім того, немає потреби виконувати складні операції зі зняття нечіткості у розрахунках, що використовують центроїдний метод.

Запропонована модель оцінки ризику має наступну перевагу. Виходячи із заданої оцінки ризику \bar{R} , можна підібрати важливість або ступені ризику чинників x_k , що дозволить збалансовано розподілити зусилля по створенню СТС. Крім того, ними можна користуватися при оцінці варіантів СТС, отриманих в результаті прогнозних досліджень.

Таблиця 4.3. – Множина нечітких чисел та відповідних їм лінгвистичних термінів

Рангова характеристика, $\beta(t_i)$	Лінгвистичний термін, $t_i = \delta(\beta(t_i))$	Нечітке трапецеїдальне число $[A, B, a, b]$
0	невідомо	(0, 0, 0, 0)
1	дуже мало	(0, 0.02, 0, 0.05)
2	мало	(0.1, 0.18, 0.06, 0.05)
3	середнє мало	(0.22, 0.36, 0.05, 0.06)
4	середнє	(0.41, 0.58, 0.09, 0.07)
5	середнє більше	(0.63, 0.80, 0.05, 0.06)
6	більше	(0.78, 0.92, 0.06, 0.05)
7	дуже більше	(0.98, 1.0, 0.05, 0)
8	абсолютно істинно	(1.0, 1.0, 0, 0)

4.5 Облік невизначеності вихідних даних в моделях забезпечення процесу прогнозування

Використання моделей оцінки ризику створення СТС призводить до того, що результати носять характер інтервальних чисел. Це стосується оцінки ймовірності несприятливого результату щодо створення варіанту СТС. Слід додати, що сама СТС описується характеристиками, які також зручно представляти в інтервальному вигляді. Крім того, оцінка показників властивостей СТС як об'єкта розвитку теж може проводитися на базі теорії інтервальних чисел.

Таке уявлення вихідних даних щодо перспективної СТС зручне при експертній оцінці, тому що експерту завжди краще дати нижню і верхню межу зміни показника, ніж конкретне його значення. Але з іншого боку, виникає невизначеність, яку потрібно враховувати надалі. Розглянемо теоретичні положення щодо оцінки невизначеності вихідних даних, що подаються інтервальними числами.

При використанні неповної (неточної) інформації важливо встановити міру невизначеності вихідної інформації або конкретних оцінок, що отримуються в ході розрахунків. Найбільш обґрунтованим і використовуваним показником невизначеності є кількість інформації, що визначається при відомому дискретному розподілі ймовірностей $\nu(x)$ випадкової величини на безлічі результатів X за допомогою ентропії Шеннона

$$H = -\sum_{k=1}^n \nu(x_k) \log_2 \nu(x_k), \quad x_k \in X.$$

Однак розподіл $\nu(x)$ часто буває невідомим, але в той же час є деякі інтервальні середні ознаки випадкової величини. Тоді можна використовувати наступний підхід узагальнення кількості інформації. Припустимо, що інформація щодо дискретної випадкової величини обмежена множиною, що складається з m нижніх і верхніх середніх $\underline{a}_i = \underline{M}(\varphi_i(x))$, $\bar{a}_i = \bar{M}(\varphi_i(x))$ ознак $\varphi_i(x)$, $x \in X$,

$i = \overline{1, m}$. Отже, кількість інформації визначається в ході вирішення завдань оптимізації

$$\begin{aligned}\overline{H} &= \max_v \left\{ - \sum_{k=1}^n v(x_k) \log_2 v(x_k) \right\}, \\ \underline{H} &= \min_v \left\{ - \sum_{k=1}^n v(x_k) \log_2 v(x_k) \right\},\end{aligned}$$

при відповідних обмеженнях

$$v(x_k) \geq 0, \quad \sum_{k=1}^n v(x_k) = 1, \quad \underline{a}_i \leq \sum_{k=1}^n \varphi_i(x_k) v(x_k) \leq \overline{a}_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

У даному випадку максимум і мінімум знаходиться за безліччю V усіх розподілів ймовірностей $\{v(x), x \in X\}$, які узгоджуються з наявною інформацією, тобто задовольняють існуючим обмеженням.

Для наочності, викладених теоретичних положень, звернемося до наступного прикладу: нехай маємо $X = \{0, 1, 2\}$. Відомо також, що $v(0) \leq 0.2$, а середнє значення випадкової величини більше, ніж 1.6. Дана інформація може бути подана як

$$\underline{M}(A(x)) = 0; \quad \overline{M}(A(x)) = 0.2; \quad \underline{M}(x) = 1.6; \quad \overline{M}(x) = 2.$$

Тут $A(x) = 1$, якщо $x = 0$; $A(x) = 0$ якщо $x \neq 0$.

