МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В.І. ЗАХАРЧУК, О.В. ЗАХАРЧУК

МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ОБ'ЄКТІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Луцьк
РВВ Луцького НТУ
2023

УДК 629.083 (075.8)

З-38

Гриф надано Луцьким національним технічним університетом, протокол засідання вченої ради № 7 від 17.03.2022 року

Рецензенти:

Грицук І.В., д.т.н., професор, професор кафедри суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії;

Матвіїв Ю.Я., д.т.н., професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення Луцького НТУ;

Шапко В.Ф., к.т.н., професор, професор кафедри автомобілів і тракторів Кременчугського національного університету ім. Михайла Остроградського.

Захарчук В.І., Захарчук О.В. Методи системного аналізу об'єктів автомобільного транспорту: навчальний посібник для студентів та аспірантів вищих навчальних закладів – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2023. – 133 с.

Викладені матеріали теоретичного курсу дисципліни "Методи системного аналізу та комп'ютерні технології на автотранспорті", які можуть бути використані також під час виконання практичних робіт та курсової роботи з цієї дисципліни.

Посібник призначений для студентів та аспірантів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю "Автомобільний транспорт".

УДК 629.083 (075.8)

© Захарчук В.І., 2023
Захарчук О.В.

ЗМІСТ

Вступ……5
1 Система – центральна категорія системного аналізу……6
1.1 Поняття системи. Класифікація систем……...…...6
1.2 Елементи, відносини, звязки, взаємодії…….. …10
1.3 Структура, стан, рух……. ….12
1.4 Якість, властивість, показник, критерій……13
2 Системний аналіз об’єктів……..16
2.1 Методи системного аналізу……...16
2.1.1 Декомпозиція……..17
2.1.2 Аналіз…… …20
2.1.3 Синтез……..21
2.2 Витрати ресурсів на проведення системного аналізу……21
2.3 Види проблем, які вирішуються за допомогою системного аналізу…….23
2.4 Визначення проблемної ситуації……..25
2.5 Визначення цілей системи……27
2.5.1 Постановка цілей системного аналізу……..28
2.5.2 Формулювання та вибір критеріїв……30
2.5.3 Визначення альтернатив досягнення цілей……..32
2.5.4 Прийняття рішень…… …33
3 Особливості системного аналізу об’єктів автомобільного транспорту…35
3.1 Основні принципи системного підходу……35
3.2 Дерево цілей……37
3.3 Розвиток технологічних систем автомобільного транспорту……42
3.4 Специфіка досліджень об’єктів автомобільного транспорту……45
3.5 Методи досліджень об’єктів автомобільного транспорту……..48
4 Функціонально-структурний та системний аналіз технічних систем……55
4.1 Терміни і визначення……..55
4.2 Приклад опису потреби…… …...60
4.3 Критерії оцінювання технічних об’єктів……63
4.4. Закони побудови і розвитку техніки……70
4.5 Побудова функціональних структур обєктів автомобільного транспорту……74
4.6 Приклад виконання системного аналізу об’єкта…… 89
4.7 Метод морфологічного аналізу……..92
4.8 Системи зі зворотнім зв’язком…… 95
5 Методологія оптимізації показників функціонування систем автомобільного транспорту……..97
5.1 Основні поняття і визначення……97
5.2 Постановка задачі оптимізації……99
5.3 Вимоги до чинників…… 100
5.4 Класифікація методів оптимізації……100

5.5 Метод згортки критеріїв…… 102
5.6 Групування критеріїв…… .102
5.7 Загальні положення теорії оптимізації систем автомобільного транспорту
6 Вибір раціонального виду палива для транспортного засобу……..110
6.1 Функціональна схема експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб»…….110
6.2 Морфологічний опис об'єктів системи……111
6.3 Ранжування параметрів двигуна……113
6.4 Метод оптимізації параметрів системи «паливо-двигун-транспортний засіб»……117
6.5 Оцінка адаптованості системи до альтернативних палив метом аналізу ієрархій…….121
6.6 Оцінки екологічної безпеки системи під час застосування альтернативних палив…….129
6.7 Оцінка економічної ефективності експлуатації транспортних засобів на альтернативних паливах…….131
6.8 Визначення загального критерію вибору раціонального виду палива…132
Література…… .134

ВСТУП

Системний аналіз має виключне значення при дослідженнях великих складних людино-машинних систем. Він розглядає систему як інтегроване ціле і має метою досягнення максимальної ефективності всієї системи при гармонійному поєднанні протиречивих цілей складових частин. З іншої сторони системний аналіз – методика, яка дозволяє не упустити з розгляду важливі сторони і зв'язки досліджуваного об'єкта або процеса. Необхідність підвищення системності виникає буквально у всіх галузях діяльності людини. Не є винятком і автомобільний транспорт.

В посібнику здійснена спроба розгляду методів системного аналізу і прийняття рішень прикладного характеру стосовного підприємств автомобільного транспорту. В першому та другому розділі висвітлені загальні теоретичні положення щодо систем та методів системного аналізу. В третьому розділі описані особливості системного аналізу об'єктів автомобільного транспорту та розвитку його технологічних систем. В четвертому розділі подана методика функціонально-структурного аналізу технічних систем автомобільного транспорту, наведена класифікація та передумови кількісної оцінки критеріїв якості технічних об'єктів. П'ятий розділ присвячений методології багатокритеріальної оптимізації показників функціонування систем автомобільного транспорту. В шостому розділі як приклад застосування викладених у попередніх розділах теоретичних матеріалів з використанням системного підходу методом багатокритеріальної оптимізації виконаний вибір раціонального виду палива для транспортного засобу. Матеріал цього розділу може бути використаний студентами для виконання практичних робіт.

Таким чином, в посібнику з високим ступенем узагальнення викладені основні аспекти системного підходу і дається інструмент для орієнтування в спеціальних областях автомобільної техніки та автомобільного транспорту. З використанням методів системного аналізу з'являється можливість систематизації великої кількості чинників і створення на основі цього математичного апарату, що дозволяє аналізувати властивості об'єктів автомобільного транспорту в залежності від зміни їх параметрів у конкретних умовах експлуатації.

В читача можуть виникнути зауваження та побажання щодо покращення викладу матеріалу. Автори будуть вдячні всім, хто надішле свої побажання на адресу:

43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ЛНТУ, кафедра автомобілів і транспортних технологій.

1 СИСТЕМА – ЦЕНТРАЛЬНА КАТЕГОРІЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

1.1 Поняття системи. Класифікація систем

Визначень поняття «система» дуже багато. Кожне з них висвітлює ту чи іншу властивість системи, а також виходить із цілей дослідження. Для детального вивчення різних підходів до визначення системи можна рекомендувати літературу [1, 2].

Виходячи з поставленого завдання, будемо використовувати поняття системи, яке враховує такі важливі складові будь-якого матеріального об'єкта, як елементи, відносини, зв'язки, взаємодії.

Система - єдність елементів, відносин, зв'язків і взаємодій між ними і навколишнім середовищем, що утворює властиву даній системі якісну повноту. Дане визначення ідентифікує систему на встановленому рівні її поділу на елементи, тому що будь-який елемент може у свою чергу розглядатися як система, що складається з окремих елементів, які також можуть піддаватися подальшому розподілу.

Системи можна класифікувати за різними ознаками. Один із можливих варіантів класифікації наведено в табл. 1.1 [2].

Таблиця 1.1. Класи природних і штучних систем

Ознаки	Класи системи		
Походження	Природні		Штучні
Природа елементів	Реальні		Абстрактні
Тривалість існування	Постійні		Тимчасові
Ступінь мінливості властивостей	Статичні		Динамічні
Різноманітність	Елементарні	Речовини	Сукупність речовин
Складність	Прості	Складні	Великі
Ставлення до середовища	Ізольовані	Закриті	Відкриті
Реакція на вплив	Активні		Пасивні
Характер	Детерміновані	Стохастичні	Невизначені

поведінки			
Наявність людини	Технічні	Людино-машинні	Організаційні
Організація	Добре організовані	Погано організовані	Самоорганізовані

Природні системи є результатом процесів, що відбуваються в природі та Всесвіті без участі виробничої діяльності людини.

Штучні системи є результатом діяльності людини і створюються людством для своїх потреб або утворюються в результаті цілеспрямованих зусиль у процесі історичного розвитку суспільства.

Реальні системи включають всі природні та штучні матеріальні об'єкти навколишнього світу. Встановлення самого факту існування реальних систем, їх властивостей і природи вимагає дослідження в галузі природничих та громадських наук. Зміст такої системи змінюється за зміни її матеріального носія.

Абстрактні (символічні чи концептуальні) системи - це сукупність понять чи символів, пов'язаних між собою певними відносинами. Ці системи є результатом розумової діяльності людини, що відображається у вигляді знаків, символів, схем, креслень.

За природою елементів виділимо класи реальних та абстрактних (символічних, концептуальних) систем [1].

За тривалістю існування системи поділяються на:

♦ постійні — штучні системи, які в процесі заданого часу функціонування зберігають істотні властивості, що визначаються призначенням цих систем;

♦ тимчасові.

Залежно від ступеня мінливості властивостей:

♦ статичні – системи з одним станом;

♦ динамічні — системи, що мають безліч можливих станів, які можуть змінюватися як безперервно, так і в часи дискретні.

За різноманітністю використовуваних речовин реальні системи можна розділити на елементарні, речовини та сукупності речовин.

До елементарних систем належать елементарні частки, атоми, молекули; до речовин відносяться об'єднання однорідних молекул: простих (одноатомних) і складних (багатоатомних), розміри та маса яких змінюються в широких межах. Найбільш поширеними є сукупності речовин, що є об'єднання різнорідних молекул.

За складністю розрізняють прості, складні та великі системи. Це розподіл умовне і залежить від ступеня подробиці вивчення об'єкта і глибини наших знань про нього.

Прості системи з достатньою мірою точності можуть бути описані відомими математичними відносинами. Вивчення цих систем може бути проведено методами традиційних технічних дисциплін.

Складні системи зазвичай характеризуються багатовимірністю (великою кількістю складових елементів), різноманіттям зв'язків, різнорідністю структури, різноманіттям природи елементів. Існує багато визначень складної системи, наведемо одне з них. Вважається, що складною називається система, що володіє принаймні однією з нижчеперелічених ознак:

І) система допускає розбиття на підсистеми, вивчати кожну з яких можна самостійно; 2) система функціонує в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища міні зумовлюють випадковий характер зміни її показників; 3) система здійснює цілеспрямований вибір свого поведінки. Ці системи характеризуються властивостями, якими не має жоден із складових елементів.

Дослідження складних систем необхідно здійснювати шляхом оцінки комплексного впливу елементів один на одного і на систему в цілому З залученням нових методів аналізу та математичної статистики. До складних систем відносяться промислові установи реального сектора економіки, зв'язку та транспорту.

Складні системи у багатьох випадках зводяться до простих, коли вводять припущення можливості їх опису математичними співвідношеннями. Так зазвичай роблять при складанні математичних моделей виробничих, економічних та інших систем. Адекватність даних моделей визначається експериментальним шляхом.

Великі системи - це складні просторово розподілені системи. Додатковими особливостями, що характеризують велику систему, є великі розміри системи, складна ієрархічна структура, циркуляція в системі більших інформаційних, енергетичних та матеріальних потоків, високий рівень невизначеності в описі системи. Промислові підприємства, галузі промисловості, системи зв'язку, автоматизовані системи управління, військові частини та ін. - Все це приклади великих систем.

Залежно від ставлення до середовища системи можуть бути [1]:

♦ ізольовані — системи, які не обмінюються з середовищем енергією та речовиною;

♦ закриті — системи, які не обмінюються з навколишнім середовищем речовиною, але обмінюються енергією;

♦ відкриті — системи, які обмінюються з навколишнім середовищем енергією та речовиною.

Ізольованих і закритих систем, взагалі кажучи, фактично у природі не існує. Ізольовані і закриті системи — свідомо спрощені схеми відкритих систем, корисні для наближеного вирішення приватних завдань.

Залежно від реакції на обурюючі впливи системи можуть бути:

♦ активні — системи, здатні протистояти впливам середовища та самі впливати на нього;

♦ пасивні — системи, у яких відсутня властивість протистояти впливам середовища.

За ступенем невизначеності передбачення майбутніх станів виділяють детерміновані, стохастичні та невизначені системи.

Поведінку детермінованої системи можна передбачити з великою точністю і при заданих впливах на систему з такою ж точністю визначити її вихідні реакції.

Стохастичними називаються системи, поведінка яких носить випадковий характер і може бути описано випадковими величинами і функціями із заданими або передбачуваними законами розподілу.

Невизначені системи можуть бути описані системою випадкових величин, закон розподілу яких невідомий, а заданий, як правило, досить широкий діапазон їх зміни.

Залежно від наявності людини чи колективів людей виділятимемо автономні технічні, людино-машинні та організаційні системи.

Автономні технічні - це штучні реальні системи, які можуть протягом деякого інтервалу часу функціонувати без участі людини (різні споруди, автоматичні системи управління, електростанції, заводи-автомати та ін).

Людино-машинні системи включають як елементів як технічні системи, і людей, взаємодіючих із цими системами. Для ефективного функціонування подібних систем необхідно вибирати раціональні способи взаємодії людей з технікою.

Організаційні системи включають взаємодіючі колективи людей. Технічні системи можуть розглядатися, а окремих випадках і не враховуватися у складі організаційних систем. Основний вплив на поведінку таких систем мають способи взаємодії між людьми. До організованих систем відносяться промислові підприємства, науково-дослідні організації, навчальні заклади тощо.

За ознакою організованості системи може бути:

♦ добре організованими — системи, у яких визначено всі елементи, їх взаємозв'язок, правила об'єднання у більш великі компоненти, зв'язки між усіма компонентами та цілями системи, заради досягнення яких вона створюється та (або) функціонує;
♦ погано організованими — у них враховуються не всі компоненти, їх властивості та зв'язки між собою, а також із цілями системи;
♦ самоорганізовані — системи, що мають властивість адаптації до зміни умов зовнішнього середовища, здатні змінювати структуру при взаємодії системи з середовищем, зберігаючи при цьому властивості цілісності системи, здатні формувати можливі варіанти поведінки та вибирати з них найкращі.

1.2 Елементи, відносини, зв'язки, взаємодії

При викладанні наступного матеріалу будемо дотримуватися певної умовної ієрархії понять. Спочатку будемо розглядати поняття, які безпосередньо входять у викладене вище визначення системи (елементи, відносини, зв'язку, взаємодії); назвемо їх поняттями першого рівня [2]; потім з їхньої основі формуватимемо поняття другого рівня: структура, стан, рух тощо (рис. 1.1).

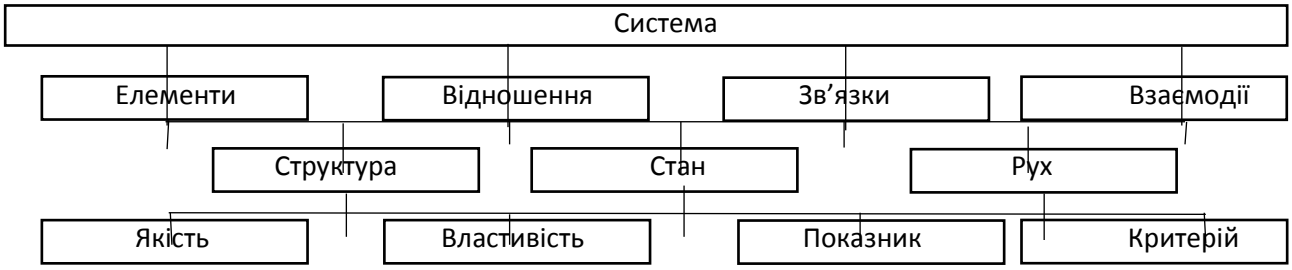


Рисунок 1.1. Системні поняття

Приймемо припущення - при формуванні понять розглядати тільки матеріальні системи.

Неподільність елемента сприймається як недоцільність обліку у межах системи його внутрішньої будови. Сам елемент характеризується лише його зовнішніми проявами у ході відносин та взаємодій з іншими елементами та навколишнім середовищем.

Залежно від подробиці дослідження системи її можна розглядати лише на рівні тих чи інших елементів. У цьому вся проявляється ієрархічність будь-якої системи, тобто. елемент у свою чергу можна розглядати як систему, а досліджувана в даному випадку система представляє один з цих

елементів більш загальної системи. Елемент з часом може змінюватися, переходити у різні стани.

Стан елемента - це просторова впорядкована субстанція елемента в певний момент часу, що виявляється в його відносинах і взаємодіях з навколишнім середовищем. Можна сказати, що стан - це елемент у певний момент часу.

Стан елемента можна визначати за допомогою набору величин, що характеризують його властивості, просторове розташування та зовнішні прояви в даному стані. Іноді, хоча це зовсім точно, стан визначають як набір величин (параметрів). У випадку через невичерпності субстанції будь-якого матеріального елемента число таких величин може бути дуже велике, тому доцільно обмежуватися вибором окремих з них, що характеризують найбільш істотний вплив елемента на систему.

Елементи системи залежать друг від друга, тобто. станом одного елемента має відповідати стан іншого, що перебуває з першим у певних відносинах.

Відносини - сукупність відповідностей станів елементів системи один одному, що визначає необхідність і характер взаємодій між ними.

Встановити відношення між двома елементами - це означає визначити ступінь впливу їх один на одного, відносне розташування в просторі, зміна субстанції одного елемента в залежності від зміни субстанції іншого з плином часу. Відносини елементів у системах можуть бути різноманітні: відносини виробляючих елементів і споживаючих, головних і підлеглих, зовнішніх і внутрішніх, основних і другорядних, керуючих і виконавчих. Проте відношення елементів нічого очікувати виявлятися, якщо з-поміж них немає зв'язків.

Зв'язки - сукупність умов, що забезпечують можливість взаємодії елементів системи між собою та навколишнім середовищем.

Встановити зв'язок між двома елементами - це означає виявити наявність таких властивостей, які забезпечують формування впливів, передачу їх від одного елемента до іншого і сприйняття впливів. Як і відносини, зв'язку встановлюються між певними елементами системи.

Залежно від природи елементів і носіїв впливів зв'язку можуть бути різними. Залежно від природи носія впливу зв'язку можуть бути контактними, з використанням речовин, полів та комбінованими (рис. 1.2). Залежно від характеру та мети впливу перелічені зв'язки можуть бути матеріальними (речовими), енергетичними, сигнальними (інформаційними) [2].

Рисунок 1.2. Зв'язки у системах

Перелічені відносини і зв'язку визначають порядок, можливість і характер взаємодій між елементами системи, а також між системою та навколишнім середовищем. У ході взаємодій виникають різні зміни в системі, пов'язані зі зміною станів, відмирання і виникненням нових елементів, відносин і зв'язків.

Система постійно відчуває вхідні впливи з боку навколишнього середовища проживання і у своє чергу відповідає впливами (реакціями) на довкілля. Аналогічно елементи системи, мають зв'язку й відносини, також впливають друг на друга. Вхідні впливи подаються на входи системи, які є окремими елементами, або на частини системи, що забезпечували сприйняття цих впливів. Впливи системи на довкілля передаються з окремих елементів системи, які називаються її виходами.

Отже, взаємодії — процеси взаємного впливу (впливів) елементів, системи та довкілля друг на друга, під час яких відбуваються зміни у системі.

1.3 Структура, стан, рух

Основними формами існування будь-яких матеріальних систем є простір та час. У кожний момент часу система має ті чи інші характеристики свого простору, які будемо надалі пов'язувати з поняттями структури та стану системи.

Структура системи - сукупність елементів, зв'язків і просторових відносин між ними. Структура характеризує лише будову системи та не враховує станів елементів, взаємодій та причинно-наслідкових тимчасових відносин між ними. Для оцінки всіх властивостей системи у момент часу використовується поняття «стан системи».

Стан системи - сукупність станів її елементів, відносин, зв'язків і взаємодій між ними і на навколишнє середовище у певний момент часу.

Стан системи, як і розглянутий вище стан елемента, можна визначати за допомогою набору величин (параметрів), що характеризують властивості,

просторове розташування та зовнішні прояви системи. Тому в деяких випадках, хоча не зовсім точно, під станом системи розуміють упорядковану сукупність значень параметрів, що визначають залежність виходу від входу, або «поведінка» системи [1]. Можна сказати, що стан — це система у певний момент часу. З часом система переходить з одного стану до іншого, тобто. здійснює рух.

Рух системи - процес зміни її станів з плином часу. Руху ідентичні поняття: "поведінка", "функціонування", "життя системи". Таким чином, завдання конкретної системи зводиться до завдання її станів у кожний момент існування, починаючи з зародження та закінчуючи загибеллю або переходом до іншої системи. На практиці, як правило, спостерігач отримує відомості про стани системи тільки на відрізку спостереження, а відомості про інші стани накопичуються у процесі спостереження та аналізу аналогічних систем.

Однією із завдань теорії систем є аналіз всіх можливих рухів чи поведінок системи під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів. Таку сукупність можливих рухів іноді називають функцією чи можливостями системи. Різні системи володіють різними функціями та можливостями. Наприклад, функція технічної системи полягає у тій сукупності завдань або дій, які здатна виконати дана система у процесі її застосування. Одна з можливих реалізацій функції буде конкретним рухом системи.

1.4 Якість, властивість, показник, критерій

Будь-яка матеріальна система має якісну визначеність, що дозволяє відрізняти її від інших систем. Це поняття пов'язане з якістю – філософською категорією.

Якість виражає стійке взаємовідносини елементів системи, яке характеризує її специфіку, що дає можливість відрізняти одну систему від іншої. Саме завдяки якості кожна система існує і мислиться як щось відмінне від інших систем. Разом з тим якість виражає і те загальне, що характеризує весь клас однорідних об'єктів.

Якість системи виявляється у сукупності її властивостей.

Якість - безліч істотних властивостей системи, що складають єдність. У вузькому сенсі при оцінці систем, що використовуються для задоволення потреб людини (товарів, промислових виробів тощо), якість визначають як безліч властивостей, що характеризують призначення системи. І тут оцінка якості носить суб'єктивний характер, оскільки залежить від цього, які

завдання ставить людина перед системою і які властивості він вибирає визначення її корисності.

Властивість системи - певна група властивостей її елементів, відносин, зв'язків та взаємодій між ними, що виявляються через специфічні відносини та взаємодії з навколишнім середовищем.

Властивість елемента - певна сторона його субстанції, що виявлялася через специфічні відносини та взаємодії з навколишнім середовищем.

Істотна властивість - властивість, при втраті якого система втрачає свою якість, переходить в іншу систему або руйнується.

При аналізі природних систем істотні властивості визначаються шляхом порівняння систем та визначення характерних властивостей даної системи, що дозволяють відрізнити її від інших систем. При синтезі штучних систем істотні властивості встановлюються відповідно до завдань, що стоять перед системами.

Таким чином, кожній властивості системи відповідають певні специфічні, характерні відносини та взаємодії, які виявляються за наявності зв'язків з навколишнім середовищем.

З урахуванням безлічі відносин та взаємодій з навколишнім середовищем будь-яка властивість може включати ряд приватних, які також можна розбити на окремі властивості, утворюючи ієрархію властивостей.

Реальні системи мають нескінченну сукупність властивостей, частина яких є загальною для великого класу систем, частина характеризує обмежене коло систем, а окремі сукупності властивостей характеризують лише цю систему. Відповідно до цього у реальних систем та їх елементів можна виділити системні, матеріальні, класифікаційні та групові властивості.

Системні властивості притаманні всім системам. До них відносяться цілісність, комунікативність, ієрархічність, еквіфінальність, історичність.

Цілісність (емерджентність) — властивість системи виявлятися у виникненні нових інтегративних якостей (точніше, властивостей), які не мають її елементи. Ця властивість проявляється у наступному: 1) властивості системи (цілого) не є сумою властивостей елементів або частин (незведеність цілого до простої суми частин); 2) властивості системи (цілого) залежить від властивостей елементів, елементів (зміна однієї частини викликає зміна переважають у всіх інших частинах й у всій системі) [2].

Істотним проявом якості цілісності є нові взаємовідносини системи як цілого із середовищем, відмінні від взаємовідносин із нею окремих елементів. Дослідження причин виникнення цієї властивості присвячено багато робіт

Комунікативність - властивість системи проявляти себе в навколишньому середовищі. Іншими словами, ця властивість означає, що система не є ізольованою, а взаємодіє через безліч зв'язків (комунікацій) із середовищем.

Ієрархічність - властивість системи піддаватися поділу на Довільне число рівнів ієрархії. Ця властивість проявляється в багатоступінчастій побудові системи, коли кожна зі ступінь (рівень ієрархії) пов'язана з найближчими, верхньою і нижньою. складних підсистем. Ієрархічність притаманна всім системам, проте у більшою мірою ця властивість проявляється у складних і великих системах, де можна чітко виділити рівні ієрархії.

Еквіфінальність - властивість системи досягати в процесі мого розвитку граничних можливостей. Це одна з найменш досліджених якостей. У певному сенсі стосовно До рельєфних систем дана властивість визначатиме потенційну ефективність систем, насамперед технічних, де можна творити про граничну надійність, завадостійкість, живучість, продуктивність.

Історичність - властивість системи змінюватися з часом. Ця властивість використовується щодо ретроспективи і Перспективи розвитку систем. Кожна система проходить певні етапи свого зародження, удосконалення, деградації та загибелі, причому наступні системи даного виду досконало снуються на підставі отриманих даних про попередні та пі існуючі системи. Відповідно до цього властивість історичності можна використовувати для визначення найефективніших шляхів розвитку технічних систем, наприклад, установ реального сектора економіки, зв'язку та транспорту з використанням всього кращого, що накопичено в техніці за час створення та експлуатації подібних систем. Матеріальні властивості притаманні всім реальним системам, наприклад, маса, розміри, енергія, час існування, відображення і т.д.

При синтезі таких систем часто закладається можливість адаптації системи до випадковостей і перебудови структури цієї теми для поліпшення показників ефективності її функціонування.

Перелічені принципи мають дуже високий рівень спільності. Для безпосереднього застосування дослідник повинен наповнити їх конкретним змістом стосовно предмета дослідження. Однак знання та облік принципів дозволяють краще побачити суттєві сторони вирішуваної проблеми врахувати весь комплекс взаємозв'язків, забезпечити системну інтеграцію.

2 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ОБЄКТІВ

2.1 Методи системного аналізу

Загальний підхід у рамках системного аналізу до вирішення проблемних ситуацій представлено на рис. 2.1 [2].

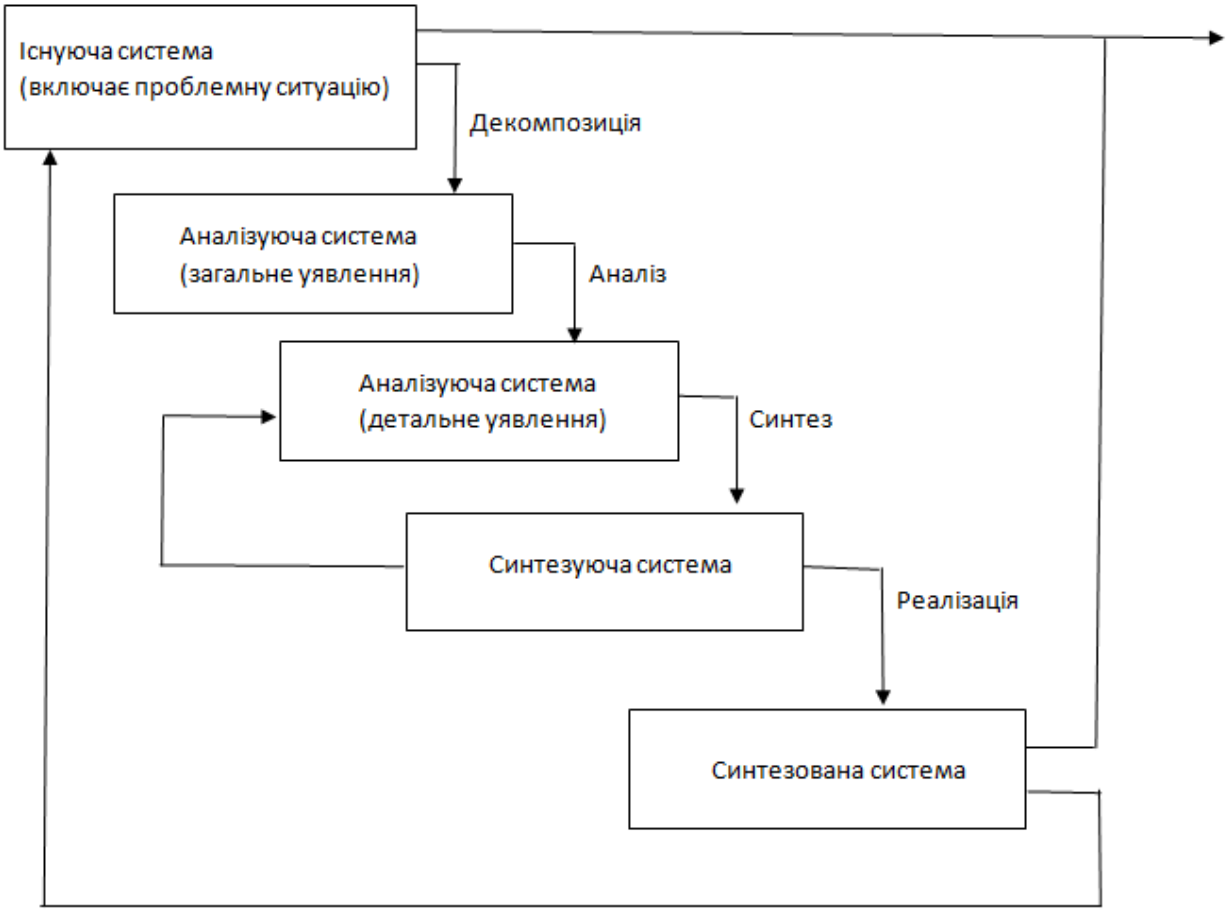


Рисунок 2.1. Системний підхід до вирішення проблемної ситуації

У процесі функціонування існуючої системи виявляється проблемна ситуація як невідповідність існуючому стану справ необхідному. Для вирішення проблемної ситуації проводиться системне дослідження (декомпозиція, аналіз та синтез) системи. Реалізація системи як передбачуваної фізичної системи дозволяє провести оцінку ступеня проблемної ситуації.

Основні методи системного аналізу у спрощеному вигляді можуть бути представлені у вигляді блок-схеми (рис. 2.2) [2].

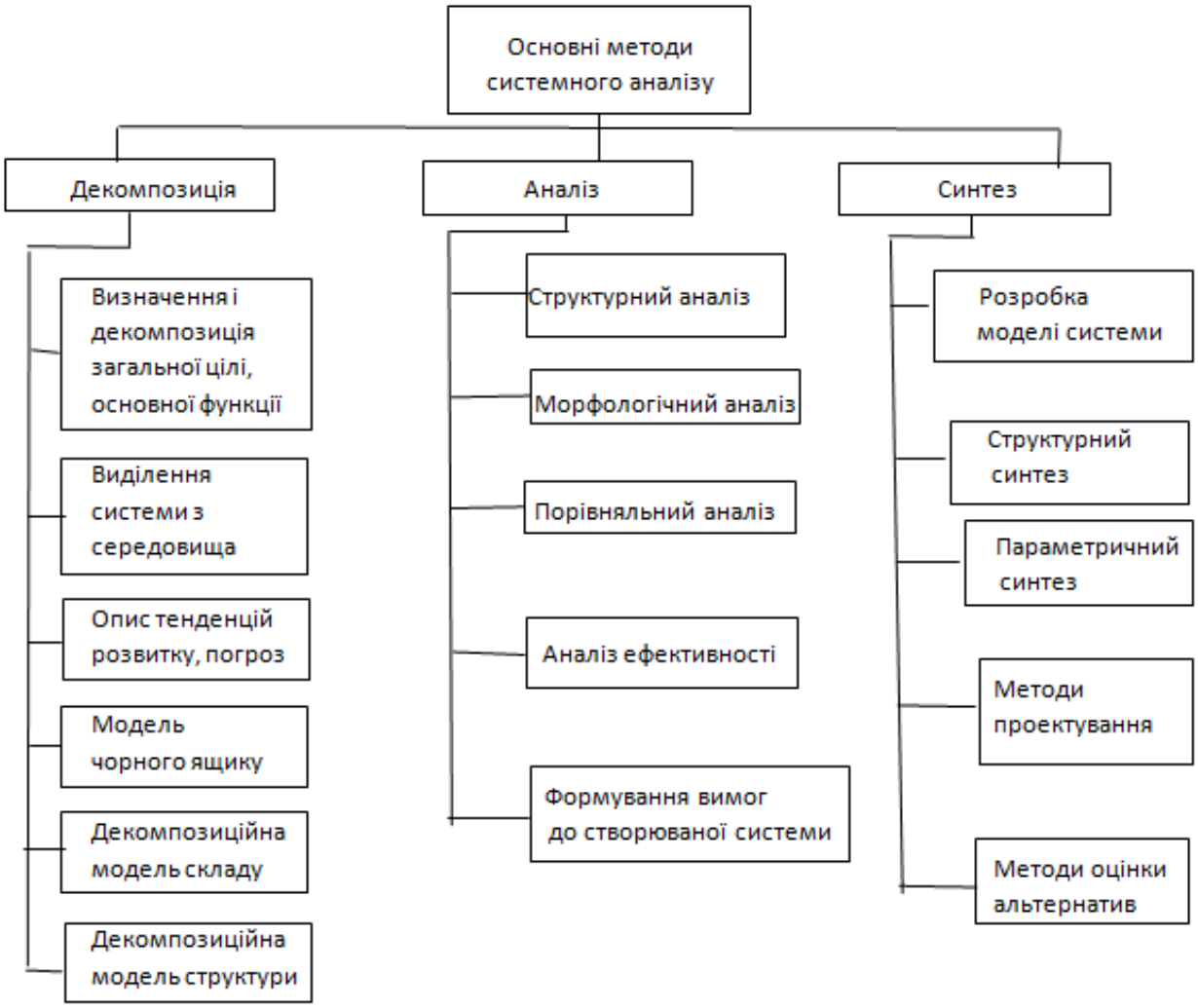


Рисунок 2.2. Основні методи системного аналізу

2.1.1 Декомпозиція

На етапі декомпозиції, що забезпечує загальне уявлення про систему, здійснюються:

♦ визначення та декомпозиція загальної мети дослідження та основної функції системи як обмеження траєкторії у просторі станів системи або в області допустимих ситуацій;

♦ виділення системи із середовища;

♦ визначення ближнього та далекого оточення системи;

♦ опис факторів, що впливають.

Найчастіше декомпозиція проводиться шляхом побудови «дерева» цілей та «дерева» функцій. Цей процес є досить складним і вимагає

залучення кваліфікованих експертів. Основною проблемою при цьому є дотримання двох суперечливих принципів:

♦ повноти — проблема має бути розглянута максималі. проте, всебічно і докладно;

♦ простоти — все «дерево» має бути максимально компактним — «вшир» та «вглиб».

Компроміс досягається за допомогою чотирьох основоположних понять:

♦ суттєвості — у модель включаються лише компоненти суттєві стосовно цілей аналізу;

♦ елементарності — доведення декомпозиції до простого, зрозумілого, реалізованого результату;

♦ поступової деталізації моделі;

♦ інтерактивності — можливість введення нових елементом у основу та продовження декомпозиції щодо них на різних гілках «дерева».

Глибина декомпозиції обмежується. Декомпозиція повинна припинятися, якщо необхідно змінити рівень абстракції, представити елемент як підсистему. Якщо при декомпозиції з'ясовується, що модель починає описувати внутрішній алгоритм функціонування елемента замість закону його функціонування у вигляді «чорної скриньки», то в даному випадку відбулася зміна рівня абстракції. Це означає вихід межі мети проходження системи і, отже, викликає припинення декомпозиції.

У сучасних методиках типовими є декомпозиції моделі на глибину 5-6 рівнів. На таку глибину декомпозирується зазвичай одна з підсистем. Функції, які вимагають такого рівня деталізації, часто дуже важливі, їх детальний опис дає ключ до основ роботи всієї системи.

Більшість систем може бути декомпозировані на базові уявлення підсистем. До них відносять: послідовне з'єднання елементів, паралельне з'єднання елементів, з'єднання за допомогою зворотного зв'язку.

Проблема проведення декомпозиції полягає в тому, що у складних системах відсутня однозначна відповідність між законом функціонування підсистем та алгоритмом, що його реалізує. Тому здійснюється формування кількох варіантів декомпозиції системи.

Розглянемо деякі стратегії декомпозиції, що найбільш часто застосовуються.

Функціональна декомпозиція. Декомпозиція виходить з аналізу функцій системи. Підставою розбиття на функціональні підсистеми є спільність функцій, що виконуються групами елементів.

Декомпозиція життєвого циклу. Ознака виділення підсистем - зміна законів функціонування підсистем на різних етапах циклу існування системи від народження до загибелі, у виробничому життєвому циклі можуть бути виділені:

• маркетинг;
• проектування;
• підготовка та розробка;
• виробництво;
• контроль та випробування;
• упаковка та зберігання;
• реалізація та розподіл;
• монтаж та експлуатація;
• технічний супровід та обслуговування.

Для життєвого циклу управління організаційно-економічної системи виділяють етапи планування, ініціювання, координації, контролю, регулювання. Для інформаційних систем виділяють етапи обробки інформації: реєстрацію, збирання, передачу, обробку, відображення, зберігання, захист, знищення,

Рекомендується застосовувати стратегію декомпозиції за життєвим циклом, коли метою системи є оптимізація процесів, які в ній відбуваються (декомпозиція фізичного процесу). Ознака виділення підсистеми - кроки виконання алгоритму функціонування підсистеми, стадії зміни станів. Застосовувати цю стратегію слід, якщо метою є опис фізичного процесу.

Декомпозиція по підсистемах (структурна декомпозиція). Ознака виділення підсистем - сильний зв'язок між елементами по одному з типів існуючих відносин або зв'язків (інформаційних, логічних, ієрархічних, енергетичних і т.д.). Рекомендується використовувати розкладання підсистеми лише тоді, коли такий поділ на основні частини системи не змінюється.

Декомпозиція за входами для організаційно-економічних систем. Ознака виділення підсистем - джерело впливу на систему. Це може бути вищестояща чи нижчестояща система, а також існуюче середовище.

Декомпозиція за типами ресурсів, що споживаються системою. Формальний перелік типів ресурсів складається з енергії, матерії, часу та інформації (для соціальних систем додаються кадри та фінанси).

Декомпозиція щодо кінцевих продуктів системи. Підставою можуть бути різні види продукту, вироблені системою.

Декомпозиція діяльності людини – виділяється суб'єкт діяльності; об'єкт, на який спрямована діяльність; засоби, що використовуються у процесі діяльності; довкілля, та всі можливі зв'язки між ними.

Зазвичай декомпозиція здійснюється за кількома стратегіями. Порядок їх вибору залежить від кваліфікації та переваг системного аналітика.

