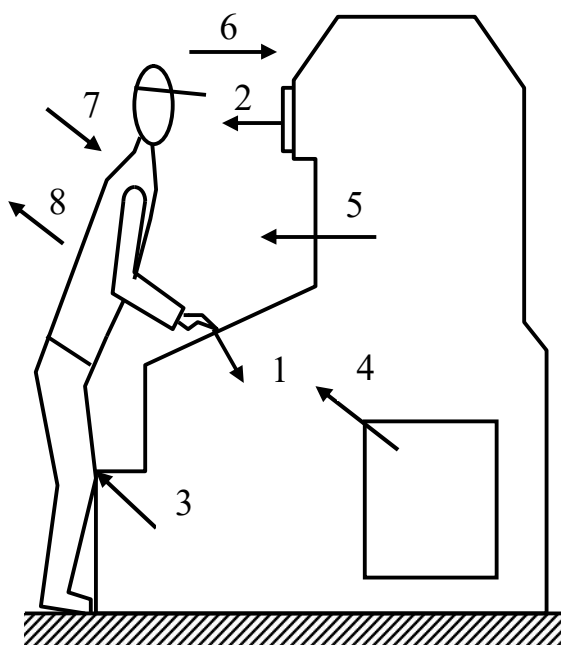


І.В. Севост'янов

ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Ч. II

Створення та удосконалення систем
машинобудування і транспорту



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

І. В. Севостьянов

ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник Ч П.

Створення та удосконалення систем
машинобудування і транспорту

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напряму підготовки 0902 – “Інженерна механіка” та спеціальності інженерії 7.090203 – “Металорізальні верстати та системи”, 7.090258- «Автомобілі та автомобільне господарство». Протокол №6 від 30 жовтня 2003 р.

Вінниця ВНТУ 2004

УДК 62 (075)

С 28

Р е ц е н з е н т и:

В.Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор

П.С. Берник, доктор технічних наук, професор

І.О.Сивак, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Севост'янов І.В.

С 28 **Теорія технічних систем.** Навчальний посібник. Ч. II. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 72 с.

У посібнику містяться матеріали щодо: історії виникнення та розвитку дисципліни теорія технічних систем, її мета, задачі і структура, розглядаються зв'язки з іншими дисциплінами, система понять, система перетворень, технічні процеси та об'єкти, їх класифікації та параметри, основи оцінювання та представлення технічних систем, етапи їх створення та використання, еволюція систем і спеціальні теорії

УДК 62 (075)

© І.В. Севост'янов, 2004

Зміст

Позначення.....	5
Вступ.....	6
1. Постановка та аналіз задачі інженерної творчості.....	7
1.1. Попередня постановка задачі інженерної творчості.....	7
1.1.1. Опис проблемної ситуації.....	7
1.1.2. Опис зовнішньої функції технічного об'єкта.....	8
1.1.3. Вибір прототипів і укладання списків вимог до них.....	8
1.1.4. Укладання списків недоліків прототипів.....	9
1.1.5. Попередня постановка задачі.....	10
1.2. Уточнена постановка задачі інженерної творчості.....	10
1.2.1. Аналіз функцій прототипів і побудова поліпшених функціональних структур.....	10
1.2.2. Аналіз функцій надсистеми технічного об'єкта.....	10
1.2.3. Визначення причин виникнення недоліків та можливостей їх усунення.....	11
1.2.4. Виявлення та аналіз протиріч удосконалення.....	11
1.2.5. Розробка ідеального технічного розв'язку та уточнення списків вимог до прототипів.....	12
1.2.6. Поліпшення інших параметрів технічного об'єкта.....	13
1.2.7. Уточнена постановка задачі.....	14
1.3. Приклад виконання індивідуального практичного завдання з постановки та аналізу задачі інженерної творчості.....	14
1.4. Варіанти індивідуальних практичних завдань з постановки та аналізу задачі інженерної творчості.....	28
2. Морфологічний аналіз та синтез технічних розв'язків.....	31
2.1. Морфологічна комбінаторика.....	31
2.2. Метод морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків.....	34
2.2.1. Постановка задачі.....	34
2.2.2. Вибір критерію досконалості варіантів технічних розв'язків.....	34
2.2.3. Побудова функціональних структур прототипів технічного об'єкта.....	34
2.2.4. Укладання морфологічних таблиць.....	35
2.2.4.1. Заготовка формуляру таблиці.....	35
2.2.4.2. Заповнення морфологічної таблиці.....	35
2.2.4.3. Виявлення ефективних комбінацій альтернативних варіантів, що належать одному стовпцю.....	35
2.2.5. Вибір найефективніших технічних розв'язків.....	36
2.2.5.1. Визначення числа можливих технічних розв'язків.....	36
2.2.5.2. Скорочення числа альтернативних варіантів в стовпцях і числа стовпців.....	36
2.2.5.3. Скорочення множини можливих варіантів технічних розв'язків шляхом усунення найгірших комбінацій	