Тоді нижня і верхня кількість інформації обчислюється за допомогою формул

$$\begin{aligned}\overline{H} &= \max_{v(0), v(1), v(2)} \left\{ -v(0) \log_2 v(0) - v(1) \log_2 v(1) - v(2) \log_2 v(2) \right\}, \\ \underline{H} &= \min_{v(0), v(1), v(2)} \left\{ -v(0) \log_2 v(0) - v(1) \log_2 v(1) - v(2) \log_2 v(2) \right\},\end{aligned}$$

для яких справедливі обмеження

$$v(0) + v(1) + v(2) = 1, \quad 0 \leq v(0) \leq 0.2, \quad 1.6 \leq v(1) + 2v(2) \leq 2.$$

Для цього випадку рішення можна знайти тільки чисельним методом. Зокрема,

$$\begin{aligned}\underline{H} &= 0, \quad v(0) = 0, \quad v(1) = 0, \quad v(2) = 1, \\ \overline{H} &= 1.1625, \quad v(0) = 0.082, \quad v(1) = 0.235, \quad v(2) = 0.683.\end{aligned}$$

Слід зазначити, що коли обмеження відсутні (повна відсутність інформації),

$$\begin{aligned} \underline{H} &= 0, \quad \nu(0) = 0, \quad \nu(1) = 0, \quad \nu(2) = 1, \quad \text{то} \\ \bar{H} &= 1.5849, \quad \nu(0) = 1/3, \quad \nu(1) = 1/3, \quad \nu(2) = 1/3. \end{aligned}$$

Звідси видно, що ситуація повного незнання має те ж саме значення \bar{H} , як і ситуація, яка характеризується рівномірним розподілом, коли $\underline{H} = \bar{H} = \log_2 n$. Однак ці дві ситуації відповідають різним множинам імовірнісних розподілів. У першому випадку безліч розподілів складається з усіх можливих розподілів, які можуть бути визначені на X ; у другому випадку ця безліч складається з одного рівномірного розподілу.

Аналіз результатів наведеного прикладу вказує на необхідність введення нової міри кількості інформації, що враховує різницю між повним незнанням і рівномірним розподілом. Для обліку цієї різниці доцільно використовувати величину H і тут же розглянути основні варіанти співвідношень між \underline{H} і \bar{H} .

1. Повна невизначеність: $\underline{H} = 0, \quad \bar{H} = \log_2 n$.
2. Часткова невизначеність: $0 \leq \underline{H} \leq \bar{H} \leq \log_2 n$.
3. Рівномірний розподіл: $\underline{H} = \bar{H} = \log_2 n$.
4. Довільний розподіл: $\underline{H} = \bar{H} \leq \log_2 n$.

Для обліку даних варіантів співвідношень між \underline{H} і \bar{H} можна звернутися до наступної міри

$$H = 2\bar{H} - \underline{H}.$$

Так як максимальне значення \bar{H} дорівнює $\log_2 n$, а мінімальне значення \underline{H} дорівнює 0, то $H = 2\log_2 n$. Тоді, повертаючись до розглянутого прикладу, неважко обчислити $H = 3.1698$ при повному незнанні (відсутності інформації). Для рівномірного розподілу $\underline{H} = \bar{H} = \log_2 3 = 1.5849$ і $H = 1.5849$.

Аналогічно можна вивчити випадок, коли ϵ безперервною випадковою величиною з густиною ймовірностей $f(x)$. Якщо інформація буде подана у

вигляді безлічі середніх $\underline{a}_i = \underline{M}(\varphi_i(x))$, $\overline{a}_i = \overline{M}(\varphi_i(x))$, $x \in [b, c]$, $i = \overline{1, m}$, то кількість інформації визначається за допомогою виразів

$$\overline{H} = \max_f \left(- \int_b^c f(x) \log_2 f(x) dx \right), \quad \underline{H} = \min_f \left(- \int_b^c f(x) \log_2 f(x) dx \right).$$

Тут в якості обмежень беруться

$$f(x) \geq 0, \quad \int_b^c f(x) dx = 1, \quad \underline{a}_i \leq \int_b^c \varphi_i(x) f(x) dx \leq \overline{a}_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

У даному випадку максимум і мінімум визначаються за безліччю F усіх густин $\{f(x), x \in [b, c]\}$, які узгоджуються з наявною інформацією, тобто задовольняють зазначеним обмеженням.

Висновки за розділом 4

1. Запропоновано в ході прогностичних досліджень, пов'язаних з формалізацією СТС, використовувати ОПА, який включає ОФУ, ФВА і ПА. Він дає можливість на функціональній основі провести аналіз застосування перспективної СТС, виявити її найбільш важливі завдання та перспективну елементну базу. Наведено алгоритми проведення ОФУ, ФВА, ПА. Показано, що ОПА розкриває СТС, насамперед, як об'єкт функціонування, потім як системно-структурне утворення.

2. Розроблено алгоритм вибору номенклатури якісних показників СТС, який сприяє формуванню складу її елементів і підсистем, що використовуються при описі обрису. Вибір номенклатури заснований на визначенні найбільш інформативних ЯО СТС, розрахунок яких здійснювався за допомогою відповідної залежності.