2.1.2 Аналіз

На етапі аналізу, що забезпечує формування детального уявлення про систему, найчастіше застосовуються такі методи:

♦ когнітивний аналіз акцентує увагу на «знаннях» та конкретній галузі, на процесах їх уявлення, обробки, інтерпретації та виробництві нових знань. Він застосовується в тих випадках, коли обсяг і якість наявної проблеми проблеми не дозволяють використовувати традиційні методи, а вимагаються залучення знань експертів, вивчення процесів розуміння ними проблеми і додаткова структуризація даних;

♦ структурний аналіз існуючої системи, що дозволяє сформулювати вимоги до системи, що створюється або вдосконалюється. Він включає уточнення складу та законів функціонування елементів, алгоритмів функціонування та взаємовпливів підсистем, поділ керованих та некерованих характеристик, завдання простору стану та параметричного простору, в якому задано поведінку системи, аналіз цілісності системи, формулювання вимог до створюваної системи;

• морфологічний аналіз — в аналізованій системі вибирають групу основних ознак (морфологія — наука про форму та будову організмів та систем). В якості ознак можуть бути елементи конструкції або функції елементів. До кожної ознаки пропонуються різні альтернативні варіанти їх реалізації. Потім запропоновані варіанти комбінують між собою. З усієї множини одержуваних комбінацій вибирають допустимі, а потім найбільш ефективні варіанти відповідні деяким критеріям якості;

• аналіз ефективності. Він включає вибір шкали виміру, формування показників ефективності, безпосереднє оцінювання та аналіз отриманих оцінок;

• формування вимог до створюваної системи, включаючи вибір критеріїв оцінки та обмежень.

2.1.3 Синтез

На етапі синтезу системи здійснюються:

• розробка моделі необхідної системи (вибір математичного апарату, моделювання, оцінка моделі за критеріями адекватності, простоти, відповідності між точністю та складністю, балансу похибок, багатоваріантності реалізацій, модульності побудови);

• синтез альтернативних структур системи, що вирішує проблемну ситуацію. На цьому етапі активно використовуються результати структурного та морфологічного аналізу для генерації альтернатив;

• синтез параметрів системи, що знімає проблему. Так, для технічної системи результатами цього етапу є кількісні характеристики опису особливостей структури та конструкції технічної системи та її зовнішніх факторів, котрим вона призначена. Найчастіше до них відносяться геометричні розміри, маса виробу, число підсистем або основних функціональних елементів, характеристики вхідних і виходять з технічної системи потоків речовини, енергії та інформації, важливі метеорологічні та кліматичні характеристики і т.д. Поряд з кількісними використовуються якісні характеристики, звані конструктивними ознаками виробів;

♦ методи проектування систем включають вже добре зарекомендовані підходи та технології. Так, для організаційно-економічних систем, до яких відносяться промислові підприємства, слід відзначити реінжиніринг бізнес-процесів, вдосконалення управління якістю, які будуть розглянуті нижче;

♦ оцінювання альтернативних варіантів синтезованої системи (обґрунтування схеми оцінювання, залучення експертів, реалізація моделі, проведення експериментів з оцінки, обробки результатів оцінювання, аналіз результатів, вибір найкращого варіанту).

У практичній діяльності зазвичай не додержуються настільки формального поділу методів системного аналізу за етапами проведення системного обстеження, наприклад деякі методи аналізу можуть включати елементи декомпозиції та синтезу.

2.2 Витрати ресурсів для проведення системного аналізу

При реалізації завдань системного аналізу використовують такі види ресурсів: енергетичні, матеріальні, тимчасові та інформаційні. Тут слід на

увазі, щоб витрати на проведення системного аналізу були істотно менше того ефекту, який буде отриманий в результаті виконаної роботи.

Енергетичні витрати на реалізацію моделі значно менші, ніж витрати енергії, яку споживає сама система, для якої розроблена модель. Тому у звичайній ситуації енергетичними ресурсами, як правило, нехтують. Проте актуальність забезпечення енергетичними ресурсами виникає у тих випадках, коли модельні дослідження проводяться на реальних об'єктах, що працюють у відносно автономних умовах.

До матеріальних ресурсів відносяться людські ресурси, необхідні для реалізації моделей, а також ресурси забезпеченості проведених досліджень необхідним обладнанням, приладами та інструментами тощо. У разі вирішення завдання шляхом моделювання на ЕОМ як матеріальні ресурси виступають обсяг пам'яті і машинний час. Зазначені ресурси обмежують можливості вирішення завдань великої розмірності в реальному масштабі часу. З подібними проблемами доводиться стикатися під час вирішення завдань у економічних, соціальних, метеорологічних, організаційно-управлінських, складних технічних системах. У разі браку ресурсів для вирішення подібних завдань необхідно проводити реконструкцію моделі.

Що ж до тимчасових ресурсів, то практика вирішення завдань системного аналізу така. Замовник робіт укладає із системними аналітиками, які виступають у ролі виконавців робіт, договір. У цьому договорі обумовлюються терміни виконання робіт з проведення системного аналізу. Як правило, ці терміни є обмежуючим тимчасовим фактором на виконувані роботи. Таким чином, дослідження, які проводяться за допомогою моделей, повинні за часом укладатися в рамки, оголошені договором.

Щодо інформаційних ресурсів можна відзначити, що кількість та якість інформації, що використовується при побудові моделей систем, різні. Якщо при побудові моделі використовується достовірна інформація в досить представницькому обсязі, це є однією з умов побудови хорошої моделі. Якість і повнота інформації, представленої в моделі, забезпечують прийняття обґрунтованих рішень і є гарантією успішного управління. У свою чергу обмеженість інформації призводить до значної невизначеності результатів, одержуваних під час розрахунків на моделі. Рішення, що приймаються на основі таких моделей, будуть володіти слабким ступенем обґрунтованості.

Таким чином, при побудові та реалізації моделей слід приділяти увагу забезпеченню процесу використання моделей усіма видами ресурсів. Навіть сама якісна модель може на практиці виявитися марною, якщо вона не забезпечена в належному обсязі всіма видами ресурсів, необхідних для її успішного застосування.

2.3 Види проблем, які вирішуються за допомогою системного аналізу

Проблема у широкому сенсі — складний теоретичний випадок чи практичне питання, що вимагає вивчення, вирішення. Фактично проблема є ситуація невідповідності бажаного і існуючого.

В даний час єдиної класифікації проблем не існує. Нерідко до проблем відносять лише дуже великі наукові та господарські проблеми. Наприклад, до невирішених проблем автомобільного транспорту можна віднести забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами відпрацьованих газів, затори у великих містах, забезпечення безпеки дорожнього руху. Часто під проблемами розуміються всі ті питання діяльності підприємств, інститутів та галузей промисловості, обґрунтоване вирішення яких вимагає проробки, виявлення та порівняння кількох можливих варіантів. Виходячи з прийнятого вище визначення, виділяються дві категорії проблем: стабілізації та розвитку.

Проблемами стабілізація називають такі, вирішення яких спрямоване на запобігання, усунення чи компенсацію обурень, що порушують поточну діяльність системи. На рівні підприємства, підгалузі та галузі вирішення цих проблем позначають терміном «управління виробництвом».

Проблемами розвитку та вдосконалення систем називають такі, вирішення яких спрямоване на підвищення ефективності функціонування за рахунок зміни характеристик об'єкта управління або системи управління об'єктом.

У багатьох роботах пропонується інший підхід до класифікації проблем. Як класифікаційні ознаки використовуються ступінь формалізації, характер прояву і ступінь зв'язності проблем.

За ступенем формалізації проблеми зазвичай поділяються так:

♦ неструктуровані (опис на якісному рівні та вирішення евристичними методами на основі досвіду та ін-туїції);

♦ слабоструктуровані (якісний та кількісний опис, частково формалізована предметна галузь), для вирішення яких і призначений системний підхід;

♦ структуровані (зазвичай вирішуються методами дослідження операцій).

За характером прояву проблеми зазвичай поділяються на повторювані, аналогічні, нові та унікальні.

За ступенем пов'язаності прийнято виділяти комплексні та автономні проблеми.

Наступний вид класифікації проблем пов'язують із рівнем проблем та їх вирішення. Виділяють чотири рівні проблем та розв'язків.

Перший рівень – рутинні проблеми, рутинні рішення. На цьому рівні керівник веде себе відповідно до наявної програми, майже як комп'ютер, що розпізнає ситуації і виходить заздалегідь передбачуваним чином. На цьому рівні не потрібен творчий підхід, оскільки всі процедури заздалегідь наказані.

Другий рівень - селективні проблеми, ініціативні рішення. На цьому рівні потрібна частка ініціативи та свободи. Керівник оцінює переваги цілого кола можливих рішень і намагається вибрати з деякого числа добре відпрацьованих альтернативних наборів дій ті, які краще всього підходять до цієї проблеми.

Третій рівень – адаптаційні проблеми, нове вирішення відомої проблеми. На цьому рівні керівник повинен виробити творче рішення, яке у певному сенсі може бути абсолютно новим. Успіх керівника залежить від його особистої ініціативи та здатності зробити прорив у невідоме.

Четвертий рівень - інноваційні проблеми, нове вирішення невідомої проблеми. Проблеми складні, що вимагають абсолютно нового підходу.

Найбільш сучасні та важкі проблеми можуть вимагати для їх вирішення створення нової галузі науки або технології.

У деяких роботах проблеми діляться на якісні, кількісні, змішані (кількісно-якісні) і слабоструктуровані (наявність якісного та кількісного опису та частково формалізованої предметної області).

Кількісні проблеми - проблеми, виражені в числах або таких символах, які врешті-решт можуть бути виражені в числових оцінках. Особливість таких проблем: точність, надійність рішення, строгість та керованість.

Якісні проблеми - проблеми, які описуються якісними характеристиками, властивостями (пов'язані з детальним перерахуванням майбутніх або погано визначених ресурсів та їх властивостей або характеристик).

Проблеми, що мають і якісні, і кількісні сторони, будуть називатися змішаними або кількісно-якісними проблемами.

Слабоструктурована проблема — це така проблема, склад елементів якої та їх зв'язку відомі лише частково. Можливі різні ситуації, що породжують проблеми. Наприклад, якщо деякі нові можливості вже склалися, але ще не усвідомлені, неминуче виникає низка слабоструктурованих проблем.

Узагальнюючи різні способи класифікації проблем, можна їх привести до трьох видів:

♦ оперативні проблеми — це проблеми, вирішення яких спрямоване на запобігання, усунення або компенсацію обурень, що порушують поточну діяльність системи. Це структуровані проблеми. Вирішення даних проблем

пов'язане з кількісною їх оцінкою, наявністю добре відпрацьованих альтернативних наборів дій у тій чи іншій ситуації;

♦ проблеми вдосконалення та розвитку систем - це проблеми, вирішення яких спрямоване на підвищення ефективності функціонування за рахунок зміни характеристик об'єкта управління або системи управління об'єктом, а також впровадження нових ідей. Це слабоструктуровані проблеми, вирішення яких є об'єктом дослідження системного аналізу та синтезу;

♦ інноваційні проблеми — це проблеми, вирішення яких пов'язане з виробленням нових ідей та впровадженням нововведень. Це дуже слабоструктуровані (або неструктуровані) проблеми. Вирішення даних проблем пов'язане з породженням нових ідей та застосуванням евристичних методів на основі досвіду та інтуїції.

Системний підхід до вирішення проблем означає, що процеси розробки обґрунтованого рішення та його реалізації слід розглядати за аналогією з процесами функціонування систем; їх до основних ставляться; дослідження об'єкта, його структури та цілей; виявлення шляхів досягнення цілей (підпроблем); виявлення варіантів розв'язків підпроблем; вибір рішень під-проблем та проблем в цілому.

З погляду системного підходу проблемою називається ситуація, що характеризується різницею між необхідним виходом та існуючим виходом. Існуючий стан є існуючою системою, існуючий вихід забезпечується існуючою системою. Бажаний стан представляється бажаною (гіпотетичною) або запропонованою системою, тобто. бажаний вихід забезпечується бажаною системою.

Проблемою є різниця між існуючою та бажаною системами. Проблема може полягати у запобіганні зменшення виходу або у збільшення виходу.

Умова проблеми представляє існуючу систему («відоме»). Вимога є бажаною системою. Вирішення проблеми є те, що заповнює проміжок між існуючою та бажаною системами. Система, що заповнює проміжок, є об'єктом конструювання та називається вирішенням проблеми.

2.4 Визначення проблемної ситуації

Проблемна ситуація - умови, що породжують проблему.

Умови постановки проблеми - об'єктивно виникаючі протиріччя тих чи інших діях і незнання способів їх вирішення; протиріччя між потребами у нових знаннях та їх недостатністю.

Проблемні ситуації виникають у процесі пізнавальної діяльності суб'єкта, спрямованої на певний об'єкт, коли суб'єкт зустрічає якесь складне становище, перешкоду.

Перешкода може бути найрізноманітнішої природи: це і недолік або невідповідність знань, засобів і способів їх застосування, і необхідність зробити якісь невідомі дії для досягнення мети або зробити вибір між декількома об'єктами тощо. У всіх цих випадках виникає ситуація, яку прийнято називати проблемною.

Проблемна ситуація — це «розрив» у діяльності, неузгодженість між цілями і можливостями суб'єкта, тобто. наявність умов, що породжують проблему.

Типові проблемні ситуації:

♦ результати діяльності не відповідають бажаним цілям;

♦ раніше вироблені, теоретично обґрунтовані та практично перевірені методи рішення не дають належного ефекту або не можуть бути використані;

♦ у ході практичної діяльності виявляються нові факти, які не укладаються у рамки існуючих теоретичних уявлень;

♦ одна з часткових теорій суперечить більш загальній теорії або іншим областям життя в межах даної галузі знань.

Мета формулювання проблеми полягає в тому, щоб встановити сутність проблеми у відомих термінах.

Успішне формулювання проблеми може бути рівносильним «половині» вирішення проблеми. Однак «наполовину вирішена» в результаті формулювання проблема не є насправді вирішена проблема, але її формулювання означає, що основні її елементи належним чином визначені та пов'язані.

При формулюванні (постановці) проблеми мають бути виконані такі дії:

по-перше, необхідно описати, як проблема була виявлена;

по-друге, встановити, чому вона розглядається як проблема;

по-третє, відрізнити її від «симптому» деяких суміжних проблем;

по-четверте, надати операційні визначення небажаних наслідків проблеми.

Необхідність дослідження історичних аспектів проблеми має суттєві підстави. Вивчення передісторії виникнення проблеми дозволяє визначити обстановку, яка породила проблему, умови, етапи та засоби її вирішення.

Історичне формулювання проблеми має на увазі її знання, і тільки історія може бути прийнятною загальною підставою і може допомогти при визначенні зацікавленими сторонами сутності проблеми.

Проте слід зазначити, що кожна із зацікавлених сторін має своє бачення проблеми, своє ставлення до неї. Тому при формулюванні комплексу проблем необхідно враховувати, які зміни і чому хоче внести та чи інша сторона.

2.5 Визначення цілей системи

Ціль - це варіант задоволення вихідної потреби, обраної з деякої множини альтернатив, сформульованих на основі спеціального знання.

Потреба – категорія об'єктивна, мета – суб'єктивна категорія, яка визначається наявним досвідом. Результат - це міра досягнення конкретної мети, тобто. міра задоволення потреби. Мета є конкретне вираження потреби, сформульованої на основі наявного досвіду і визначає конкретне функціонування створюваної системи. Звідси виникає причинно-наслідковий ланцюжок: потреба - мета - функціонування (керованої) системи результат.
Реалізація потреби пов'язана з можливими альтернативними шляхами її реалізації. Вибір альтернативного варіанту пов'язаний з оцінкою можливостей цьому рівні знань, тобто. визначається не тільки вибором певної і конкретної сукупності методів і засобів, що забезпечують реалізацію моделі в даних умовах.

Потреба - це те, що об'єктивно пов'язує людину (і взагалі живе) із зовнішнім середовищем (світом), у тому числі і з соціальним, як деяка (визначальна) умова забезпечення її життєдіяльності та існування.

Мета - це сукупне уявлення про деяку модель майбутнього результату, здатного задовольнити вихідну потребу при наявних реальних можливостях, оцінених за результатами досвіду.

Розглянемо властивості мети:

♦ мета знаходиться у безпосередній залежності від потреби і є в цьому процесі її прямим наслідком;

♦ вибір мети суб'єктивний, тобто. вибір заснований на конкретному знанні індивіда або спільноти;

♦ мета конкретна;

♦ мета завжди несе в собі елемент невизначеності, що призводить до деякого «розузгодження» фактично отриманого результату і тієї моделі, яка була сформована;

♦ наявність невизначеності у вихідній моделі робить мету засобом оцінки майбутнього результату.

Розглянемо деякі співвідношення потреби і мети в соціальних утвореннях. Прийнято вважати, що вимога (припис, директива) «вищої»

організації безумовна для «нижчої» і тому, отже, автоматично трансформується в ціль для нього, яку необхідно також безумовно реалізувати.

Проте це зовсім так. Розглянемо різні варіанти трансформації вимог до мети.

1. Вимога визначає всі елементи цілі. У цьому випадку «проблема вибору» для соціального елемента відсутня повністю.
2. Вимога не обмежує умову реалізації, точно визначаючи інші елементи. У цьому випадку вже соціальному елементу треба формувати рішення (мета), як створити умови, щоб запропоновані способи використання запропонованих коштів привели до необхідного результату.
3. Вимога не обмежує умови і методи реалізації, однак точно визначає модель результату та сукупність засобів її реалізації. Свобода вибору досягненні мети розширюється, оскільки індивід вправі використовувати дані у його розпорядженні кошти «на власний розсуд», аби отримати необхідний результат.
4. Вимога передбачає лише точні параметри моделі результату. Соціальний елемент має повну «свободу вибору» у межах коштів, що у його розпорядженні.
5. Вимога не має жодних обмежень. Випадок, коли вимога не несе в собі необхідності конкретних розпоряджень по всіх компонентах мети.

При виробничої діяльності створюється деяка «виконавча» система за повної визначеності компонентів мети, зокрема моделі результату.

Ціль реальних систем можна звести до трьох основних видів формального їх завдання:

♦ необхідний кінцевий стан системи;
♦ необхідний порядок зміни станів;
♦ необхідний «напрям» руху системи без фіксації конкретної кінцевої точки.

2.5.1 Постановка цілей системного аналізу

Після того, як сформульована проблема, яку потрібно подолати у ході виконання системного аналізу, переходять до визначення мети.

Визначити мету системного аналізу - означає відповісти на питання, що треба зробити для усунення проблеми. Сформулювати мету означає вказати напрямок, у якому слід рухатися, щоб вирішити існуючу проблему, показати шляхи, які відводять від існуючої проблемної ситуації.

При формуванні цілей системи необхідно виконувати наступні умови:

♦ сукупність всіх часткових цілей системи (її підцілей) повинна бути виражена єдиною головною метою та формалізована у вигляді цільової функції, щоб служити критерієм для порівняння варіантів вирішення проблеми;

♦ головна мета системи полягає у забезпеченні найефективнішого її функціонування. Під цим розуміється компроміс між ступенями досягнення різних підцілей, який визначається на підставі взаємного порівняння корисності кінцевих результатів та їх співставлення з витратами ресурсів усіх видів на отримання всіх результатів;

♦ мета вирішення окремої проблеми є частковим виразом мети системи, що враховує лише ті підцілі, на ступінь досягнення яких може вплинути вирішення даної проблеми;

♦ мета вирішення проблеми формулюється з урахуванням конкретних умов, у яких обирається та реалізується рішення. Ці умови задаються системою обмежень.

Мета та умови вирішення проблеми мають бути визначені та формалізовані вже на першому етапі її опрацювання. Цей етап передбачає такі основні процедури:

1. Виявлення і систематизація підцілей системи, вибір показників (аргументів цільової функції), які кількісно характеризують досягнення підцілей.
2. Уточнення умов вирішення проблеми та формування обмежень, уточнення складу варійованих аргументів цільової функції з урахуванням прийнятих обмежень.
3. Формування цільової функції, тобто. конкретизація її залежності від аргументів на основі порівняння підцілей.

Дослідження цілей зацікавлених у проблемі осіб має передбачати також можливість їх уточнення, розширення чи навіть заміни. Ця обставина є основною причиною ітеративності системного аналізу.

Під час проведення системного аналізу зазвичай будують «дерево» цілей. Основне завдання, яке вирішується завдяки побудові «дерева» цілей, - переведення складної та глобальної мети (наприклад, складної організаційно-технічної системи, до якої, зокрема, відносяться установи реального сектора економіки, зв'язку та транспорту) до кінцевого набору простих модулів, для виконання яких можуть бути визначені конкретні завдання та проекти. Термін «дерево» цілей має на увазі використання ієрархічної структури, отриманої шляхом поділу загальної мети на підцілі, а їх у свою чергу на більш детальні складові (нові підцілі, функції і т.д.). Як правило, цей метод використовується для структур, що мають відношення строгого порядку, але він може використовуватися і стосовно «слабких» ієрархій, в яких одна і та ж

вершина нижнього рівня може бути одночасно підпорядкована двом або декільком вершинам вищого рівня.

Різновидом методу «дерева» цілей є метод PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers — допомога плануванню за допомогою відносних показників технічної оцінки), розроблений для підвищення ефективності процесів прийняття рішень в області довгострокової науково-технічної орієнтації великих промислових підприємств.

Сутність методу PATTERN ось у чому. Виходячи зі сформульованих цілей споживачів продукції організації на прогнозований період, здійснюється побудова дерева цілей. До кожного рівня дерева цілей вводиться ряд критеріїв. За допомогою експертної оцінки визначаються ваги критеріїв та коефіцієнти значущості, що характеризують важливість вкладу цілей у забезпечення критеріїв. Значимість певної мети визначається коефіцієнтом зв'язку, що становить суму добутку всіх критеріїв на відповідні коефіцієнти значимості. Загальний коефіцієнт зв'язку певної мети (щодо досягнення мети найвищого рівня) визначається шляхом перемноження відповідних коефіцієнтів зв'язку у напрямках вершини «дерева».

2.5.2 Формування та вибір критеріїв

Критерій – це спосіб порівняння альтернатив. Необхідно розрізняти поняття «критерій» та «критеріальна функція». Критерієм якості альтернативи може бути будь-яка її ознака, значення якого можна зафіксувати в порядковій або сильнішій шкалі. Коли критерій сформований, тобто. знайдена характеристика, яка буде покладена в основу порівняння альтернатив, з'являється можливість ставити завдання вибору та оптимізації.
Завдання формування критеріїв вирішується безпосередньо по тому, як сформульовані мети системного аналізу. Ситуація стає зрозумілою, якщо до критеріїв ставитися як до кількісних моделей якісних цілей. Завдання системного аналітика полягає в тому, щоб формалізувати проблемну ситуацію, що виникає в ході системного аналізу. Цій меті якраз служить етап формування критеріїв.

Часто при вирішенні завдань системного аналізу виникає ситуація, коли неможливо запропонувати один критерій, який адекватно відображає мету дослідження: навіть одну мету рідко вдається виразити одним критерієм, хоча до цього необхідно прагнути. Критерій, як і будь-яка модель, лише приблизно відображає мету; адекватність одного критерію може бути недостатньою. Тому рішення може бути необов'язково в пошуку більш

адекватного критерію, воно може виражатися у використанні декількох критеріїв, що описують одну мету по-різному і доповнюють один одного.
Однак при постановці та вирішенні завдань системного аналізу необхідно враховувати не лише цілі, на вирішення яких він спрямований але й можливості, які мають сторони для вирішення поставлених завдань і які дозволяють зняти виявлені проблеми. Насамперед необхідно враховувати: ресурси, які замовник згоден виділити системним аналітикам для вирішення поставленого завдання; ресурси виконавця - людські ресурси, ресурси обчислювальні, матеріальні ресурси, необхідні для вирішення завдань; тимчасові ресурси (терміни вирішення завдань системного аналізу, як правило, обумовлюються).

При формулюванні завдання системного аналізу необхідно також враховувати інтереси довкілля. Хоча навколишнє середовище і відіграє пасивну роль, необхідно враховувати, що будь-яка система існує в ній, взаємодіє з нею. Тому при постановці завдання системного аналізу необхідно слідувати принципу «не нашкодити», не робити нічого, що суперечило б законам природи. Щоб задовольнити умови неперевищення кількості наявних ресурсів, у постановку завдання системного аналізу вводять обмеження.

Між цільовими критеріями та обмеженнями є схожість та відмінності. Загальне у тому, як і критерій, і обмеження є математичними формулюваннями деяких умов. У окремих завданнях оптимізації можуть виступати равноправно. Однак на етапі формування цільової критерій відкриває можливості для генерування нових альтернатив у пошуках кращої з них, а обмеження свідомо зменшує їх кількість, забороняючи деякі з них. Як прийом, що дозволяє знайти найкращі співвідношення між критеріями і обмеженнями, можна порекомендувати використання ітераційних процедур. Після проведення певних обчислень та встановлення факту завищених вимог, сформульованих в обмеженнях, можна ці вимоги знизити і спробувати вирішити завдання наново.

В даний час до основних критеріїв, які найбільш часто зустрічаються в аналізі складних систем, можна віднести такі:

♦ економічні критерії — прибуток, рентабельність, собівартість;
♦ техніко-економічні – продуктивність, надійність, довговічність;
♦ технологічні — вихід продукту, характеристики якості та ін.

2.5.3 Визначення альтернатив досягнення цілей

Даний етап системного аналізу є дуже важливим і важким, оскільки необхідно згенерувати безліч альтернатив, з яких потім здійснюватиметься вибір найкращого шляху розвитку системи.

Якщо у сформоване безліч альтернатив не потрапила найкраща, то ніякі досконалі методи аналізу не допоможуть її обчислити. Трудність етапу обумовлена необхідністю генерації досить повної множини альтернатив, що виключає на перший погляд навіть найнереалізованіші.

В даний час виділяють такі способи генерації:

♦ пошук альтернатив у патентній та журнальній літературі; залучення кількох експертів, які мають різну підготовку та досвід;

♦ збільшення числа альтернатив за рахунок їх комбінації, утворення проміжних варіантів між запропонованими раніше;

♦ модифікація наявної альтернативи, тобто. формування альтернатив, лише частково від відомої; - включення альтернатив, протилежних запропонованим, у тому числі і «нульової» альтернативи (не робити нічого, тобто розглянути наслідки розвитку подій без втручання системотехніків);

♦ інтерв'ювання зацікавлених осіб та ширші анкетні опитування;

♦ включення на розгляд навіть тих альтернатив, які здавалося б здаються надуманими;

♦ генерування альтернатив, розрахованих на різні інтервали часу (довгострокові, короткострокові, екстрені).

При виконанні роботи з генерування альтернатив важливо створити сприятливі умови для працівників, які виконують цей вид діяльності. Велике значення мають і психологічні чинники, що впливають на інтенсивність творчої діяльності, тому необхідно прагнути до створення сприятливого клімату на робочому місці співробітників.

Ще однією проблемою, що виникає при виконанні робіт з формування множини альтернатив, є отримання на початковій стадії великої кількості альтернатив (для деяких проблем їх кількість може досягти багатьох десятків). Для детального вивчення кожної з них будуть неприйнятно великі витрати часу і коштів. Тому в даному випадку необхідно провести попередній аналіз альтернатив і постаратися звузити безліч ранніх етапах аналізу.

На цьому етапі аналізу застосовуються якісні методи порівняння альтернатив, не вдаючись до більш точних кількісних методів. Тим самим здійснюється грубе відсіювання деяких альтернатив.

2.5.4 Прийняття рішень

Цільове призначення всього системного аналізу полягає в тому, щоб у результаті здійснити вибір. Вибір і прийняття рішення є суть поставленої задачі системного аналізу, кінцевий результат всієї роботи.
Процедура прийняття рішення є дією над безліччю альтернатив, у результаті якого виходить підмножина обраних альтернатив. Бажано, щоб це була одна альтернатива. Звуження безлічі альтернатив можливе, якщо є спосіб порівняння альтернатив між собою та визначення найбільш кращих. Для того, щоб була можливість порівняти альтернативи, необхідно виробити критерій переваги.

До основних складнощів, що виникають при вирішенні завдань вибору та прийняття рішень, можна віднести такі:

♦ безліч альтернатив може бути кінцевою, лічильною або нескінченною;

♦ оцінка альтернативи може здійснюватися за одним або декількома критеріями;

♦ критерії можуть мати кількісний вираз або допускати лише якісну оцінку;

♦ режим вибору може бути одноразовим або повторюваним, що допускає навчання на досвіді;

♦ наслідки вибору можуть бути точно відомі, мати імовірнісний характер або мати неоднозначний результат, який не допускає введення ймовірностей.

Різні поєднання перерахованих варіантів призводять до різноманітних завдань вибору. Для вирішення завдань вибору пропонуються різні підходи, найбільш поширений з яких - критеріальний підхід. Основним становищем критеріального підходу є таке: кожну окремо взяту альтернативу можна оцінити конкретним числом - значенням критерію. Критерії, основі яких здійснюється вибір, мають різні назви — критерій якості, цільова функція, функція переваг, функція корисності тощо. Порівняння альтернатив зводиться до порівняння результатів розрахунків відповідних критеріїв.
Однак на практиці складність відшукання найкращої альтернативи багаторазово зростає, так як оцінювання варіантів доводиться проводити на підставі декількох критеріїв, що якісно розрізняються між собою. У цій ситуації необхідно вирішувати багатокритеріальні завдання. Підходи до вирішення таких завдань відомі - це метод зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної, метод умовної максимізації, пошук альтернативи із заданими властивостями та ін. Ці методи будуть описані в наступних розділах.

При вирішенні завдань вибору також необхідно враховувати умови, у яких здійснюється вибір, і обмеження завдання, оскільки їх зміна може призвести до зміни рішення при тому самому критерії.

У зв'язку з цим у завданнях системного аналізу широке застосування знайшов оптимізаційний підхід. Цей підхід міцно увійшов у практику проектування та експлуатації технічних систем, зіграв важливу роль у формуванні сучасних системних уявлень, широко використовується в адміністративному управлінні.

Порівняння з оптимальними параметрами допомагає вирішити питання про доцільність подальших зусиль з поліпшення показників якості виробів.

Однак у оптимізаційного підходу також є свої обмеження, що вимагають уважного розгляду.

Крім критеріального та оптимізаційного підходу існують та інші методи вирішення завдань вибору. Одним з таких методів є експертний. Він застосовується у тих випадках, коли при дослідженні складних систем виникають проблеми, які не вдається у вигляді формальних математичних завдань. У таких випадках вдаються до послуг експертів — осіб, чия інтуїція та досвід можуть зменшити складність проблеми.

3 ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ОБ’ЄКТІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

3.1 Основні принципи системного підходу

Найбільш дієвим способом міждисциплінарних досліджень складних багаторівневих багатоелементних об'єктів служить системний підхід. Так само, як фізика є першоосновою розвитку техніки та методів її досліджень технічними науками, так системний підхід в останні півстоліття став основою досліджень організаційних та людино-машинних об'єктів технічними науками. Більш детально особливості системного підходу до аналізу обєктів автомобільного транспорту висвітлені в літературі [3]

Системний підхід є не стільки способом або методом вирішення завдань, скільки методологією постановки завдань у дослідженнях цих об'єктів.

Системним підходом називають систематизований спосіб мислення, за яким об'єкт розглядається як цілісне безлічі елементів у сукупності відносин і зв'язків між ними, а процес обґрунтування рішення - як упорядкована і відтворювана процедура, що базується на визначенні загальної цілі.

Основні принципи системного підходу:

1. Цілісність і відкритість, що дозволяють розглядати систему одночасно як єдине ціле і як підсистему системи вищого рівня.
2. Ієрархічність будови - наявність безлічі (не менше двох) елементів різних рівнів.
3. Структурованість і різність частин, що дозволяє аналізувати елементи системи в їх взаємозв'язку в рамках конкретної структури системи.
4. Множинність, використання всієї безлічі моделей для опису елементів і системи в цілому.

Системний аналіз - це сукупність методологічних засобів для підготовки та обґрунтування рішень складних проблем, що полягає в поданні об'єктів в якості систем, проведення їх структуризації і подальшого дослідження [2].

Завданнями системного аналізу служать (табл. 3.1):

- декомпозиція;
- аналіз;
- синтез.

Таблиця 3.1. Основні завдання і функції системного аналізу [3]

Структура системного аналізу		
Декомпозиція	Аналіз	Синтез
Визначення та декомпозиція загальної мети, основної функції	Функціонально-структурний аналіз	Розробка моделі системи
Вибір системи з середовища	Морфологічний аналіз (аналіз взаємозв'язку компонентів)	Структурний синтез
Опис впливових факторів	Генетичний аналіз (аналіз передісторії, тенденцій, прогнозування)	Параметричний синтез
Опис тенденцій розвитку, невизначеності	Аналіз аналогів	Оцінювання системи
Опис як «чорної скриньки»	Аналіз ефективності	
Функціональна, компонентна і структурна декомпозиція	Формування вимог до створюваної системи	

Всі проблеми поділяються на:

- добре структуровані або кількісно сформульовані проблеми, в яких суттєві залежності з'ясовані дуже добре;
- неструктуровані або якісно виражені проблеми, що містять лише опис найважливіших ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими абсолютно невідомі;
- слабо структуровані або змішані проблеми, які містять як якісні елементи, так і маловідомі, невизначені сторони, які мають тенденцію домінувати.

Для вирішення добре структурованих проблем використовується відома методологія дослідження операцій на детермінованих або стохастичних моделях. Для вирішення слабо структурованих проблем використовується методологія системного аналізу.

Емержентність (англ. emergence - виникнення, поява нового) в теорії систем - наявність у будь-якої системи особливих властивостей, не притаманних її підсистемам і блокам, а також сумі елементів, не пов'язаних особливими системоутворюючими зв'язками; незводність властивостей системи до суми властивостей її компонентів. У якості синоніму використовують поняття «системний ефект».

Емержентність передбачає наявність у системи властивостей цілісності, тобто таких властивостей, які не притаманні складовим елементам.

Технологія системного аналізу щодо прийняття рішень включає в загальному випадку такі етапи:
1. Формулювання проблемної ситуації.
2. Визначення цілей.
3. Визначення критеріїв досягнення цілей.
4. Побудова моделей для обґрунтування рішень.
5. Пошук оптимального (допустимого) варіанту рішення.
6. Узгодження рішення.
7. Підготовка рішення до реалізації.
8. Затвердження рішення.
9. Управління ходом реалізації рішення.
10. Перевірка ефективності рішення.

3.2 Дерево цілей

Принципи системного аналізу на практиці найбільш широко застосовуються в програмно-цільовому плануванні та цільовому управлінні за допомогою підготовки та використання так званого дерева цілей. Метод дослідження дерева цілей був запропонований У. Черчменом і Р. Акофом в 1967 р.

Дерево цілей - це графічне зображення зв'язку між цілями та засобами їх досягнення, побудоване за принципом дедуктивної логіки та із застосуванням евристичних процедур.

Або спрощено:

Дерево цілей - графічна схема, що показує розбивку загальних цілей на підцілі, останніх - на підцілі наступного рівня тощо.

Поява терміну пов'язана з тим, що схематично представлена сукупність розподілених за рівнями цілей нагадує за виглядом перевернуте дерево.

Вульгаризоване економічне трактування «деталізує» це поняття як розгорнуту, розподілену за рівнями сукупність цілей і завдань економічної програми, побудовану за логічною схемою: «цілі - програми - завдання - заходи - ресурси». Не безуспішно застосовуються і вульгаризовані спрощення процедур аналізу можливостей інноваційної трансформації організаційних (у тому числі, виробничих), кваліметричних та економічних об'єктів під найменуваннями "дерево властивостей", "дерево систем", "піддерев'я" та ін.

Вульгаризація та спрощення процедур аналізу полягали при цьому, насамперед, у підміні вичерпного аналізу конкуруючих засобів можливого досягнення глобальної мети вдосконалення об'єкта єдиною сукупністю заходів, заздалегідь, вже апріорі відібраної експертом і за замовчуванням без альтернатив оформленої в якості єдиної структури "дерева властивостей". Подібний підхід не гарантує не тільки оптимальності суб'єктивно відібраної і «нав'язуваної» експертом сукупності коштів, але навіть не в силах підтвердити можливість досягнення глобальних цілей відібраної сукупністю

заходів. Але він цілком придатний для порівняльної оцінки вже обґрунтованих іншими способами і добре апробованих «перспективних» коштів. Для пошуку нової сукупності засобів досягнення цілей, не досягнутих вже апробованими засобами, необхідно використовувати «класичну» процедуру побудови дерева цілей.

У підручниках з технічної експлуатації автомобілів можна зустріти використання дерева цілей для ілюстрації в навчальних цілях структури діяльності автотранспорту в цілому і технічної служби автопідприємства. У таких публікаціях «цілі», що утворюють дерево відображали не пошуки можливостей системного вдосконалення діяльності виробничих об'єктів, а констатацію реальних напрямків діяльності їх персоналу або виробничої інфраструктури. Метод дерева цілей служив при цьому не інструментом оптимізації виробничого об'єкта, а ілюстративним засобом впорядкованого відображення структури його діяльності.

Дерево цілей дозволяє представити структуру взаємозв'язків засобів досягнення цілей і отримати інформацію про їх відносну важливість. Воно забезпечує ефективне доведення цілей до безпосередніх виконавців шляхом встановлення відповідності між цілями і засобами досягнення цілей.

Дерево цілей дає модель цільового управління на основі деревовидного розімкнутого графа, який не має циклів, тобто замкнутих цілей.

При побудові дерева цілей використовуються такі його властивості, як співвідношення, розгортання та відносна важливість.

Підпорядкованість цілей обумовлюється ієрархічною побудовою виробничих систем, а також наявністю ієрархії за часом і важливістю (значущістю). Цілі виробничих підрозділів визначаються цілями підприємства, тактичні цілі - стратегічними, а короткострокові - довгостроковими.

Розгортання полягає в тому, що кожна ціль даного рівня ділиться на підцілі нижчого рівня. Наприклад, цілі підприємства розгортаються в цілі цехів, цілі цеху - в цілі дільниць.

Відносна важливість цілей полягає в відмінності значення цілей одного рівня для досягнення цілі більш високого рівня. Це дозволяє ранжувати цілі за ступенем важливості, кількісно оцінюючи їх коефіцієнтом значущості.

Побудова дерева цілей починається з формування головної мети. Кожну ціль більш високого рівня можна уявити як самостійну систему, що включає в себе цілі нижчого рівня (підцілі) як її елементи. При цьому необхідно встановити повний склад підцілей. Ціль другого рівня може бути розчленована на цілі третього і наступних рівнів.

Найпростіший приклад дерева цілей з незалежними один від одного засобами досягнення цих цілей показано на рис. 3.1 [3].