альтернативних варіантів.....	37
2.2.5.4. Вибір найефективніших варіантів технічних розв'язків.....	38
2.2.5.5. Виконання попередніх ескізів технічних розв'язків та їх опис.....	39
2.3. Приклад виконання індивідуального практичного завдання з морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків.....	39
2.4. Варіанти індивідуальних практичних завдань з морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків.....	50
3. Автоматизований синтез технічних розв'язків.....	52
3.1. Багаторівневі морфологічні таблиці.....	52
3.2. Метод автоматизованого синтезу варіантів технічних розв'язків...52	
3.2.1. Побудова І-АБО-дерева технічних розв'язків.....	53
3.2.1.1. Розділення технічних об'єктів на елементи і визначення для них конструктивних ознак.....	53
3.2.1.2. Розробка ієрархічних дерев прототипів технічних об'єктів.....	53
3.2.1.3. Об'єднання І-дерев технічних об'єктів в загальне І-АБО-дерево.....	56
3.2.1.4. Розширення множини можливих технічних розв'язків.....	58
3.2.2. Укладання списку вимог.....	60
3.2.3. Розробка моделі оцінювання технічних розв'язків.....	61
3.2.4. Укладання алгоритму програми пошуку ефективних технічних розв'язків на І-АБО-дереві.....	64
3.3. Послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу ефективних технічних розв'язків.....	65
3.4. Варіанти індивідуальних практичних завдань з автоматизованого синтезу технічних розв'язків.....	66
Література.....	67
Додаток. Питання поточного та підсумкового контролю з лекційного курсу дисципліни „Теорія технічних систем”.....	69

Позначення

- а** - номер діапазону значень або варіантів параметра, що характеризує вимогу до технічного об'єкта;
- В** – загальний внутрішній вплив на технічну систему;
- Вм** – список вимог, що пред'являються до технічного об'єкта;
- е_{з.б}** – зовнішній елемент, що пов'язаний з конкретною технічною системою безпосередніми впливами;
- І** – вимога, що пред'являються до технічного об'єкта;
- ІТ** – інженерна творчість;
- ІТР** – ідеальний технічний розв'язок;
- КС** – конструктивна схема (конструктивні схеми);
- Л** – людина;
- Л_{з.б}** – людина, що пов'язана з конкретною технічною системою безпосередніми впливами;
- НС** – навколишнє середовище;
- НС_{з.б}** – елемент або фактор навколишнього середовища, що пов'язані з конкретною технічною системою безпосередніми впливами;
- О** – об'єкт впливу;
- Ор** – операція (операції) технічного процесу;
- п** – параметр системи;
- ПП** – процес перетворення (процеси перетворень);
- ПР** - промисловий робот;
- ПС** – принципова схема (принципові схеми);
- СП** – система (системи) перетворень;
- ТЗ** – технічне завдання на розробку;
- ТО** – технічний об'єкт (технічні об'єкти);
- ТП** – технічний процес (технічні процеси);
- ТпП** – технічний підпроцес (технічні підпроцеси);
- ТР** - технічний розв'язок (технічні розв'язки);
- ТС** – технічна система (технічні системи);
- ТС_{з.б}** – зовнішня система безпосереднього впливу;
- ТТС** – теорія технічних систем;
- У** – умови та обмеження, що накладаються на реалізацію впливу;
- ф** – внутрішня функція (внутрішні функції) системи;
- Ф** – зовнішня функція системи;
- ФС** – функціональна структура (функціональні структури).