3. Запропоновано модель, що забезпечує отримання оцінок ступенів залежності СТС від її властивостей як об'єкта функціонування, що базується на формалізації суб'єктивних уявлень експерта нечіткими відношеннями. Проведено аналіз основних теоретичних положень щодо нечітких відносин еквівалентності, поданих визначенням, лемою і відповідними теоремами, на основі якого розроблено алгоритм роботи моделі, суть якого полягає в класифікації ЯО СТС

згідно з її властивостями. Показана доцільність використання моделі при виявленні на ранніх етапах розробки СТС взаємозв'язку її властивостей як об'єкта функціонування так і об'єкта розвитку.

4. Розроблено модель оцінки СТС на узгодженість і сумісність (комплексність) при використанні у складі КСТС. Вона базується на системі нечітких правил, які враховують його зв'язку та використовуються для розробки алгоритму нечітких міркувань з розрахунку остаточного розширеного якісного вектора. На основі даного алгоритму формується показник комплексності СТС.

5. Розроблена модель оцінки ризику створення СТС, яка побудована з використанням ієрархічної структурної схеми факторів ризику та їх характеристик, які отримані в ході аналізу процесів, притаманних етапами ЖЦ СТС.

6. Розроблено модель оцінки ризику створення зразка СТС, функціонуючого на НПД. Вона враховує нечітку множину станів ризику, що відповідає незавершеності процесів його створення на різних етапах ЖЦ. Отримані моделюючі залежності для розрахунку ймовірності несприятливого приємного результату по створенню кращого варіанту зразка СТС, функціонуючого на НПД. Особливістю моделі є те, що одержувані оцінки ризику за допомогою її мають інтервальний вигляд.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання розробки моделей та методів управління проектуванням СТС. Проведене дослідження дозволило зробити наступні висновки щодо отриманих наукових і практичних результатів:

1. Проведено аналіз основних законів та процесів розвитку СТС, висновки якого використані при здійсненні системно-генетичного дослідження СТС. На його основі показано, що науково-методичний апарат прогнозування обрису СТС повинен враховувати основні функції та властивості СТС, які пов'язані з її новизною, корисністю й реальністю, систему показників для оцінки її технічних рішень. Показано, що варіанти обрису СТС, сформовані на ранніх етапах розробки, описуються специфічними властивостями й показниками: новизни, прогресивності, морального старіння й здатності до модернізації. Встановлена доцільність використання цих властивостей і показників СТС для подальшої її розробки.

2. Розроблені моделі:

- прогнозування новизни СТС в умовах неповної і недостовірної інформації, що дозволяє визначити види новизни і способи їх оцінювання;
- прогнозування показників морального старіння, що дозволяють врахувати зміну іноваційності в процесах розвитку СТС;
- прогнозування прогресивності СТС, яка відображає ступінь збільшення її технічної досконалості на період упередження прогнозу;
- прогнозування здатності СТС до модернізації;
- прогнозування вживаності елементів, підсистем СТС на основі теорії марковських процесів;
- оцінки СТС на узгодженість і сумісність (комплексність) при використанні у складі комплексу СТС;
- оцінки ризику створення СТС, яка побудована з використанням ієрархічної структурної схеми факторів ризику та їх характеристик.

Запропановано ряд алгоритмів реалізації наведених моделей.

3. Розроблені методи:

- відбору варіантів складної технічної системи;
- порівняння варіантів модернізації складних технічних систем за узагальненим критерієм «ефективність – вартість – час»;
- використання операційно-параметричного аналізу в ході прогнозних досліджень, пов'язаних з формалізацією СТС.

4. Обґрунтовано потребу обліку в ТЗ на розробку СТС її властивостей. Запропонований підхід до оцінки змісту ТЗ, пов'язаний з формуванням розділів інформації, що відображає СТС як об'єкт функціонування і як об'єкт розвитку. Розроблено процедуру обліку інформаційної невизначеності при отриманні варіантів ТЗ і вироблені рекомендації з підвищення її якості.

5. Розроблено схему побудови загальної ієрархічної структури властивостей перспективної СТС, що включає два етапи. Перший - містить у собі побудову ієрархічних структур властивостей на основі аналізу можливих ситуацій розвитку й застосування СТС. Другий - забезпечує проведення аналізу отриманих ієрархічних структур властивостей і формування загальної ієрархічної структури СТС.

Таким чином, застосування методів, моделей та алгоритмів прогнозування обрису СТС дозволяє на основі існуючих напрямків розвитку СТС одержати висновки про її майбутній обрис на ранніх етапах розробки.