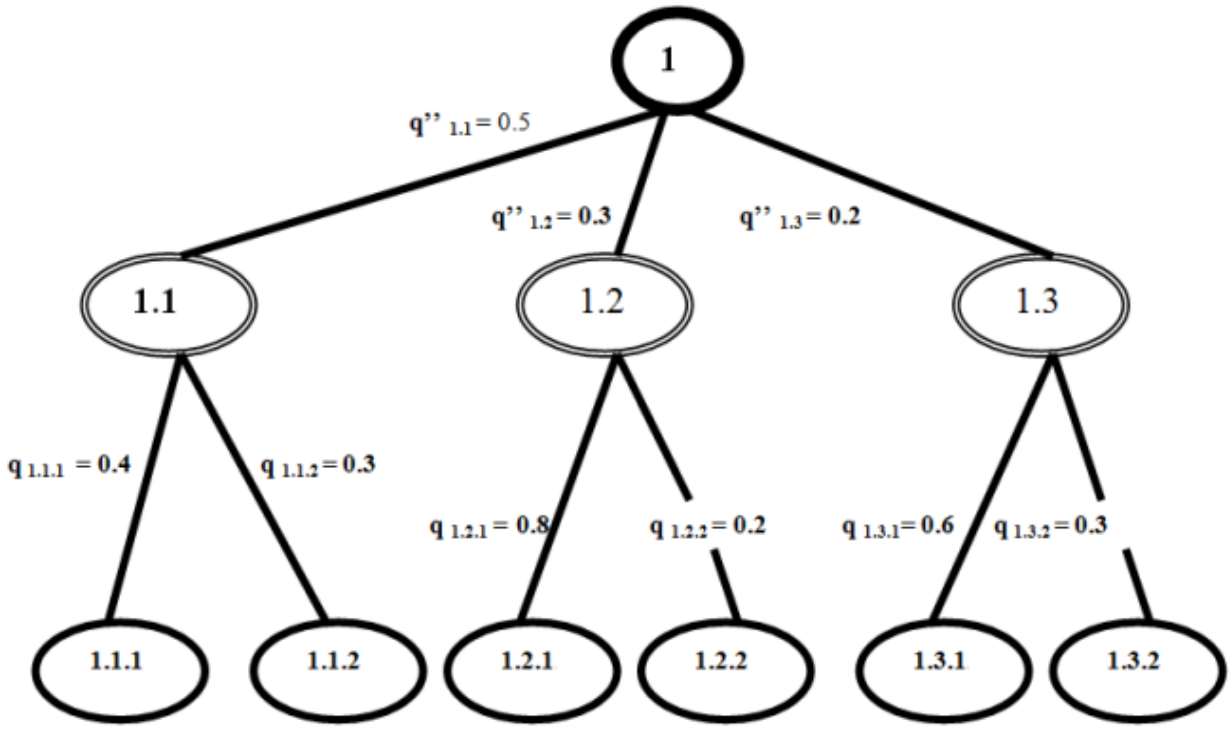


Рисунок 3.1. Приклад визначення коефіцієнтів значущості цілей при побудові дерева цілей з незалежними один від одного засобами досягнення цілей:
q - коефіцієнт значущості цілі по відношенню до вищепоставленої;
q"- коефіцієнт значущості цілі по відношенню до головної цілі.

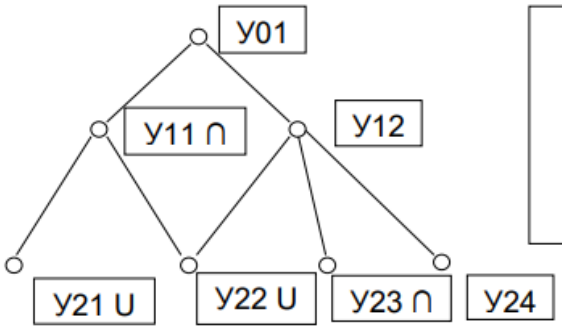
Ознакою завершення побудови дерева цілей служить формулювання цілей, які далі не розчленовуються і забезпечують досягнення головної цілі. Важливість цілей по відношенню одне до одного оцінюється на другому і наступних рівнях за допомогою методу ранжування та зважування. Для забезпечення можливостей ранжування кожній цілі присвоюється порядковий номер, відображає її відносну важливість для досягнення цілі більш високого рівня. При зважуванні встановлюється коефіцієнт значущості кожної цілі в частках одиниці або у відсотках по відношенню до цілі більш високого рівня і по відношенню до головної цілі. Коефіцієнти значущості показують, наскільки (у частках одиниці або у відсотках) досягається головної цілі (ціль 1) при досягненні підцілі 1.1. Сума коефіцієнтів значущості цілей кожного рівня повинна бути при цьому рівною 1, або 100%.

Подібна модель дозволяє врахувати і наявність ієрархії цілей.

Між цілями (вони ж і засоби досягнення цілей більш високого рівня), крім конфліктів, зазвичай існують і зв'язки, включаючи відносини підпорядкування (для реалізації цілі А необхідно здійснення цілей В, С і т. д., які називають цілями-засобами) і передування (до цілі D треба виконати ціль Е). Крім того, між цілями можуть бути відносини спільного підпорядкування, при якому кожна з них є частиною або передує досягненню однієї і тієї ж

вищої цілі. З урахуванням цього формулювання цілей повинні включати такі елементи:
- зміст цілі (що має бути досягнуто?);
- масштаб цілі (в якому обсязі повинна бути досягнута ціль?);
- термін виконання цілі (за який час має бути досягнута ціль?).

Модель "дерево цілей" може бути представлена зв'язковим орієнтованим деревоподібним графом, вершини якого є цілями різного ступеня деталізації, а ребра - зв'язками між ними (рис. 3.2) [4].



У01=У11∩У12;

У11=У21UУ22;

У12=У22U(У23∩У24)

У01=(У21UУ22)∩(У22U(У23∩У24))=
=(У21∩У22)U(У21∩У23∩У24)UУ22U(У22∩У23∩У24)
Невибіркові варіанти рішень: У22 або У21, У23, У24

Рисунок 3.2. Приклад побудови дерева цілей за допомогою зв'язкового орієнтованого деревоподібного графа

Ці зв'язки полягають у тому, що для виконання деякої цілі (вершини графа) необхідно і достатньо виконати хоча б частина її підцілей (підпорядкованих їй вершин).

Під «зв'язністю» графа розуміється неможливість його розбиття на повністю незалежні одна від одної системи цілей. «Орієнтованість» графа означає, що для двох пов'язаних між собою елементів А і В правильно тільки одне з тверджень типу «Для виконання цілі А необхідно виконати ціль В» або, навпаки, «Для виконання цілі В необхідно виконати ціль А». Дерево цілей (проектів вдосконалення) реальних виробничих об'єктів організаційного характеру може бути складніше і лише частково відповідати суворому визначенню «дерева» в теорії графів через такі особливості:
1. Дерево має єдину вершину - «корінь», яка не є підвершиною жодної іншої вершини. Це головна ціль, а решта лише деталізують, розкривають її.
2. На всіх рівнях, крім першого, якому відповідає корінь, можуть знаходитися вершини, що не мають підвершин - «листя» дерева. Листя - найбільш дрібні, окремі цілі (цілі-засоби), що не підлягають деталізації.
Перші дві вимоги повністю запозичені з теорії графів для об'єктів типу «дерево».
3. Одна і та ж вершина може служити підвершиною декількох вершин. Це означає, що досягнення однієї і тієї ж цілі може бути засобом реалізації різних цілей більш високого рівня. Така відмінність від класичного дерева

теорії графів відображає існування ефекту синергії (наприклад, зменшення витрат за рахунок багатоцільового використання одного елемента).

4. Для реалізації будь-якої вершини, яка не є «листком», може бути необхідно і достатньо виконання лише частини її підвершин (альтернативної групи). Це відображає наявність різних способів вирішення одного завдання, а кожен спосіб може деталізуватися. Між собою вершини в межах групи пов'язані співвідношенням логічного І (∩), між групами діє співвідношення логічного АБО (U).

У типовій моделі дерева цілей підприємства на верхньому рівні вводиться одна-єдина фіктивна мета (У01), що складається у виконанні всіх підпорядкованих їй цілей (У11 і У12), що характеризують різні сфери діяльності. Наступні рівні деталізують ці цілі за обраними класифікаційними ознаками (У21, У22 тощо). Елементи дерева цілей, що розкривають спосіб реалізації підцілей, є цілями-засобами, а «листя» - конкретними заходами.

Алгоритм обробки подібної моделі включає послідовну підстановку виразів, що відповідають опису підцілей у формули для цілей попереднього рівня, а потім їх розкриття за правилами логічного додавання і множення. У зв'язку з тим, що за визначенням для виконання вершини, яка не є листком, необхідна і достатня реалізація будь-якої з підпорядкованих їй альтернативних груп, одержувані варіанти реалізації вихідної цілі можна спростити. По-перше, з подальшого розгляду можна виключити ті варіанти, в яких містяться не тільки ті ж самі підцілі, що і в будь-яких інших альтернативних групах, але і додаткові елементи. Так, у наведеному прикладі варіант У21 У22 свідомо менш ефективний, ніж У22, оскільки вимагає не менших витрат, але призводить до того ж результату. По-друге, будь-яка підціль повинна зустрічатися в кожній альтернативній групі не більше одного разу, тобто повторювані елементи в рамках однієї групи можна виключити.

Надаючи вершинам - «листям» числові характеристики (вартість, час реалізації, ймовірність завершення в строк і т. д., необхідні для їх реалізації), можна виявити найкращі варіанти виконання вихідної цілі. Критеріями вибору можуть служити мінімум вартості, витрачання ресурсів, тривалість реалізації, ймовірність зриву планів тощо.

Для пошуку прикладних рішень складних виробничих завдань нерідко використовують графічні методи нестрогого уявлення та евристичного дослідження причинно-наслідкових зв'язків між факторами і виробничими процесами. У їх числі діаграма Ісікави, контрольна карта, стратифікація даних тощо. Так, діаграма Ісікави («рибий скелет») служить для контролю якості та вдосконалення продукції і являє собою засіб візуалізації, систематизації та визначення найбільш істотних причинно-наслідкових взаємозв'язків між факторами та їх наслідками в проблемній ситуації (рис. 3.3).

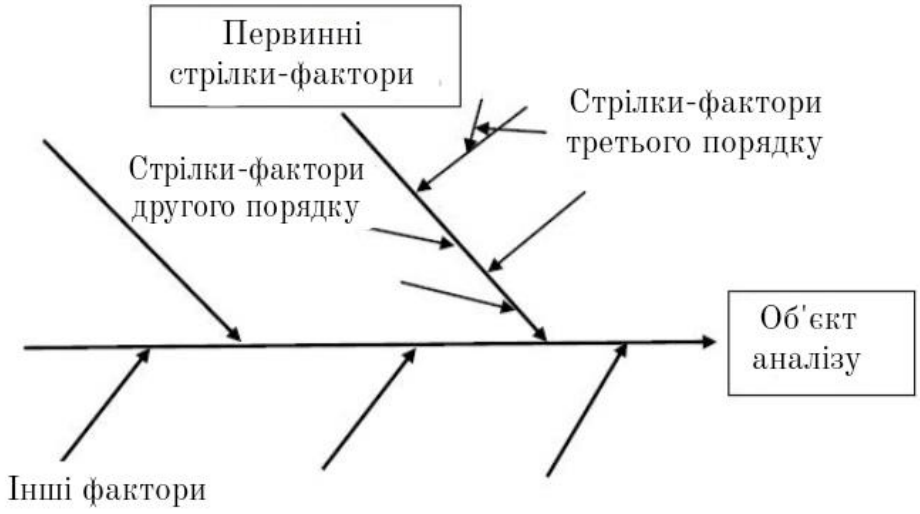


Рисунок 3.3. Приклад діаграми причинно-наслідкових зв'язків

3.3 Розвиток технологічних систем автомобільного транспорту

У сучасному світі, в тому числі і на транспорті, техніка і технології застосовуються у складі більш складних технологічних утворень - «технологічних систем», що взаємодіють між собою, з персоналом і зовнішнім середовищем. Причому кожна з технологічних систем функціонує в середовищі ще більш великих технологічних систем.

Як технологічна система автомобільний транспорт являє собою сукупність функціонально взаємопов'язаних транспортних засобів, водіїв, служб і підрозділів підприємств автомобільного транспорту, компонентів виробничо-технічної бази та дорожньо-транспортної інфраструктури, вантажних і пасажирських терміналів, систем організації та регулювання дорожнього руху, призначених для забезпечення виконання перевезень вантажів, пасажирів і спеціального обладнання в регламентованих умовах експлуатації.

Для споживачів автотранспортних послуг автомобільний транспорт є децентралізованим. Його важко сприймати як єдину цілісну керовану технологічну систему. Частіше він розглядається як сукупність взаємодіючих, а в ряді відносин - і конкуруючих одна з одною підсистем.

При цьому підсистема технологічної системи представляє технологічну систему, що виділяється за функціональною або структурною ознакою з технологічної системи більш високого рівня.

Елементом технологічної системи служить частина технологічної системи, яка умовно приймається неподільною на певній стадії її аналізу.

До персоналу технологічної системи належать водії, робітники, механіки, диспетчери, оператори та особи, які приймають рішення.

Технологічні системи поділяються в залежності від їх застосування в масштабах:
- операцій;
- процесів;
- виробничих підрозділів;
- підприємств;
- регіонів (доріг) або видів перевезень та їх забезпечення.

В умовах ринкової економіки кожна із зазначених технологічних систем функціонує на основі приписів власної нормативної документації, що встановлює певні технології виконання робіт або процедур. Ця нормативна документація створюється як на автомобільному транспорті, так і органами влади, а також виробниками техніки.

Для характеристики технологічних систем або реалізованих ними технологій необхідні такі відомості:
- юридичне положення технології, що визначає обов'язковість або рекомендований характер її застосування;
- зазначення нормативного документа, що регламентує технологію;
- зазначення розробника та місця розробки технології;
- період дії технології;
- область застосування технології;
- наявність альтернативних технологій;
- переваги технології;
- супутні зміни взаємопов'язаних технологій експлуатації та виробництва, обумовлені застосуванням технології;
- обмеження і проблеми в застосуванні технології.

Як правило, в кожному методичному, нормативному або експлуатаційному документі, крім опису змісту технології, наводиться зазначений мінімум відомостей про її походження та призначення.

Розвиток дорожно-транспортного комплексу України обумовлює взаємодоповнююче нарощування і системне вдосконалення технологій експлуатації автотранспортних засобів (АТЗ), вдосконалення автомобільної техніки, її технічного обслуговування і ремонту, використання гаражного обладнання, доріг. Системне вдосконалення технологій - це спільний цілеспрямований і пропорційний розвиток їх компонентів і кваліфікації персоналу разом з обслуговуючими його галузями промисловості, дорожньої та будівельної індустрії.

На автомобільному транспорті фактом технічного прогресу служить поява нових автотранспортних технологій, витіснення застарілих технологій більш сучасними та ефективними. Навіть недовга історія автомобільного транспорту дає яскраві приклади його технологічного оновлення, забезпечені досягненнями дослідницьких і проектно-конструкторських робіт.

Розробки технологій автомобільного транспорту та забезпечення його діяльності, виконані та реалізовані у найближчий період:
1. Механізації вантажно-розвантажувальних робіт.

2. Нарощування перевізних можливостей вантажного автомобільного парку.
3. Підвищення надійності АТЗ.
4. Створення діагностичного забезпечення АТЗ.
5. Підвищення якості паливо-мастильних матеріалів.
6. Забезпечення безпеки дорожнього руху.
7. Вдосконалення підготовки та відбору водіїв.
8. Зниження паливоспоживання та застосування альтернативних видів палива автомобільним парком.
9. Розвиток інформаційного забезпечення автотранспортної діяльності.
10. Застосування супутникової навігації, мобільного зв'язку та систем телематики.

Для технічної експлуатації автомобілів оновлення її технологій забезпечує полегшення умов праці та підвищення ефективності роботи сотень тисяч фахівців різного рівня кваліфікації. Згідно з визначенням, технічна експлуатація автомобілів включає транспортування, зберігання, технічне обслуговування та ремонт АТЗ. Для реалізації цих функцій створюються відповідні технології виконання робіт.

Технології технічної експлуатації автомобілів:
1. Щоденного обслуговування.
2. ТО і ремонту.
3. Ідентифікації транспортних засобів.
4. Перевірки технічного стану.
5. Ремонту та правки кузовів легкових автомобілів.
6. Контролю витрачання палива транспортними засобами.
7. Управління завантаженням робочих постів ТО і ремонту в технічній службі технічного огляду.
8. Протикорозійної обробки кузовів АТЗ.
9. Зберігання АТЗ на автопідприємствах.
10.Заправки АТЗ.
11.Консервації АТЗ при зберіганні.
12.Транспортування АТЗ різними видами транспорту.

Для оцінки таких різнорідних технологій доводиться використовувати велику систему показників. Їх практично неможливо звести до одного-двох узагальнюючих критеріїв, тому в практиці сучасної технічної експлуатації використовуються великі системи десятків різнорідних кількісних і якісних показників, подібно параметрам оцінки безпеки АТС.

Оціночні показники технологічної системи технічної експлуатації автомобілів, її елементів і підсистем:
1. Кількісні показники продуктивності системи (елемента).
2. Показники якості функціонування системи (елемента).
3. Показники забезпечуваної надійності.
4. Показники ресурсозбереження.
5. Показники витрат на експлуатацію.
6. Показники збитку від експлуатації відносно безпеки, екології та ін.

7. Показники ергономіки та соціальних характеристик експлуатації.

Кінцевою метою досліджень, що виконуються в автотранспортній гілці науки про транспорт, служить генерація та сприяння створенню нових технологій для технічної експлуатації автомобілів.

3.4 Специфіка досліджень об’єктів автомобільного транспорту

Транспортна наука належить до числа молодих у переліку технічних наук, а автомобільний транспорт став її об'єктом лише з початку 30-х рр. XX століття. Тому методологічні основи технічних наук можна в повному обсязі розглядати як фундамент транспортної науки.

Розглядаючи методологію науки про транспорт стосовно досліджень для автотранспорту, необхідно, в першу чергу, проаналізувати їх специфіку, пов'язану з їх вираженою експлуатаційною спрямованістю.

Методологію транспортної науки по відношенню до інших технічних наук виділяють: суто експлуатаційні цілі досліджень; експлуатаційна проблематика (тобто експлуатаційне забарвлення вивчення предмета дослідження); реалізація досліджень і висунутих за їх результатами інноваційних пропозицій у сфері діяльності транспорту. Відповідно методологію автотранспортної гілки транспортної науки визначають експлуатаційні цілі, експлуатаційні предмети та експлуатаційна реалізація досліджень на автомобільному транспорті. Коли всі три характерні елементи методології виконаного дослідження носять виражене експлуатаційне забарвлення, говорять про експлуатаційний характер дослідження.

Вузькогалузеві відмінності автотранспортної гілки транспортної науки цілком обмежені специфікою самого автотранспорту, досліджуваного сучасною транспортною наукою. Тому автотранспортної науки як відокремленого цілого зі своїми специфічними методологією і методами поки не існує. Можна з впевненістю говорити тільки про методологічні особливості досліджень, що виконуються для автомобільного транспорту методами транспортної науки.

Ці методологічні особливості досліджень для автотранспорту обумовлені поєднанням вираженої експлуатаційної проблематики формованого соціально-економічного «замовлення» на специфічно експлуатаційні дослідження та унікальної природи об'єктів дослідження на автомобільному транспорті. Це поєднання лежить в основі відбору методів досліджень, найбільш придатних для транспортної науки, і виділяє розглянуту автотранспортну гілку транспортної науки.

Пріоритетні напрямки експлуатаційних досліджень [3]:

1. Вивчення об'єктів автомобільного транспорту та їх аспектів, що безпосередньо визначають результати виконання перевезень.
2. Вивчення змін експлуатаційних властивостей і характеристик об'єктів автомобільного транспорту в процесі і під впливом експлуатації.

3. Дослідження процесів управління та функціонування технічних та організаційних об'єктів, результати яких потенційно реалізуються у сфері автомобільного транспорту та лише як виняток - у галузях, що безпосередньо обслуговують автомобільний транспорт.

У найбільш загальному вигляді специфіку методології досліджень на автомобільному транспорті визначають такі положення:

1. Необхідність обґрунтування актуальності дослідження експлуатаційних аспектів об'єкта в інтересах експлуатуючої галузі з урахуванням її можливостей для реалізації очікуваних результатів.
2. Спрямованість досліджень на вивчення малої вибірки з безлічі експлуатованих однотипних об'єктів різних сімейств, виробників, тривалості експлуатації.
3. Необхідність підтвердження застосовності результатів дослідження до безлічі однотипних експлуатованих об'єктів, що відрізняються розмаїттям властивостей.
4. Обов'язковість підготовки за результатами дослідження проектної інноваційної пропозиції, застосовної до всієї безлічі однотипних експлуатованих об'єктів або його частини.
5. Необхідність економічного обґрунтування застосовності проектної інноваційної пропозиції.

Унікальність експлуатаційного характеру об'єкта досліджень на автомобільному транспорті зумовило поєднання виробництва цих об'єктів поза досліджуваною експлуатуючою галуззю, масовістю експлуатації сотень тисяч однотипних об'єктів, їх багатоаспектності і значного розмаїття характеристик. Для однотипних автотранспортних засобів, запасних частин, ППМ, гаражного обладнання та виробничо-технічної бази АТП та СТОА зазначений розкид істотно вищий, ніж для однотипних об'єктів залізничного, річкового або повітряного транспорту.

Автомобільний транспорт являє собою обслуговуючу підгалузь. Не виробляючи для себе необхідні ресурси, вона споживає продукцію інших галузей промисловості і використовує підготовлені для неї кадри. Причому ці галузі виробляють і модернізують зазначену продукцію незалежно, спираючись переважно на попит споживачів, лише в одиничних випадках і лише в деяких відносинах, коригуючи свою діяльність за результатами досліджень експлуатаційників.

Діяльність автотранспорту сконцентрована на задоволенні потреб у перевезеннях і раціональному використанні споживаних при цьому ресурсів. Відповідно і дослідження для автотранспорту за своїми цілями значно вужчі, ніж у інших галузях технічних наук і навіть досліджень в інтересах залізничного або повітряного транспорту.

За своїми цілями дослідження для автотранспорту обмежені суто експлуатаційною проблематикою та галузевими можливостями цієї експлуатуючої підгалузі щодо застосування результатів наукової діяльності. В результаті об'єкти для досліджень в інтересах автомобільного транспорту

відбирають також з опорою на використання його ресурсів для подальшого інноваційного перетворення та з урахуванням специфіки множинності та багатоаспектності цих об'єктів. Дослідження, результати яких автотранспортна підгалузь не в силах реалізувати своїми силами, як правило не отримують її тривалої прямої підтримки і згортаються незалежно від результатів.

Порівняно з таким передовим видом транспорту, як авіація, автотранспорт більш консервативний. Він цілком орієнтований на повсякденні потреби економіки і населення в доступному, максимально зручному та економічному наземному транспорті. Тому екстремальні досягнення передових галузей переносяться на автотранспорт з помітним запізненням і лише за умови підтвердження їх економічної доступності. Масовість та економічна доступність автомобільного транспорту обмежують застосування вищих науково-технічних досягнень, а в методології транспортної науки обумовлюють обов'язковість обґрунтувань ефективності запланованих інноваційних інвестицій.

На відміну від низки інших сфер практичної діяльності та обслуговуючих ці сфери технічних наук, дослідження для автомобільного транспорту і породжувані ними інновації проводяться не в розрахунку на досягнення межі технічних можливостей удосконалення об'єкта, що вивчається, а на вдосконалення процесів експлуатації об'єкта в межах економічної доцільності. Це, зокрема, відноситься і до вдосконалення елементів конструкції АТЗ, і до технологій управління автомобільними парками.

Особливістю транспорту є множинність абсолютної більшості таких локальних об'єктів. Вивчати їхні властивості доводиться статистичними методами. Завжди - і коли досліджуємо властивості об'єкта, і коли шукаємо підтвердження знайдених характеристик або взаємозв'язків - доводиться переконуватися в достовірності отриманих даних на великому числі об'єктів. Якому - це залежить від конкретних умов підтвердження і встановлюється методами математичної статистики.

Рекомендації, висновки та інноваційні пропозиції проектного характеру, обґрунтовані результатами виконаного дослідження, мають бути застосовані до всієї безлічі однотипних експлуатованих об'єктів або її частини. Причому ця застосовність повинна бути підтверджена і це підтвердження також служить компонентом дослідження. За його відсутності завдання підготовки зазначеного підтвердження має бути вирішене вже при підготовці самої інноваційної пропозиції (проекту).

Висновки і всі пропозиції щодо інноваційного вдосконалення об'єктів автомобільного транспорту застосовні тільки після підтвердження їх економічної доцільності. Для цього в абсолютну більшість автотранспортних досліджень включають розділи економічного (або соціально-економічного) аналізу проблемної ситуації, що вивчається, та обґрунтування ефективності пропонованих технічно обґрунтованих інвестицій.

3.5 Методи досліджень об’єктів автомобільного транспорту

Як не однорідні об'єкти дослідження на автомобільному транспорті, так різноманітний і арсенал методів їх вивчення. Об'єкти транспортної науки майже завжди носять багатоаспектний характер, пригранічний для різних наук і застосовуваних методів дослідження. Тому, на відміну від більшості інших технічних наук, майже в кожному дослідженні на автомобільному транспорті використовують найширший спектр методів як теоретичних, так і експериментальних досліджень.

Це повною мірою стосується застосування методів теоретичних досліджень на автомобільному транспорті. Інших суттєвих відмінностей арсенал методів теоретичних досліджень транспортної науки на автомобільному транспорті немає.

У процесі застосування системного підходу дослідник проводить декомпозицію складного об'єкта на систему складових елементів, а потім, виявивши реальні або віртуальні відносини (зв'язки) між ними, здійснює системний синтез об'єкта (структуризацію). Ступінь декомпозиції обмежується вимогою раціональності та повноти деталізації системи, виходячи з умов максимального спрощення і достатньої повноти відображення властивостей і цілей дослідження об'єкта досліджень. Це може бути зроблено тільки на основі логічного аналізу наявних відомостей. У процесі такого аналізу може бути здійснено розширення або, навпаки, звуження переліку елементів системи. Цю процедуру часто називають структуризацією формованого уявлення про об'єкт дослідження.

Структуризація починається з виділення системи з зовнішнього середовища. Потім відбувається послідовний розгляд усіх об'єктів і процесів, включених в систему на стадії декомпозиції об'єкта. Досліджується можливість оцінки впливу внутрішніх і зовнішніх факторів на процес функціонування системи і досягнення цілей, що стоять перед досліджуваним об'єктом як системою. У процесі перебору та аналізу таких структурних складових системи здійснюється апріорне, а потім і кількісне ранжування вхідних та вихідних величин за ступенем їх впливу на функціонування системи. Метою цього етапу є виділення найбільш значущих з них. Завершується структуризація виділенням та описом складових частин системи, що вивчається, а також можливих зовнішніх впливів.

Під системою в цьому випадку розуміють особливу організацію спеціалізованих елементів, об'єднаних в єдине ціле для вирішення конкретного завдання. Основна перевага організації такої системи полягає в несводимості її властивостей до властивостей елементів, що утворюють її. Система зазвичай функціонує в тому або іншому середовищі, взаємодіючи з іншими системами. Властивості систем, їх зміст і функції встановлюють за допомогою виділення системоутворюючих елементів і зв'язків між ними.

Системи аналізуються з певним ступенем деталізації, з «огрубленням» об'єкта, що вивчається, і переходом від реальних об'єктів до моделей. Системний підхід дає найбільш повне уявлення про складний об'єкт, що особливо цінно на етапі постановки завдань дослідження, при дефіциті інформації про властивості об'єкта.

Класифікація методів теоретичних досліджень на автомобільному транспорті:

1. Системний підхід.
2. Статистико-ймовірнісний метод.
3. Моделювання з обов'язковим використанням методів ідеалізації та формалізації.
4. Проектний метод.
5. Абстрактно-логічні методи доказів, аналізу, синтезу, абстрагування, дедукції, ідеалізації, сходження від абстрактного до конкретного.
6. Емпіричний метод.

Як правило, в одному дослідженні застосовуються поєднання цих методів. Поєднання, в яких ці методи використані в кожному конкретному дослідженні залежать від його цілей, об'єкта, обсягу, змісту і від уподобань дослідника. Але переважне застосування в сучасній транспортній науці отримали системний підхід, статистико-ймовірний метод і моделювання, що при необхідності, використовуються в поєднанні з іншими зазначеними методами.

Всі без винятку зазначені методи застосовуються і в інших технічних науках. Наприклад, системний підхід використовується практично у всіх дослідженнях, об'єкт яких носить організаційний характер. Але одночасно в таких дослідженнях застосовують моделювання або проектний метод у поєднанні зі статистико-ймовірним методом дослідження.

У транспортній науці стосовно автомобільного транспорту переважне поширення набули методи теоретичних досліджень, що дозволяють не тільки виявити джерело конкретної проблеми при експлуатації досліджуваного об'єкта, але і тим чи іншим шляхом обґрунтувати можливості його інноваційного перетворення в умовах експлуатації автомобільного транспорту. Тому, наприклад, описовий (монографічний) метод практично не знаходить застосування в цих дослідженнях.

Такі методи, як системний підхід, емпіричний метод, проектний метод носять несамостійний характер і застосовуються в поєднанні з іншими методами теоретичних і експериментальних досліджень. В абсолютній більшості досліджень доцільно застосовувати системний підхід, який дозволяє розкрити різноманіття проявів об'єкта і визначити його місце в пошуках найкращого вирішення проблеми, що вивчається. У поєднанні із застосуванням одного з методів моделювання, системний підхід незамінний як засіб постановки завдань і в теоретичних, і в суто експериментальних дослідженнях структури, властивостей і взаємодії технічних об'єктів з навколишнім середовищем.

Особливу значимість для транспортної науки становлять експериментальні дослідження. В силу специфіки цілей досліджень на автотранспорті, багатоаспектності та мінливості властивостей його об'єктів, їх вивчення без експерименту, як правило, не проводять. Не можна стверджувати, що для автотранспортних об'єктів теоретичні дослідження менш значущі, ніж експериментальні, але порівняно з іншими галузями технічних наук їх співвідношення в транспортній науці з новизни та обсягів нових результатів більше зміщено на користь експерименту. І саме відмінності в експериментальних дослідженнях визначають специфіку методології транспортної науки.

Дослідження для автотранспорту, виконані на стику наук (в тому числі, технічних) часто проводять з використанням невластивих транспортній науці вузькоспеціальних методів дослідження, запозичених із суміжних галузей науки, від металографії та газової спектроскопії до психологічних тестів персоналу. На автотранспорті експериментальні дослідження, як правило, комбінуються в кожній науковій роботі, в тому числі в дисертаційних дослідженнях. Наприклад, експлуатаційні спостереження і автоматична реєстрація процесів майже завжди поєднуються зі статистичними дослідженнями і статистичною обробкою результатів, а випробування - з вимірами. В одній роботі часто в поєднанні використовуються по 3-5 видів експериментальних досліджень.

Експлуатаційний характер досліджень на автотранспорті обумовлює виняткову значимість умов проведення експерименту, створення строго заданих тестових умов, або вибору підконтрольних типових умов та відбору представницької вибірки об'єктів дослідження. Питання планування та організації проведення експерименту нерідко виявляються центральними і найбільш важко вирішуваними в реальних дослідженнях.

В силу експлуатаційного характеру діяльності автомобільного транспорту найбільш характерна для нього організація експлуатаційних спостережень.

Експлуатаційні спостереження - форма збору даних за показникам експлуатації або робочого функціонування об'єктів автотранспорту, наприклад, АТЗ на маршрутах або виробничих підрозділів діючих підприємств автотранспорту.

Експлуатаційні спостереження дають інформацію про функціонування, наслідки функціонування та експлуатаційних властивостях об'єкта, що вивчається, включаючи динаміку цих властивостей за міру вироблення ресурсу. Експлуатаційні спостереження проводять безпосередньо на реальних виробничих об'єктах у процесі їх комерційного використання.

Можливості внутрішньовиробничого обліку та реєстрації подій на діючих підприємствах автотранспорту вкрай обмежені. Тому на автотранспорті спостереження частіше організовуються у формі експлуатаційних спостережень в умовах підконтрольної експлуатації, коли спеціально для цілей дослідження на діючих підприємствах автотранспорту

створюються умови для спостереження та реєстрації обраних певних характеристик або подій при рутинному комерційному функціонуванні досліджуваних об'єктів. Спеціально виділяються фахівці і створюються лабораторії.

При цьому режими та умови експлуатації об'єктів не зазнають жодних змін і не відрізняються від властивих таким ж об'єктам за межами організованої системи підконтрольної експлуатації. Саме так досліджують надійність, пристосованість до умов експлуатації та динаміку експлуатаційних властивостей певних сімейств АТЗ та їх складових частин. Експлуатаційні спостереження та вимірювання на типових експлуатованих об'єктах автомобільного транспорту можуть проводитися в реальних режимах їх робочого функціонування, з використанням найбільш поширеного типового або заново розробленого обладнання або лабораторних установок, або в особливих тестових режимах, або на спеціально відібраних об'єктах. Об'єкти дослідження можуть піддаватися спеціальним впливам, доопрацюванню і перетворенню. Це характерно для заключних етапів досліджень, в яких перетворений або знову спроектований об'єкт піддається перевірці його працездатності та ефективності в типових експлуатаційних або близьких до типових експлуатаційних, спеціально створених тестових умов функціонування. Наприклад, ефективність нових методів і технологій діагностування перевіряють на АТЗ, в вузли яких у суворо дозованих межах попередньо внесено певні типові несправності.

Статистичні дослідження в тому чи іншому обсязі присутні в більшості досліджень на автомобільному транспорті. Але в якості основи експериментальної частини проведеної наукової роботи статистичні дослідження більш характерні для вивчення виробничих об'єктів організаційного характеру і особливо - для об'єктів економічних досліджень. Причини цього і масовість об'єктів автомобільного транспорту і найсильніший вплив зовнішніх умов середовища та умов експлуатації на результати спостережень і вимірювань. Експлуатаційні спостереження та вимірювання в таких умовах багаторазово повторюють за заздалегідь підготовленими планами, а їх результати піддають статистичній обробці для подальшого вироблення інноваційних рекомендацій.

Статистичні дослідження проводять як у поєднанні зі збором і попередньою оцінкою зібраних даних (у дослідженнях технічних об'єктів - у поєднанні з вимірами, а в дослідженнях організаційних об'єктів - з експлуатаційними спостереженнями або анкетуванням), так і базуючись на даних офіційної статистики, внутрішньовиробничого обліку або на результатах попередніх досліджень.

Вимірювання в дослідженнях на автотранспорті, як і в інших галузях технічних наук, найбільш характерні для вивчення технічних і технологічних об'єктів. В арсеналі методів транспортної науки найширше застосування знаходять прямі і непрямі вимірювання, технічне діагностування та «діагностичні» методи непрямої оцінки обчислюваних параметрів

властивостей і стану технічних об'єктів і процесів, не доступних для будь-якого вимірювання.

Для виконання вимірювань застосовуються і серійно вироблені, метрологічно атестовані і повірені засоби вимірювань універсального призначення, і бортові засоби технічного діагностування на АТЗ, і спеціально створювані для проведення конкретного дослідження нові вимірювальні установки, стенди і прилади.

На відміну від більшості технічних наук, порівняно рідкісні для транспортної науки дослідження, що виконуються з кінцевою метою створення для автомобільного транспорту нової дослідницької вимірювальної установки або приладу, призначених лише для дослідницьких цілей. Набагато частіше проводяться дослідження з метою розробки, обґрунтування та апробації на автомобільному транспорті нових методів і засобів вимірювань або технічного діагностування, призначених для задоволення практичних потреб автомобільного транспорту. Це один з магістральних напрямків робіт, традиційних у транспортній науці.

Помітно рідше в арсеналі експериментальних методів транспортної науки використовують обстеження. Це елемент, раніше всього, експертних досліджень стану складних технічних, людино-машинних і виробничих технологічних та організаційних об'єктів автомобільного транспорту. Як правило, технічні об'єкти обстежуються в статиці, в непрацюючому стані, а людино-машинні і виробничі технологічні та організаційні об’єкти - у режимах робочого функціонування або в обох станах.

Саме в робочих режимах, наприклад, проводять обстеження пасажирських маршрутів міських і приміських автобусів або технологічних процесів ТО і ремонту АТЗ, а поза робочим часу водіїв організовують передрейсове медичне обстеження останніх, обстеження характеру та місць пошкодження АТЗ після ДТП і причин руйнування деталей АТЗ.

Як і в інших галузях науки, у дослідженнях людино-машинних і виробничих технологічних та організаційних об'єктів автомобільного транспорту використовують анкетування. У дослідженнях соціологічного характеру та прикордонних питань ефективності праці працівників або організації управління на підприємствах автомобільного транспорту анкетування служить основним інструментом експериментального дослідження.

Анкетування не дозволяє досліджувати властивості технічних об'єктів, це засіб отримання думок про об'єкт. При вивченні технічних об'єктів анкетування застосовують в останню чергу, як вимушений захід, при неможливості проведення безпосередніх експериментів з об'єктом.

Анкетування включає обґрунтування складу та числа експертів, розробку форми анкети, апробацію анкети на одиничних експертах, коригування форми анкети за результатами апробації, підготовку методики обробки отриманих даних, проведення анкетування, обробку та інтерпретацію результатів. Часто саму процедуру письмового заповнення

анкет експертами замінюють або доповнюють опитуванням, яке може розглядатися як спрощена або додаткова процедура анкетування.

Випробування нової техніки, в тому числі АТЗ, належать до компетенції промисловості. Автомобільний транспорт своїми силами проводить тільки експлуатаційні випробування (включаючи порівняльні експлуатаційні випробування) пропонованих виробниками нових АТЗ та обладнання для їх експлуатації, включаючи ТО, ремонт та діагностування. Їх мета обмежується отриманням оцінок ступеня застосовності та ефективності експлуатації АТЗ та обладнання в конкретних умовах експлуатації.

Експлуатаційні випробування зазвичай охоплюють помітну частку ресурсу випробовуваних об'єктів до списання (або капітального ремонту, якщо він передбачений), але можуть проводитися і в кілька етапів по кожному об'єкту випробувань, через порівняно великі інтервали напрацювання. Зазвичай для експлуатаційних випробувань попередньо розробляють вимоги, на відповідність яким планується їх проводити. Наприклад, коли адміністрації мегаполісів перед закупівлею автобусів для муніципальних перевезень організовують порівняльні експлуатаційні випробування з метою вибору кращих моделей, розробляють для кожного випадку свої вимоги з урахуванням умов і режимів майбутньої експлуатації.
Відмінність експлуатаційних від інших видів випробувань полягає в отриманні саме експлуатаційних оцінок об'єктів у типових рутинних умовах експлуатації, що збігаються з умовами майбутнього застосування випробовуваних об'єктів. Ці оцінки відображають, як правило, тільки найважливіші властивості економічності експлуатації нових об'єктів (для АТЗ - це властивості паливної економічності, надійності, пристосованості до виконання перевезень та забезпечення збереження вантажу або зручності пасажирів, експлуатаційної технологічності), тоді як сертифікаційні та інші види випробувань призначені для найбільш повної оцінки властивостей АТС за показниками безпеки або за більш широким переліком експлуатаційних властивостей.

Автоматична реєстрація застосовується у всіх експериментальних дослідженнях порівняно швидкоплинних процесів, багаторазово повторюваних процесів і прихованих від спостереження явищ і процесів.

Наприклад, експериментальні дослідження робочих процесів двигунів, гальмівних систем, підвіски, електрообладнання і автомобільних електронних систем автоматичного управління можна виконати тільки з автоматичною реєстрацією даних. Це в повній мірі відноситься і до експериментальних досліджень робочих процесів електро- і гідроприводів гаражного обладнання, фарбувальних і сушильних камер, їх електронних компонентів, функціонування сучасних комп'ютеризованих засобів технічного діагностування та ін.

Відмінності в реалізації автоматичної реєстрації в експериментальних дослідженнях на автотранспорті від її застосувань в інших технічних науках перебувають в експлуатаційному характері об'єкта і цілей досліджень, які

переслідують не стільки безпосереднє конструктивне вдосконалення АТЗ і обладнання, скільки забезпечення контролю функціонування і стану об'єкта, оцінку його властивостей і ресурсу. Причому на автотранспорті дослідження з автоматичною реєстрацією процесів і подій частіше переслідують створення і вдосконалення технічних засобів для рядової експлуатації, а не тільки для виконання якихось нових вимірювань з дослідницькою метою.