Вступ

В останні десятиріччя разом з постійним нарощуванням темпів технічного прогресу, ускладнюванням техніки та розв'язуваних технічних проблем, накопиченням в ряді галузей значних обсягів наукової інформації, використання якої стає неодмінною умовою для досягнення пріоритету та забезпечення конкурентоспроможності продукції підприємств країни, у зв'язку із розширенням номенклатури нових високоякісних матеріалів та комплектуючих і одночасного скорочення часу морального старіння машин та пристроїв, а також термінів, що виділяються на створення нових технічних об'єктів, все більше значення отримують методи інженерної творчості, що дозволяють суттєво підвищити продуктивність розробки та одержувати в ряді випадків велику кількість ефективних варіантів технічних розв'язків. Важливість згаданих методів зростає ще й тому, що кількість науковців, інженерів, техніків, які зайняті створенням нової техніки останнім часом не збільшується, а в ряді галузей навіть скорочується; при цьому вимоги до якості проектів, як і раніше залишаються одними з основних. В певній мірі, подолати названі труднощі допомагає комп'ютерна техніка, що останнім часом інтенсивно розвивається і в результаті застосування якої ефективність методів інженерної творчості суттєво зросла. Це пояснюється розширенням можливостей для синтезу та аналізу великої кількості варіантів технічних розв'язків, врахування ряду додаткових параметрів при одночасному підвищенні продуктивності процесу розробки. Однак для реалізації автоматизованого проектування необхідні навички у володінні комп'ютером та програмними продуктами, а головне – знання комп'ютерних методів пошукового конструювання. У зв'язку із вищевикладеним, навчання майбутніх конструкторів і технологів основним методам інженерної творчості є важливою частиною процесу підготовки всебічно розвиненого фахівця.

В другій частині навчального посібника наведена методика попередньої та уточненої постановки задач інженерної творчості, яка дозволяє чітко і грамотно сформулювати та проаналізувати їх умови, а також знайти попередні варіанти розв'язків. Крім цього, розглядаються методи морфологічного аналізу та синтезу і автоматизованого синтезу технічних розв'язків, що відносяться відповідно до евристичної і комп'ютерної групи методів інженерної творчості. Після теоретичного засвоєння матеріалів кожного розділу і вивчення прикладів розв'язання задач студентам пропонуються варіанти індивідуальних завдань для практичного закріплення отриманих знань та навичок.

1. Постановка та аналіз задачі інженерної творчості

В розділі 1 першої частини даного навчального посібника [1] вже говорилось про специфіку задач інженерної творчості (ІТ), про їх складність та відміни від так званих чітко визначених інженерних задач. Вказувалось також і на відсутність універсальних методів та методик постановки і розв'язання задач ІТ, широту їх проблематики та багатоваріантність результату, у зв'язку з чим, навчальні приклади постановки і розв'язання практично не можуть допомогти при усуненні нескінченної множини інших проблемних ситуацій. Все це правильно, але, все ж таки, певні рекомендації, підходи щодо задач ІТ, загальна послідовність їх постановки, а також деякі основні методи розв'язання є безумовно корисними для майбутніх конструкторів, технологів та експлуатаційників технічних систем (ТС) різного призначення.

В даному розділі дається методика постановки найбільшої множини задач ІТ, пов'язаних із удосконаленням вже відомих ТС, - так званих, прототипів, - шляхом внесення в них необхідних змін. До інших множин входять задачі ІТ, в яких визначаються можливі додаткові функції конкретного технічного об'єкта (ТО), задачі зі створення принципово нових ТС, задачі математичного моделювання і т.д.

Задачі ІТ, розв'язуються, як правило, ітераційним шляхом (методом „проб та помилок”), який передбачає декілька поступових наближень до шуканого розв'язку на основі аналізу попередньо отриманих результатів.

Збільшений процес постановки задачі можна розділити на два етапи: попередньої (5 операцій) та уточненої (7 операцій) постановки. Після виконання кожної операції отриманий результат записується та аналізується.

Постановка задачі – це не легка робота. Однак при правильному її виконанні можна вже на першому етапі розв'язання знайти достатньо ефективний варіант ТО, що дозволить усунути проблемну ситуацію. Не дарма говориться, що правильна постановка задачі – це половина її розв'язку. Тому, не слід економити на неї час та кошти.