Положення та висновки, які сформульовані в роботі у вигляді рекомендацій, застосовуються у НДІ «Шторм» та можуть бути використані в організаціях різних напрямків проектної діяльності при впровадженні управлінських інновацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдеев В.А., Кудрин Б.И. Закономерности построения, функционирования и развития технических систем. Томск: Изд. ТГУ, 1996.-100 с.
2. Автономов В.Н. Создание современной техники: Основы теории и практики. - М.: Машиностроение, 1991.-304 с.
3. Авдошин, С. М. Формирование портфеля проектов на основе нечеткой модели многокритериальной оптимизации [Электронный ресурс] / С. М. Авдошин, А. А. Лифшиц // Бизнес-информатика. – 2014. № 1 (27). – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-portfelya-proektovna-osnove-nechetkoj-modeli-mnogokriterialnoy-optimizatsii>.
4. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). – М.: Машиностроение, 1998.-476 с.
5. Аньшин В.М. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности [Текст] / В.М. Аньшин, И.В. Демкин, И.М. Никонов, И.Н. Царьков – М. : МАТИ. – 2007. – 117 с.
6. Акимов, В. А. Метод нечеткого критического пути [Текст] / В. А. Акимов, В. Г. Балашов, А. Ю. Заложнев // Управление большими системами. – М., 2003. – Т. 3. – С. 5-10.
7. Арчибальд, Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами. – М. : ДМК Пресс; Компания АйТи, 2004. – 472 с.
8. Асаи К., Ватада Д., Иваи С. и др. Прикладные нечёткие системы. - М.: Мир, 1993.-366 с.
9. Безопасность и надежность технических систем : учеб. пособие / Л. Н. Александровская, И. З. Аронов, В. И. Круглов и др. - М. : Логос, 2008. - 376 с.
10. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л.Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: сб. переводов. - М. : Мир, 1976. – С. 172 – 215.

11. Бенко, К. Управление портфелем проектов / К. Бенко, У. Мак-Фарлан // – М., 2007. – 245 с.
12. Бурков, В. И. Как управлять проектами. / В. И. Бурков, Д. А. Новиков. – М., 1997. – 187 с.
13. Бушуев С.Д. Динамическое лидерство в управлении проектами: Монография [Текст] / С.Д. Бушуев, В.В. Морозов / Украинская ассоциация управления проектами. – К., 1999. – 312 с.
14. Бушуев, С. Д. Креативные технологии в управлении проектами и программами [Текст] / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева, И. А. Бабаев и др. – Киев: Саммит книга, 2010. – 768 с.
15. Бушуев, С.Д. Напрями дисертаційних наукових досліджень зі спеціальності «Управління проектами та програмами» / С.Д. Бушуев, В.Д., Гогунський, К.В. Кошкін // Управління розвитком складних систем. – 2012. - № 12. – С. 6 – 9.
16. Бушуев С.Д. Проектное финансирование на модели движущих сил успеха проектов [Текст] / С.Д.Бушуев, Н.С. Бушуева, Р.Ф. Ярошенко // Управління проектами та розвиток виробництва. №1,2008, С. 5-9.
17. Бушуев С.Д. Розвиток методологій управління проектами [Текст] / С.Д.Бушуев, О.С.Войтенко // Тези доповідей II міжнародної конференції «Управління проектами у розвитку суспільства. Управління проектами від бачення до реальності». – К.: КНУБА, 2005. – С.18-20.
18. Бушуев, С. Д. Управление инновационными проектами и программами на основе системы знаний P2M: монография / С. Д. Бушуев, Х. Танака, Ф. А. Ярошенко. – К.: Саммит-Книга, 2012. – 272 с.
19. Бушуев С.Д. Управление проектами. Основы профессиональных знания и система оценки компетентности проектных менеджеров [Текст] / С.Д.Бушуев, Н.С.Бушуева. – К.: ИРИДИУМ, 2006. – 208 с.
20. Бушуев, С.Д. Управління проектами та програмами / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева, А. Я. Казарезов, К. В. Кошкін // . – Миколаїв : в-во Торубариос, 2010. – 352 с.

21. Бушуева, Н.С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития: Монография. / Н.С. Бушуева. // – К.: Наук. світ, 2007. - 200 с.
22. Вайсман, В.А. Методологические основы управления качеством: факторы, параметры, измерение, оценка / В.А. Вайсман, В.Д. Гогунский, В.М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2012. - № 7. – С. 160 – 165.
23. Вайсман В. А. Модели, методы и механизмы создания и функционирования проектно-управляемой организации: Монография [Текст] / В. А. Вайсман. – К.: Наук. світ, 2009. – 146 с.
24. Вайсман, В.А. Теория проектно-ориентованого управления: обоснование закона Бушуева С.Д. // В.А.Вайсман, В.Д. Гогунський С.В. Руденко // Наук. записки Міжнар. гуманіт. ун-ту. – Одеса : МГУ, 2009. – С. 9 – 13.
25. Васильев, В. И. Статистический анализ многомерных объектов [Текст] / В. И. Васильев, В. В. Красильников, С. И. Плаксий, Т. Н. Тягунова. – М.: Изд-во ИКАР, 2004. – 382 с.
26. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения.: Учебное пособие для студентов втузов [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 432 с.
27. Возный, А.М. Оценка сценариев развития организационных систем на основе модельных экспериментов [Текст] / А.М. Возный, К.В. Кошкин, Н.Р. Кнырик // Вісник НТУ «ХП». Сер. Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х., 2014. – № 2(1045). – С. 27-32.
28. Возный, А. М. Прогнозирование показателей проектов во времени с использованием механизмов когнитивного моделирования / А. М. Возный, Ю. Е. Шамарин // Зб. наук. пр. НУК. – Миколаїв: НУК. – 2012. - № 2. – С. 37 – 46.
29. Гамбаров Г.М., Журавлёв Н.М., Королёв Ю.Г. и др. Статистическое моделирование и прогнозирование. Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 1990.-383 с.