Метод (а частіше - методи) дослідження доводиться вибирати не тільки залежно від характеру досліджуваного об'єкта, але й методології досліджень в інтересах автомобільного транспорту. Так, дослідження експлуатаційних властивостей компонентів АТЗ на експлуатованому автомобільному парку (традиційний об'єкт технічної експлуатації автомобільного транспорту) проводять не тільки доступними методами вимірювань і автоматичної реєстрації даних, але і з обов'язковим техніко-економічним дослідженням динаміки витрат на експлуатацію компонента, що вивчається на АТЗ та економічним обґрунтуванням доцільності інвестицій у пропоноване дослідником вдосконалення.

Дослідження виробничих об'єктів автомобільного транспорту в організаційному відношенні або як об'єктів управління організовують не тільки поєднанням доступних методів обстеження, анкетування, експлуатаційних спостережень або статистичних досліджень, але ще й з порівняльним економічним аналізом стану, фінансової стійкості або прибутковості об'єкта в ряду аналогічних об'єктів галузі.

Дослідження щодо вдосконалення технологій автотранспортної діяльності ведуться роз'єднано і переважно за замовленнями найбільших об'єднань автомобільного транспорту. Окремі підприємства автомобільного транспорту вкрай рідко виступають замовниками наукових досліджень, що призвело до зниження попиту на інновації та обмежило коло наукових методів різновидами експертних оцінок, реально використовуваних такими підприємствами у своїх інноваціях.

Для об'єктів досліджень експлуатації автомобільного транспорту найбільш часто застосовують системний підхід, який є загальнонауковою методологією постановки завдань у дослідженнях складних об'єктів. У транспортній науці роль системного підходу двояка: це не тільки інструмент максимально загальної постановки завдання дослідження, але одночасно і засіб пошуку цілей найбільш раціонального та продуктивного інноваційного перетворення досліджуваного об'єкта як удосконаленої частини автомобільного транспорту.

4 ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНИЙ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

4.1 Терміни та визначення

В основі будь-якої наукової або навчальної дисципліни лежить відносно невеликий набір чітко визначених понять. Ці поняття, як правило, пов'язані між собою та з поняттями фундаментальних наук. Система таких понять дозволяє міркувати однією мовою про різні об'єкти техніки і досить чітко співставляти їх властивості. При формуванні основних понять зазвичай керуються принципами інваріантності, достатності, кваліметричності, спадковості та мінімальності [5].

Технічний об'єкт (ТО) - створений людиною або автоматом реально існуючий (існував) пристрій, призначений для задоволення визначеної потреби.

Синонімом поняття «технічний об'єкт», що часто зустрічається в літературі, є поняття "технічна система". Поняття ТО включає окремі машини, апарати, прилади, ручні знаряддя праці, одяг, будівлі, споруди, пристрої, та комплекси взаємопов'язаних машин, апаратів, приладів (машинно-тракторний агрегат, автопідприємство, завод тощо), які виконують певну функцію (операцію) з перетворення об'єктів живої та неживої природи, енергії або інформаційних сигналів. До ТО відносяться також будь-які елементи (агрегат, блок, вузол, деталь), які складають машину, апарат, прилад.

Існує ієрархічне підпорядкування ТО різних рівнів. Так наприклад, автомобілі або трактори, що є елементами транспортної або технологічної системи, можуть бути розділені на агрегати, які, у свою чергу, складаються з вузлів та деталей. Майже у будь-якого ТО існують надсистема та підсистеми, тобто інший ТО, в який він або який у нього функціонально включається чи входить як окремий елемент чи підсистема.

Технологія – спосіб, метод чи програма перетворення речовини, енергії або інформаційних сигналів із заданого початкового стану в заданий кінцевий стан за допомогою певних ТО. Розмаїття технологій велике і продовжує швидко зростати. Існують технології отримання механічної енергії з вуглеводневих палив, різні технології виготовлення металевих деталей, технології виготовлення неметалів або технічних рідин тощо.

Сучасний рівень розвитку науки та техніки вимагає від проектувальника не тільки створення технічних об'єктів та технологій, що задовольняють конкретні потреби людини, але й вирішення проблеми безпеки та зручності при їх виготовленні, обслуговуванні та ремонті, а також при утилізації після закінчення терміну експлуатації. Це зумовлює необхідність проведення всебічного аналізу, як правило, із застосуванням

ЕОМ, впливу прийнятих конструктивних рішень для заново створених або модернізованих ТО та технологій на певні види показників (табл. 4.1). Для цього створюються вербальні та/або візуальні моделі ТО, що дозволяють отримати відповіді на два питання:

• чи відповідає ТО або його опис даній вимозі або списку вимог?

• який з альтернативних варіантів кращий за цим показником якості?

Для оцінки відповідності вимоги та вибору кращого варіанту використовують три типи моделей і відповідно три способи моделювання [6].

Інтуїтивні моделі. Для їх реалізації необхідна людина (експерт), який на основі наявних знань та досвіду проводить уявні експерименти з ТО з метою виявити його відповідність вимогам аби вибрати з двох варіантів найкращий за певним показником якості. Наприклад, дивлячись на креслення двох різних по конструкції зчеплень, експерт може відповісти на питання: чи витримають вони задане навантаження; яка конструкція має менше трудомісткість виготовлення або витрати матеріалів тощо.

Математичні моделі. Вони дозволяють оцінити вимоги та критерії якості за допомогою розрахункових формул, систем рівнянь, алгоритмів і т. п. Для випадку зі зчепленням на підставі формул і рівнянь механіки та опору матеріалів можна обчислити навантаження та очікувану довговічність. Використовуючи формули визначення об'ємів тіл, можна підрахувати витрату матеріалів, а за допомогою спеціальної методики - трудомісткість їх виготовлення.

Фізичні моделі. З їх допомогою можна оцінити вимоги та критерії якості шляхом реалізації та випробування самого ТО або його зменшених (іноді збільшених) та часто спрощених зразків. Так, дослідний зразок зчеплення можна піддати всебічним стендовим та експлуатаційним випробуванням; при виготовленні можна провести хронометраж та точно визначити трудомісткість.

Історично з незапам'ятних часів людина користувалася уявними та фізичними моделями. Починаючи з XVII-XVIII століть стало швидко розширюватися використання математичних моделей у зв'язку з бурхливим розвитком математики, механіки, термодинаміки та інших наук. Ще більші можливості у створенні математичних моделей принесли швидкодіючі обчислювальні машини, що з'явилися в середині XX століття.

Таблиця 4.1. Показники якості моделей [7]

Показники	Вербальні	Математичні	Фізичні
Точність оцінки вимог	Низька	Середня (висока)	Висока
Тимчасові витрати на оцінку	Малі	Середні (малі)	Великі

Вартість оцінки вимог	Низька	Середня	Висока
Вид завдань	Вибір ФО, ФС, ФПД, ТР	Вибір ФПД, ТР, параметрів	Вибір ТР, параметрів

У математичних моделей останнім часом значно розширилася область застосування. Багато ТО зараз можна створювати вже без використання фізичних моделей (наприклад, зубчасті передачі, електричні машини, елементи автоматики і т.д.). Однак існує велика кількість ТО, для яких математичні моделі не витіснили і, очевидно, довго ще не зможуть витіснити уявні та фізичні моделі (наприклад, при розробці систем керування автомобілями та тракторами). Це пояснюється двома причинами. По-перше, існуючі можливості математичних моделей поки що недостатньо для опису явищ і процесів у деяких ТО. По-друге, темпи розвитку та зростання складності ТО випереджають зростання можливостей математичних моделей. Вибір того чи іншого типу моделей визначається вимогами по точності, тимчасовим витратам та вартості моделювання. У таблиці 4.1 наведено наближену відносну оцінку за цими показниками різних типів моделей, де в дужках відзначено окремі відхилення від більшості випадків. У нижньому рядку вказано завдання найчастішого використання моделей.

В інженерній практиці поряд із використанням у чистому вигляді зазначених трьох типів моделей використовують також їх різні комбінації. Наприклад, аналогове моделювання являє собою комбінацію математичного та фізичного моделювання. Має також місце комбінування уявних та математичних моделей, коли в методиці (алгоритмі) розрахунку використовують попередні експертні оцінки.

Моделювання ТО досить глибоко вивчене. Проте окремі місця у цій області знань розроблені слабо або взагалі не зачіплені. Слабо досліджено поки питання уявного та інтуїтивного моделювання, актуальність якого з часом не знижується, а можливості уявного моделювання у інженерів із низки причин з часом зменшуються.

Один із методів математичного моделювання заснований на застосуванні теорії графів [2]. Частковим випадком орієнтованого графа є мережевий графік, що застосовується для опису та аналізу складних проектів, що вимагають великої кількості взаємозалежних операцій (робіт).

Будь-який ТО може бути представлений описами, що мають ієрархічну підпорядкованість і двома властивостями, що характеризуються:

• кожен наступний опис є більш детальним порівняно з попереднім;

• кожен наступний опис включає попередній.

Такі властивості мають описи, представлені на рис.4.1: потреба або функція ТО; технічна функція (ТФ); функціональна структура (ФС); фізичний принцип дії (ФПД); технічне рішення (ТР); проект [7].

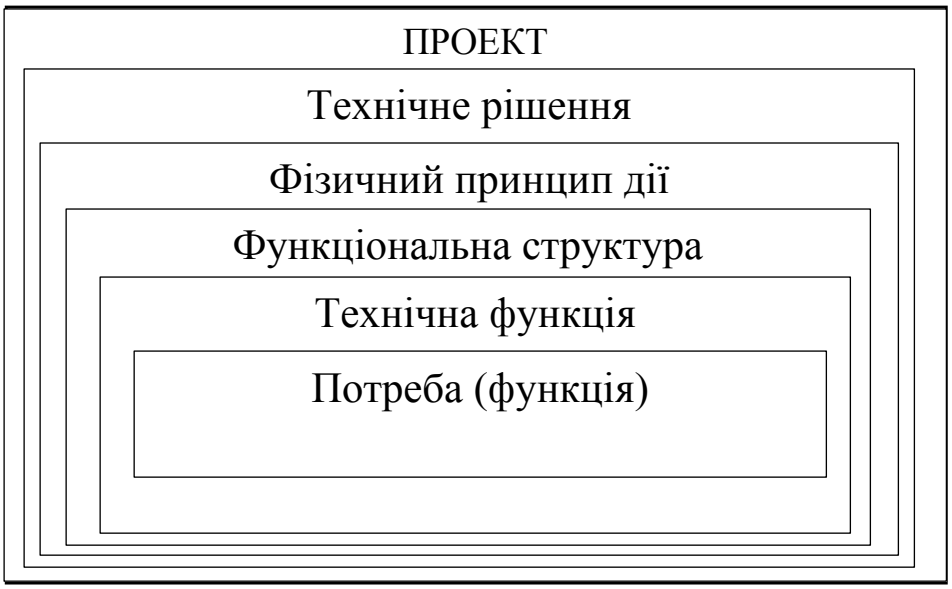


Рисунок 4.1. Ієрархія опису технічного об’єкта

Потреба – загальноприйнятий та короткий опис природною мовою призначення ТО чи цілі його створення (існування). При описі потреби відповідають на запитання: «Що (який результат) бажано мати, отримати і яким особливим умовам та обмеженням при цьому потрібно задовольнити?».

Опис потреби має включати таку інформацію:

• необхідну дію (найменування дії);
• об'єкт (предмет обробки), на який спрямована ця дія;
• особливі умови та обмеження.

Опис потреби формалізовано можна представити у вигляді: P = (D, G, H), де D - вказівка дії, що реалізується аналізованим ТО і що призводить до бажаного результату (реалізації потреби, що цікавить); G - вказівка об'єкта, або предмета обробки, на який спрямована дія D; H - вказівка особливих умов та обмежень, за яких виконується дія D. У таблиці 4.2 наведено приклади покомпонентного опису потреби.

Поряд із поняттям потреби в інженерній практиці широко використовується поняття функції ТО. Опис потреби та функції ТО тотожно збігаються Відмінність між потребою та функцією полягає в тому, що поняття потреби пов'язано з людиною або автоматом (колективом людей, сукупністю автоматів), що поставили завдання реалізації потреби і виконання ним проектування відповідного ТО та його виготовлення. Поняття функції завжди пов'язане з ТО, що реалізує цю потребу Людина часто виступає у двох ролях: як суб'єкт, що формулює потребу, і як елемент ТО (ергатичної системи), що реалізує цю потребу. Розрізняти ці поняття будемо тим, що у описі потреби дії використовується дієслівний іменник, а функції - дієслово (у таблиці 2 описи функції вказані у дужках).

4.2. Приклади опису потреби

Таблиця 4.2. Приклади покомпонетного опису потреби

Найменування ТО	Дія D	Обєкт G	Умова H
Вантажний автомобіль	перевезення (перевозить)	вантажі	по дорозі
Трактор	приведення в дію (приводить у дію)	машини-знаряддя	в русі та на місці
Шляхопровід	забезпечення руху (забезпечує рух)	автомобілі	через перешкоду
Світильник	Освітлення (освітлює) приміщення	приміщення	
Олівець	залишення (залишення)	слід	видимий
Система опалення	нагрівання (нагрів)	повітря	в приміщенні

Технічна функція (ТФ). Опис ТФ містить таку інформацію:

• потреба, що може задовольнити ТО;

• фізична операція (фізичне перетворення, перетворення), за допомогою якої реалізуються потреби. Отже, опис ТФ складається із двох частин: F = (P, Q), де P – потреба яка задовільняється; Q – фізична операція. Опис фізичної операції (ФО) формалізовано представляється із трьох компонентів: Q = (A_T, E, C_T), або Q = (A_T > E > C_T), де A_T, C_T, відповідно вхідний або вихідний потік речовини, енергії або сигналів; E - найменування операції з перетворення A на C.

Цей опис відповідає питанням «що» (A_T), «як» (E), «що» (C_T) перетворюється за допомогою описуваного ТО. Число входів A_T, дій E та виходів C_T в кожному випадку довільне. Інакше кажучи, під фізичною операцією (ФО) будемо мати на увазі фізичне перетворення заданого вхідного потоку, або фактору у вихідний потік. У таблиці 4.3 наведено приклади опису ФО для ТО, зазначених у таблиці 4.2 [7].

Функціональна структура (ФС). Переважна більшість ТО складається з декількох елементів (агрегатів, блоків, вузлів) і можуть бути природним чином розділені на частини. Кожен елемент як самостійний ТО виконує визначену функцію і реалізує певну фізичну операцію (ФО), тобто між елементами мають місце два види зв'язків і відповідно два види їх структурної організації.

По-перше, елементи мають певні функціональні зв'язки один з одним, що утворюють конструктивну функціональну структуру. Конструктивна ФС являє собою орієнтований граф, вершинами якого є найменування елементів, а дугами - функції елементів.

По-друге, між елементами ТО є потокові зв'язки. Елементи, реалізуючи певні фізичні операції, утворюють потік перетворюваних речовин, енергії, сигналів або інших факторів, що перетворюються. Наприклад, у двигуні внутрішнього згоряння на вхід поступає потік паливо і повітря, корисним виходом є механічна робота, супутнім виходом є відпрацьовані гази та шумове і теплове забруднення довкілля. Такі потоки певним чином об'єднують та пов'язують елементи ТО і відповідно їх ФО. У складних ТО часто присутні кілька взаємозалежних потоків.

Таблиця 4.3. Приклади фізичних операцій

Найменування ТО	Вхідний потік A_T	Операція Е	Вихідний потік C_T
Вантажний автомобіль	паливо	перетворення	переміщення вантажу
Трактор	паливо	перетворення	рух машин-знарядь
Шляхопровід	автомобіль	проведення	рух автомобіля
Світильник	електрика	перетворення	світловий потік
Олівець	грифель	відображення	видимий слід
Система опалення	теплота (води)	передача	теплота (повітря)

Взаємопов'язаний набір ФО, що реалізують один певний потік перетворення речовин, енергії або сигналів, або кілька взаємопов'язаних потоків називають потоковою функціональною структурою**.** Потокова ФС є граф, вершинами якого є найменування елементів ТО чи найменування операцій Коллера Е, а дугами - вхідні A_T та вихідні C_T потоки (фактори). Розрізняють два різновиди потокової ФС: конкретизована потокова ФС, у якої у вершинах графа вказані найменування елементів; абстрагована потокова ФС, у якої у вершинах графа вказані найменування операцій Коллера. Абстраговану потокову ФС називають також структурою фізичних операцій.

Взаємно існують функціональні структури ТО двох видів: конструктивна ФС та потокова ФС, що доповнюють один одного. При вирішенні різних прикладних задач (конструювання, навчання і т. д.) використовують або тільки конструктивну ФС, або потокову ФС, або одночасно обидва різновиди.

У потоковій ФС кожен елемент реалізує певну ФО. Така реалізація відбувається на основі одного або кількох фізико-технічних ефектів. Під

фізико-технічними ефектами розуміють різні додатки фізичних законів, закономірностей та наслідків з них, фізичні ефекти та явища, які можуть бути використані у технічних пристроях. Як правило, у фізико-технічних ефектів присутній певний причинно-наслідковий зв'язок між «входом» та «виходом». Фізико-технічний ефект має стандартний формалізований (має певну структуру) опис, зручний для технічного застосування та машинної обробки, що складається з трьох компонентів:
(A,B,C), або (A→B→C), де A - вхідний потік речовини, енергії або сигналів; C - вихідний потік; B - фізичний об'єкт, що забезпечує або здійснює перетворення A в C. Для вхідного A і вихідного C потоків можна вказати носії потоків та їх якісні та кількісні характеристики. У таблиці 4.4 наведено приклади опису фізико-технічних ефектів [7].

Фізичний принцип дії (ФПД) – орієнтований граф, вершинами якого є найменування фізичних об'єктів, а дугами - вхідні A і вихідні C потоки речовини, енергії та сигналів. У багатьох випадках ФПД легко побудувати за допомогою потокової ФС шляхом заміни найменувань елементів або фізіологічного найменування об'єктів B. Опис ФПД, як правило, містить зображення принципової схеми ТО, в якій у спрощено-ідеалізованій формі показані основні конструктивні елементи, що забезпечують реалізацію ФПД, та зазначені напрямки потоків та основні фізичні величини, характеристики фізико-технічних ефектів, що використовуються. Принципова схема полегшить наступну розробку (конструювання) технічного рішення.

Таблиця 4.4. Опис фізичних ефектів

Найменування фізико-технічного ефекту	Вхідний потік A	Обєкт B	Вихідний потікC
Закон Гука	Сила	Тверде тіло	Лінійна деформація
Закон Джоуля - Ленца	Електричний струм	Провідник	Теплота
П'єзоелектричний ефект	Деформація (сила)	П'єзо-кристал	Електричне поле
Термоелектронна емісія	Теплота (нагрівання	Оксидна суспензія	Потік електронів
Ефект Пельтьє	Електричний струм	Контакт різноманітних провідників	Тепловий потік (поглинання або виділення)

Технічне рішення (ТР). Воно є конструктивним оформленням ФПД чи ФС. ТР конкретного ТО, як правило, описується у вигляді дворівневої

структури через характерні ознаки ТО загалом та її елементів. При цьому використовують такі групи ознак:
• вказівка (перелік) основних елементів;
• взаємне розташування елементів у просторі;
• способи та засоби з'єднання та зв'язку елементів між собою;
• послідовність взаємодії елементів у часі;
• особливості конструктивного виконання елементів (геометрична форма, матеріал і т.д.);
• принципово важливі співвідношення параметрів для ТО загалом чи окремих елементів.

Залежно від виду аналізованого ТО елементом може бути частина деталі, деталь, вузол, блок, агрегат, технічна система, комплекс ТЗ. При описі ТР деяких ТО може використовуватись лише частина ознак. Технічне рішення ТО може бути описано будь-яким ступенем деталізації. Для цього використовують ієрархічний набір дворівневих описів технічних рішень природною мовою, доповнюване, як правило, графічним зображенням: спочатку описують ТР пристрою загалом, потім ТР кожного блоку, потім – кожного вузла тощо.

Способи опису ТР досить добре розроблені та викладені у методичних та інструктивних матеріалах з патентознавства. У всіх патентах та авторських свідоцтвах на пристрої дається опис ТР прототипу і нового ТО. ТР представляє собою безрозмірний опис ТО, який може мати різні реалізації по параметрам. До параметрів відноситься розміри ТО та його елементів, кількісні характеристики вхідних та вихідних потоків та інші важливі вимірювані властивості. Наприклад, двигун внутрішнього згоряння при однаковому ТР має десятки модифікацій за розмірами, частотою обертання, потужністю та іншими параметрами.

Проект. На відміну від ТР у проекті вказуються значення параметрів ТО та всіх елементів до деталей. Тут під проектом мається на увазі комплект креслень та конструкторської документації, що містить всю необхідну інформацію для виготовлення та експлуатації ТО. Залежно від складності ТО опис проекту становить від кількох сотень томів, тобто, проекти ТЗ – це багатотомні унікальні зібрання творів, як правило, недоступні широкому читачеві.

Для складних ТО часто попередньо розробляють менш детальні проекти (технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект тощо). У цих проміжних проектах ступінь детальності опису ТР зазвичай зростає від технічної пропозиції до робочих креслень. Зі зниженням складності ТО число проміжних проектів скорочується.

4.3 Критерії оцінювання технічних об'єктів

Критерії оцінювання технічних обєктів (ТО) - параметри і показники, що характеризують розглядуваний ТО і що мають протягом тривалого часу тенденції монотонної зміни або підтримування на певному рівні при досягненні своєї межі.

Значення критеріїв оцінювання особливо важливі при розробці нових виробів висхідних рівнів найкращих світових досягнень чи відповідних йому. Для вирішення цих завдань критерії розвитку відіграють роль компаса, що вказує направлення магістрального розвитку виробів та технологій. Будь-який ТО зазвичай має декілька критеріїв розвитку, то принцип прогресивного розвитку для кожного нового покоління ТО полягає у поліпшенні одних та збереженні інших критеріїв.

Набори критеріїв оцінювання для різних класів ТО значною мірою збігаються, тому в цілому розвиток техніки великою мірою підпорядкований, можна сказати, єдиному набору критеріїв, що визначають розвиток техніки:

• функціональні критерії, що характеризують найважливіші показники реалізації функції ТО;

• технологічні критерії, пов'язані тільки з можливістю та простотою виготовленн ТО;

• економічні критерії, що визначають лише економічну доцільність реалізації функції за допомогою ТО;

• антропологічні критерії, пов'язані з питаннями людського фактору або впливу позитивних і негативних факторів на людей, викликаних створеними ТО.

У таблиці 4.5 показана систематика критеріїв розвитку ТО, що реалізують різні функції. Цей список не претендує на вичерпну повноту. Його ціль - допомогти конструктору або технологу сформувати та описати набір критеріїв для інтересуючого класу ТО.

Таблиця 4.5 - Систематика критеріїв розвитку техніки

Функціональні критерії	Технологічні критерії	Економічні критерії	Антропологічні критерії
Продуктивність	Трудомісткість виготовлення	Витрати матеріалів	Ергономічність ТО
Точність	Технологічні можливості	Витрати енергії	Краса ТО
Надійність	Використання матеріалів	Витрати на підготовку та отримання інформації	Безпека ТО

Спеціальні	Розчленування ТО на елементи	Габаритні розміри ТО	Екологічність ТО

Вся сукупність критеріїв розвитку повинна містити лише такі, які не можуть бути логічно виведені з інших критеріїв або можуть бути їх прямим наслідком. Після виділення набору критеріїв розвитку для класу, що цікавить, ТО дослідник або винахідник повинен дати опис кожного критерію.

Такий опис включає такі відомості:

1. Сутність критерію, час та причини його виникнення.
2. Формула або спосіб вимірювання критерію, включаючи вказівку шкали або одиниці вимірювання.
3. Діапазон та характер зміни значень критерію у часі.
4. Оцінка ступеня спільності критерію за трибальною шкалою:

• критерій має відношення до аналізованого класу ТО з однаковими або близькими функціями;

• критерій має відношення до кількох класів ТО з різними функціями, та певними загальними властивостями;

• критерій стосується ТО з будь-якою функцією.

Оцінка ступеня спільності критерію свідчить про можливості запозичення покращених технічних рішень з інших галузей техніки.

5. Оцінка зміни відносної значущості (актуальності) критерію у минулому та найближчому майбутньому за трибальною шкалою:

• актуальність зростає;

• залишається незмінною;

• знижується.

6. Основні способи та засоби поліпшення критерію.

Узагальнена характеристика всіх груп критеріїв розвитку техніки може служити методичним матеріалом під час їх опису з п.п. 1 – 6 для того, кого цікавить клас ТО.

Функціональні критерії. Для кожного ТО функціональні критерії розвитку являють собою кількісну характеристику основних показників реалізації функції ТО. Ці критерії виявляють з урахуванням аналізу опису його функцій. Так як функції ТО характеризуються різними показниками, то практично неможливо дати вичерпний перелік функціональних критеріїв. У зв'язку з цим розглянемо лише найчастіше діючі. Серед них можна виділити три групи критеріїв: продуктивності, точності та надійності [7]. Критерій продуктивності завжди може бути виміряний або обчислений. Структура формули для обчислення критерію та одиниця виміру продуктивності можуть бути різними.

Критерій продуктивності є інтегральним показником рівня розвитку техніки, що безпосередньо залежить від ряду параметрів, що впливають на продуктивність праці. Ці параметри є часткові функціональні критерії. До них відносяться:

• швидкість обробки об'єкта (швидкості руху транспортної машини, робочих органів машини, протікання хімічної реакції, число оборотів або операцій у одиницю часу тощо);
• фізичні та хімічні параметри (температура, тиск, напруга та ін.), які визначальним чином впливають на інтенсивність обробки об'єкта;
• ступінь механізації праці;
• ступінь автоматизації праці;

Критерії надійності для різних ТО також широко освітлені в спеціальній літературі та включають часткові критерії:
• безвідмовності;
• довговічності;
• здатність до тривалого зберігання;
• ремонтопридатності.

Під надійністю ТО мають на увазі здатність без відмов виконувати свою функцію із заданою ймовірністю протягом певного інтервалу часу. Критерій надійності зростає зі збільшенням часу і ймовірності безвідмовної роботи.

Критерії продуктивності, точності та надійності є монотонно зростаючі функції. Актуальність і вага цих критеріїв завжди були вищими порівняно з іншими групами критеріїв та з часом продовжують зростати.

Технологічні критерії. Ці критерії головним чином забезпечує всебічну економію живої праці при виготовленні ТО та підготовці їх до експлуатації. Вони спрямовані на економію матеріалів, що залежить від технологічних факторів, що знову ж таки вносить певну частку в економію живої праці. Можна виділити чотири основні технологічні критерії.

Критерій трудомісткості виготовлення ТО. Критерій дорівнює сумарному відношенню трудомісткості ТЗ проектування, виготовлення та підготовки до експлуатації виробу до його головного показника ефективності Q, тобто є питомою труємності виготовлення на одиницю одержуваної ефективності: КТ = ТС/Q. Головний показник ефективності Q вибирають таким чином, щоб критерій Кт об'єктивно відбивав прогресивний розвиток аналізованих ТО. Критерій Кт представляє монотонно спадною функцію за умови, що зіставлення різних поколінь ТО ведеться по тому самому показнику ефективності Q. Критерій трудомісткості є одним із найдавніших, оскільки він діє і в сильній мірі впливає на розвиток ТО, починаючи з кам'яного віку, з перших штучно виготовлених знарядь.

Критерій технологічних можливостей. Будь-який ТО, розроблений лише з урахуванням функціональних та антропологічних критеріїв (вимог), може містити не більше п'яти типів елементів (агрегатів, вузлів, деталей):
• стандартні або покупні елементи, які отримують у готовому вигляді;
• уніфіковані елементи, запозичені із існуючих ТО;
• оригінальні (нові) елементи, виготовлення яких не викликає труднощів (можуть бути виготовлені на наявному устаткуванні), але потребує розробки та відпрацювання технології їх виготовлення;

• оригінальні елементи, виготовлення яких викликає значні, але здоланні труднощі (потрібна розробка нової технології з попереднім виготовленням складної технології - оснащення, придбання дефіцитного обладнання тощо);
• оригінальні елементи, виготовлення яких викликає принципові, поки що непереборні труднощі (відсутня в принципі або не можна придбати необхідно технологічне обладнання або підходящі матеріали, потрібне попереднє проведення НДР та ДКР тощо).

Критерій технологічних можливостей відображає фактор спадковості в техніці, аналогічний фактору спадковості в живій природі, що визначається законом Дарвіна. При переході від одного покоління ТО до іншого критерій Кт стає найбільшою мірою зберігати і використовувати перевірені практикою функціональні елементи, відпрацьовану технологію їх виготовлення та існуюче технологічне обладнання. За кожну конструктивну зміну в новому поколінні ТО доводиться «платити» значними додатковими витратами, пов'язаними зі зміною технологічного процесу та створенням відповідного технологічного обладнання, пристроїв та інструменту, за наявності ризику, що нові елементи не виправдають себе практично.

Критерій використання матеріалів. У процесі обробки вихідного матеріалу та заготовок, що використовуються для виготовлення елементів ТО, з'являються обрізки, стружка та інші відходи, в результаті маса готових деталей і, відповідно, маса ТО виходить менше за масу витрачених матеріалів. У зв'язку з цим втрати, на- приклад, чорних металів у машинобудуванні становлять 20 – 25 %, відходи металевої стружки при обробці різанням – до 28%. Загалом коефіцієнт використання металу не перевищує 0,55. Частка відходів більшою мірою залежить від технологічних процесів і технологій, обладнання, існує і діє технологічний критерій використання матеріалів $К_{ИМ}$, рівний відношенню маси виробу G до маси витрачених матеріалів Р. У цьому покупні комплектуючі елементи не враховуються.

Критерій $К_{вм}$ можна назвати коефіцієнтом корисного використання матеріалів, оскільки за змістом, характером і діапазоном зміни він близький до енергії коефіцієнта корисної дії.

Критерій розчленовування ТО на елементи. Майже кожен ТО можна виконати з значно менше елементів (вузлів і деталей), ніж він зроблений насправді. Наприклад, деякі прості вузли можна виготовити у вигляді однієї нероз'ємної деталі, окремі вузли об'єднати однією станиною тощо. Така мінімізація числа елементів дає, здавалося б, певний виграш за рахунок виключення елементів сполучення та з'єднання: зменшується загальна маса виробу, підвищується його стійкість і надійність, зменшується трудомісткість механічної обробки та складання. Однак таке здається спрощення конструкції, поряд із зазначеними позитивними моментами, часто приносить незрівнянно великі втрати.

Економічні критерії. Важливість цих критеріїв підтверджено всією історією розвитку нашої цивілізації: нова техніка впроваджується лише за економічної доцільності чи коли володіння їй престижне.

Критерій витрати матеріалів. Всебічна економія матеріалів при розробці та виготовленні ТО викликана низкою факторів. До основних причин зменшення витрати матеріалу відносяться:

• зниження вартості ТО, оскільки вартість матеріалів ТО становить від 25 до 65% їхньої собівартості;

• зниження транспортних та вантажно-розвантажувальних витрат при перевезенні сировини і матеріалів для виготовлення ТО і готових ТО до місця їх використання;

• економія енергії при експлуатації ТО (зокрема, транспортні та транспортно-технологічні машини та комплекси), у яких значна частина енергії витрачається на забезпечення поступального, зворотно-поступального, обертального та інших видів механічного руху.

Критерій витрати матеріалу $К_м$ дорівнює відношенню маси технічної системи до її головного показника ефективності Q: $К_м = G/Q$, тобто є питомою маси матеріалів на одиницю одержуваної ефективності. У випадках виконування в ТО матеріалів зі значною вартістю $К_м$ виявляється малочутливим до зміни маси дорогих матеріалів, які зазвичай змінюють у невеликих кількостях. У таких випадках рекомендується визначати масу G_n як критерію використання матеріалів. Критерій $К_м$ як правило, є монотонно спадною функцією за умови, що порівняння різних поколінь ТО ведеться за одним показником ефективності Q. Критерій $К_м$ виявляє свою дію і вплив по відношенню добудь-якого класу ТО.

Критерії витрати енергії. При виготовленні та/або експлуатації ТО, витрачається кількість енергії. Задоволення зростаючих потреб людей жорстко обмежується наявними енергетичними можливостями, тому витрати енергії завжди прагнуть звести до мінімуму. Критерій витрати енергії: $К_E = (W_n + E)/TQ$, де W_n - повна витрата енергії за час експлуатації ТО; Е – витрати енергії під час виготовлення ТО; Т – час експлуатації ТО. Наведений вираз рекомендується використовувати у випадках, коли величини W_n та Е співмірні. Для багатьох ТО $W_n >> E$. У таких випадках використовується більш проста формула критерію: $К_E = W/Q$, де W - витрати енергії при експлуатації ТО в одиницю часу. З огляду на те, що більшість конструктивних заходів щодо поліпшення критерія зводиться до підвищення частки енергії, використовуваної безпосередньо для виконання корисної роботи, в інженерній практиці застосовують ще одну модифікацію критерію витрати енергії, яка називається коефіцієнтом корисної дії. Ця модифікація критерію дорівнює відношенню корисної роботи (енергії) W_0 до витраченої роботи (енергії) W: $К_E = W_0/W$. Коефіцієнт корисної дії (ККД) в якійсь мірі можна назвати окремим випадком критерію витрати енергії. Незважаючи на частковий характер критерію, він має самостійне значення і особливо

зручний при розробленні покращених (за енергетичними показниками) модифікацій ТО.

Критерії витрати енергії, як правило, являють собою монотонно спадаючу функцію за умови, що порівняння різних поколінь ТО ведеться по тому самому порівнянному показнику ефективності Q. Критерій ККД є монотонно зростаючою функцією, яка набуває значення інтервалу $0 < K_E < 1$; при цьому мається на увазі порівняння ТО з однаковими фізичними ознаками та принципами дії. Історія техніки знає чимало випадків, коли перехід на найбільш перспективне джерело енергії відбувалося зі зниженням ККД. Яскравим прикладом може бути перехід у XVIII столітті від водяних коліс з ККД близько 60-70% до паросилових установок з ККД 0,6-0,7%. Критерій витрати енергії є також одним з найдавніших, оскільки, починаючи з кам'яного віку, люди прагнули при отриманні одиниці продукції мінімізувати витрати енергії. Актуальність цього критерію (у більшій чи меншій мірі) стосовно будь-якого класу ТО протягом усієї історії техніки була і залишається дуже високою та незмінною.

Критерій розмірності ТО. Зниження габаритних розмірів ТО та їх елементів пов'язано насамперед із отриманням наступних вигод:

• зменшення площі та обсягу будівель та приміщень, в яких постійно або тимчасово перебувають ТО;

• зменшення площі землі, що займається безпосередньо ТО або будинками, в яких знаходяться ТО;

• збільшення корисного обсягу ТО типу транспортних засобів;

• скорочення витрат на захист ТО (витрати на матеріал корпусу, кожухи, чохли, лакофарбові покриття тощо) та догляду за ними;

• скорочення витрат на транспортування ТО.

Критерій габаритних розмірів дорівнює відношенню основних габаритних розмірів технічного об'єкта V для його ефективності: $K_Г == V/Q$. Якщо найважливішим є зниження обсягу ТО, то $V = LBH$; якщо зниження займаної площі є важливішим показником, ніж обсяг, то $V = LB$, якщо найбільш важливим з габаритних параметрів є зменшення деякого лінійного розміру, то $V = L$ (L, B, H - відповідно довжина, ширина та висота ТО). За ефективність Q приймають ті ж показники, що і в критерії використання матеріалів.

Антропологічні критерії. Група антропологічних критеріїв забезпечує по можливості найбільша відповідність та пристосування ТО до людини, зниження дискомфорту та підвищення позитивних емоцій, зниження або виключення шкідливих і небезпечних впливів ТО на людину.

Критерій ергономічності. Ефективність багатьох ТО значною мірою залежить від їх пристосованості до психофізіологічних якостей людини-оператора, що користується або управляє ТО, тобто від ступеня використання фізичних, психічних та інтелектуальних можливостей людини-оператора у системі людина – машина. Властивість системи людина – машина може змінювати свою ефективність у залежності від ступеня

використання можливостей людини-оператора. Ефективність ТО при цьому в першу чергу виражається через функціонуванні критерії розвитку ТО, наприклад, продуктивність, надійність, точність та ін.

Критерій безпеки. Багато ТО, а також продукція, що випускається ними, і вико- сировину надають або можуть надати на працюючих і оточуючих людей різні шкідливі або небезпечні дії:

• пошкодження або ураження органів, що призводять до тимчасової втрати працездатності;

• тяжкі пошкодження або ураження, що призводять до постійної втрати працездатності (переведення на інвалідність);

• летальний кінець.

У зв'язку з цим існує критерій безпеки, під дією якого ТО своєму розвитку має тенденцію знизити або виключити шкідливі та небезпечні впливи на навколишніх людей.

Критерій екологічності у загальному вигляді можна висловити залежністю $К_{ЕК} = (S_Н + S_К)/S_0$, де $S_Н$ - площа території (суші та води), на якій по одному або декільком факторам є неприпустимі (вищі за норми, але нижчі за критичні) забруднення або зміни; $S_К$ - площа території, на якій по одному або декільком факторами є критичні забруднення та зміни, за яких життя людини стає смертельно небезпечною чи неможливою; S_0 - вся площа країни (або інтересуючого регіону, області тощо), яка має бути постійною величиною.

До факторів забруднення та зміни середовища відносяться:

• сторонні домішки, що вносяться в атмосферу, воду та землю у вигляді нових речовин, фізичних полів та впливів; різні гази та пил, що виділяються заводами та транспортними машинами; забруднення води та землі промисловими скиданнями, пестицидами; радіоактивне, шумове та теплове забруднення середовища та багато іншого;

• зміни у неживій природі у вигляді відхилень від природної норми концентрації речовин, характеристик фізичних полів та впливів, рельєфу та структури поверхні землі та ін;

• зміни у живій природі у вигляді відхилень від природної норми числа особин існуючих видів на одиницю площі, зникнення існуючих видів чи поява нових.

4.4 Закони створення та розвитку техніки

Будова та розвиток кожного ТО та техніки в цілому підпорядковуються певним законам і закономірностям, які вказують на стійкі якісні та кількісні причинно-наслідкові зв'язки та відносини, що мають місце у класу ТО та техніки в цілому, а також зміна в часі цих зв'язків і відносин. Закони та закономірності за характером та визначеністю опису об'єктів та явищ техніки повинні бути близькими до законів і закономірностей, відомих у біології, фізиці та хімії, отже – мають формулюватися лише на рівні законів природи. Закономірності будови та розвитку техніки мають відношення до ТО з однаковою або близькими функціями. Закони техніки мають відношення до будь-якого ТО або до багатьох класів ТО, що мають різні функції, що сильно відрізняються. До законів та закономірностей будови ТО відносять стійкі ознаки в конструктивної та потокової ФС, у фізичній структурі (ФПД) та ТР, які існують і залишаються незмінними протягом багатьох поколінь в історичному розвитку ТО. До законів і закономірностей розвитку техніки належить певні зміни будь-якого критерію розвитку (показника якості) або кількісно виражається конструктивною ознакою протягом багатьох поколінь ТО. Закони розвитку відображають однакові (аналогічні) зміни у конструктивної та потокової ФС, у фізичній структурі та ТР для багатьох класів ТО з різними функціями. Прив'язка законів і закономірностей до конкретного класу ТО дозволяє визначити найбільш правильні структурні властивості, вигляд і характеристики ТО в наступних поколіннях. Нижче наведені гіпотези деяких законів та закономірностей техніки, атак їх практичного використання при проектуванні.