30. Глазунов В.Н. Поиск принципов действия технических систем. - М.: Речной транспорт, 1990.-111 с.

31. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике (методы анализа проблем и поиска решений в технике). - М.: Речной транспорт, 1990.-150с.

32. Гнатієнко, Г. М. Експертні технології прийняття рішень [Текст]: монографія / Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк. – К. : Маклаут, 2008. – 444 с.

33. Гогунський В.Д. Визначення ядер знань на графі компетенцій проектних менеджерів [Текст] / В.Д. Гогунський, Д.В. Лук'янов, О.В. Власенко // Вост.-Европейский журнал передовых технологий. - № 1/10 (55). – Харьков : Технолог. центр, 2012 – С. 26 – 28.

34. Гогунский В. Д. Основные законы проектного менеджмента [Текст] /В.Д.Гогунский, С.В.Руденко // Управління проектами: стан та перспективи: Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції: — Миколаїв: НУК, 2008. — С. 37–40.

35. Гогунский, В.Д. Постоянное улучшение процессов – основа управления качеством проектов / В.Д. Гогунский, С.В. Руденко, В.А. Вайсман // Вісн. Черкаського держ. технол. ун-ту.— Спецвип. — 2006. — С. 294 — 296.

36. Грабовецький, Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання [Текст]: монографія / Б. Є. Грабовецький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 171 с.

37. Давнис В.В. Адаптивное прогнозирование: Модели и методы. - Воронеж: Изд. Воронежского государственного университета, 1997.-196 с.

38. Девятков В. В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. - М. : Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013.-448 с.

39. Деренская, Я. Н. Классификация проектов в проектном менеджменте [Электронный ресурс] / Я. Н. Деренская // Режим доступа: <http://www.finanalysis.ru/litra/318/2895.htm>

40. Джонс, Дж. К. Методы проектирования [Текст] / Дж. К. Джонс – М. : Мир, 1986. – 326 с.
41. Дмитриевский А.Е., Попов Н.М. Развитие системы формирования облика сложных технических объектов. В кн. Системное программирование и модели исследования операций: Сборник /Под ред. Л.Н. Королева, П.С. Краснощекова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993.-213 с.
42. Добров, Г. М. Прогнозирование и оценки научно-технических нововведений [Текст] / Г. М. Добров, А. А. Коренной. — Киев : Наук. думка, 1989. — 276 с.
43. Дубов В. М. Проблематика сложных систем (концептуальные основы модельных представлений) / В. М. Дубов, Т. И. Капустянская, С. А. Попов, А. А. Шаров. - СПб. : Элмор, 2006. - 184 с.
44. Егоренков Д.Л., Фрадков А.Л., Харламов В.Ю. Основы математического моделирования. СПб.: БГТУ, 1994.-191 с.
45. Емельянов В. В., Ясиновский С. И. Имитационное моделирование систем : учеб. пособие. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 584 с.
46. Жилин Д. М. Теория систем: Опыт построения курса. - Изд. 4-е, испр. - М.: Изд-во ЛКИ, 2007. - 184 с.
47. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде // . - М.: Мир, 1976. - 165 с.
48. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. - Киев: Техника, 1975.-311 с.
49. Ильичёв А.В. Эффективность проектируемой техники: Основы анализа. - М.: Машиностроение, 1991.-336 с.
50. Карганов С.А. Создание и внедрение научно-технической продукции. - СПб.: Судостроение, 1993.- 224 с.
51. Карпунин М.Г., Любинецкий Я.Г., Майданчик Б.И. Жизненный цикл и эффективность машин. - М.: Машиностроение, 1989.-312 с.
52. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990.-544 с.

53. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. - М.: Наука, 1994.- 236 с.

54. Кудрин Б.И. Введение в технетику. 2-е изд. доп. - Томск: Изд. ТГУ, 1993.-552 с.

55. Кендал И. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами. Максимизация ROI [Текст] / И. Кендал, К. Роллинз; пер. с англ. М.: ПМСОФТ, 2004. – 576 с.

56. Кини Р. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения [Текст] / Р. Кини, Х. Райфа; пер. с англ.; под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь. – 1981. –560 с.

57. Кобиляцький, Л. С. Управління проектами [Текст] / Л. С. Кобиляцький. – К. : МАУП, 2002. – 198 с.

58. Козлов, А.С. Управление Портфелем Программ и Проектов: процессы и инструментарий / А.С. Козлов // . - Издательство: ЗАО «Проектная ПРАКТИКА», 2010. – 356 с.

59. Ковтун Т.А. Особенности применения системного подхода к проектам [Текст] / Т.А.Ковтун // Вісник ОНМУ, 2012. - № 32. -С.170-181.

60. Колесникова, Е. В. Развитие теории проектного управления: закон Ю.Л. Воробьева о влиянии риска на успешность портфеля проектов // Управління розвитком складних систем. □ 2014. □ № 18. □ С.62 □ 67.

61. Колесникова, Е. В. Теория проектного управления: закон контроля параметров риска [Текст] / Е. В. Колесникова // Вісник Одеського національного морського університету. – 2013. – № 3 (39). – С. 220 – 232.

62. Кононенко, И.В. Применение метода синтеза методологии управления проектом при нечетких исходных данных / И.В. Кононенко, А. Агаи, С.Ю. Луценко // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. - 2016. - № 2/3 (80). - С. 32 – 39.

63. Кононенко И.В. Решение задачи выбора методологии управления проектом на основе оптимизации содержания проекта / И.В. Кононенко,

А.В.Харазий // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. - 2015. - № 4/3 (76).
– С. 43 – 52.

64. Корилов А. М., Павлов С. Н. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие. - М. : ИНФРА-М, 2014. - 288 с.

65. Кошкин К.В. Оптимизация системы управления наукоемкими производствами [Текст] / К.В. Кошкин, С.К. Чернов, А.А. Левит // Вісник Одеського нац. морського ун-ту: Зб. наук. праць. – 2005. – Вип. 18. – С. 190–197.

66. Кузьмин, И.И. Риски и безопасность: концепция, методология, методы / И.И. Кузьмин //– М., 1991. – С.7.

67. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ. - М.: Наука. Физматлит, 1996.-208 с.

68. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений / О. И. Ларичев // . – М.: Логос, 2002. – 392 с.

69. Лебедев А. А. Введение в анализ и синтез систем: учеб. пособие. - М. : Изд-во МАИ, 2001. - 352 с.

70. Леонова С. Н. Методологические особенности управления программами развития отрасли [Текст]/ С.Н.Леонова, А.В.Шахов // Восточно-европейский журнал передовых технологий // Интегрированное стратегическое управление, управление проектами и программами развития предприятий и территорий. – 2012. – 1/12 (55). – С. 14-16.

71. Лысенко И.В. Анализ и синтез сложных технических систем. Части 1,2. - М.: Воениздат, 1995.

72. Максимов В.В., Румянцев А.П. Качественные показатели в оценке эффективности новой техники. В кн. Качественные и количественные оценки в теории и практике управления НТП. - Л.: АН СССР, Институт социально-экономических проблем, 1990.

73. Матвеев А. А. Модели и методы управления портфелями проектов [Текст] / А. А. Матвеев, Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – М. : ПМСОФТ, 2005. – 206 с

74. Махутов, Н.А. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин / Н.А. Махутов, В.П. Петров, Р.С. Ахметханов, Д.О. Резников // Либроком, 2008. – 565 с.

75. Махутов, Н.А. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска / Н.А. Махутов, Д.О. Резников // Проблемы анализа риска. Том 5. – 2008. – №3. – С. 76 – 89.

76. Медведєва, О.М. Моделювання комунікації в проектах на основі теорії нечітких множин [Текст]/ О.М. Медведєва // Управління проектами у розвитку суспільства: Управління програмами організаційного розвитку в конкурентному середовищі: тез. доп. III між. конф. 24-25 травня 2007 р. - К.: КНУБА, 2007. - С. 87-89.

77. Милошевич, Д. Набор инструментов для управления проектами [Текст] / Д. Милошевич. М. : АйТи; ДМК Пресс. – 2008. – 738 с.

78. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. - М.: Наука, 1982.-288 с.

79. Михалевич, В. М. Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений [Текст] / В. М. Михалевич, Н. З. Шор. — К. : Наукова думка, 2005. — 230 с.

80. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности [Текст] / В. М. Аньшин, И. В. Демкин, И. М. Никоконов. – М. : МАТИ. – 2007. – 117 с.

81. Моделирование систем и процессов: учебник / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов и др.; под ред. В. Н. Волковой и В. Н. Козлова. - М. : Изд-во Юрайт, 2014. - 592 с.

82. Молоканова В.М. Оцінювання якісних показників портфеля проектів за допомогою теорії нечітких множин [Текст]/ В.М. Молоканова // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2012. – № 3 (43). – С. 106–114.

83. Мушик, Э. Методы принятия технических решений (пер. с немецкого) / Э. Мушик, Ф. Мюллер // . – М.: Мир. – 1990.

84. Недашковская Н.И. Методология обработки нечеткой экспертной информации в задачах предвидения. Ч. 1 [Текст] / Н.И. Недашковская, Н.Д. Панкратова // Проблемы управления и информатики. –2007. – № 2. – С. 40-55.

85. Никифоров А. Д., Ковшов А. Н., Схиртладзе А. Г. Теоретические основы прогнозирования в технике и технологии: учебник. - М. : Высшая школа, 2010. - 519 с.

86. Нікул С.О. Аналіз проблем існуючої системи технічного забезпечення збройних сил України / С. О. Нікул // Перспективи розвитку військової освіти і науки : матеріали тез доп. наук. конф. – Одеса : ВА, 2013. — С. 87.

87. Нікул С.О. Аналіз проблем прогнозування вигляду зразка артилерійського озброєння / С. О. Нікул // Перспективи розвитку ракетних військ і артилерії Сухопутних військ : зб. доп. (тез доп.) наук.-техн. сем. – Львів : АСВ, 2013. — С. 172.