Закон прогресивної еволюції техніки. Дія закону прогресивної еволюції в світі техніки аналогічно до дії закону природного відбору Дарвіна в живій природі. Він відповідає на питання, чому відбувається перехід від попереднього покоління ТО до наступного покращеного покоління; за яких умов, коли і які структурні зміни відбуваються під час переходу від покоління до покоління. Закон прогресивної еволюції техніки: у ТО з однаковою функцією перехід від покоління до покоління викликаний усуненням виявленого головного дефекту (дефектів), пов'язаного, як правило, з поліпшенням критеріїв розвитку, і відбувається при наявності необхідного науково-технічного рівня та соціально-економічної відповідності наступними найімовірнішими шляхами ієрархічного вичерпання можливостей конструкції:

а) при незмінному фізичному принципі дії і технічному рішенні утримуються параметри ТО до наближення до глобального екстремуму за значеннями параметрів;

б) після вичерпання можливостей циклу а) відбувається перехід до більш раціонального технічного рішення (структури), після чого розвиток знову йде по циклу а). Цикли а) і б) повторюються до наближення до глобального

екстремуму по структурі для цього принципу дії. При цьому значення критеріїв розвитку, як правило, змінюються відповідно до S-функції виду: $K = L\ (a + e^{be^{-\beta t}})$, де L, a, b, β - коефіцієнти, що визначаються за статистичними даними; t – час, в) після вичерпання можливостей циклів а) та б) відбувається перехід до більш раціонального фізичного принципу дії, після чого розвиток знову йде за циклами а) та б). Цикли а) - в) повторюються до наближення до глобального екстремуму за принципом дії для безлічі відомих фізичних ефектів. При цьому в кожному випадку переходу від покоління до покоління відповідно до приватних закономірностей відбуваються зміни конструкції, кореляційно зв'язані з характером дефекту у попереднього покоління, а з усіх можливих змін, зміна конструкції реалізується в першу чергу, що дає необхідне або істотне усунення дефекту при мінімальних інтелектуальних і виробничих витратах.

Закон відповідності між функцією та структурою ТО: кожен елемент ТО або його конструктивна ознака мають хоча б одну функцію щодо забезпечення реалізації функції ТО, тобто виключення елемента або ознаки призводить до погіршення якогось показника ТО або припинення виконання ним своєї функції. Сукупність всіх таких відповідностей у ТО є функціональною структурою у вигляді орієнтованого графа, який відображає системну цілісність ТО і відповідність між його функцією та структурою (конструкцією). Вираз закону відповідності між функцією та структурою у кількісній формі забезпечує, по-перше, формалізоване опис функцій елементів через компоненти, О, Н, які можуть мати також кількісні характеристики, по-друге, представлення функціональної структури ТО у вигляді орієнтованого графа, у якого вершинами є елементи ТО, а дугами можуть бути функції елементів щодо забезпечення роботи інших елементів або/і потоки речовини, енергії або сигналів, що передаються між елементами. Використання закону в аналізі функцій та побудові функціональних структур ТО. На основі закону відповідності між функцією та структурою розроблені методи.

Деякі побудови функціональних структур конкретних ТО. Функціональна будова технологічних та транспортних машин. ТО або відповідні людино-машинні системи, призначені для обробки та/або переміщення матеріального предмета праці, складаються з чотирьох підсистем (елементів) S_1, S_2, S_3 та S_4, що реалізують відповідно чотири фундаментальні функції: $Ф_1$ – технологічна функція – забезпечує перетворення вихідного матеріалу (сировини) A_0 кінцевий продукт A_K; $Ф_2$ – енергетична функція – перетворює речовину або ззовні отриману енергію W_0 кінцевий вид енергії W_K, необхідний для реалізації функції $Ф_1$; $Ф_3$ - функція управління - здійснює керуючі впливу U_1, U_2 на підсистеми S_1, S_2 відповідно до заданої програми Q і отриманої інформації $\hat{О}_1$, $\hat{О}_2$ про кількість та якість виробленого продукту A_K та кінцевої енергії W_K; $Ф_4$ – функція планування – збирає (отримує) інформацію Ŏ про вироблений кінцевий продукт А і визначає необхідні якісні та кількісні характеристики кінцевого продукту.

Оцінка можливості використання ФС ТО, що виконують близькі та аналогічні функції і мають випереджаючі темпи розвитку в порівнянні з розроблювальним класом ТО.

Таблиця 4.8. Функції та вигляд технічних обєктів

КЛАС ОБ'ЄКТА	ОПИС ФУНКЦІЙ	ВИГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ
Несучі елементи	Визначають форму ТО та взаємне розташування його елементів у просторі	Багатоелементні ТО, з регламентованим взаємним становищем елементів
Двигуни	Перетворять вихідний вид енергії на кінетичну, як правило, обертаючого руху	ТО та/або їх елементи, що виконують механічний рух
Гасителі швидкостей та прискорень	Знижують швидкість руху або прискорення ТО та/або його елементів	Самопересувні ТО та/або забезпечуючі рух своїх елементів, що вимагають керованого зниження величин швидкостей та/або прискорень
Елементи передачі	Передають на відстань рух або/і статичні сили та моменти, з одночасним перетворенням їх величин і напрямків, включаючи заміну видів і законів руху і диференціацію швидкостей, сил та моментів	Самопересувні ТО та/або забезпечуючі рух окремих елементів за заданими законами та циклами
Елементи управління	Збирають інформацію, виробляють керуючий вплив та передають його виконавчим органам	ТО, в яких функціонування пов'язане з обумовленими чи заданими безперервними або дискретними змінами будь-яких параметрів
Елементи формування Обсягів та потоків	Зберігають та/або транспортують рідини, газ, сипучі речовини або їх суміш	ТО з нерухомими чи рухомими обсягами рідких, газоподібних, сипучих речовин або їх сумішей

Ці ж ідеї можуть бути використані при розробці методів пошуку ФС більш цікавого класу ТО.

Закономірність мінімізації компонувальних витрат може виявитися корисною при пошуку покращених конструкторсько-технологічних рішень. У ТО, що виконують певну кількісно описану функцію, функціональні елементи, що здійснюють певні перетворення потоків речовин, енергії або сигналів, розташовуються у просторі по відношенню один до одного так, що витрати компонування мають мінімальне значення.

Закон кореляції властивостей однорідного ряду ТО. До однорідного ряду відносяться такі ТО, які мають однакові функції, структуру, умови роботи (в сенсі взаємодії з предметами праці та навколишнім середовищем) і відрізняються тільки значеннями головного параметра. Головним параметром в ТО називають параметр, характерезуючий його головний функціональний елемент, що зумовлює значення параметрів. Для вантажного автомобіля це буде вантажопідйомність, для трактора - тягове зусилля або потужність, що знімається для приводу машин знарядь, для екскаватора - обсяг ковша і т.п.

Закон кореляції параметрів однорідного ряду ТО: однорідний ряд технічних об'єктів S_1, S_2, …, S_k , що мають однакові функцію та технічне рішення, описуване набором параметрів x, y_1, …, y_n і відмінних значеннями головного параметра X_J пов'язаних між собою відносинами $y_i = a_i x_j + b_i$, де i = 1, …, n; j = 1, …, k)

Закон гомологічних рядів ТО: технічні об'єкти з близькими функціями, принципами дії та характеристиками умов роботи мають частково співпадають набори конструктивних ознак, що варіюються P_1, …, P_k, що приймають однакові значення a_1^j, a_2^j, …, a_m^j, j = 1, 2, …, k.

Число співпадаючих наборів ознак k буде тим більше, чим більше дають компонент опису функцій, принципів дії та умов роботи. При цьому мають місце кореляційні зв'язки між певними компонентами і признаками.

Закон розширення безлічі потреб-функцій. Цей закон має відношення до розвитку техніки загалом окремої країни чи всього світу. В економіці вже давно відомий закон підвищення потреб, який сформульований на якісному рівні. Запропоноване формулювання закону відноситься тільки до потреб, реальним за допомогою ТО: за наявності необхідного потенціалу та соціально-економічної доцільності виникла нова потреба задовольняється за допомогою вперше створених технічних засобів (об'єктів); при цьому виникає нова функція, яка потім існує як завгодно довго, поки її реалізація забезпечуватиме збереження та покращення життя людей. Число таких якісно і кількісно різняться потреб-функцій, що відносяться до техносфери країни або світу, з часом монотонно та прискорено зростає за експонентним законом.

$P_t = P_0 e^{\alpha t}$, де P_0 - число потреб-функцій до моменту t = 0: α - емпіричний коефіцієнт; t-час у роках.

Закони симетрії технічних об'єктів. У процесі тривалої творчої діяльності людини були вироблені закономірності, пов'язані з симетричним або асиметричною будовою предметів, творів мистецтва та архітектури.

Прикладом раціональної симетрії є автомобіль, який має бути завжди звернений однією своєю стороною вниз, інший - вгору, рухатися вперед швидше чим назад і однаково добре повертати праворуч і ліворуч.

4.5 Побудова функціональних структур об’єктів автомобільного транспорту

Методика поглибленого вивчення конструкції та структури ТО, що вимагає удосконалення, що передбачає в першу чергу необхідність зрозуміти і уточнити таке:

• виконувані кожним елементом функції та функціональний зв'язок елементів між собою;

• вид та взаємозв'язок фізичних операцій (перетворень), що виконуються кожним елементом;

• фізико-технічні ефекти на основі яких працює кожен елемент ТО та їх взаємозв'язок між собою.

При з'ясуванні цих питань з'являється чітке та цілісне уявлення про влаштування ТО з функціональної та фізичної точок зору, без якого важко займатися пошуком нового більш ефективного технічного рішення. Побудова конструктивної ФС ґрунтується на законі відповідності між функцією та структурою ТО.

Розділ ТО на елементи. В основу аналізу функцій ТО та побудови конструктивний ФС покладено принцип виділення та розгляду структур з дворівневою ієрархією, тобто будь-який ТО можна розділити на кілька елементів, кожен з котрих має цілком певну функцію (або функції) із забезпечення роботи ТО або його елементів. При цьому аналізований ТО являє собою верхній рівень, а виділені функціональні елементи – нижній. Двохрівневі системи використовуються як модулі при синтезі загальних багаторівневих систем. При поглибленому аналізі кожен із виділених елементів нижнього рівня виглядає як самостійний ТО, який також можна розділити на кілька функціональних елементів і т. д. Об'єднання таких структур з дворівневою ієрархія дозволяє отримати багаторівневу структуру. Людина і створені ним програми щодо, аналізу та синтезу ТО зазвичай виділяють і розглядають двохрівневі структури, переходячи по горизонталі або вертикалі від однієї структури до іншої. Конструктивні ФС, побудовані на основі багаторівневих структур, виходять складними і важкоозглядними. Тому розглядатимемо в основному дворівневі структури. Глибина багаторівневого поділу ТО на елементи зазвичай визначається характером розв'язуваної проектно-конструкторської задачі чи завданням вивчення ТО. Детальний поділ ТО можливий до неподільних (у функціональному сенсі) елементів.

Неподільним елементом називатимемо деталь (або частину деталі) з мінімальним числом функцій (не менше однієї) щодо забезпечення роботи інших елементів, при будь-якому розподілі якої з'являються елементи, що не мають самостійної функції або з однаковими функціями. Такими елементами є кулька у підшипнику, труба, що проводить рідину, рідина в гідроциліндрі, конусна загострена частина цвяха тощо.

Таблиця 4.10. Головні елементи і об’єкти навколишьного середовища

Найменування ТО	Об'єкти ОС V	Головні елементи E_0	Функція головних елементів, що збігається з функцією ТО
Двигун внутрішнього згоряння	Вал	Поршні та циліндри	Обертає вал
Автобус	Пасажири, дорога	Салон, двигуни	Переміщає пасажирів по дорозі
Трактор сільськогосподарський	Машини-знаряддя, ґрунт	Робоче обладнання, двигуни	Приводить у дію машини-знаряддя

Будь-який ТО (крім неподільних елементів) може бути розділений на функціональних елементів, кожен з яких повинен мати мінімальне число (не менше однієї) певних функцій. Такий поділ зазвичай відповідає встановленому в інженерній практиці конструктивного поділу на агрегати, блоки, вузли, деталі, частини деталей (див. Табл. 8). Одночасно з поділом ТО на елементи виділяють об'єкти навколишнього середовища (НС), з якими аналізований ТО знаходиться у функціональному або потребують взаємодії і які істотно впливають на конструкцію ТО. Насамперед до НС відносяться об'єкти, що сприймають дію ТО (компонента G див. формулу 1). До об'єктів НС можуть відноситися енергія, що підводиться, управляючі сигнали, об'єкти, на які діють відпрацьовані речовини, неблагоприємні випромінювання та інші впливи, що надають істотний вплив на конструкцію ТО, тощо.

Серед усіх виділених елементів ТО під час проектно-конструкторських розробок особливу увагу найчастіше приділяють головним елементам (або первинним, результатним елементам), які можна виділити у більшості ТО. До головних елементів будемо відносити робочі органи та інші елементи, які безпосередньо взаємодіють із предметом обробки G та іншими об'єктами НС. При виділенні головних елементів і відповідних їм об'єктів НС рекомендується мати на увазі наступні властивості:

• функція головних елементів, як правило, збігається з функцією ТО або значною мірою залежить від функції ТО;

• об'єкти НС для головних елементів, як правило, збігаються з об'єктами, на котрі спрямовано дію ТО.

У таблиці 4.10 наведено головні елементи та відповідні їм об'єкти НС деяких ТО [7]. Головним елементам надають позначення E_0 (при кількох – E_{01}, E_{02}, ...). Іншим елементам надають позначення E_1, E_2, E_N,. Об'єкти НС, з котрими взаємодіють ТО та його елементи, позначають через V_1, V_2, … V_M.

При побудові конструктивної ФС, що є орієнтованим графом спочатку зображують вершини. Перша зверху вершина - найменування самого ТО. У другому ряду (по горизонталі) переважно розташовуються вершини-об'єкти НС, у третьому та наступних рядах вершини-елементи. У вершинах, представляючих овали або прямокутники, відповідно до складеної таблиці вказівок називають позначення та найменування об'єктів НС та елементів. Після цього будують спрямовані дуги графа. Дуги виходять із вершин-елементів, чиї функції вони описують і закінчуються у вершинах-елементах, роботу яких вони забезпечують, або у вершинах-об'єктах НС, що взаємодіють з елементом. З кожної вершини-елемента виходить стільки дуг, скільки функцій має елемент. Вершини, в яких закінчуються дуги-функції, зазвичай вказуються в описі функції у дужках. Всім дугам на графі присвоюють значення, що збігаються з позначеннями відповідних функцій елементів. Вершини графа (при їх зображенні) рекомендується розташовувати в такому порядку, щоб було мінімальне число перетинів дуг і щоб вершини, пов'язані дугами, були ближче один до одного. При цьому можна допустити розташування елементів і в кілька рядів. У таблиці 11 та на рисунку 4.4 проведено аналіз функцій та побудовано конструктивну функціональні структури вантажного автомобіля.

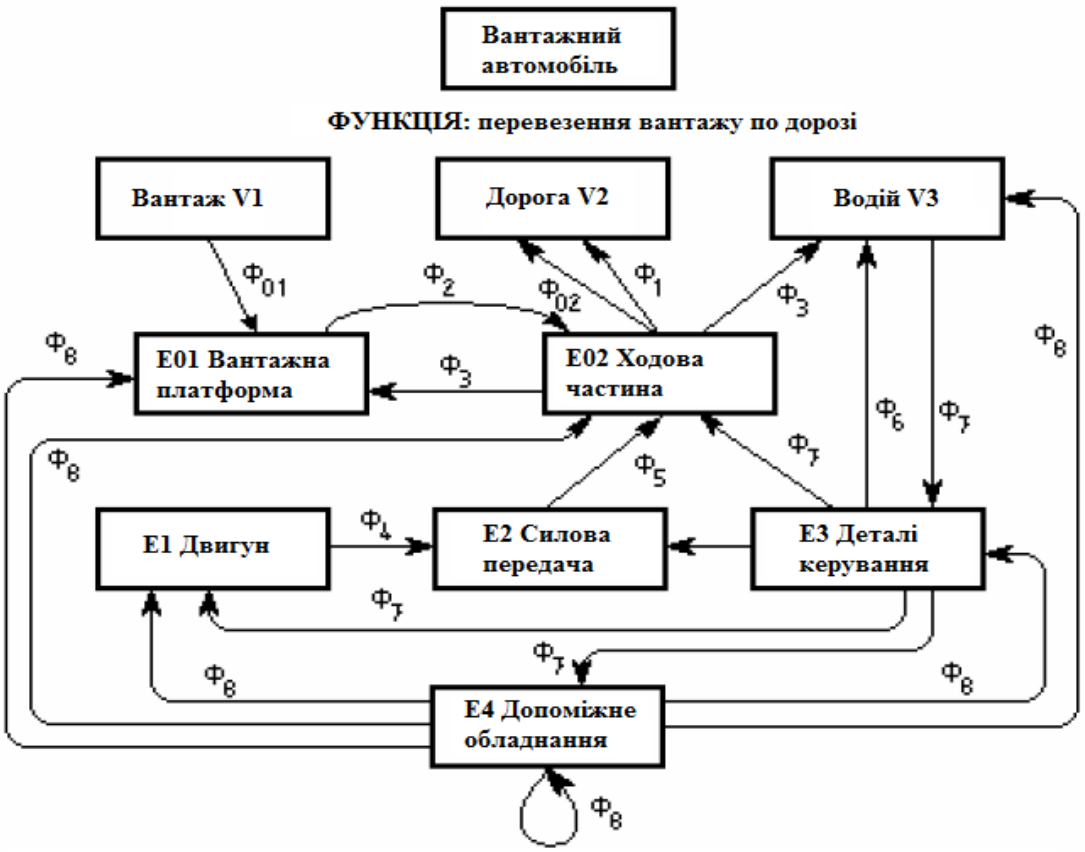


Рисунок 4.4. Конструктивна функціональна структура вантажного автомобіля

Таблиця 4.11. Аналіз функцій елементів вантажного автомобіля

ЕЛЕМЕНТ		ФУНКЦІЯ	
ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	ПОЗНАЧЕННЯ	ОПИС
E_{01}	Вантажна платформа (кузов)	$Ф_{01}$	Забезпечує раціональне розміщення вантажів V_1 і передає їх вагу на шасі (ходову частину) E_1
E_{02}	Ходова частина	$Ф_{02}$	Перетворює енергію двигуна на рух автомобіля по заданій траєкторії
		$Ф_1$	Забезпечує передачу ваги вантажу V_1 та вузлів і агрегатів на дорогу V_2
		$Ф_2$	Забезпечує необхідне взаєморозташування вузлів та агрегатів автомобіля
		$Ф_3$	Забезпечує захист вузлів та агрегатів автомобіля, а також вантажу V_1 і водія V_3 від несприятливих впливів НС
E_1	Двигун	$Ф_4$	Перетворення хімічної енергії палива в кінетичну
E_2	Силова передача	$Ф_5$	Передає та перетворює енергію двигуна E_2 відповідно до потреб шасі E_1 з реалізації $Ф_{02}$
E_3	Органи управління	$Ф_6$	Інформування водія V_3 про режим руху та стан систем автомобіля

		$Ф_7$	Передача керуючого впливу водія V_3 виконавчим пристроям E_{01} – E_3, E_4
E_4	Допоміжне обладнання	$Ф_8$	Забезпечення раціонального функціонування E_{01} – E_4, а також роботи водія V_3

Іноді може виявитися доцільним побудова та використання єдиної конструктивної ФС для багаторівневого ієрархічного поділу на елементи. Методика та приклади побудови таких ускладнених ФС, а також побудови потокових конкретизованох та абстрагованих функціональних структур та фізичних принципів дії ТО найповніше наведені на роботах А.І. Половінкіна.

Більш детально сукупність процесів утворення та руху потоку енергії в автомобілі (з дизелем) представлена на рис. 4.4 у вигляді схеми системи «водій-автомобіль-навколишнє середовище». За її основу взята схема виникнення, перетворення, просування, реалізації потоку енергії та управління ним в автотранспортному засобі (АТЗ) з дизелем. Потоки речовин показані подвійними стрілками, потоки механічної енергії (у вигляді потужності N та її параметрів n, v, M і P) - жирними стрілками, потоки теплової енергії (Em) - стрілками середньої товщини, потоки звуку (S) - пунктирними стрілками, а керуючі впливи (L) і сигнали зворотнього зв'язку - тонкими стрілками.

Водій, узгоджуючись з необхідністю реалізації швидкості v_a і прискорення j_a автомобіля, контролює подачу палива за допомогою педалі подачі (акселератора) L_a , керуючою за допомогою приводу (ПР) кутом повороту важеля φ_p регулятора паливного насоса (РПН). РПН, з корекцією за частотою обертання кулачкового валу (пропорційною частоті обертання колінчастого валу (ЧОКВ) n_e), забезпечує певне положення рейки h_p ПНВТ (ПН). Паливо (C_n H_m) подається на вхід ПНВТ. Останній забезпечує в кожен циліндр циклову подачу палива $q_ц = q_ц(n_e, h_p)$, що залежить від ЧОКВ n_e і положення рейки h_p. Надлишок палива зливається у бак. Робота ПНВТ характеризується шумом $S_{п.н}$.

У камері згоряння двигуна (Д) вивільняється енергія $E_{іц}$, частка якої по відношенню до кількості теплоти $h_{иц}$, внесеної з паливом у циліндр, оцінюється індикаторним ККД η_i (стосовно до повнорозмірного двигуна $\eta_i = 3600/(g_iH_u)$. Процес характеризується індикаторною потужністю N_i (кВт) та індикаторною питомою витратою палива $g_i = 3600/(\eta_iH_u)$, г/ (кВт • год).

Енергія руху поршнів за допомогою ЦПГ і КШМ перетворюється на енергію обертального руху КВ з маховиком. Це відбувається із втратою потужності $N_м$ та з механічним ККД $\eta_м = (N_i – N_м)/Ni$. У розпорядженні споживачів

енергії виявляється ефективна потужність $N_e = N_i - N_м$. Під час цього ефективний ККД $\eta_e = \eta_i\eta_м = 3600/(g_e H_u)$, ефективна питома витрата палива $g_e = 3600/(\eta_e H_u)$.

Ефективні показники двигуна визначаються у стаціонарних стендових умовах. В експлуатації ж присутні ще втрати потужності $N_{в.а}$ на привід допоміжних агрегатів, зміна потужності через відхилення стану двигуна ($\Delta N_{д.с.д}$) і атмосферних умов ($\Delta N_{д.а.т}$), вплив неустановлених режимів (НУР) $\Delta N_{д.нур}$. Таким чином, потужність, яку отримує трансмісія, дорівнює

$$N_д = M_д n_e = N_e - N_{в.а} - \Delta N_{д.с.д} - \Delta N_{д.ат} - \Delta N_{д.нур}$$

Двигун, використовуючи кисень O_2, викидає відпрацьовані гази (ВГ), виділяє теплову енергію $H_д$, здійснює шум $S_д$. Крутний момент $M_д$ КВ сприймається веденими дисками зчеплення. Потужність розсіювання енергії дисками зчеплення: $\Delta N_с = H_с + S_с = N_д - N_с$, де $N_с = M_с n_с$ - потужність на виході зчеплення.

Потужність $N_с$ надходить на вхід коробки передач КП. Функція КП - узгоджувати навантаження опору руху автомобіля з характеристиками двигуна. Водій здійснює ступінчасте керування за допомогою важеля $L_{к.п.}$ Робота КП супроводжується втратою енергії, пов'язаної з тертям і генерацією високочастотних коливань у зубчастих парах і підшипниках, тертям в ущільненнях, перемішуванням масла: $\Delta N_{к•п} = H_{к•п} + S_{к•п} = N_с - N_{к•п}$, де $N_{к.п} = M_{к•п} n_{к•п}$ - потужність на виході КП.

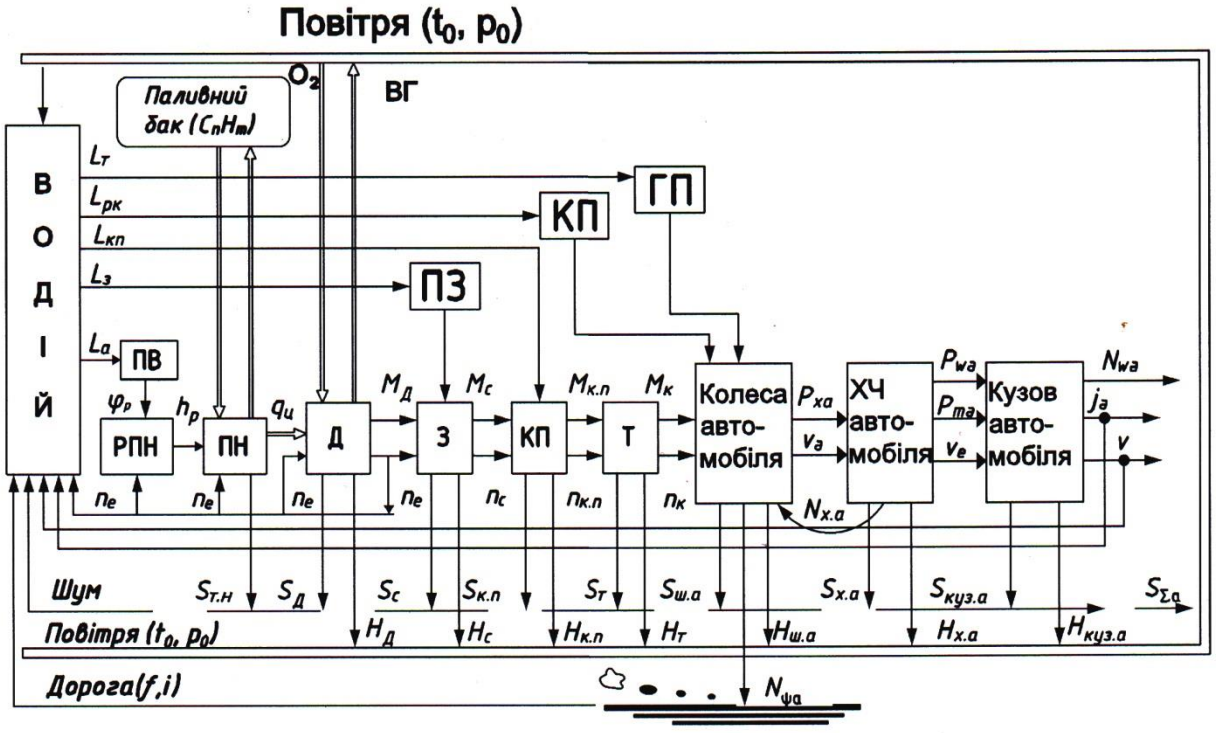


Рис. 4.5. Схема системи «водій-автомобіль-навколишнє середовище»:

C_nH_m – вуглеводні палива; Q_2 – кисень повітря; ВГ - відпрацьовані гази; L_a,L_b,L_c,$L_{к.п}$, $L_{к.к}$, L_m - керуючі діями відповідно педалі акселератора, повітряної заслінки, педалі зчеплення, важеля КП, кермового колеса, гальмівної педалі; РПН – регулятор паливного насоса; ПВ – привід важеля РПН; ПН – паливний насос високого тиску (ПНВТ); Д* - двигун (без РПН та ПН); З - зчеплення; КЗП – коробка зміни передач; Т* - частина трансмісії, що залишилася (без З та КП); ХЧ* - рухома частина без коліс (несуча частина); φ_p - кут повороту важеля РПН; h_p – хід рейки ПН; $q_ц$ - циклова подачі палива; $M_д$ - крутний момент на КВ двигуна; M_c – момент на веденому валу зчеплення; $M_{кп}$ – момент на вторинному валу КП; $M_к$ – момент на ведучих колесах; $P_{ха}$ - поздовжня сила дії двигуна автомобіля на його ходову частину (ХЧ*); $P_{хп}$ - поздовжня сила впливу ходової частини (ХЧ*) причепа на його колеса; $P_{кр}$ – сила на гаку; P_{wa} і P_{wn} - сила подолання опору повітря автомобіля та причепа відповідно; N_{wa} і N_{wn} - потужність, що витрачається на опір повітря руху автомобіля; $N_{εa}$ - потужність, що витрачається на прискорення обертових мас автомобіля; $N_{ψa}$ - витрати потужності на кочення по опорній поверхні коліс автомобіля; n_e, n_c, $n_{к.п}$, $n_к$ - частоти обертання колінчастого валу, веденого валу зчеплення, вторинного валу КП та ведучого колеса відповідно; v_a, ja - швидкість та прискорення автомобіля; ПЗ – привід зчеплення; КП - кермовий привід; ГП – гальмівний привід; $H_д$, H_c, $H_{к·п}$, H_m, $H_{ша}$, ($H_{ш·п}$), $H_{ха}$, ($H_{х·п}$), $H_{куз·а}$, - теплові втрати потужності відповідно двигуна, зчеплення, коробки передач, залишкової частини трансмісії, шин коліс автомобіля, ходової частини автомобіля, кузова автомобіля; $S_{т.н}$, $S_д$, S_c, $S_{к.п}$, S_m, $S_{ш.а}$, ($S_{ш.п}$), $S_{х.а}$, ($S_{х.п}$), $S_{куз·а}$, - шум, створюваний відповідно паливним насосом, двигуном, зчепленням, коробкою передач, частиною трансмісії, що залишилася, шинами коліс автомобіля, ходовою частиною автомобіля; кузовом автомобіля; $S_{Σ·а}$ і $S_{Σ·п}$ - сумарна звукова енергія (переходить у тепло повітря).

Далі потік потужності проходить ряд ланок частини трансмісії (Т*): карданну передачу, головну передачу та ін. Робота їх відбувається з тертям у зубчастих парах, шарнірах, підшипниках, ущільненнях, з перемішуванням масла, генерацією високочастотних коливань у зубчастих парах, шарнірах та підшипниках, розвитком та поглинанням цих коливань у валах - все це з виділенням теплової енергії ($H_т$), та з шумом ($S_т$): $\Delta N = H_т + S_т = N_{к·п} - N_к$, де $N_к = M_к n_к$ - залишок потужності, що підводиться до ведучих коліс.

Робочий процес окремого колеса складний: його визначають характеристики шини, властивості дороги, навантаження, крутний момент, швидкість руху, крутизна траєкторії повороту, зчеплення з дорогою. Процес, просумований по всіх колесах, супроводжується дисипацією енергії на деформацію і нагрівання дороги ($N_{ψа}$) і шин (в кінцевому підсумку - повітря $H_{ш.а}$), а також генерацією шуму ($S_{ш·а}$): $\Delta N_{ш·а} = N_ψа + H_{ш.а} + S_{ш·а} = N_к - N_{ха}$, де $N_{ха} = P_{ха}\ v_а$ - залишок потужності, що підводиться до балок мостів автомобіля, $P_{ха}$ - штовхаюче зусилля з боку маточин коліс.

Рушій об'єднаний ходовою частиною. Ця об'єднана конструкція наводить паразитну циркуляцію потужності в системі «трансмісія - ходова частина". Енергетично вагомим є коливальний процес підвіски. Підвіска забезпечує плавний рух рами з кузовом, вантажем, людьми в процесі руху коліс з мостами по нерівній дорозі - і це можливе тільки з реалізацією коливань непідресореної маси відносно підресореної. Такі коливання потрібно постійно гасити. На угамування коливань йде частина енергії $H_{х.а}$, а робота елементів ХЧ* супроводжується шумом елементів $S_{х.а}$: $\Delta N_{х.а} = H_{х.а} + S_{х.а} = N_{ха} - N_р$, де $N_р = P_р\, v_а$ - залишок потужності, що підводиться до рами автомобіля для формування штовхаючого зусилля.

Темп енергоспоживання визначає потужність машини, енергоси-лового об'єкта - і розраховується як добуток силового параметра на швидкісний. Потужність ДВЗ визначається роботою реалізовуваного крутного моменту валу двигуна $M_е$ на частоту обертання цього валу $n_е$: $N_е = M_е n_е$.

Залежності з'ємного крутного моменту $M_е$ (та інших параметрів: положення регулюючих органів, подачі палива та ін.) від частоти $n_е$ є швидкісними характеристиками. При цьому залежність $M_е = f(n_е)$ при граничних положеннях важеля регулятора називається зовнішньою швидкісною характеристикою (ЗШХ). ЗШХ при реалізації обмежень швидкісного режиму ДВЗ переходить у граничну регуляторну характеристику (ГРХ). Швидкісні характеристики, зняті при проміжних положеннях важеля регулятора, є частковими швидкісними характеристиками.

Застосування системних принципів в роботі Матейчика В.П. [8] дозволило представити дорожній транспортний засіб (ДТЗ) як багаторівневу систему.

В системі виділено три основних процеси, які послідовно пов'язані між собою:

- перетворення хімічної енергії палива E_X в теплову E_T та механічну E_M, тобто робочий процес ДВЗ (рівень А);

- передача енергії від ДВЗ до коліс з перетворенням параметрів руху, тобто робочий процес трансмісії ДТЗ (рівень С);

- перетворення обертального руху коліс в поступальний рух ДТЗ, тобто процес взаємодії ходової частини та кузова ДТЗ з середовищем (дорогою та повітрям) (рівень Е).

Входом системи загалом і процесу рівня А служать паливо $m_п$ (зв'язана хімічна енергія) і повітря $m_{пов}$, які поступають в робочий процес ДВЗ [6].

В результаті робочого процесу двигуна поряд з корисним виходом (механічна енергія E_M,яка характеризується крутним моментом M_e і частотою обертання $n_д$ двигуна) утворюється супутній або некорисний вихід (продукти згоряння $M_{пз}$ як сукупність великої кількості шкідливих та нешкідливих компонентів $\sum m_i$, невикористана теплова енергія E_T і акустичне випромінювання W).

Для управління робочим процесом ДВЗ з метою зближення показників виходу із заданими показниками служить зворотній зв'язок (рівень В), який забезпечує управління складом суміші, випередженням запалювання і (або) впорскування, рециркуляцією, турбонаддувом та ін.

Системні об'єкти „вхід - процес - вихід" (рівень А) та „зворотній зв'язок" (рівень В) утворюють ЕУ як підсистему ДТЗ зі своїми системними властивостями [6].

Системні об'єкти рівнів С і D описують трансмісію ДТЗ. Енергетичний вихід процесу рівня А (M_e і $n_д$) є входом процесу рівня С. Результатом передачі енергії трансмісією є крутний момент $M_к$ на колесах, величина якого залежить від передаточних чисел коробки передач u_i, головної передачі u_0 та к.к.д. трансмісії $\eta_{тр}$, і частота обертання коліс ДТЗ $n_к$.

Внаслідок взаємодії ДТЗ через ходову частину (колеса) і кузов з середовищем (дорогою і повітрям) здійснюється перетворення обертального руху коліс в поступальний рух ДТЗ (рівень Е). Виходом підсистеми Е і системи загалом є швидкість ДТЗ V_a та його прискорення $\frac{dV_a}{dt}$, яке визначає режим руху ДТЗ (розгін, усталений рух, сповільнення).

Зворотній зв'язок (рівень F) управляє процесами рівнів А і С для реалізації заданого закону руху ДТЗ $V_a = f(S)$ або $V_a = f(t)$ (той чи інший їздовий цикл), чи в кожний момент коректує швидкість ДТЗ (імітує дії водія) в залежності від дорожніх, транспортних, атмосферних та інших факторів які мають місце на реальному маршруті, через задання значень величини $\varphi_{ві}$ і швидкості $V_{ві}$ відкриття важеля управління паливоподачею, частоти обертання двигуна $n_{дкі}$, при якій відбувається переключення на більш високу передачу при розгонах, вибір передаточного числа u_i коробки передач і часу переключення передачі $t_{пі}$

На рис. 4.6 з системних позицій розглянуто вплив несправностей підсистем автомобіля на витрату палива.

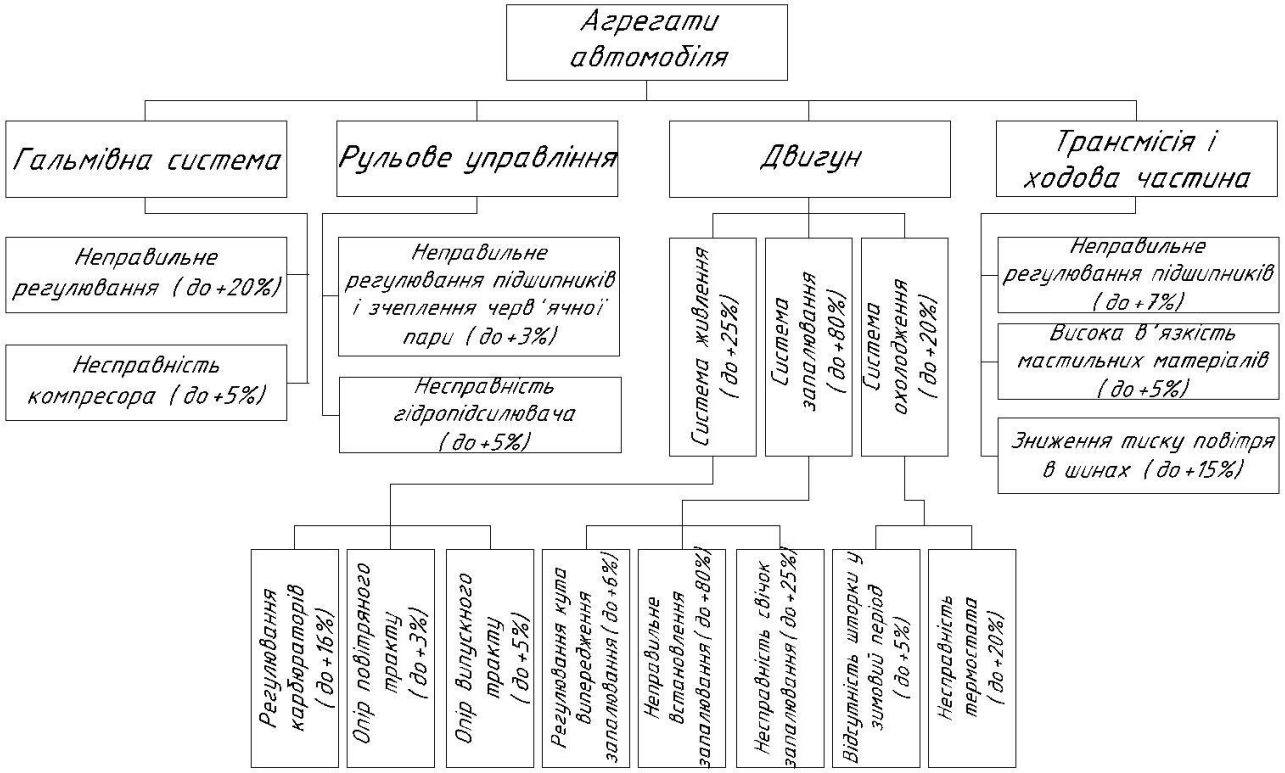


Рис. 4.6. Вплив несправностей автомобіля на витрату палива

Часто метою наукових досліджень є покращення експлуатаційних властивостей автомобіля. Експлуатаційними властивостями називають властивості, які характеризують здатність автомобіля ефективно виконувати транспортну роботу. Класифікацію властивостей автомобільної техники показано на рис. 4.7. Основними групами властивостей є функціональні, економічні, технологічні та антропологічні властивості. В свою чергу, наприклад, функціональні властивості включають в себе продуктивність та надійність, а антропологічні властивості включають властивості безпеки та екологічні властивості.

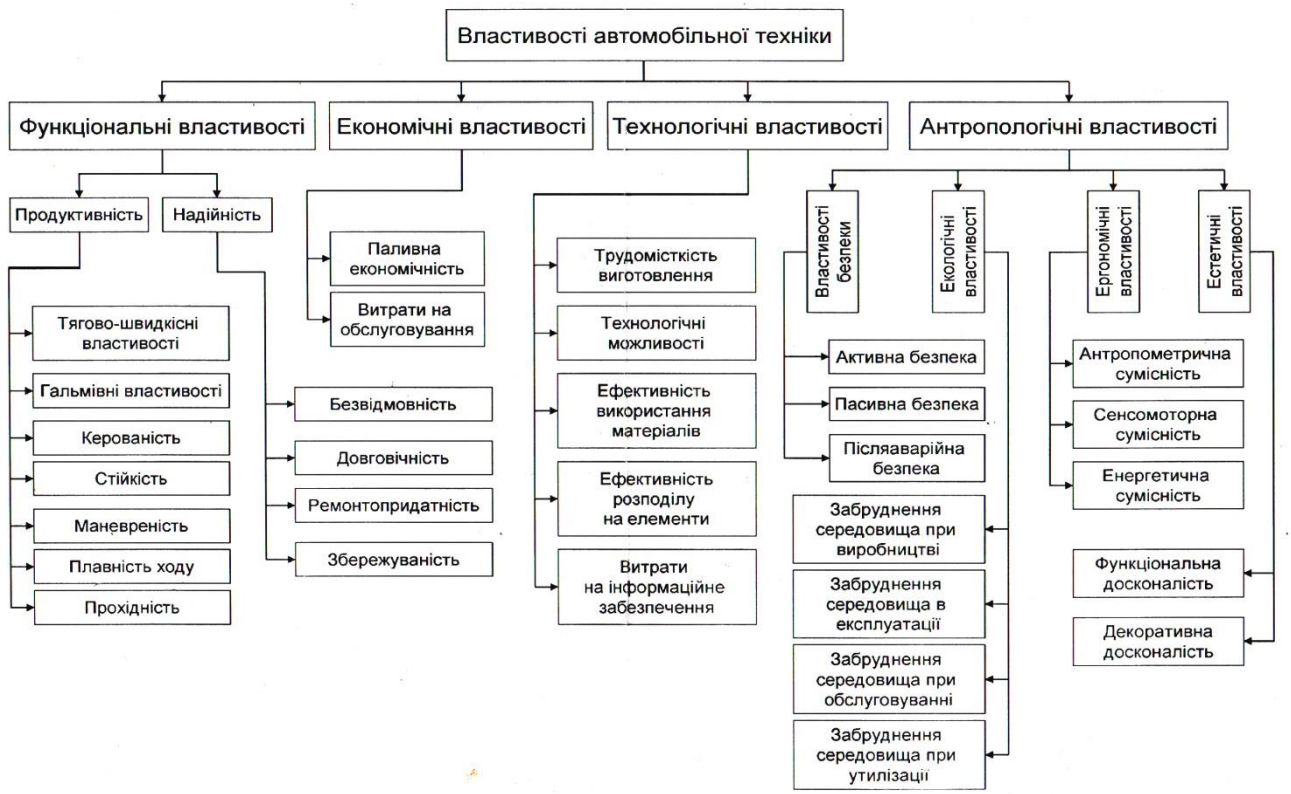


Рис. 4.7. Класифікація властивостей автомобільної техніки

Часто при виконанні досліджень доводиться виконувати оцінку якості автомобілів. В табл. 4.12 як приклад наведені деякі техніко-експлуатаційніі властивості якості автомобілів.

Таблиця 4.12 - Техніко-експлуатаційні властивості якості автомобілів

Техніко-експлуатаційні властивості	Що забезпечують	Чим характеризуються
1. Тягово-швидкісні властивості	Потрібну вантажопідйомність (пасажировмісткість), швидкість руху, прискорення	Масою вантажу, що перевозиться, кількістю пасажирів, максимальною швидкістю руху, часом і шляхом розгону
2. Паливна еконономічність	Економію палива	Шляховими витратами палива, л/100 км
3. Керованість	Властивість змінювати траєкторію руху автомобіля при дії водія на кермове колесо	Зусиллям на кермовому колесі, стабілізацією керованих коліс
4. Стійкість	Властивість зберігати заданий напрямок руху	Стійкістю керованих коліс проти коливань
5. Надійність	Безвідмовність	Вірогідність безвідмовної роботи, середнє напрацювання на відмову,

		інтенсивність відмов, напрацювання на відмову, параметр потоку відмов, гарантійне напрацювання
	Довговічність	Середній ресурс, γ - відсотковий ресурс, пробіг до капітального ремонту, термін служби
	Ремонтопридатність	Коефіцієнт готовності, середній час відновлення, коефіцієнт технічного використання

Зі збільшенням кількості показників якості трудозатрати оцінки зростають, а от об’єктивність зростає незначно. Тому до складу оціночних показників слід вводити тільки найбільш вагомі.

Оцінка якості виробу містить такі етапи: 1) постановка цілі; 2) вибір аналогів виробу, що оцінюється; 3) вибір та ієрархічна класифікація номенклатури показників якості, що найбільш повно характеризують виріб з точки зору споживача; 4) поєднання значень показників якості в один інтегральний показник; 5) порівняння інтегральних показників аналогів; 6) прийняття рішень щодо управління рівнем якості продукції. При оцінці якості найбільш проблемними є 3-й та 4-й етапи, що обумовлено відсутністю єдиних підходів до формування номенклатури показників якості різних товарів та об'єднання їх в один числовий показник.

Ще одна проблема оцінки якості - це об'єднання обраної множини показників в один числовий показник. Ця проблема зумовлена тим, що, по-перше, коректне порівняння альтернативних варіантів за одним єдиним показником практично неможливе, по-друге, на практиці дуже рідко трапляються ситуації, коли всі показники альтернативних варіантів впорядковано "шикуються" в ряд і за ними легко ранжувати порівнювані вироби.

Автомобільний транспорт є підсистемою транспортної системи держави. З другої сторони – він сам є системою, яка складається з різних елементів (підсистем). Наприклад, він включає такі підсистеми як дорожні засоби, матеріально-технічна база АТП, кадровий склад і т.д. В свою чергу, і ці підсистеми можна представити як системи більш низького рівня, що складаються з підсистем. Зокрема, дорожній транспорт складається автомобілів, призначених для експлуатації по дорогах загального користування.

Автомобільний транспорт можна ідентифікувати як складну динамічну систему, яка складається з незалежних і залежних підсистем, постійно діючих і змінних. З збільшенням кількості автомобілів та вдосконаленням в цілому структури автомобільного транспорту виникла необхідність подавати його як більш складну систему, ієрархічно організовану і цілеспрямовано

функціоновану та характеризовану рядом ознак: взаємодією з зовнішнім середовищем та іншими системами.

Один з можливих варіантів системи показаний на рис. 4.6. В ній в окремі підсистеми виділені соціально-політична ситуація в державі та рівень її економічного розвитку. Зовнішнє середовище подається комплекс діючих факторів.

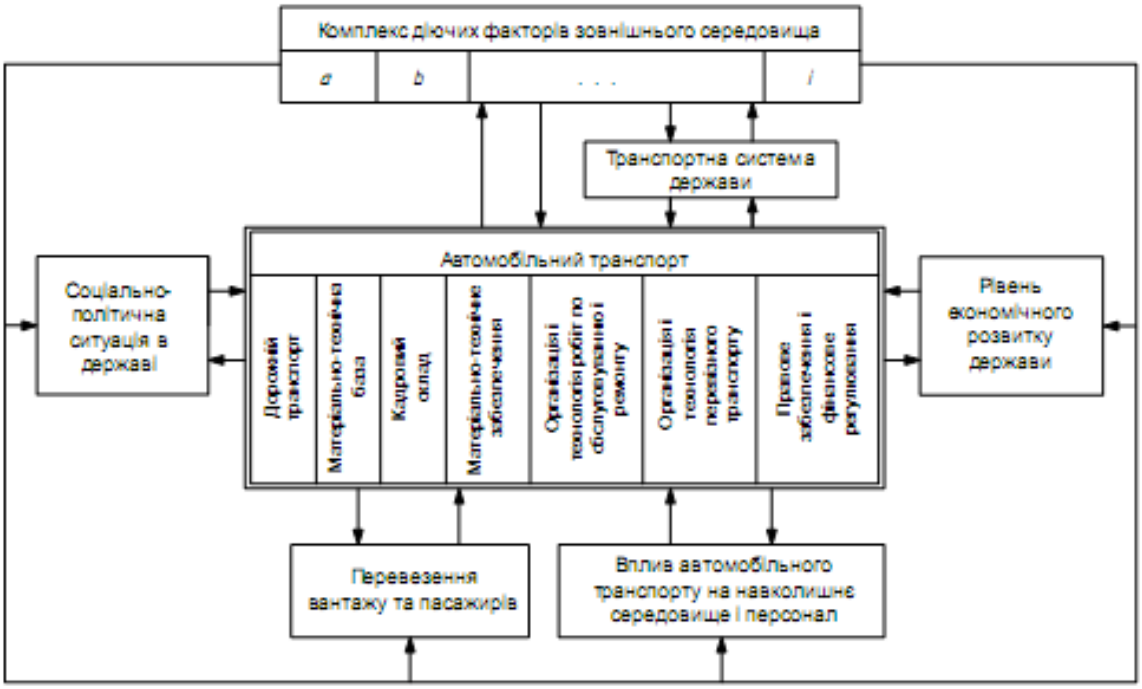


Рисунок 4.6 – Схема взаємодії автомобільного транспорту з навколишнім середовищем

Якщо автотранспортне підприємство (АТП) розглядати як систему, основною метою якої є виконання автомобільних перевезень, то цілком логічним є розробка заходів з підвищення його ефективності з системних позицій (рис. 4.7). Очевидно, що основними підсистеми системи «АТП» є технічна служба та служба експлуатації. Тому саме підвищення ефективності їх роботи призведе до підвищення ефективності процесу перевезень в цілому.

Ефективність процесу перевезень характеризується рядом техніко-експлуатаційних показників (рис. 4.8): коефіцієнт технічної готовності, коефіцієнт використання парку, час в наряді, технічна швидкість, коефіцієнт використання пробігу, коефіцієнт використання вантажопідйомності та ін. Покращити ці показники можна вдосконалення внутрішньовиробничих підсистем, зокрема підсистеми експлуатації рухомого складу (застосування причепів, механізації навантажувально-розвантажувальних робіт та ін.)

Рисунок 4.7 - Заходи з підвищення ефективності АТП

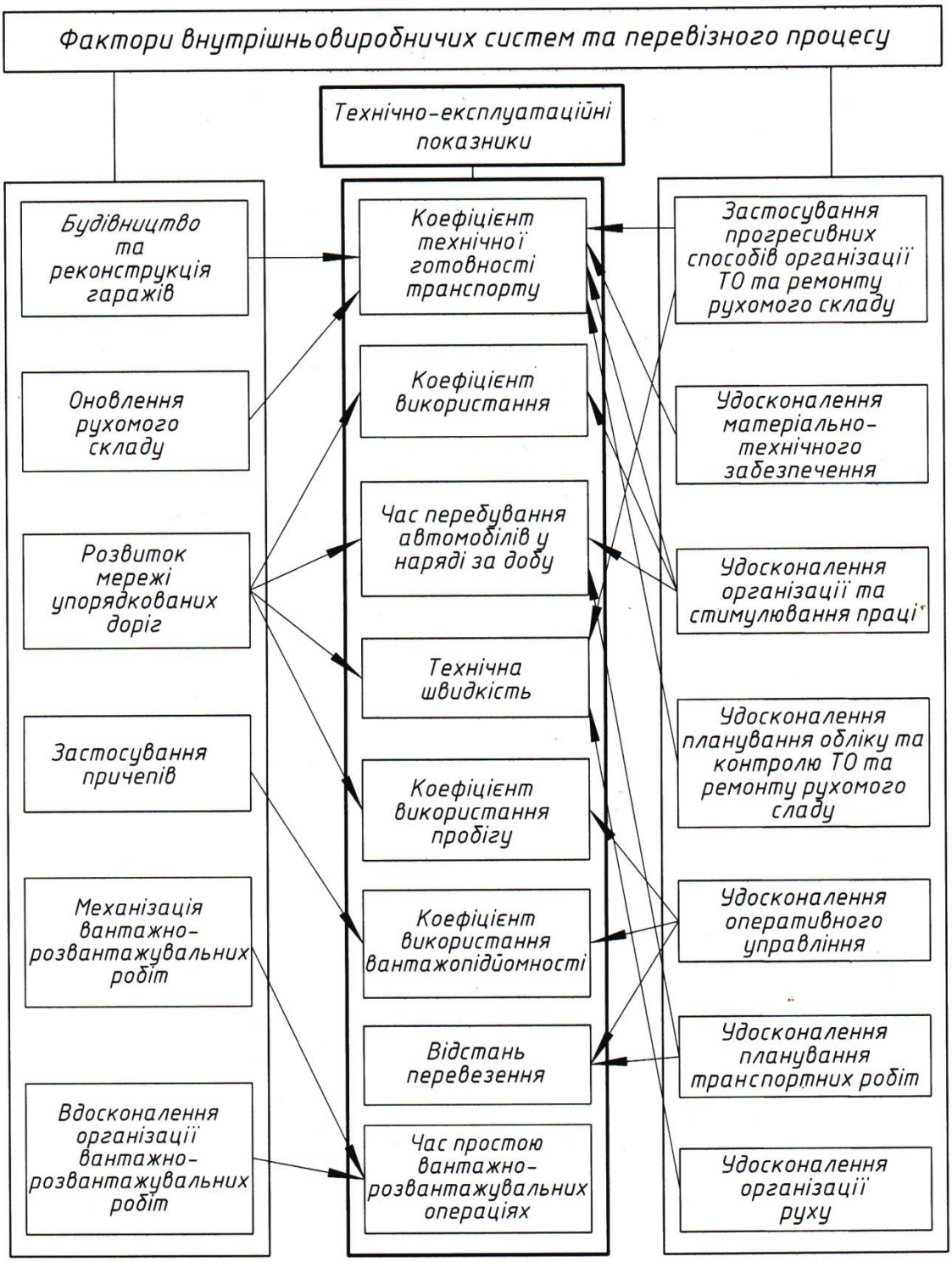


Рисунок 4.8 – Фактори внутрішньо-виробничих систем та процесу перевезень

4.6 Приклад виконання системного аналізу об’єкта

Виконати системний аналіз об’єкта - автомобіль. Мета - забезпечення оптимального функціонування автомобіля.

Розв’язок.

1. Система в цілому, повна система і підсистеми

S1 - система виконавця (водій, водійських склад);

S2 - система об'єктів перевезення (вантажі, пасажири);

S3 - система забезпечення паливом (автозаправні станції);

S4 - система технічного забезпечення і обслуговування (станції технічного обслуговування);

S5 - система доріг.

Повна система - автомобіль, як сукупність функціональних підсистем. При визначенні підсистем типова помилка полягає в тому, що набір підсистем виявляється неповним і слабо пов'язаним з призначенням автомобіля (наприклад, кузов, кабіна, колеса, карбюратор), або, навпаки, надмірною, що включає велику кількість різнорідних (структурних) частин. При виділенні підсистем потрібно враховувати призначення (функцію) автомобіля - перевезення (доставка) вантажів (пасажирів). Міркувати можна так: перевозиться об'єкт, якого потрібно десь розмістити, значить повинна бути PS1 - система завантаження (наприклад, кузов і пристосування); потрібно перевезти об'єкт на деяку відстань, значить повинна бути PS2 - приводна система (наприклад, двигун і трансмісія); рух має бути упорядкованим, значить повинна бути PS3 - система управління (наприклад, рульове управління і гальма); керуючий вплив потрібно передати, значить має бути PS4 - виконавча система (ходова частина). У дужках вказані підрозділи, якими хоча вони можуть мати й інший вигляд.

2. Навколишнє середовище включає поряд з перерахованими вище зовнішніми системами S1 ... S5 також ряд інших систем, які можуть в першому наближенні не враховується при вирішенні нашого завдання, наприклад, S6 - приводне середовище, S7 - система навчання водія, S8 - економічна система (заводи виробники, торгівельні організації), S9 - технологічна система і т.д.

3. Мета і призначення систем і підсистем. Призначення автомобіля - перевезення (доставка) вантажів, пасажирів. Призначення підсистем випливає з їхніх назв. Мета формулюється, виходячи з розв'язуваної задачі, яка визначається цілями, умовами і обмеженнями зовнішніх систем. Наприклад, вантажний автомобіль може використовуватися для перевезення

меблів, для перевезення великогабаритних вантажів, для забезпечення будівельних майданчиків матеріалами і т.д.

Залежно від призначення вимоги до автомобіля змінюються. Наприклад, вони можуть включати наступні показники:

- тип вантажів (наприклад, тверді будівельні матеріали);
- маса вантажу (наприклад, 3 ... 5 тонн);
- відстань (наприклад, 60 ... 80 км);
- час доставки (наприклад, не більше 1 ... 1,5 год.);
- характеристика місцевості (наприклад, міста і найближчі околиці);
- збереження вантажу (наприклад, втрати не більше 0,1%) і т.д.

4. Вхід, ресурси і витрати. Входом є об'єкт перевезення (вантаж, пасажир). До ресурсів належать: паливно-мастильні матеріали, а також гроші, час і зусилля на перевезення. Витрати визначаються як витрати ресурсів на перевезення при досягненні мети, наприклад, витрата бензину - 20 л, витрата грошей 20 у.о., витрата часу (трудовитрати) - 3 години, витрата зусиль - 4000 Ккал (наведені для простоти точні оцінки, хоча на практиці вони повинні бути інтервальними).

5. Вихід, результати і прибуток. Виходом є об'єкт перевезення (вантаж, пасажир), доставлені до місця призначення. До результатів відносяться перевезений вантаж, а також економія грошей, часу і зусиль за рахунок перевезення при досягненні цілей зовнішніх систем. Прибуток - це кількісна оцінка результатів в прийнятих одиницях, наприклад, економія грошей - 30 у.о., економія часу - 1 година, економія зусиль - 4000 Ккал. Результати і прибуток оцінюються по відношенню до цілей системи більш високого рівня (технологічної процес, виконання проекту, виконання замовлення тощо) у вигляді впливу на зменшення простоїв, забезпечення безперервності технологічного циклу, зменшення рекламацій і штрафних санкцій і т.д.

6. Програми, підпрограми та роботи. Для технічної системи виділяється рівень робіт. Наприклад, якщо це вантажний автомобіль, то можливі наступні види робіт:

- перевезення вантажів різного призначення (твердих, сипучих і т.п.);
- робота за графіком;
- термінова доставка;
- перевезення вантажу на далеке відстані і т.д.

7. Виконавці, особи, які приймають рішення (ОПР) і керівники. Виконавець - водій (водійських склад); ОПР - виконроб, диспетчер, начальник ділянки робіт; керівник - начальник робіт, проекту, для якого виконуються перевезення.

8. Варіанти системи для досягнення мети визначаються умовами і обмеженнями п. 3. Для наведеного прикладу - це марки автомобілів, придатні для досягнення мети, наприклад, ГАЗ 3309, ГАЗ 5203, ЗІЛ 130, КамАЗ 5410 і т.д.

9. Критерії для оцінки досягнення цілей включають функціональні, техніко-економічні, ергономічні, а також спеціальні показники, наприклад, вантажопідйомність, максимальна швидкість, потужність двигуна, прохідність, а також надійність, економічність, експлуатаційні витрати, комфорт, зручність управління, простота догляду і обслуговування і т.д., необхідні для досягнення цілей зовнішніх систем.

10. Моделі прийняття рішення. Для автомобіля слід використовувати моделі 2-го типу (модель вибору), так як модель 1-го типу не може бути застосована. При цьому виконуються розрахунки, що дозволяють вибрати варіант системи, найбільш придатний для досягнення цілей зовнішніх систем.

11. Тип системи. Автомобіль - це технічна, відносно закрита, статична система; за перетворювальними можливостями відноситься до першого типу (відсутнє перетворення вхідного елемента).

12. Властивості системи. Автомобіль має властивість ієрархічної впорядкованості, так як може бути розкладений на підсистеми (див.п.1 схеми); автомобіль має властивість централізації, так як центром є двигун; властивістю інерційності, так як має кінцевий час розгону і гальмування; автомобіль є адаптивною системою, так як зберігає свою функцію при збурюючих впливах середовища, наприклад, при зміні кваліфікації водія, якості палива, якості догляду та обслуговування, якості доріг, зміні погодних умов і т.д.

13. Прийняття рішення. Відповідь на це питання складається аналогічно прикладу 1. При визначенні зовнішніх систем, що впливають на прийняття рішення, слід додатково врахувати природне середовище.

4.7 Метод морфологічного аналізу

У сучасній формі морфологічний аналіз розробл
ено швейцарським астрофізиком Ф. Цвіккі. У 30-ті роки XX ст. Ф. Цвіккі інтуїтивно застосував морфологічний підхід до розв'язання астрофізичних проблем і на цій основі передбачив існування нейтронних зірок.

Технічні системи за своїм різноманіттям і складністю також є великими динамічними системами. Тому в роки другої світової війни, коли Цвіккі залучили до американських ракетних розробок, морфаналіз уже цілком свідомо було використано для розв'язання технічних завдань.

Суть методу полягає в систематичному дослідженні всіх мислимих варіантів, що випливають із закономірностей будови (морфології) об'єкта, що вдосконалюється. При цьому виявляють як відомі, так і нові, незвичайні варіанти, які під час простого перебору могли бути упущені. Ідея методу - піти в зону, далеку від того, що лежить на виду.

Основні етапи роботи:

1. Формулювання завдання.

Часто виявляється, що цей етап є набагато складнішим, ніж спочатку думалося. Це пояснюється тим, що в наявній літературі часто важко знайти задовільне визначення об'єктів, що розглядаються, зокрема, навіть таких добре відомих пристроїв, як насоси, гальма, електрогенератори тощо.

2. Складання списку характерних параметрів (або ознак) об'єкта.

У будь-якій технічній системі можна виділити кілька характерних для неї ознак. Наприклад, для технічної системи "автомобіль" такими ознаками будуть: вид двигуна, вид кузова, кількість осей, тип системи управління тощо.

До цих ознак висуваються певні вимоги. Вони мають бути:

- істотними для будь-якого рішення;
- незалежними одна від одної;
- охоплювати всі аспекти завдання;
- досить нечисленними, щоб можна було скласти скриньку, що допускає швидке вивчення.

Щоб вийти за межі відомого, знайти нові форми об'єкта, необхідно якомога повніше розкрити основні його параметри (або ознаки). На жаль, доводиться констатувати, що не існує надійного способу перевірки повноти такого списку.

3. Складання списку часткових рішень для кожного параметра (або ознаки).

За кожною ознакою записують можливі варіанти. Наприклад, "які можуть бути двигуни для автомобіля? Внутрішнього згоряння, електричні, парові тощо". Тут дуже важливо не обмежуватися перерахуванням очевидних варіантів, а записати все, що вдасться згадати або придумати. Так, крім перелічених традиційних двигунів, треба згадати двигуни мускульні, пружинні, інерційні тощо. Доцільно, мабуть, під час розв'язання будь-яких задач вказувати для кожного параметра як один із можливих варіантів, що цього параметра (частини, особливості, характеристики) немає взагалі. Наприклад, для двигунів треба вказати і варіант "без двигуна". Адже з'явилися автомобілі без коліс, хоча зовсім недавно це здавалося неймовірним. Це полегшить вихід до нових та ефективних рішень.

4 Визначення функціональної цінності всіх можливих поєднань.

Вибираючи по одному варіанту кожної ознаки (іноді кажуть: по одному елементу з кожної осі), треба скласти комбінацію, що вирішує поставлене завдання. Щоб не заплутатися у величезній кількості варіантів, оцінювання рішень має проводитися на універсальній і простій основі.

Якщо уявити деякий геометричний простір, кожна вісь якого відповідає окремій ознаці системи, і на кожній осі відмічати точки, що відповідають окремим елементам (варіантам), то ми отримаємо простір, кожна точка якого відповідає певному варіанту технічної системи. Цей простір отримав назву морфологічної скриньки. На практиці найчастіше використовують морфологічну карту, тобто беруть дві осі та складають таблицю, у кожній клітині якої виявляється один (можливий або неможливий) варіант системи. Такий підхід полегшує систематизований перебір різних варіантів можливих рішень.

5. Вибір найбільш прийнятного рішення.

Це найважчий етап морфаналізу. Правил відбору потрібного поєднання немає, тому доводиться діяти навмання. Тим часом, сильне поєднання "ховається" серед мільйонів слабких і безглуздих поєднань. Найпоширеніша помилка полягає в прагненні отримувати поєднання шляхом вибору на кожній осі найбільш "яскравого", зовні привабливого елемента. Такі елементи при об'єднанні не дають гармонійного поєднання. Розумніше діяти інакше - вибрати кілька головних елементів, а решту добирати так, щоб вони відповідали, "підігравали" головним елементам.

Особливості методу.

При складанні звичайної морфологічної таблиці лише 30...40 відсотків поєднань можуть дати цікавий результат. Крім того, таку таблицю необхідно будувати під час розв'язання кожного нового завдання. У зв'язку з цим

логічно виникає запитання: чи не можна побудувати універсальну таблицю, придатну для морфологічного аналізу багатьох технічних систем?

Таку таблицю було створено 1970 року Г. Альтшуллером, вона дістала назву фантограми. Вертикальною віссю фантограми слугують універсальні показники, що характеризують будь-яку систему (від годинникового механізму до людського суспільства):

1. хімічний склад речовини. 2. Фізичний стан речовини. 3. Об'єкт. 4. Елементи мікроструктури об'єкта (наприклад, для дерева - клітина, для суспільства - людина). 5. Надструктура (тобто система, до якої входить об'єкт, наприклад, для дерева - ліс). 6. Напрямок розвитку. 7. Відтворення. 8. Енергоживлення. 9. Спосіб пересування. 10. Сфера поширення. 11. Управління.12. Мета, призначення, сенс існування.

Як горизонтальну вісь використовують перелік прийомів зміни:

1. Зменшити.2. Збільшити. 3. Об'єднати. 4. Роз'єднати. 5. Замінити цю властивість "антивластивістю". 6. Прискорити. 7. Уповільнити. 8. Змістити в часі назад. 9. Змістити в часі вперед. 10. Зробити властивість мінливою в часі (а якщо вона вже змінюється, зробити її постійною). 11. Відокремити функцію від об'єкта. 12. змінити зв'язок із середовищем (включно з повною заміною середовища).

Порівняно зі звичайним морфаналізом вихід осмислених поєднань у фантограмі становить 60...70 відсотків. У цьому їхня перевага. Однак і тут можливості досить обмежені. Варто було б збільшити кількість елементів на кожній осі, підвищивши точність і конкретність цих елементів, а, отже, і визначеність поєднань. Але зі збільшенням числа елементів починає знижуватися частка осмислених поєднань, фантограма втрачає компактність і зручність користування.

4.8 Системи зі зворотнім звязком

Прикладами систем можуть слугувати: автомобіль, що складається з низки агрегатів і вузлів; автотранспортне підприємство, що складається зі служб, цехів, дільниць; регульоване перехрестя, що складається з доріг, світлофорів, автомобілів тощо.

Елемент (підсистема) - неподільна частина системи, що має самостійність стосовно цієї системи. Неподільність елемента (підсистеми) дослідник встановлює як недоцільність його поділу в межах моделі цієї системи. При цьому сам елемент (підсистема) характеризується тільки взаємодіями з іншими елементами системи за допомогою зв'язків.

Кожен уі елемент характеризується набором т конкретних властивостей gn,...gjm (час, швидкість, вага тощо), які однозначно визначають його в цій системі.

Стан елемента системи може змінюватися під впливом різних чинників (зовнішнього середовища, внутрішніх взаємодій тощо).

Зв'язок - сукупність залежностей властивостей одного елемента від властивостей інших елементів системи. Визначити зв'язок між елементами означає виявлення залежностей їхніх властивостей.

Елементи між собою можуть мати односторонню і двосторонню залежність. Двостороння залежність між елементами системи називається взаємозв'язком. Структура системи являє собою сукупність елементів системи і зв'язків між ними у вигляді множини.

Слід зазначити, що структура системи є статичною моделлю системи, яка описує тільки будову системи без урахування безлічі станів елементів.
Будь-яка система безпосередньо оточена безліччю інших об'єктів, які стосовно системи об'єднуються поняттям "зовнішнє середовище".

Під зовнішнім середовищем розуміють сукупність наявних у просторі об'єктів (систем), які тією чи іншою мірою впливають на використовувану систему.

Найважливішою характеристикою системи є її стан. Стан системи - це сукупність станів її елементів і зв'язків між ними. Якщо зв'язки в системі постійні, то її стан можна подати у вигляді:

Визначення конкретної системи зводиться до встановлення її станів у різні періоди часу. Реальна система не може перебувати довгий час у незмінному стані. Ця обставина вказує на необхідність у визначенні обмежень, наявних як у внутрішній частині, так і в зовнішньому середовищі.

Наприклад, автомобіль не може експлуатуватися вічно, тому що всередині нього відбуваються процеси зносу і старіння деталей, а зовнішнє

середовище впливає на нього своїми умовами експлуатації (дорожні, транспортні, природно-кліматичні та ін.).

Розглядаючи систему, слід визначитися з поняттями "вхід", "вихід", "зворотний зв'язок" (рис. 4.9).

Рис. 4.9. Схема системи зі зворотнім зв'язком

Входи системи Xt - це різні впливи зовнішнього середовища на систему. Наприклад, для системи обслуговування та ремонту автомобілів це діагностична інформація, запасні частини та матеріали, інструмент тощо.

Виходи системи y - це різні впливи системи на зовнішнє середовище. Наприклад, для тієї ж системи обслуговування і ремонту автомобілів це кількість обслужених автомобілів.

Зворотний зв'язок - це інформація про досягнутий показник на виході системи, за яким судять про виконання системою поставленого завдання. Зворотний зв'язок слугує для контролю за роботою системи.

5 МЕТОДОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

5.1 Основні поняття і визначення

Методи оптимізації належать до методів прийняття рішень. Наше життя – суцільні проблеми і кожна людина щоденно зіштовхується з необхідністю прийняття рішень. Їх так багато і приймаються вони так часто, що у більшості випадків це просто не усвідомлюється. І тільки найбільш важливі і важкі рішення виділяються і стають предметом аналізу. При цьому підхід завжди один: збирається точна, надійна і адекватна інформація, а потім робиться вибір серед можливих рішень.

Можливою є наступна схема процесу прийняття рішень:

1) Визначення проблеми;
2) Вибір критеріїв оцінювання та обмежень;
3) Збір даних та уточнення постановки завдання;
4) Розробка альтернативних варіантів рішень;
5) Моделювання, аналіз варіантів та їх оцінка;
6) Порівняння варіантів та вибір альтернативи;
7) Прийняття рішення.

Дамо деякі пояснення до наведеної схеми. Проблема - складне теоретичне або практичне питання, яке потребує розв’язання, вивчення або дослідження. Зокрема, на автомобільному транспорті досі невирішеними залишаються проблеми безпеки дорожнього руху, затори та забруднення навколишнього середовища. Критерій – засіб (показник якості), який можна використовувати для оцінки об’єкта, процесу і т.д.

Є такі критерії оцінювання [8]:

- якісні - номенклатура виробів, наявність (відсутність) деякого признаку;

- кількісні (числові) – прибуток, терміни, витрата сировини, продуктивність праці;

- порядкові (рангові) – якість продукції, кваліфікація персоналу.

Види обмежень:

- Закони та нормативна база;
- Фінанси;
- Сировина і матеріали;
- Технологічне обладнання.

Класифікація методів прийняття рішень:

- неформальні методи (застосовуються у повсякденному житті);

- формальні методи.

У наукових дослідженнях в технічних науках, зазвичай, застосовують формальні методи прийняття рішень:

- Методи математичної статистики;
- Методи оптимізації;
- Теорія ігор;
- Імітаційне моделювання;
- Теорія масового обслуговування;
- Нечітка математика.

Термін оптимальності використовують в різних науках. Його трактують як найкращий, найбільш ефективний. Кожна людина щоденно, не завжди усвідомлюючи це, вирішує проблему: як отримати найбільший ефект, володіючи обмеженими ресурсами.

Одним з типових прийомів системного аналізу є подання досліджуваного об’єкта у вигляді кібернетичної системи, яка називається «чорним ящиком» (рис. 1.1)[10].

Чинники – вхідні параметри, які характеризують дію на об’єкт. Відгуки – параметри, які характеризують реакцію об’єкта на зміну чинників.

Якщо мова йде про технічний об’єкт, то чинниками є параметри, які можемо змінювати, намагаючись покращити його якість: розміри, властивості матеріалів і робочих середовищ, режимні параметри.

В якості відгуків будемо розглядати функціональні параметри, які характеризують якість виконання об’єктом свого призначення. Ці показники називають критеріями оптимізації, які виступають як цільові функції оптимізації. Ними можуть бути економічні параметри (прибуток, собівартість тощо); техніко-економічні параметри (продуктивність, надійність, довговічність тощо); технологічні параметри.

Рисунок 5.1 – Схема кібернетичної системи «чорний ящик»

Якщо в процесі оптимізації плануються змінювати один з параметрів об’єкта – завдання називається однопараметричною оптимізацією. Якщо змінюваних параметрів два і більше – завдання багатопараметричне.

Якщо в процесі оптимізації планується покращувати один показник якості об’єкта – завдання називається однокритеріальною оптимізацією.

Якщо ставиться завдання паралельно покращити декілька характеристик об’єкта – завдання багатокритеріальне.

5.2 Постановка задачі оптимізації

Якщо завдання однокритеріальне, воно формулюється наступним чином: знайти таке співвідношення значень змінюваних факторів (У1*, У2*,… Ук*), яке забезпечує максимальне (або мінімальне) значення критерію, тобто

$$К \rightarrow Кmax \quad або \quad К \rightarrow Кmin$$

Вибір напрямку пошуку оптимуму залежить від фізичної природи критерію: якщо це показник, збільшення якого бажане (наприклад питома потужність, коефіцієнт корисної дії і т.д.), вибирається рух до максимуму, якщо бажане зменшення показника (наприклад, маса, вартість), то вибирається рух до мінімуму.

Якщо завдання багатокритеріальне, то точного математичного розвязку воно, як правило, не має у зв’язку з протирічивістю критеріїв. Мова може йти тільки про пошук і обґрунтування компромісного рішення. Вираз для визначення критерію носить назву «цільова функція».

Цільова функція має вигляд: u = f (x1, x2, ..., xn), де u - область рішень (мета) для певної множини проектних параметрів (x), кожен з яких має свою розмірність (n). Побудова даної функції необхідно при виконанні економічних та інженерних розрахунків, наприклад, для обчислення міцності або маси конструкції, потужності установки, обсягу випуску продукції, вартості перевезень вантажів, прибутку і т.д.

Якщо завдання передбачає вибір оптимального рішення або порівняння двох альтернативних рішень, в цьому випадку не обійтися без деякої залежної величини, яка визначається проектними параметрами. Саме ця величина і є цільовою функцією. При вирішенні завдань щодо оптимізації потрібно знайти такі проектні параметри, при яких у цільової функції є мінімум або максимум. Таким чином, функція являє собою модель оптимальності, за допомогою якої описуються економічні чи інженерні завдання.

При наявності одного проектного параметра, коли n = 1, цільова функція має одну змінну, а за її графік береться деяка крива, що у площині. Якщо n = 2, функція має дві змінних, і графік її буде поверхнею в тривимірному просторі.

Цільова функція необов'язково представляється у вигляді формули. У тих випадках, коли вона приймає тільки дискретні значення, її можна задати у вигляді таблиці. Так чи інакше, у всіх випадках вона являє собою однозначну функцію проектних параметрів.

Побудова цільової функції - обов'язковий крок при вирішенні завдань щодо оптимізації. Оптимізацією називається процес вибору найбільш

відповідного варіанту з можливих. Наприклад, при виконанні інженерних розрахунків методом оптимізації можна визначити, який варіант конструкції є найкращим, як раціонально розподілити ресурси.

Рішення задач по оптимізації передбачає пошук оптимальних значень, які визначають дану задачу. В інженерних задачах вони називаються проектними параметрами, а в економічних - параметрами плану. В якості проектних параметрів можуть виступати значення розмірів об'єкта, температури, маси тощо.

Для вирішення деяких завдань може виконуватися побудова відразу декількох цільових функцій. Наприклад, в процесі проектування виробів машинобудування необхідно знайти оптимальні значення максимальної надійності, мінімальної матеріалоємності, максимального корисного об'єму і т.д.

5.3 Вимоги до чинників

Чинник – незалежна змінна величина, яка впливає на параметр оптимізації. Кожний чинник має область визначення – сукупність всіх значень, яких може набувати чинник. Під час досліджень необхідно враховувати всі істотні чинники. Якщо кількість чинників велика, то необхідно відсіяти всі ті, які несуттєво впливають на параметр оптимізації (наприклад, на основі апріорного ранжування).

Чинники, тобто вхідні параметри, які характеризують дію на об’єкт, повинні виражатись кількісною мірою. Якщо чинник виражається якісною мірою, то необхідне спеціальне кодування цієї міри.

Чинники повинні бути керованими, тобто значення чинників повинні підчинятись волі особи, яка виконує оптимізацію.

Чинники повинні бути сумісними, тобто ніяке з запланованих співвідношень значень чинників не повинне приводити до аварії об’єкта, небезпеки для персоналу, забруднення навколишнього середовища і т.д.

5.4 Класифікація методів оптимізації

Методи оптимізації класифікують відповідно до задач оптимізації:

- Локальні методи: сходяться до якого-небудь локального екстремуму цільової функції. У разі унімодальної цільової функції, цей екстремум єдиний, і буде глобальним максимумом/мінімумом.
- Глобальні методи: мають справу з багатоекстремальними цільовими функціями. При глобальному пошуку основною задачею є виявлення тенденцій глобальної поведінки цільової функції.

Класифікація розрахунково-експериментальних методів оптимізації подана на рис. 5.2.

Найбільш поширеними в техніці є багатокритеріальні методи оптимізації. Багатокритеріальними називають завдання оптимізації, в яких є декілька цільових функцій і потрібно отримати рішення, яке є найкращим за всією сукупністю цільових функцій.

Цільові функції в задачах багатокритеріальної оптимізації називають частковими критеріями або локальними оцінками альтернатив.

Це пов’язано з тим, що глобальний критерій подається у вигляді вектора, елементами якого є значення часткових критеріїв.

Завдання однокритеріальної оптимізації носять назву скалярної оптимізації. Умова: керовані параметри належать заданій допустимій множині. Для максимізації критерію потрібно помножити відповідну цільову функцію на -1.