88. Нікул С.О. Методика прогнозування обрису зразка озброєння [Текст] / Збірник наукових праць. — Одеса : ОНМУ, 2016. — Вип. 1 (47). — С. 53 - 59.

89. Нікул С.О. Method of selection options for complex technical system [Текст] / Восточно - Европейский Научный Журнал. — Варшава, 2016. — Вип. 6. — С. 97 - 99.

90. Нікул С.О. Моделі забезпечення процесу прогнозування обрису зразка артилерійського озброєння [Текст] / Військово-технічний збірник. — Львів : АСВ, 2016. — Вип. 14. — С. 95 - 98.

91. Нікул С.О. Моделі забезпечення процесу прогнозування обрису складної технічної системи при її проектуванні [Текст] / В.Г. Головань, А.В. Головань // Збірник наукових праць. — Одеса : ВА, 2016. — Вип. 1 (5). — С. 17 - 22.

92. Нікул С.О. Модель прогнозування показників якості артилерійського озброєння / С. О. Нікул, В. Г. Головань // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ : зб. тез доп. Міжнародної наук. – техн. конф. – Львів : АСВ, 2015. — С. 111-112.

93. Нікул С.О. Модель прогнозування прогресивності зразка озброєння [Текст] / Науковий журнал "Системи озброєння і військова техніка",— Харків : ХУПС, 2016. — Вип. 1 (45). — С. 56 - 58.

94. Нікул С.О. Обґрунтування показників якості перспективного зразка артилерійського озброєння / С. О. Нікул // Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи : матеріали Другої Всеукраїнської наук. – практ.конф. – Одеса : ВА, 2015. — С. 166.

95. Нікул С.О. Оцінка ступеня впливу показників складної технічної системи як об'єкта розвитку на комплексний показник технічного рівня / С. О. Нікул, В. Г. Головань // Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи : зб. тез доп. Третьої Всеукраїнської наук. – практ. конф. – Одеса : ВА, 2016. — С. 167-168.

96. Нікул С.О. Порівняння варіантів модернізації озброєння і військової техніки за узагальненим критерієм «ефективність – вартість – час»[Текст] / Зб. наукових праць - Київ : ВІКНУ, 2014. - Вип. (45). — С. 52 - 56.

97. Нікул С.О. Проблеми управління проектом створення перспективного зразка озброєння / С. О. Нікул // Перспективи розвитку інвестиційних рішень у бізнесі та управлінні проектами : матеріали Міжнародної наук. – практ. конф. — Одеса : МГУ, 2014. — С. 118-120.

98. Нікул С.О. Проблеми управління проектами створення складних технічних систем [Текст] / Матеріали XIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Управління проектами в розвитку суспільства» — Київ : УАУП «УКРНЕТ», 2016. С. 179 - 181.

99. Нікул С.О. Узагальнена модель функціонування системи технічного забезпечення бойових дій [Текст] / Б.О. Дем'янчук, О.В. Малишкін // Збірник наукових праць - Харків : ХУПС, 2014. - Вип. 2 (39). — С. 3 - 8.

100. Нікул С.О. Формування структури властивостей перспективного зразка озброєння [Текст] / Збірник наукових праць. — Одеса : ВА, 2015. — Вип. 2 (4). — С. 66 - 73.

101. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами [Текст] / Д.А. Новиков – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.

102. Павлов, А.А. Математические основы управления проектами наукоемких производств: Монография / А.А. Павлов, С.К. Чернов, К.В. Кошкин, Е.Б. Мисюра. – Николаев : НУК, 2006. – 200 с.

103. Половинкин А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение. - М.: Информэлектро, 1991.-104 с.

104. Прогнозирование и оценки научно-технических нововведений/ Г.М. Добров, А.А. Коренной, В.Б. Мусиенко и др. - Киев: Наук. думка, 1989.-280 с.

105. Прогнозирование научно-технического прогресса в отраслях промышленности. Методы прогнозирования, Ч. 2./ Под общей ред. К.А. Кирсанова. - М.: ВНИИПИ, 1991.-159 с.

106. Прогнозирование научно-технического прогресса в отраслях промышленности. Структурно-морфологический анализ отраслей промышленности и информационное обеспечение прогнозных разработок, Ч.1./ Под общей ред. К.А. Кирсанова. - М.: ВНИИПИ, 1991.-200 с.

107. Рач В.А. Моделювання компетентнісного управління розвитком суб'єктів господарювання з використанням категорії «проектний потенціал» [Текст] : зб. наук. пр. / В.А. Рач, О.М. Медведєва, О.В. Россошанська // Управління проектами та розвиток виробництва. - 2008. – № 1(25). – С.156-163.

108. Рибак А.І. Концентричне управління проектами. Загальний підхід. [Текст] / А.І.Рибак // Вісник УАДУ при Президентіві України вип. №1, – К.: 2001. – С. 352-362.

109. Россошанская, О. В. Компетентностный подход в управлении проектами: основные принципы [Текст] / О. В. Россошанская // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2008. – № 3 (27). – С.61–67.