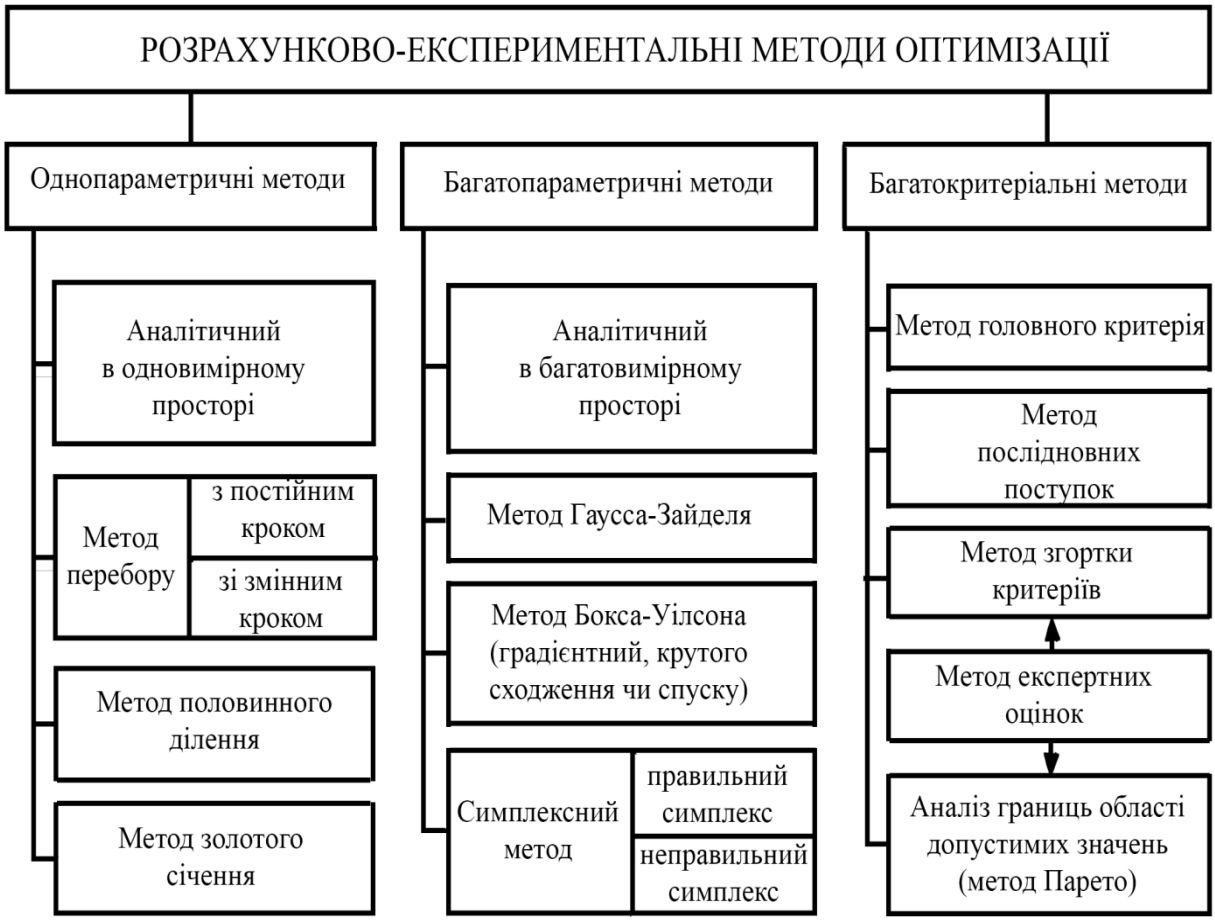


Рисунок 5.2 – Класифікація розрахунково-експериментальних методів оптимізації

5.5 Метод згортки критеріїв

Для того, щоб багатокритеріальне завдання звести до однокритеріального застосовують згортання часткових критеріїв.

Основні етапи згортки:

- обґрунтування допустимості згортки;

- нормування згортки;

- врахування пріоритетів;

- побудова функції згортки.

Згортувані критерії повинні бути однорідні, тобто такі, які мають певне змістове значення і загальноприйняту назву, наприклад, критерії ефективності, критерії якості. Виділяють такі групи показників ефективності:

- Показники результативності;
- Показники ресурсомісткості;
- Показники оперативності.

Для згортування критеріїв застосовують такі функції згортки: адитивні, мультиплікативні, агреговані та ін. Коли виконується адитивна згортка, то визначається суперкритерій, який є зваженою сумою часткових критеріїв.

5.6 Групування критеріїв

Групування критеріїв застосовується при великій кількості критеріїв ефективності. Критерії можна об’єднати в однорідні групи, які мають певне змістовне значення та загальноприйняту назву: критерії якості, критерії ефективності.

Вимоги до системи критеріїв: повнота характеристики об’єкта, розкладуваність та ін.

Показники групування: фінансові (витрати, прибуток), якісні (характеризують властивості об’єкта), часові, функціональні.

Для відображення системи часто використовують дерево критеріїв. Воно будується на основі дерева цілей і складається з критеріїв, які відображають ступінь досягнення кожної мети.

Для кожної групи критеріїв встановлюють вагові коефіцієнти. Групування виконують за важливістю. Розглядають три групи критеріїв:

- Критерії, значення яких бажано збільшити;
- Критерії, значення яких не бажано збільшувати;
- Критерії, значення яких можна зменшити.

Далі виконують нормування критеріїв і вводять обмеження: наприклад, на другу групу накладають обмеження, що їх значення повинні бути не менші, ніж розглядувані альтернативи, для третьої групи – значення можна зменшити на таку-то величину.

Одним з підходів до групування критеріїв є кластерний аналіз. Для його реалізації необхідно задати набір ознак, за якими будуть групуватись критерії. Після цього виконується кластеризація.

5.7 Загальні положення теорії оптимізації показників функціонування систем автомобільного транспорту

Відомо, що в основі будь-якого сформованого наукового напрямку лежить система чітко визначених понять, модельних уявлень про об'єкт дослідження, які виходять із загальновизнаних положень теорії пізнання:

- будь-який об'єкт досліджень безмежно вимірний, тобто він повністю може бути охарактеризований безліччю ознак, властивостей, показників і характеристик;

- відомості, також як і знання про досліджуваний об'єкт, як складовий елемент матеріального світу, на кожному певному етапі є відносними і незакінченими, які завжди мають ряд невідомих ознак, властивостей, показників і характеристик;

- пізнавальний процес на кожному етапі завжди є результатом формування у свідомості дослідників певних властивостей досліджуваного об'єкта;

- процес досліджень, маючи цілеспрямований характер, призначений для вирішення певної поставленої мети, а в даному випадку поліпшення енергетичних, екологічних та економічних показників транспортних засобів;

Вибір оптимального виду моторного палива є науково-технічною проблемою. Проблема – це ситуація, яка потребує розв’язання. В цьому випадку можливе застосування елементів теорії прийняття рішень. Для розв’язання цієї проблеми може бути запропонований наступний підхід, основними етапами якого є:

- формулювання проблеми;
- аналіз поточного стану речей;
- формулювання мети;
- аналіз можливих причин небажаної ситуації;
- визначення альтернативних рішень;
- аналіз альтернативних рішень;
- прийняття рішення.

Об’єктом вивчення у наших дослідженнях є система «паливо-двигун-транспортний засіб». У процесі вивчення об'єкта весь комплекс досліджень послідовно проходить наступні певні об'єктивні ступені:

- визначення мети;
- обгрунтований вибір об'єкта і уточнення, деталізація, формування завдання, що підлягає вирішенню;
- обгрунтований вибір вагомих властивостей і характеристик об'єкта вивчення, які необхідні для вирішення поставлених завдань і їх оцінка, перевірка;
- формування конкретної схеми об'єкта і практичних рекомендацій, що дозволяють вирішити поставлене завдання на даному етапі і прогнозувати перспективу;
- науково-практична реалізація пропозицій (рекомендацій), що забезпечують вирішення завдання і досягнення поставленої мети, в тому числі вдосконалення раніше отриманих результатів за певним напрямком.

Дані дослідження, також як і інші, проводяться на базі безлічі взаємозалежних моделей об'єктивної реальності за допомогою спеціальних пізнавальних конструкцій на рівні конкретних моделей об'єктів, явищ і процесів із застосуванням методик системного аналізу, вибору рішень, оптимізації, оцінки та прогнозування.

При розробці теорії вибору альтернативних моторних палив (АМП) для транспортних засобів пропонується структура наукового дослідження зі взаємозв’язком її елементів [10], яка показана на рис. 5.3.

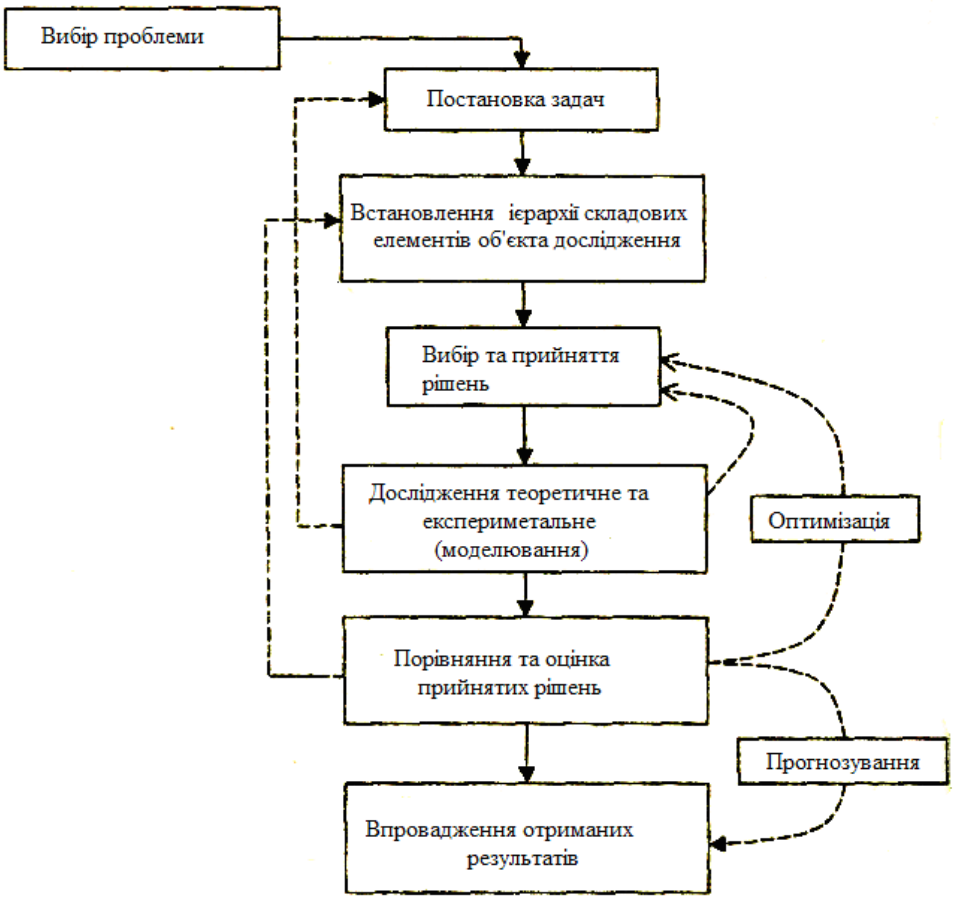


Рисунок 5.3 – Структура наукового дослідження і взаємозв'язок її складових елементів [9]

Якщо розглянути проблему застосування АМП як складну систему, то вона охоплює цілий ряд питань, починаючи із отримання палив, вивчення особливостей експлуатації транспортних засобів (ТЗ) на цих паливах у масштабі одного або кількох економічних районів, регіонів і держави.

У цьому випадку застосування системного аналізу як стратегії наукового пошуку більш ніж доцільно для визначення напряму прийняття необхідного рішення.

Таким чином, ситуація, яка виникла в галузі споживання рідких моторних палив нафтового походження створила проблему енергоекологічної напруженості, яку можна успішно вирішити шляхом розширення ресурсів моторних палив за рахунок застосування АМП.

Використання ж АМП в свою чергу дозволяє вирішити певні проблеми, пов'язані з поліпшенням енергоекологічних показників транспортних засобів, що працюють на цих видах палив. Тому метою цих досліджень є покращення енергоекологічних показників та економічної ефективності експлуатації транспортних засобів, що працюють на альтернативних видах палива.

У цьому зв'язку слід встановити ієрархію завдань даного дослідження:

- збір та обробка вихідної інформації (теоретичні та практичні рішення аналогічних завдань, результати аналізу інших досліджень в суміжних областях та ін.);

- розробка методики теоретичного дослідження і аналізу показників, визначення оціночних показників застосування АМП;
- розробка методики експериментальних досліджень застосування АМП та аналізу результатів;
- узагальнення отриманих результатів досліджень та встановлення оціночних критеріїв енергетичних, екологічних та економічних показників транспортних засобів, працюючих на АМП;
- розробка рекомендацій та пропозицій щодо покращення показників роботи транспортних засобів на АМП.

Слід взяти до уваги, що вивчення і вирішення даної проблеми не можна розглядати, обмежуючи коло поставлених питань. Хід вирішення проблеми буде супроводжуватися виникненням, розгалуженням і формулюванням додаткових питань, які так чи інакше будуть пов'язані з основним питанням.

З точки зору математики розглянуту проблему можна представити як множину з ієрархічною структурою (рис. 2.2) у вигляді графа, що нагадує за формою крону дерева [1].

Кожен рівень (етап) ієрархічної структури має свої оціночні показники з функціональними, технологічними, економічними, антропологічними, енергетичними та іншими критеріями, які складають одну систему «Паливо – Енергетична установка – Транспортний засіб – Підприємство-Економічний регіон – Держава – Міждержавний рівень» (П – ЕУ – ТЗ – П-во – ЕР – Д – МД).

Для кожного рівня (етапу) розробки (вирішення проблеми) є своя коротка характеристика змісту оціночних показників (ОП).

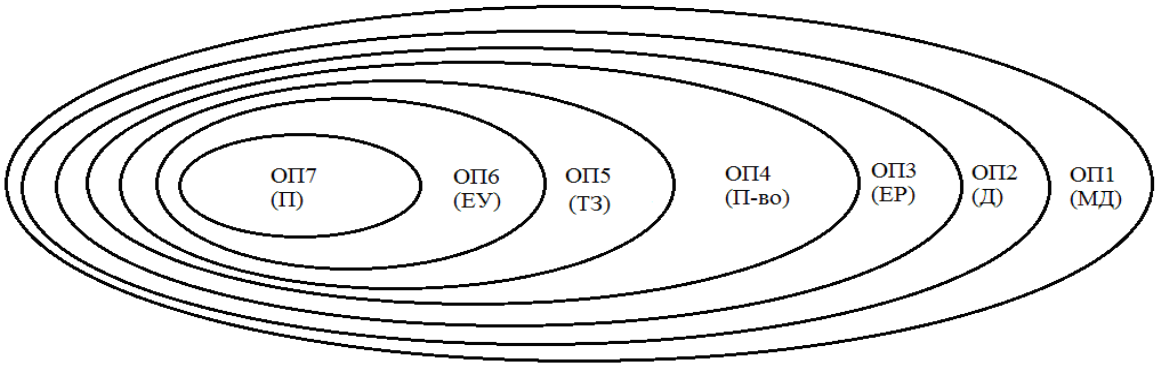


Рисунок 5.4 – Ієрархічна структура множини оціночних показників моторних палив

Оціночні показники в ОП7 включають необхідні вимоги до палива, тобто перелік кількісних показників виконуваної дії та об'єкта досліджень, кількісних показників особливих умовд90 і обмежень, при яких виконуються дії. До таких в першу чергу відносяться енергетичні, моторні, екологічні, експлуатаційні показники досліджуваних палив.

Відповідно, наступні оціночні показники є характерними для двигуна внутрішнього згоряння як енергетичної установки (ОП6), транспортного засобу (ОП5), підприємства (ОП4), інфраструктури певного економічного регіон (ОП3) та інфраструктури в масштабі держави і між державами (ОП2 і ОП1), які можуть складатися з додаткових оціночних показників для кожного рівня ієрархічної структури. Проблема вибору оптимального виду моторного палива належить до добре структурованих, тобто кількісно сформованих, в яких отримують числові оцінки. Тому для аналізу цієї проблеми можна застосувати методи дослідження операцій.

На основі аналізу раніше проведених робіт [11] визначена доцільність застосування методу порівняння та оцінки до проблеми поліпшення енергоекологічних показників енергетичних установок і економічної ефективності експлуатації ТЗ, що працюють на альтернативних паливах. Причому, за результатами порівняння проводиться оцінка, тобто порівняння пропонованого об'єкта (системи) з існуючим (базовим) об'єктом (системою).

Існує критерій парного порівняння, що дозволяє оцінити ефективність пропонованого об'єкта (ПО) по відношенню до х базових об'єктів (БО) за сукупністю оціночних показників:

$$\chi = // \chi_1, \chi_2, ..., \chi_n //, \mathrm{n} \le 5 \ldots 20. \qquad (5.1)$$

В результаті парного порівняння значень вимірювачів одиночних показників базового (БО) та пропонованого об’єкта (ПО):

при $\chi_{БО} < \chi_{ПО}$ (перевершує базовий);

$\chi_{БО} = \chi_{ПО}$ (відповідає базовому);

$\chi_{БО} > \chi_{ПО}$ (поступається базовому).

У цьому випадку передбачається, що всі значення розглянутих вимірників одиничних показників обмежені зверху і знизу:

$$[\overline{\chi}_i] < \chi_i < \chi_{oi}, \mathrm{i} = 1, \mathrm{n}, \qquad (5.2)$$

де $[\overline{\chi}_i]$ – вектор значень вимірників одиничних показників, приведених у нормативно-технічній документації.

Слід зазначити, що χ_{oi} (обмеження зверху) пов'язане з рівнем техніки і економічною доцільністю в даний час, а $[\overline{\chi}_i]$ (обмеження знизу) пов'язане з вимогами існуючих норм, правил та ін.

З огляду на те, що при вивченні даної проблеми порівняння варіантів здійснюється одночасно за великою кількістю оціночних показників, які також відрізняються за своєю фізичною природою, доцільно застосовувати складовий критерій у вигляді функції цінності $\Phi[\theta(Aj)]$.

Ця функція ставить у відповідність кожному значенню χ якесь дійсне число – параметр цінності $\theta(\chi)$. Причому χ переважає χ^1 лише тоді, коли $\theta(\chi) > \theta(\chi^1)$, а χ рівноцінно χ^1 тільки в тому випадку, якщо $\theta(\chi) = \theta(\chi^1)$.

Якщо функція адитивна, то для i = l ...., n (n> 3) вимірників параметр цінності можна представити у вигляді:

$$\theta(\chi_1, ...\chi_n) = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i \theta_i(\chi), \tag{5.3}$$

де θ_i – вимірювачі властивостей, виражені значеннями в безрозмірному вигляді;

γ_i – вагові коефіцієнти, що характеризують ціннісне співвідношення між вимірниками і задовольняють умові:

$$\sum_{i=1}^{n} \gamma_i = 1. \tag{5.4}$$

Значення коефіцієнтів вагомості окремих вимірників, наприклад, для ТЗ – паливна економічність, викиди шкідливих речовин, пускові властивості і т.д., встановлених розрахунковим, експериментальним або експертним шляхами, які для порівняння можна навести у вигляді таблиці.

Вагомість же вимірників для різних типів ТЗ (легкові, вантажні з різними двигунами і т.д.) можуть бути різною.

Залежно від прийнятого методу оцінки, наприклад, спрямованості вектора мети (паливна економічність, екологічність та ін.) тип j-го палива буде вважатися найкращим, якщо:

$$F_j = F\left[\theta\left(A_j\right)\right] = \left[\sum_{i=1}^{n} \theta\left(x_{lj}\right)\right]_{j \in J} \rightarrow \max \textit{балл}, \tag{5.5}$$

де *i* – вимірники;

j – вид палива;

n– кількість вимірників.

Метод оцінки відносної вагомості окремих показників повинен відображати сукупність енергоекологічних вимог, будучи окремим випадком інтегрального критерію [2] або враховувати ці вимоги в процесі експлуатації відповідно до прийнятої класифікації інтегральних критеріїв енергоекологічних та економічних показників техніки.

Завдання ідентифікації *F* і кількісних оцінок її значень розділяються на окремі розділи, підрозділи. Потім конкретно для кожної з них знаходяться окремі рішення, які обробляються й аналізуються.

Використовувати цей критерій можна, орієнтуючись на результати досліджень ТЗ і двигунів, а також на оцінки параметрів за період життєвого циклу в тому числі з використанням експертних оцінок. У цьому сенсі цей критерій є універсальним.

Обраний набір критеріїв повинен відповідати певним вимогам, таким як, вимірність, порівнянність, виключення, постійність, мінімальність й незалежність.

Крім цього кожний критерій повинен мати свій опис, що включає сутність, формулу або спосіб його визначення, одиницю вимірювання, діапазони і характер зміни, ступінь спільності, зміни відносної значущості, способи і засоби поліпшення.

Для даних досліджень набір критеріїв також повинен частково враховувати позитивні та негативні прояви додаткових взаємодій застосування АП в системі «П – ЕУ – ТЗ – П-во – ЕР – Д – МД». (рис. 2.3).

Вирішення поставлених завдань реалізується, послідовно починаючи з початкового (нижчого) рівня ієрархії. Перехід на наступний рівень відбувається в тому випадку, коли критерій розглянутого рівня задовольняє певним вимогам. Оцінки вимірників властивостей при різній їх вагомості зводяться до визначення значень коефіцієнтів вагомості і додаючи їх встановлюються ті чи інші властивості об'єкта досліджень на кожному рівні (етапі) вирішення проблеми.

На практиці найбільше поширення знайшов метод експертних оцінок відповідно до якого кожен експерт виконує упорядкування окремих цілей або вимірників відповідно до встановленої головної мети. Потім за важливістю вимірник одиничного показника отримує відповідний ранг і кожному з них присвоюється кількісна оцінка (бали, оцінки).

Систематичною процедурою для ієрархічного представлення компонентів проблеми є метод аналізу ієрархій (МАІ), який в даній роботі використовується для оцінки адаптованості системи до АМП [20]. В даному випадку, тобто для порівняння енергоекологічних показників об'єкта досліджень (паливо, ЕУ, ТЗ, і т.д.) всі оцінки грунтуються на результатах розрахункових та експериментальних досліджень.

Загальна система «П – ЕУ – ТЗ – П-во – ЕР – Д – МД» є надто складною. Тому в цій роботі вона зводиться до системи «паливо-двигун-транспортний засіб», яка і буде досліджуватись в подальшому.

6 ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО ВИДУ ПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

6.1 Функціональна схема експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб»

Методологічною основою оцінювання доцільності використання альтернативних моторних палив у транспортних засобах обрано системний підхід, який все ширше використовується при проведенні досліджень на стадії експлуатації транспортних засобів.

Системний підхід дозволяє звести комплексне завдання (або складну систему) високої розмірності до зв'язаних (з'єднаних) за певними правилами більш простих завдань (відповідно підсистем). При цьому в кожній з підсистем можуть досягатись не всі, а тільки деякі цілі (критерії), тоді загальний результат отримується на основі результатів вирішення часткових завдань.

Застосування системних принципів у дослідженні передбачає, в першу чергу, виділення системи із середовища як сукупності елементів, які утворюють цілісність і певним способом пов'язані між собою.

Основна увага в системних дослідженнях направлена на виявлення сукупності зв'язків і співвідношень, як всередині досліджуваного об'єкта, так і в його взаємодії із навколишнім середовищем. Складність і велика кількість елементів та зв'язків системи обумовлює її ієрархічну будову - упорядковану послідовність її різних компонентів і рівнів взаємозв'язку між ними.

Однак у попередніх дослідженнях не використовувався підхід до представлення досліджуваних систем в системних об'єктах та підсистемах, які охоплюють паливо, двигун та транспортний засіб. Саме це розширює можливості досліджень.

Завдання комплексної оптимізації показників ТЗ у разі використання палив різної якості є складною багатокритеріальною багато параметричною задачею. Прямими математичними методами розв'язати таке завдання неможливо. Одним з можливих способів практичної реалізації цієї задачі є застосування системно-технічного підходу.

В роботах автора [13] для оцінки впливу виду використовуваного палива на показники ТЗ запропоновано досліджувати систему „паливо-двигун-транспортний засіб", представлену в системних об'єктах, що значно розширює можливості досліджень.

Для дослідження процесу експлуатації технологічних транспортних засобів, працюючих на альтернативних паливах, запропоновано модель експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб», об'єднаних кінцевою метою – виконання транспортної роботи. Розроблена загальна схема експлуатаційної системи (рис. 6.1), згідно з якою систему «паливо-двигун-транспортний засіб» у загальному вигляді пропонується оцінювати показниками, показаними на рис. 6.1.

Підсистема «паливо» залежить від m нормованих параметрів, які можна вважати точкою $x_j \in X$ (X – множина параметрів палива) в m – мірному просторі параметрів підсистеми (j=1, …, m

Підсистема «двигун» залежить від n нормованих параметрів, які можна вважати точкою $y_i \in Y$ (Y – множина параметрів двигуна) в n – мірному просторі параметрів підсистеми (i = 1, … , n).

Підсистема «транспортний засіб» залежить від k нормованих параметрів, які можна вважати точкою $z_i \in Z$ (Z – множина параметрів транспортного засобу) в k – мірному просторі параметрів підсистеми (i = 1,…, k).

Функції існування *f(x), f(y), f(z)* можуть бути записані для кожної підсистеми, так як вони володіють певною автономністю.

Експлуатаційна система «паливо-двигун-транспортний засіб» в цілому залежить від $m \cdot n \cdot k$ параметрів. В її підсистемах, в $m \cdot n \cdot k$ – мірному просторі параметрів системи виділяють деяку множину допустимих параметрів $X \cup Y \cup Z$ (область визначення параметрів системи «паливо-двигун-транспортний засіб».

6.2 Морфологічний опис об’єктів системи

Розв’язання проблеми вибору моторних палив для ТЗ можна звести до аналізу варіантів вирішення за певним набором параметрів, тобто систематизації можливих варіантів системи. Це дозволяє зробити морфологічний метод дослідження. Його можна реалізувати складанням морфологічних карт, які містять, з однієї сторони, перелік необхідних параметрів, відображаючих передбачуваний і очікуваний результат, а з другої сторони, варіанти рішень, серед яких потрібно зробити вибір, щоб досягти результату. Зробити вибір і обгрунтування рішень дозволяє морфологічна карта. Поєднання методу класифікації і методу узагальнення дає метод морфологічного аналізу. Для кожного з функціональних елементів системи основні морфологічні ознаки, від яких залежить досягнення поставленої мети, показані в табл. 6.1.

Рисунок 6.1 – Схема експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб» [13]

Для підсистеми „паливо” відповідно до рис. 2.5 виділено 4 основних ознаки, від яких суттєво залежать економічні та екологічні, а також габаритні, масові показники ТЗ: 1 – вид палива; 2 – агрегатний стан; 3 – спосіб зберігання на ТЗ; 4 – спосіб подавання в двигун.

Найбільш важливими морфологічними ознаками підсистеми „двигун” у випадку поршневого ДВЗ є: 5 – спосіб сумішоутворення; 6 – спосіб запалювання робочої суміші; 7 – ступінь стискання; 8 – спосіб регулювання потужності.

Для кожної з 11 морфологічних ознак системи вибрано основні варіанти їх реалізації (від 2 до 8). Якщо умовно позначити варіант 1.1 через a_{11}, варіант 1.2 через a_{12} і т.д., тоді матрицю можна подати у вигляді морфологічної множини:

$$(a_{11}\ a_{12}\ a_{13}\ a_{14}\ a_{15}\ a_{16}\ a_{17}\ a_{18});\ (a_{21}\ a_{22}\ a_{23});\ (a_{31}\ a_{32}\ a_{33});$$

$$(a_{41}\ a_{42});\ (a_{51}\ a_{51});\ (a_{61}\ a_{62}\ a_{63});\ (a_{71}\ a_{72}\ a_{73});\ (a_{81}\ a_{82}\ a_{83});$$

$$(a_{91}\ a_{92});\ (a_{101}\ a_{102});\ (a_{111}\ a_{112}\ a_{113}).$$

Поєднання окремих варіантів морфологічних ознак створює конкретну схему системи з своїми показниками, яка може бути подана у вигляді морфологічної формули. Зокрема, морфологічна формула системи: колісний трактор з дизелем, працюючий на нафтовому дизельному паливі:

$$(a_{121}\ a_{21}\ a_{31}\ a_{42})+(a_{52}\ a_{62}\ a_{73}\ a_{82})+(a_{91}\ a_{102}\ a_{112})$$

Зміна поєднання ознак формує нову схему системи. Наступним етапом може бути визначення шкали значимості для кожного параметра, експертна оцінка в балах значимості кожного чинника в межах вибраної шкали та додавання експертних оцінок за всіма параметрами і за сумою балів визначення оптимального варіанту. Але в цій роботі вибір оптимального виду моторного палива здійснюється методом багатокритеріальної оптимізації.

6.3 Ранжування параметрів двигуна

Взаємодія двигуна з транспортними засобом відбувається як за параметрами двигуна (енергоспоживання), так і за зовнішніми показниками процесу функціонування ТЗ (формування тягово-швидкісних, паливо-економічних та екологічних характеристик). Схема взаємного впливу елементів системи показана на рис. 6.2. Оскільки вибір палива здійснюється за умови отримання максимальної потужності, найменших викидів ШР та найбільшого економічного ефекту в роботі сформовані відповідні цільові функції.

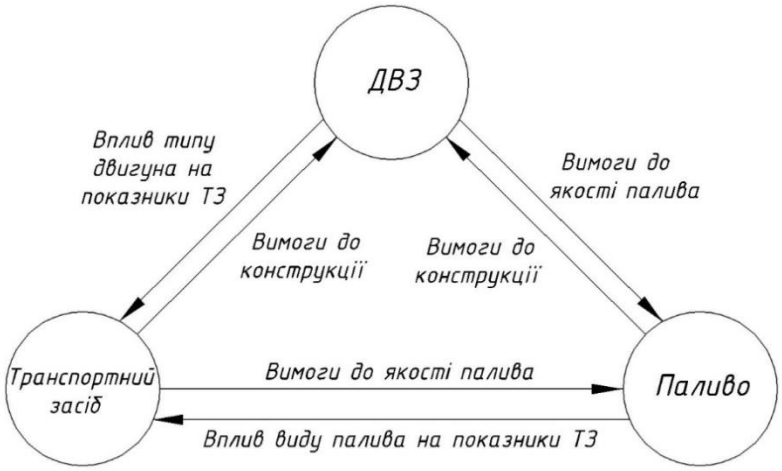


Рисунок 6.2 – Схема взаємного впливу елементів системи

Таблиця 6.1 – Морфологічна карта можливих варіантів системи «паливо-двигун-транспортний засіб»

Паливо				Двигун				Транспортний засіб		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вид палива	Агрегатний стан	Спосіб зберігання на ТЗ	Спосіб подачі в ДВЗ	Спосіб сумішоутворення	Спосіб займання суміші	Ступінь стискання	Спосіб регулювання потужності	Призначення	Характер використання	Прохідність
1.1. Бензин	2.1. Рідкий	3.1. За нормальних умов	4.1. Ежекційний	5.1. Зовнішній	6.1. Від іскри	7.1. Низький	8.1. Кількісне	9.1. Загальне	10.1 Одиночний	11.1. Дорожна
1.2. Спирт										
1.3. Дизельне паливо		3.2. При високому тиску			6.2. Від стиску	7.2. Середній	8.2. Якісне			11.2. Підвищена
1.4. Біодизельне			4.2. Під надлишковим тиском	5.2. Внутрішній				9.2. Спеціалізоване	10.2. У складі автопоїзда	
1.5. Природній газ	2.2. Газоподібний									
1.6. Пропан-бутан		3.3. При низькому тиску			6.3. Від запальної дози рідкого палива	7.3. Високий	8.3. Комбіноване			11.3. Висока
1.7. Бензин+спирт	2.3. Комбінований									
1.8. Природний газ + дизельне паливо										

Як видно із схеми, зображеної на рис. 6.2, системні об’єкти системи «паливо-двигун-транспортний засіб» характеризуються значною кількістю параметрів, врахувати їх усі при виконанні дослідження дуже складно. Тому ранжуванням визначені найбільш важливі з них для досліджень за даною темою. Як приклад в табл. 6.2 наводиться результати апріорного ранжування параметрів двигуна як підсистеми.

Цей метод ґрунтується на експертній оцінці чинників групою фахівців, компетентних в даній галузі. Отже, за результатами апріорного ранжування розглянуті параметри двигуна розташовуються за їх впливом наступним чином:

- 1 місце – потужність, крутний момент ($\Delta_{k1}= 11$);
- 2 місце – витрата палива ($\Delta_{k4}= 16$);
- 3 місце – надійність, моторесурс ($\Delta_{k2}= 26$);
- 4 місце - вартість ($\Delta_{k3}= 27$).

Таблиця 6.2 – Результати апріорного ранжування параметрів двигуна

Параметри та їх № k	Умовні номери експертів, m								Сума рангів	Відхилення суми рангів	$(\Delta_k')^2$	Займане місце	Вага фактора
	1	2	3	4	5	6	7	8					
	ранги оцінки a_{km}								Δ_k	Δ_k'		M_1	q_k
Потужність, крутний момент (k = 1)	2	1	2	1	1	1	2	1	11	-9	81	1	0.4
Надійність, моторесурс (k = 2)	3	4	4	2	3	2	4	4	26	6	36	3	0.2
Вартість (k = 3)	4	3	3	4	4	4	3	2	27	7	49	4	0.1
Витрата палива (k = 4)	1	2	1	3	2	3	1	3	16	-4	16	2	0.3

Разом:	$\sum_{1}^{k}\Delta_k = 80$	S = 82		1.0

За допомогою коефіцієнта конкордації оцінено ступінь узгодженості думок експертів. Якщо він більший за 0,5, то можна вважати, що між думками експертів є певна узгодженість. В даному випадку він дорівнює 0,57, тому можна вважати, що існує певна узгодженість думок експертів.

Аналогічним чином виконано ранжування параметрів транспортного засобу. На рис. 6.3 показана схема експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб» з параметрами підсистем, отриманими внаслідок ранжування та загальним критерієм *К*.

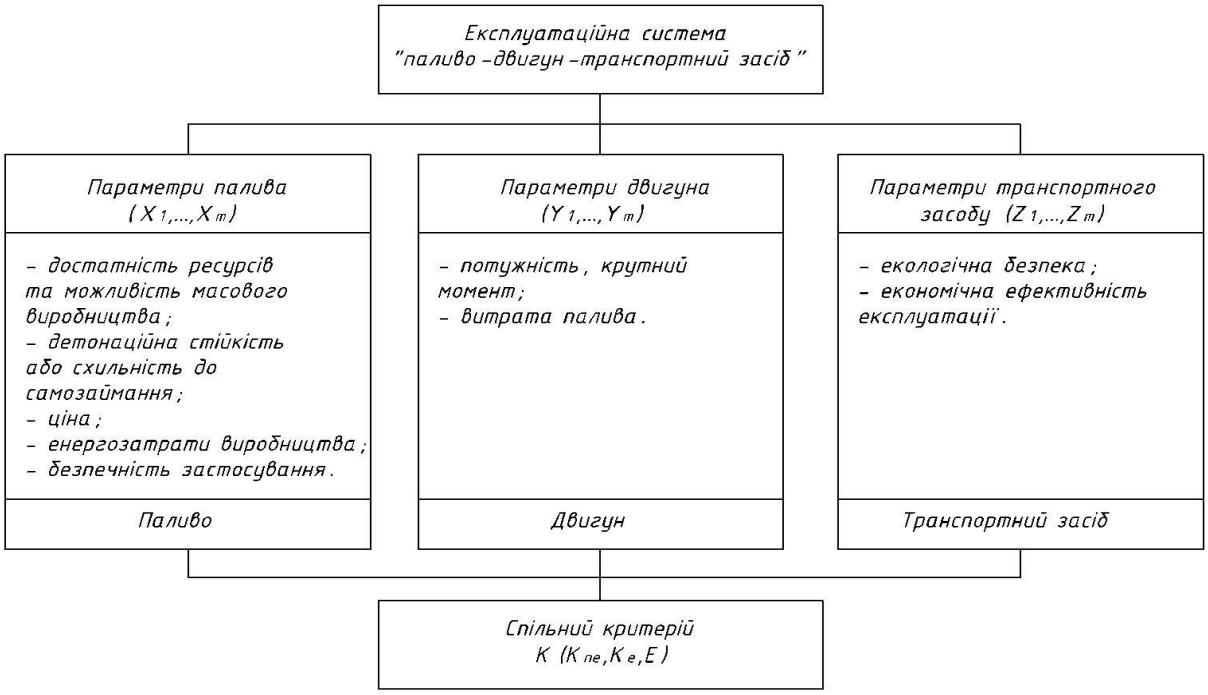


Рисунок 6.3 – Схема експлуатаційної системи з параметрами підсистем, отриманими в результаті ранжування

Застосування системних принципів дозволило дослідження процесу експлуатації ТЗ на АМП здійснити на моделі експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб» (рис. 6.3). На вхід системи подається певний вид палива, яке характеризується своїм елементарним складом, нижчою теплотою згоряння, ціною та іншими показниками. Виходом системи є загальний критерій вибору палива. В системі постійно відбуваються такі основні процеси: перетворення хімічної енергії палив у теплову енергію та в механічну роботу (робочий процес двигуна); передача обертального моменту від двигуна до коліс ТЗ (робочий процес трансмісії ТЗ); трансформація тягової сили на колесах в поступальний рух ТЗ (робочий процес ТЗ).

6.4 Метод оптимізації параметрів системи «паливо-двигун-транспортний засіб»

Завдання вибору палива для транспортного засобу зведене в загальному вигляді до задачі оптимізації параметрів експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб», тобто до відшукання таких значень $x_1,...,x_m,y_1,...,y_n$, $z_{1,...,}z_k$, при яких виконується умова F($x_1,...,x_m,y_1,...,y_n$, $z_{1,...,}z_k$)→ max де $x_j \in X$ (множина параметрів палива), $y_i \in Y$ (множина параметрів двигуна), $z_i \in Z$ (множина параметрів транспортного засобу) або до доведення, що таких значень на множині $X \cup Y \cup Z$ (область визначення параметрів системи «паливо-двигун-транспортний засіб») не існує.

Спеціалізація всієї системи за цільовою ознакою – призначенням, вносить елементи взаємодії і взаємовпливу між *x, y, z* тобто матимемо взаємозалежні параметри в просторі *m·n·k.*

Особливості вибору оптимальних параметрів системи наступні:

- немає можливості виразити цільову функцію через змінні в явному вигляді, оскільки параметри підсистем тісно взаємозв'язані між собою трансцендентними рівняннями відносно векторів *x, y, z*;
- висока розмірність завдання, оскільки пошук оптимального варіанта системи ведеться в *m·n·k* - мірному просторі параметрів;
- є як неперервні змінні (параметри), так і дискретні змінні, зокрема цілочислові;
- цільова функція не завжди має гладкість і унімодальність.

Ці особливості і аналіз методів пошуку оптимальних параметрів сприяють застосуванню такого методу оптимізації, як сканування, при якому здійснюється повний перебір для чисельних змінних і цілеспрямований для безперервних.

На першому етапі виконується оцінка експлуатаційних показників альтернативних палив. Щоб забезпечити нормальну роботу ТЗ паливо повинне мати певні експлуатаційні властивості. Якщо їх показники суттєво відрізняються від показників, які обумовлені стандартами, то від використання деяких палив потрібно відмовитись вже на цьому етапі.

Системний аналіз показав, що методика вибору альтернативних видів палива повинна грунтуватися на оцінці за різними критеріями. Схема показує значну різноманітність параметрів, властивостей та показників, які характеризують систему. Більшість з наведених параметрів вимагають подальшого структурного поділу аж до числових показників. Для вирішення цього завдання потрібно:

- подати оціночні характеристики об’єктів у вигляді числових показників;

Виразити оціночні показники в безрозмірній формі;

- прийняти умову, що зростання показника визначає підвищення ефективності, внаслідок чого ряд показників повинен бути взятий як зворотна величина;
- величини, які повторюються повинні враховуватись стільки раз, скільки вони зустрічаються;
- кількість оціночних характеристик для порівняння різних об’єктів повинна бути одинаковою.

Під час вибору раціонального виду моторного палива методом багатокритеріальної оптимізації потрібно правильно вибрати критерії оптимального палива. Важливо, щоб вибрані критерії включали всі існуючі аспекти; не були надлишковими, а тому непотрібними, що означає, що не один критерій не повинен повторювати те, що вже оцінено за іншим критерієм; були чітко визначені; були взаємонезалежними.

Для відображення системи критеріїв часто використовують дерево критеріїв. Воно будується на основі дерева цілей і складається з критеріїв, які відображають степінь досягнення кожної цілі. Основні цілі: економія нафтового палива, покращення екологічних показників, отримання економічного ефекту за умови збереження функціональних властивостей транспортного засобу. При переході на альтернативне паливо змінюється якість транспортного засобу, яка характеризується його функціональними можливостями та рядом експлуатаційних показників: екологічними, економічними та ергономічними (рис. 6.4). При цьому приймається, що при переході на альтернативне паливо, інші властивості ТЗ (надійність, маневреність, ремонтопридатність та ін.) не змінюються.

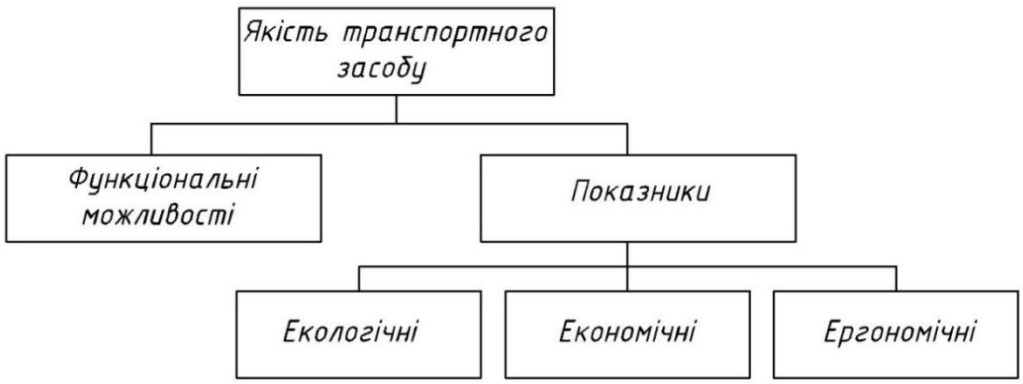


Рисунок 6.4 – Дерево критеріїв вибору раціонального виду моторного палива

Саме ці показники приймаються до уваги при виборі критеріїв. На функціональні властивості ТЗ перш за все впливає адаптованість техніки до АМП. Тому першим критерієм вибору палива приймається критерій адаптованості, другий – критерій екологічної безпеки ТЗ, третій – критерій економічної ефективності експлуатації ТЗ на АМП. Вибрані критерії

належать до однієї групи – критерії якості. Ергономічні властивості ТЗ при переході на АМП суттєво не змінюються.

Дослідники, які внесли значний вклад у виконані роботи за даним напрямком, також сходяться на думці, що найбільш важливими критеріями вибору палива для автотракторної техніки можна вважати критерій адаптованості системи до АМП, критерій екологічної безпеки ТЗ та критерій економічної ефективності експлуатації, які включає в себе загальний критерій *K* вибору палива. Інші показники експлуатаційних властивостей використовуються при призначенні обмежень. Зокрема, критерій тягово-швидкісних властивостей ТЗ визначається за енергетичними показниками двигуна, які враховуються при визначенні критерію адаптованості.

В процесі прийняття рішень доводиться знаходити компроміс між часто конфліктуючими цілями з врахуванням значної кількості критеріїв. На даний час розроблена велика кількість методів багатокритеріального аналізу і оптимізації. В задачах багатокритеріальної оптимізації випадки, коли досягається оптимальне рішення відразу за всіма локальними критеріями є рідкістю. Характерним для цих завдань є те, що альтернативи або допустимі розв'язки з кращими значеннями однієї групи призводять до погіршення критеріїв іншої групи. Для ефективного розв'язку любого з даних завдань необхідно побудувати багатокритеріальну математичну модель, яку потім потрібно оптимізувати, попередньо вибравши найбільш підходящий для цього метод.

За значеннями сумарної токсичності ВГ визначається безрозмірна величина – критерій екологічної безпеки $К_е$:

$$K_e = \frac{ЕБ_д}{ЕБ_{норм}},$$

де $ЕБ_д$ – дійсний показник екологічної безпеки ТЗ;

$ЕБ_{норм}$ – нормативний показник екологічної безпеки ТЗ.

Для порівняння токсичності ВГ газів ТЗ визначалися сумарні питомі викиди нормованих ШР з серійним та модернізованим двигуном, приведені до оксиду вуглецю *CO*

$$ЕБ = A \cdot m_{CO} + B \cdot m_{C_mH_n} + C \cdot m_{NO_x} + D \cdot m_{Тч},$$

де $m_{CO}, m_{C_mH_n}, m_{NO_x}, m_{Тч}$ – питомі викиди відповідно оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту і твердих частинок за їздовий цикл, г/км;

A, B, C, D – коефіцієнти агресивності відповідних компонентів.

Значення коефіцієнтів агресивності в сучасних дослідженнях [8] приймаються наступними: $A_{CO} = 1, B_{C_mH_n} = 3{,}16, C_{NO_x} = 41{,}1,\ D_{Тч} = 200.$

Токсичність ВГ ТЗ оцінюють за їздовими циклами, які характеризують режими руху в реальних умовах експлуатації. Але реалізація їздових циклів в умовах автотранспортних підприємств неможлива через відсутність

необхідного обладнання та приладів. Тому такі дослідження в експлуатаційних умовах виконуються розрахунковим методом.

Оцінка економічної ефективності експлуатації транспортних засобів, переобладнаних для роботи на альтернативних видах палива, включає аналіз додаткових капітальних вкладень і економії поточних витрат у порівнянні з базовою моделлю транспортного засобу [13].

Капітальні вкладення K в переобладнання ТЗ визначаються за формулою, грн:

$$K = C_0 + C_M + C_{TB},$$

де C_0 – вартість комплекту додаткового обладнання, грн;

$C_м$ – витрати на модернізацію та монтаж обладнання, грн;

$C_{ТВ}$ – транспортні витрати, грн.

Економія (зростання) поточних витрат пов'язана головним чином з економією (зростанням) витрат на паливо у собівартості перевезень, у зв'язку з нижчою (вищою) ціною альтернативних видів палива у порівнянні з нафтовим паливом. В той же час, вона має бути зменшена (збільшена) на розмір додаткових експлуатаційних витрат, пов'язаних з амортизацією, технічним обслуговуванням і поточним ремонтом додаткового обладнання.

Річна сума економії експлуатаційних витрат $E_{е.в}$ складається з економії на паливі, економії на платі за забруднення атмосферного повітря за вирахуванням додаткової суми експлуатаційних витрат, пов'язаних з амортизацією, технічним обслуговуванням і поточним ремонтом додаткового устаткування. Термін окупності капітальних вкладень на переобладнання ТЗ визначається за формулою:

$$T = \frac{K}{E_{е.в}}.$$

Найбільш ефективне рішення щодо вибору палива буде відповідати мінімуму річних приведених витрат B_p:

$$B_{p_i} = C_i - i \cdot K_i \to \min,$$

де C_i – собівартість перевезень з використанням i - го виду палива, грн;

i – постійна норма дисконту.

Економічна ефективність використання АМП оцінюється критерієм економічної ефективності:

$$K_{ек} = \frac{B_{pi}}{B_{p\max}}.$$

Таким чином вибрано три критерії вибору раціонального виду палива для транспортних засобів. Багатокритеріальну задачу зведено до однокритеріальної за методом згортання. Об`єднання окремих критеріїв в загальний критерій раціонального виду палива здійснюється наступним чином:

$$K = \varphi_1 K_a + \varphi_2 K_e + \varphi_3 K_{ек},$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коефіцієнти вагомості показників адаптованості системи до АМП, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації технологічних ТЗ на різних паливах ($\Sigma\varphi_i$=1).

Для оцінки вагомості окремих критеріїв були використані результати експертних оцінок. Найбільша значимість в критерію екологічної безпеки (0,4), дещо менші значення (0,3) мають критерій адаптованості та критерій економічної ефективності експлуатації. Для прийняття рішення щодо вибору раціонального виду палива сформована цільова функція:

$$F(K) \Rightarrow \max.$$

6.5 Оцінка адаптованості системи до альтернативних палив методом аналізу ієрархій

Для визначення критерію адаптованості системи до різних палив розроблена методика на основі методу аналізу ієрархій (МАІ) Т.Сааті [10]. За допомогою МАІ можна вирішувати завдання багатокритеріальної оптимізації з досить великою кількістю критеріїв оптимальності.

Метод аналізу ієрархій, як метод системного аналізу, дозволяє здійснити ієрархічне представлення складових елементів системи (рис. 3). Кожний рівень (етап) або підрівень (підетап) ієрархічної структури має свої оціночні показники (ОП) з енергетичними, екологічними, економічними, функціональними та ін. критеріями, які є складовими елементами системи. Так на рівні 2 розміщені показники оцінки палив та двигунів, а на рівні 3 – об’єкти досліджень.

В основі МАІ лежать принципи: декомпозиції (структурування проблеми в ієрархічну систему більш простих завдань); парних порівнянь (порівняння всіх можливих комбінацій за результатами визначених пріоритетів або вагових коефіцієнтів); ієрархічної композиції (визначення пріоритету кожної групи на кожному рівні ієрархії).

Для досліджуваної проблеми у відповідності з принципом ідентичності та декомпозиції ієрархічне представлення завдання можна ілюструвати поетапно.

Об'єкти досліджень оцінюються попарним порівнянням за допомогою розробленої математичної матричної моделі із застосуванням множини критеріїв, обраних залежно від вирішуваних завдань і мають різні рівні деталізації.

Адаптованість (технічна пристосованість) системи до АМП на першому етапі дослідження оцінюється енергетичними та паливо-економічними показниками при роботі на цих паливах. До енергетичних показників двигуна належить його ефективна потужність, а паливна економічність двигуна при роботі на рідких та газоподібних паливах оцінюється питомою витратою теплоти на одиницю ефективної потужності. Для розрахунку енергетичних та паливо-економічних показників двигуна за розробленою в роботі методикою отримано величини змін теплоти згоряння паливо-повітряних сумішей різних палив залежно від їх складу (рис. 6.4). Потім за залежностями, наведеними в другому розділі, визначені ефективна потужність двигуна на номінальному режимі та питома витрата теплоти на одиницю ефективної потужності (табл. 6.3).

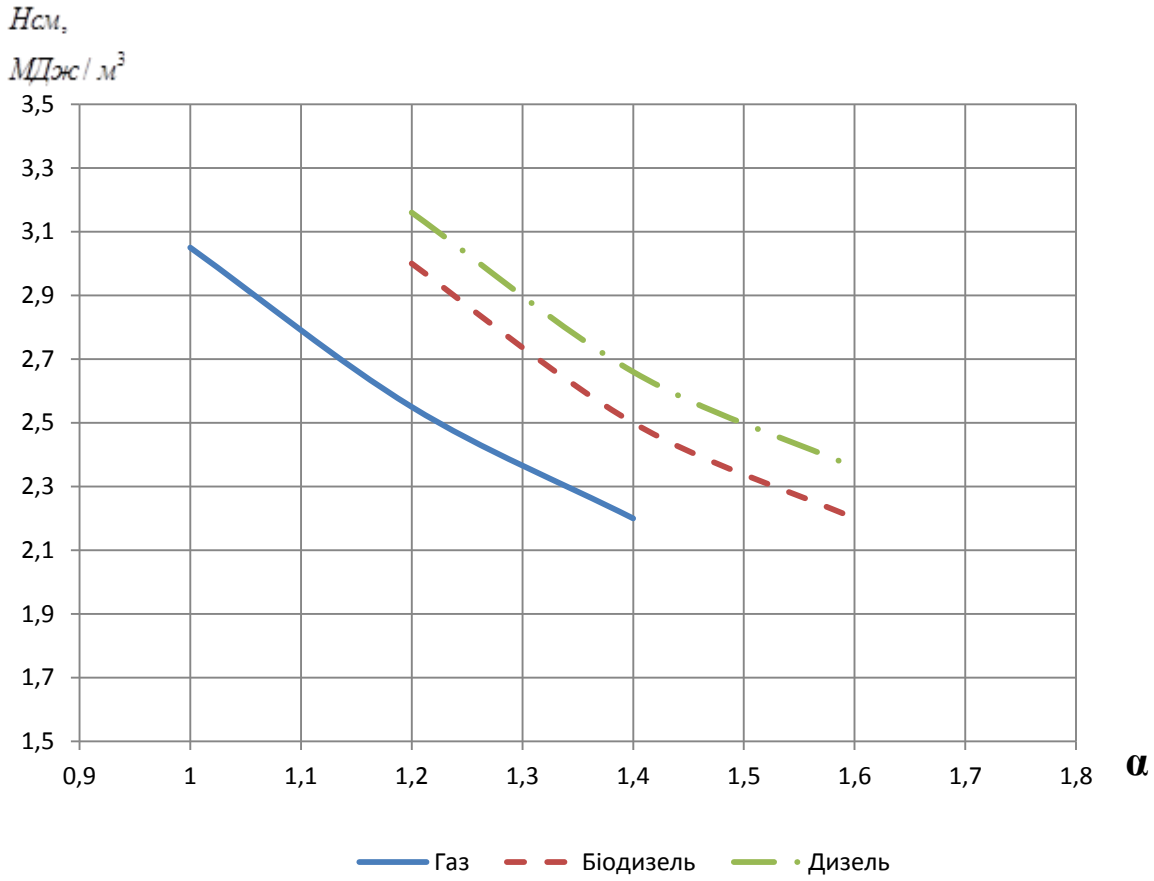


Рисунок 6.4 – Залежність теплоти згоряння паливоповітряних сумішей різних палив від складу суміші

Потужність та крутний момент дизеля при роботі на біодизельному паливі менші у порівнянні з роботою на нафтовому паливі, а витрата палива більша внаслідок меншої теплоти згоряння. Газовий двигун має більшу потужність, ніж дизель, але є менш економічним. Ці результати будуть використані в подальших дослідженнях адаптованості двигуна до АМП. Але порівнювати паливо-енергетичні показники двигуна зручніше було б за одним показником. Таким показником може бути механічний еквівалент одного мДж палива.

Паливно-енергетичне поле відображає міру потенційних можливостей двигуна і умови, за яких можлива максимально вигідна його реалізація завдяки взаємній погодженості характеристик двигуна та показників палива.

Кількісна оцінка транспортної роботи ТЗ має виконуватись на основі комплексних критеріїв та нормованих вимірників, відображаючих закономірні зв'язки основних факторів транспортної роботи з параметрами і вихідними характеристиками двигуна.

Найбільші значення критерію властиві трактору з дизелем, працюючому на нафтовому ДП, найгірші – трактору з газовим двигуном, що пояснюється більшою до 25 % питомою ефективною витратою палива при роботі двигуна за ЗШХ. Найбільша техніко-економічна ефективність при роботі на всіх видах палива досягається при швидкості трактора 22…23 км/год, що пояснюється роботою двигуна з крутним моментом, близьким до максимального.

Взаємозвя`зок критерію техніко-економічної ефективності K_{me} та механічного еквівалента одного МДж палива *ME* обумовлюють вимоги до паливно-енергетичного потенціалу двигуна і до взаємної узгодженості характеристик двигуна та ТЗ в цілому.

Значний інтерес представляє порівняння показників дизеля та переобладнаного з дизеля газового двигуна, які впливають на тягово-швидкісні характеристики транспортного засобу.

Для оцінки і порівняння газового двигуна і базового дизеля використовують наступні показники, які визначаються з їх зовнішніх швидкісних характеристик:

- стійкість режиму роботи і здатність долати зустрічний опір без переходу на нижчу передачу;

- прийомистість двигуна;

Продуктивність транспортного засобу тим вища, чим менше змінюється його швидкість при зміні зовнішніх умов. Щоб при роботі за зовнішньою характеристикою режим руху був стійким, при зміні опору швидкість ТЗ, а відповідно, і частота обертання двигуна повинні змінюватися якнайменше. Порівняння стійкості режиму роботи різних двигунів проводять накладенням відповідних зовнішніх характеристик крутного моменту.

За статистичними даними запас крутного моменту коливається в межах для двигунів з іскровим запалюванням 24 – 40 %, для дизелів 10 – 24 %. Він характеризує можливість двигуна долати зустрічний опір за рахунок збільшеного крутного моменту при зниженні швидкості без переключення передачі.

Під час руху транспортного засобу зустрічається короткочасний опір руху, який долається не тільки внаслідок збільшеного крутного моменту, але і завдякм кінетичній енергії двигуна при малій частоті обертання. Таким чином, з точки зору стійкості режиму роботи характеристика крутного моменту газового двигуна краща, ніж характеристика дизеля.

Прийомистість газового двигуна і дизеля можна порівняти також положенням їх швидкісних характеристик при однакових значеннях крутного моменту на номінальній частоті обертання.

Більш круті характеристики крутного моменту газового двигуна забезпечують йому більше перевищення крутного моменту над моментом опору, який витрачаються на розгін транспортного засобу, а отже і більш високі динамічні властивості транспортних засобів з газовими двигунами.

Прийомистість транспортного засобу в експлуатації визначається не тільки характеристиками, отриманими на сталих режимах але і типом застосовуваної на двигуні паливної апаратури, яка визначає характер перехідних процесів. При однаковому максимальному крутному моменті більш високу прийомистість має дизель.

Таким чином, в умовах роботи за зовнішньою характеристикою газовий двигун має більшу потужність, більш високу стійкість роботи і прийомистість, ніж дизель, але є менш економічним.

На другому етапі дослідження адаптованість системи до альтернативних моторних палив оцінюється паливо-енергетичними показниками. Визначення критерію адаптованості системи до різних палив виконано за методикою, розробленою на основі методу аналізу ієрархій (МАІ) [10] Т. Сааті. За допомогою МАІ можна вирішувати завдання багатокритеріальної оптимізації з досить великою кількістю критеріїв оптимальності.

МАІ, як метод системного аналізу, дозволяє здійснити ієрархічне представлення складових елементів системи. Кожний рівень (етап) або підрівень (підетап) ієрархічної структури має свої оціночні показники (ОП) з енергетичними, екологічними, економічними, функціональними та ін. критеріями, які є складовими елементами системи.

Для досліджуваної проблеми у відповідності з принципом ідентичності та декомпозиції ієрархічне представлення задачі можна ілюструвати поетапно.

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь експлуатаційних показників палив використовується шкала відносної важливості Т.Сааті.

Попередньо виконане класифікаційне технологічно-експлуатаційне порівняння показників альтернативних палив (табл. 6.3) на основі даних, отриманих автором роботи та іншими авторами.

Таблиця 6.3 – Класифікаційне технологічно-експлуатаційне порівняння показників альтернативних моторних палив

№ з/п	Альтернативне паливо	Покращувані експлуатаційні показники	Показники, обмежуючі застосування	Показники для додаткових досліджень
1.	Природний газ	Ресурсні, екологічні	Теплова напруженість деталей двигуна, зменшення вантажопідйомності транспортного засобу	Екологічні показники при застосуванні нейтралізаторів ВГ
2.	Біодизельне паливо	Вміст сірки, екологічні, ресурсні показники, схильність до самозаймання	Вартість, в`язкість, нижча теплота згоряння	Витрати на ТО і ремонт, тривалість зберігання

Аналіз наявних запасів та експлуатаційних властивостей різних видів палив, показав, що найбільш перспективними альтернативними паливами для нашої держави є біодизельні палива та природний газ.

Технічна пристосованість автомобіля до різних видів палива оцінювалась за зміною його експлуатаційних параметрів. Необхідні для оцінки дані були отримані нами в ході експериментальних досліджень, методика та результати яких детально описані в роботах автора [8, 12].

Так, перехід з нафтового дизельного палива на біодизельне паливо супроводжується зростанням питомої ефективної витрати палива, зменшенням ефективної потужності та крутного моменту. Перехід з дизельного палива на природний газ супроводжується зростанням ефективної витрати палива та деяким збільшенням потужності та крутного моменту. Таким чином, двигун Д-243 з позиції тягово-швидкісних властивостей автомобіля та паливної економічності пристосований до дизельного палива та мало пристосований до природного газу.

Оціночні показники традиційного та альтернативних моторних палив, які застосовуються в дизелях, наведені в таблиці 6.4.

Аналіз даних табл. 6.4 дозволяє зробити наступні висновки: нижча теплота згоряння палив впливає на теплоту згоряння паливо-повітряної суміші, а чим більшою є теплота згоряння суміші, тим більша потужність двигуна. Екологічні якості палив залежать від їх елементарного складу і

певною мірою оцінюються співвідношенням С/Н (водневим числом). Зокрема, в нафтового ДП С/Н =0,145, а в природного газу 0,316 (табл. 3.4), тобто є більшим, ніж в два рази. В той же час сумарна токсичність газового двигуна, приведена до оксиду вуглецю, за 13-и режимним випробувальним циклом є в 1,9 рази меншою у порівнянні з сумарною токсичністю базового дизеля. Тобто результати оцінки є близькими. Що стосується біодизельних палив, в яких значно більший вміст кисню (в межах 10%) у порівнянні з іншими паливами, то це призводить до більшої повноти згоряння палив і як наслідок до значного зменшення вмісту сажі у ВГ. Але внаслідок більшого вмісту кисню в біодизельному паливі вміст вуглецю та водню в елементарному складі палива є меншим, що призводить до зменшення його нижчої теплоти згоряння. Ціна палив впливає на економічну ефективність експлуатації автотракторної техніки.

Як видно з табл. 6.4, певна кількість показників оцінки моторних палив є якісними показниками, тобто не виражена числовими значеннями, тому для визначення адаптованості системи до АМП вибрано саме метод аналізу ієрархій.

Таблиця 6.4 – Оціночні показники моторних палив

Показник	Паливо		
	ДП	БДП	ПГ
Достатність ресурсів та можливість масового виробництва	-	+/-	-
Нижча теплота згоряння МДж/кг (МДж/м^3)	42,5	38,3	38
Детонаційна стійкість (октанове число) або схильність до самозаймання (цетанове число)	45	49	100-125
Ціна, грн./л (грн./м^3) за даними поч. 2015 р.	16,5	15,5	8
Екологічні якості (вплив на навколишнє середовище)	-	+	+/-
Енерговитрати виробництва	-	+	+
Безпечність застосування	+/-	+	+/-
Прим. «+» – наявність переваг у порівнянні із дизельним нафтовим паливом; «-» – відсутність переваг у порівнянні із дизельним нафтовим паливом; «+/-» – поєднання переваг та недоліків.			

Таблиця 6.5 – Парне порівняння оціночних показників моторних палив

Показники оцінки	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Вектор пріоритету (x_i)
A1	1	1/5	6	4	1/7	1/6	1/6	0.14
A2	5	1	1/3	6	1/2	1/4	1/5	0.14

A3	1/6	3	1	3	5	1/4	1/3	0.14
A4	1/4	1/6	1/3	1	1/6	1/3	1/4	0.11
A5	7	2	5	6	1	5	1/2	0.16
A6	6	4	4	3	1/5	1	1/5	0.15
A7	6	5	3	4	2	5	1	0.16
ΣC_i	25,42	15,37	19,66	27	9,01	12	2,65	$\sum_n \approx 1.0$

Оціночними критеріями другого рівня є показники палива та енергетичних та паливо-економічних властивостей двигуна, які наведені в таблиці 6.5:

А1 – достатність ресурсів та можливість масового виробництва;

А2 – енергетичні показники двигуна при роботі на даному паливі;

А3 – детонаційна стійкість або схильність до самозаймання;

А4 – енерговитрати виробництва;

А5 – екологічні якості палива (вплив на навколишнє середовище);

А 6 – паливна економічність двигуна;

А7 – безпечність застосування.

Парне порівняння оціночних показників третього рівня, якми є об’єкти досліджень, тобто різні види палив, виконане в табл. 6.6. Порівняння виконується за показниками другого рівня.

Таблиця 6.6 – Парне порівняння оціночних показників третього рівня

Достатність ресурсів та можливість масового виробництва палива (А1)	*1* *БДП*	*2* *ПГ*	*3* *ДП*	*Вектор пріоритетів*	
1	2	3	4	5	
1	1,00	0,33	0,50	0,26	λmax=5,02
2	3,00	1,00	4,00	0,43	*ІП*=1,01
3	2,00	0,25	1,00	0,31	*ВП*=2,34
Енергетичні показники двигуна при роботі на даному паливі (А2)	*1*	*2*	*3*	*Вектор пріоритетів*	
1	1,00	3,00	3,00	0,40	λmax=4,29
2	0,33	1,00	3,00	0,34	*ІП*=0,64
3	0,33	0,33	1,00	0,25	*ВП*=1,89
Детонаційна стійкість палив або схильність до самозаймання (А3)	*1*	*2*	*3*	*Вектор пріоритетів*	
1	1,00	0,33	0,20	0,24	λmax=4,03
2	3,00	1,00	0,50	0,34	*ІП*=0,51
3	5,00	2,00	1,00	0,42	*ВП*=1,22
Енерговитрати виробн. (А4)	*1*	*2*	*3*	*Вектор пріоритетів*	
1	1,00	1,00	0,20	0,27	λmax=4,00

2	1,00	1,00	0,20	0,27	*ІП*=4,00
3	5,00	5,00	1,00	0,46	*ВП*=1,96

Продовження табл. 6.6

Екологічні якості палива (А5)	*1*	*2*	*3*	*Вектор пріоритетів*	
1	1,00	0,50	0,17	0,25	λmax=4,20
2	2,00	1,00	0,50	0,32	*ІП*=0,60
3	6,00	2,00	1,00	0,43	*ВП*=1,20
Паливна економічність двигуна (А6)	*1*	*2*	*3*	*Вектор пріоритетів*	
1	1,00	0,50	0,33	0,27	λmax=4,06
2	2,00	1,00	0,50	0,33	*ІП*=0,53
3	3,00	2,00	1,00	0,38	*ВП*=1,06
Безпечність застосування (А7)	*1*	*2*	*3*	*Вектор пріоритетів*	
1	1,00	1,00	2,00	0,36	λmax=4,00
2	1,00	1,00	2,00	0,36	*ІП*=0,50
3	0,50	0,50	1,00	0,28	*ВП*=1,00

Для цього стовпчик векторів множиться на пріоритет відповідного критерію і результат додається по кожному рядку. Виходить узагальнений пріоритет певного виду порівнюваного палива (об'єкта досліджень). Ці дані доводять, що характер і кількість факторів (ознак) у цілому залежать від мети та завдань прийнятого рішення, тобто один і той же об'єкт може бути охарактеризований різними факторами або однакові фактори можуть мати різну значимість при різних ситуаціях. Після проведення парних порівнянь визначалась погодженість: індекс погодженості ІП та відновідношення погодженості ВП (табл. 6.6).

Критерій адаптованості для кожного з виду палива , який згідно з методом Сааті є глобальним пріоритетом, обчислюється як сума добутків локальних піоритетів на відповідний ваговий коефіцієнт. Результати розрахунків критерію адаптованості системи з двигуном Д-243 до різних палив наводиться в табл. 6.7.

Оскільки в якості технологічного транспорту використовуються також вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, за тією ж самою методикою визначено критерій адаптованості системи з бензиновим двигуном до бензину А-80, ЗНГ та ПГ у випадку їх використання в автомобілі ГАЗ-3307 (табл. 6.8).

Оціночні критерії є такими ж, як для дизельних палив. Найбільше значення має критерій адаптованості системи до бензину (0,367), дещо

менше значення у природного газу (0,339) і найменше значення у ЗНГ (0,294).

Таблиця 6.8 – Значення критерію адаптованості системи з бензиновим двигуном до різних палив при їх використанні в автомобілі ГАЗ-3307

Номери показників	А1	А2	А3	А4	А5	А6	А7	Критерій адаптованості
Вектори пріоритетів Σ(хі)	0,14	0,14	0,14	0,11	0,16	0,15	0,16	
ЗНГ	0,488	0,199	0,292	0,157	0,418	0,199	0,385	0,294
Природний газ	0,312	0,312	0,292	0,294	0,378	0,312	0,385	0,339
Бензин А-80	0,199	0,488	0,414	0,547	0,202	0,488	0,228	0,367
							Σ=	1,00

Оціночні показники ПГ та ЗНГ при їх використанні в бензинових двигунах вантажних автомобілів з двопаливними системами живлення добре вивчені, детально висвітлені у спеціальній літературі. Має місце зниження потужності двигуна на 5…7 % при роботі на ЗНГ і 18…20 % при роботі на СПГ при тій же самій витраті палива в тепловому еквіваленті та погіршення тягово-швидкісних властивостей. Тому таблиці парних порівнянь оціночних показників другого та третього рівнів в даній роботі не наводяться. Суттєвого покращення енергетичних показників двигуна при роботі на газі можна досягти підвищенням ступеня стиску.

6.6 Оцінка екологічної безпеки технологічних транспортних засобів під час роботи на альтернативних паливах

Зменшення викидів ШР з ВГ двигунів є дуже важливим для технологічного транспорту, якому певний період часу доводиться працювати в закритих приміщеннях. Аналіз кількісних характеристик відпрацьованих газів ТЗ дозволяє встановити їх склад, вміст окремих речовин та пріоритетність речовин за масою викиду. Але речовини, які входять до складу ВГ, чинять різний вплив на організм людини. Тому за кількісними характеристиками неможливо скласти уявлення при екологічну небезпеку ВГ.

Комплексним показником екологічної небезпеки ВГ є категорія екологічної небезпеки ТЗ (КНТ). КНТ включає кількості викидів всіх нормованих шкідливих речовин, які містяться у відпрацьованих газах, та характеристики їх токсичності, тому виражає абсолютну екологічність ВГ.

Важливою перевагою такого підходу до інтегральної оцінки токсичності ВГ є той факт, що КНТ дозволяє порівнювати між собою

небезпеку транспортного засобу та інших джерел, наприклад, стаціонарних джерел забруднення атмосфери.

При розрахунку категорії небезпеки на основі даних виконаних випробувань виникає необхідність в обчисленні кількостей викидів окремих речовин Мі при русі ТЗ за їздовим циклом..

Аналіз отриманих інтегральних характеристик ВГ дозволяє визначити кількісні вирази їх абсолютної екологічної небезпеки, визначити найбільш небезпечні речовини в них, оцінити вплив виду використовуваного палива на екологічну небезпеку ВГ. Але КНТ не дає уявлення про ступінь екологічної небезпеки ВГ і ступінь технічної досконалості ТЗ, працюючого на альтернативних паливах, з позиції екологічної небезпеки.

Екологічна пристосованість двигуна до роботи на альтернативних паливах оцінюється за показником ЕП, який дозволяє визначити рівень пристосованості двигуна до альтернативних палив за екологічними характеристиками ВГ. З використанням розрахованих значень КНТ, знаходяться числові значення показника ЕП, за якими робиться висновок про рівень екологічної пристосованості двигуна до даного альтернативного палива, тобто про те наскільки розглядувана сумісність виду палива і конструкції двигуна відрізняється від базового варіанта з позиції екологічної безпеки.

Але розглянуті показники не дозволяють робити висновок про відповідність ВГ даного транспортного засобу діючим нормам на викиди ШР.

Показник екологічної небезпеки транспортного засобу під час роботи на базовому паливі $К_{енб}$ дозволяє оцінити рівень екологічної небезпеки та технічної досконалості ТЗ з позиції екологічної безпеки. Даними для розрахунку значень Кенб є результати визначення КНТ. Якщо виконується умова Кенб<1, то транспортний засіб можна допускати до подальшої експлуатації, а якщо ж Кенб>1, то технічний стан такого засобу з позиції екологічної безпеки варто вважати незадовільним і виникає потреба в прийнятті певних заходів для виправлення такого стану.

За розробленою методикою виконана оцінка екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307, використовуваного в якості технологічного транспорту, при роботі на різних паливах (табл. 6.7). Питомі шляхові викиди ШР при русі автомобіля за їздовим циклом взяті з роботи [13].

Таблиця 6.7 – Викиди ШР (г/км і г/с) автомобілем ГАЗ-3307 при роботі двигуна на різних видах палив

Вид палива	Кількість викидів ШР автомобілем									
	NO_x		CO		CH		сажа		Всього	
	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с
Бензин	9,7	0,08	45	0,373	3,58	0,029	-	-	58,3	0,482
Природн. газ	8,4	0,07	15	0,124	3,69	0,031	-	-	27,1	0,225

ЗНГ		0,06		0,23		0,018	-	-		0,308

Результати оцінки рівня екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах зведені в таблицю 6.9.

Як видно з табл. 6.9, критерій екологічної безпеки природного газу має значно більше значення у порівнянні з неетилованим бензином А-80 та ЗНГ, що обумовлено його елементарним складом. На другому місці критерій екологічної безпеки ЗНГ.

Отримані дані добре узгоджуються з результатами, які отримали інші автори для різних видів автотракторної техніки, використовуючи інші методики. Але аналіз експериментальних даних свідчить, що навіть в нових автомобілів закордонного виробництва, викиди ШР яких відповідають самим суворим вимогам ЄЕК ООН щодо екології, вони перевищують допустимі санітарні норми. Це, очевидно, пояснюється тим, що ШР відпрацьованих газів автомобілів викидаються в атмосферу, а позитивною якістю атмосферного повітря є те, що в ньому забруднюючі речовини мають здатність розсіюватись до концентрацій, які не шкодять живим організмам. Разом з тим це говорить про те, що екологічні характеристики технологічних ТЗ, які експлуатуються в умовах обмежених об'ємів потребують суттєвого покращення з метою зменшення негативного впливу на здоров'я людей, прцюючих в цих приміщеннях.

Таблиця 6.9 – Оцінка екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах

Вид палива	Показник екологічної небезпеки Кен	Критерій екологічної безпеки Ке
Бензин А-80 (не етилований)	3,69	0,27
Природний газ	2,46	0,41
ЗНГ	3,23	0,31

6.7 Оцінка економічної ефективності експлуатації транспортних засобів на альтернативних видах палива

За методикою [13] виконана оцінка економічної ефективності експлуатації автомобіля ГАЗ-3307 як технологічного транспорту на різних паливах. Результати розрахунку показників економічної ефективності експлуатації автомобіля ГАЗ-3307 на альтернативних паливах зведені в табл. 6.10.

З табл. 6.10 видно, що економічна ефективність використання ЗНГ в автомобілі ГАЗ-3307 є вищою у порівнянні з ПГ. Це пояснюється меншою вартістю газової апаратури для ЗНГ. Техніко-експлуатаційні показники (вантажопідйомність, об`єм виконаної транспортної роботи) автомобіля,

працюючого на бензині та на ЗНГ знаходяться приблизно на одинаковому рівні При розрахунках не враховувалось зменшення вантажопідйомності автомобіля при роботі на ПГ за рахунок встановлення газових балонів. Тому коли при виконанні перевезень передбачається повне або близьке до повного використання вантажопідйомності автомобіля, то переобладнання його на ПГ може бути не зовсім виправданим. Було прийнято, що заправка автомобіля ПГ буде відбуватись на території підприємства. У випадку заправки на мережевій АГНКС в значній мірі зростає середньодобовий холостий пробіг.

Таблиця 6.10 – Економічна ефективність експлуатації автомобіля ГАЗ-3307 на альтернативних паливах

№ з/п	Показник	Одиниця вимірюв.	Базова модель	Альтернативне паливо	
				Природний газ	ЗНГ
1.	Критерій економічної ефективності використання АМП	-	-	0,45	0,55

6.8 Визначення загального критерію вибору раціонального виду палива

Результати розрахунків загального критерію вибору оптимального виду палива для використовуваного в якості технологічного транспорту автомобіля ГАЗ-3307 наведені в табл. 6.11.

В результаті досліджень встановлено, що найбільше значення загального критерію вибору оптимального виду палива має природний газ, найменше значення в бензину.

Таблиця 6.11 – Значення загального критерію вибору оптимального виду палива для автомобіля ГАЗ-3307

Паливо	Загальний критерій К вибору оптимального виду палива
Бензин А-80	0,218
Природний газ	0,399
ЗНГ	0,377

Зріджений нафтовий газ (ЗНГ) являє собою продукт переробки нафти або є супутнім компонентом видобутку СПГ. Ресурси ЗНГ обмежені, оскільки вони значною мірою пов'язані з видобутком нафти. У соціально-побутовому секторі країни ЗНГ використовує значна кількість жителів. Крім

того, ЗНГ являє собою цінну сировину для хімічної промисловості. Тому ЗНГ на автотранспорті слід використовувати тільки для власників індивідуальних автомобілів для поліпшення екологічної ситуації великих міст і промислових центрів.

Таким чином з використанням системного підходу методом багатокритеріальної оптимізації здійснено вибір раціонального виду палива для вантажного автомобіля ГАЗ-3307, використовуваного в якості технологічного транспоту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Milan Janić, Advanced Transport Systems. Analysis, Modeling, and Evaluation of Performances, Springer London, DOIhttps://doi.org/10.1007/978-1-4471-6287-
2. System analysis and decision-making in the activities of institutions of the real sector of economy, communications and transport / M. Aslanov et al. editor V. Kuznetsov. - M: Ekonomika Publisher, 2010. - 406 p.
3. Gkoumas K., van Balen M., Tsakalidis A., Pekar F. Evaluating the development of transport technologies in European research and innovation projects between 2007 and 2020 / Research in Transportation Economics, Volume 92, may 2020.
4. С. М. Мороз, А. Н. Ременцов. Методология исследований и развития технологий эксплуатации автомобильного транспорта: учеб. пособ. / С. М. Мороз, А. Н. Ременцов. – М.: Изд-во МАДУ, 2013.
5. Conway, J.B. *A Course in Functional Analysis*; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany, 2013.
6. Morosanu, G. *Functional Analysis for the Applied Sciences*; Springer Nature Switzerland AG: Basel, Switzerland, 2019.
7. Феофанов Ю.А. Функциональный анализ технических объектов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2005. - 37 с.
8. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: [Монографія] / В.П. Матейчик. – Київ: НТУ. – 2006. – 216 с.
9. Моделювання технічних систем. Конспект лекцій / Укл. В. М. Гіковатий, О.К. Пандорін. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 64 с.
10. Захарчук В.І. Методи оптимізації та компютерні технології. – Луцьк, ЛНТУ, 2017. – 144 с.
11. Базаров Б.И. Работа поршневых двигателей на альтернативных видах топлива / Б.И. Базаров. – Ташкент: ТАДИ, 2001. – 238 с.
12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иэрархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
13. Захарчук В.І. Використання альтернативних моторних палив у засобах технологічного транспорту. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015 – 233 с.
14. Бень Т. Методи визначення економічної ефективності інвестицій: порівняльний аналіз / Т. Бень // Економіка України. – 2006 – № 6. – С. 41–46.
15. Севостьянов І.В. Теорія технічних систем: підручник. – Вінниця: ВТНУ, 2014. – 181 с.
16. Мигаль В.Д. Теорія і методи наукової творчості: Навч. посіб. Х.: ВД «Інжек», 2007. – 424 с.
17. Мокін Б.І. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 180 с.
18. Шишкіна Є.К., Носирєв О.О. Метологія наукових досліджень: навч. посіб.: Х.: Вид-во «Діса плюс», 2014. – 200 с.