110. Россошанская, О. В. Компетентностный подход к управлению проектами: базовые определения [Текст] / О. В. Россошанская // Управління

проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. – Луганськ, 2007. – № 3 (23). – С.142–148.

111. Руденко, С. В. Разработка концепции отбора проектов и ее формализация в условиях отсутствия полноты информации [Текст] / С. В. Руденко, В. А. Андриевская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – № 2 (3). – 2016, С 4 – 10.

112. Руденко, С.В. Сетевые процессы управления проектами в контексте отображения состояний проекта / С.В. Руденко, Е.В. Колесникова, В.И. Бондарь // Проблеми техніки. – 2012. - № 4. - С. 61-67

113. Руднев В.Е. Володин В.В., Лучанский К.М. и др. Формирование технических объектов на основе системного анализа. - М.: Машиностроение, 1991.-318 с.

114. Руководство по управлению инновационными проектами и программами. Р2М. Том 1, Версия 1.2. [Текст]/ Пер. с англ. под ред. проф. С.Д. Бушуева. – К.: Наук. світ, 2009. – 173 с.

115. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1991.-224с.

116. Сторожук О. А. Моделирование и вариантное прогнозирование развития техники. - М. : Машиностроение, 2005. - 252 с.

117. Тернер Дж.Р. Руководство по проектно-ориентированному управлению [Текст] / Пер. сангл. под общ. ред. Воропаева В. И. — М.: Издательский дом Гребенникова, 2007. — 552 с.

118. Тесленко П.А. Траектория развития проекта как организационно-технической системы в многомерном пространстве переменных [Текст] / П.А. Тесленко, В.Д. Гогунский // Управління проектами у розвитку суспільства. – Міжнар. конф. – К. : КнубА, 2009. - С. 188 –190.

119. Тесля Ю.М. Системна організація управлінських взаємодій як інструмент підвищення ефективності реалізації складних проектів [Текст] /

Ю.М.Тесля, І.І.Оберемок, О.Г.Тімінський// Вісник Черкаського державного технологічного університету.–Черкаси: ЧДТУ,2008.-№2.– С.100-105.

120. Управління проектами [Текст]: навч. посібник / В. В. Малий, О. І. Мазуркевич, С. К. Чернов та ін.; під ред. С. К. Чернова та В. В. Малого. – Миколаїв : НУК, 2010. – 354 с.

121. Управління проектами та програмами: Підручник [Текст] / С. Д. Бушуєв, Н. С. Бушуєва, А. Я. Казарезов та ін. – Миколаїв : видавництво Торубари О. С., 2010.- 352 с.

122. Федорович, О. Є. Системні моделі комплексного аналізу складних технічних систем [Текст]: навч. посібник / О. Є. Федорович, Є. А. Дружинін, О. В. Малєєва, В. І. Горлова. – Харків : Держ. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ун-т», 1998. – 65 с.

123. Федотов А.Г. Системы технических изделий: Качество, эффективность, управление. - М.: Издательство стандартов, 1993.-164с.

124. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1984. — 528 с.

125. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К, Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. - М.: Наука, 1993.-158 с.

126. Чернов С.К. Определение эффективности проектов с использованием системы оценки неопределенности и рисков [Текст] / С.К.Чернов // Вісник Одеського нац. морського ун-ту. – Одеса: ОНМУ, 2006. – Вип. 19. – С. 217–224.

127. Чернов, С. К. Проект вирішення проблеми енергозабезпечення населених пунктів [Текст] / С. К. Чернов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Серия: Технические науки. – К.: Техніка, 2006. – Вып. 67. – С. 234–237.

128. Чернов С.К. Эффективные организационные структуры управления наукоемкими производствами: Монография [Текст] /С.К.Чернов – Николаев: НУК, 2005. – 92 с.

129. Чимшир, В. И. Проект как система [Текст] / В . И . Ч имшир, П. А. Тесленко. – Інститут креативних технологій. – Одесса, 2011. – 147 с.

130. Чимшир, В. И. Элементы проектно-ориентированного управления процессами функционирования сложной системы, заложенные на этапе ее проектирования [Текст] / В. И. Чимшир // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 31. – С. 190–196.

131. Шахов, А.В. Проектирование жизненного цикла ремонтпригодных технических систем: Монография / А.В. Шахов // Одесск. нац. морской ун-т. – Одесса : Феникс, 2005. – 164 с.

132. Шахов, А.В. Проектно-ориентированное управление функционированием ремонт-пригодных технических систем [Монография] / А.В. Шахов, В.И. Чимшир. — Одесса : Феникс, 2006. — 213 с.

133. Шахов, А.В. Управление рисками в судоремонтных проектах / А. В. Шахов, М. О. Бокарева // Вісник НТУ «ХП». Серія : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 2 (1045). – С. 81-86.

134. Шахов А.В. Энтропийная модель портфельного управления проектно-ориентированной организацией [Текст] / А.В. Шахов // Управління проектами та розвиток виробництва. – 2014. – №2(50). – С. 87-95.

135. Эффективность сложных систем. Динамические модели /Под ред. А.В. Ильичёва, Н.А. Северцева. - М.: Наука, 1989.-285 с.