1.1. Попередня постановка задачі інженерної творчості

1.1.1. Опис проблемної ситуації

При виконанні даної операції у формі відповідей на типові запитання дається попереднє формулювання задачі (проблемної ситуації). Запитання такі:

- а) В чому полягає проблемна ситуація, яка її передісторія?
- б) Що треба зробити для усунення проблемної ситуації?
- в) Що заважає усуненню проблемної ситуації?
- г) Що дає розв'язання поставленої задачі людині, підприємству, економіці країни?

1.1.2. Опис зовнішньої функції технічного об'єкта

В розділі 2 першої частини посібника [1] дається визначення та формула зовнішньої функції **ТО**

$$\Phi = (\mathbf{B}; \mathbf{O}; \mathbf{Y}), \quad (1)$$

в якій **B** – загальний внутрішній вплив, який необхідно реалізувати для виконання заданої функції **Φ**; **O** – об'єкт, на який спрямований вплив **B**; **Y** – умови та обмеження, що накладаються на реалізацію впливу **B**.

Опис функції здійснюється згідно із формулою (1) спочатку у чисто словесній формі (якісний опис), а потім із доповненням чисельними значеннями параметрів, що характеризують **B**, **O**, **Y** (кількісний опис). Результати виконання операції 2 оформлюються у вигляді таблиці (див. табл. 1.1 навчального прикладу), в якій якісний опис функції подається у верхньому, а кількісний опис – у нижньому рядку. Кожен з описів являє собою одне суцільне речення, яке ділиться на чотири частини, що послідовно записуються в графах таблиці.

1.1.3. Вибір прототипів і укладання списків вимог до них

Прототипами **ТО** називають деталі, механізми, вузли, агрегати, пристрої, машини або підприємства, які виконують ту ж саму, що і він функцію, але мають принципові або конструктивні відміни.

Прототип, що розглядається в описі проблемної ситуації називається вихідним. Окрім нього необхідно обрати 1 – 2 додаткових прототипів, що мають у порівнянні із вихідним певні переваги. Для того, щоб розроблюваний **ТО** відповідав сучасним технічним вимогам протягом достатньо великого часу рекомендується додаткові прототипи шукати серед зразків, виконаних на найбільш передовому світовому технічному рівні.

При виборі додаткових прототипів використовують міжнародну класифікацію винаходів, словники технічних функцій, описи до патентів за останні 5 – 10 років (як по класу **ТО**, що удосконалюється, так і по функціонально близьких класах), каталоги виставок і т.д.

Далі для кожного з прототипів укладається список вимог. Для більшої чіткості в організації даної роботи, а також з метою виявлення всіх важливих вимог, укладання списків здійснюється в п'ять стадій, що відповідають стадіям розробки **ТО** (рис. 1.2): визначення зовнішньої функції **Φ**, створення функціональної структури (**ФС**), принципової схеми (**ПС**) та конструктивної схеми (**КС**), виконання та оформлення проекту. На кожній стадії укладається свій список вимог (**СВ1, СВ2, ..., СВ5**).

Кількісний опис функції **Φ** разом з об'єднаним списком вимог до всіх прототипів являють собою технічне завдання (**ТЗ**) на створення **ТО** нового покоління.

Інколи один з прототипів цілком або частково відповідає поставленим вимогам, а його реалізація і використання дозволяють зняти проблем-

ну ситуацію. В подібних випадках, при дефіциті часу або коштів можна припинити подальшу постановку та розв'язання задачі і прийняти знайдений зразок як остаточний варіант. Однак, все ж таки, при наявності можливості, рекомендується продовжити удосконалення прототипів, оскільки будь-який навіть найсучасніший і найефективніший **ТО** з часом морально старіє і потребує заміни, у зв'язку з чим максимальне поліпшення його характеристик дозволяє відсунути термін виникнення нової проблемної ситуації

1.1.4. Укладання списків недоліків прототипів

Важливість і необхідність виявлення недоліків прототипів для коректної постановки задачі **ІТ** доводиться за допомогою закону прогресивної конструктивної еволюції [2], який твердить, що: „В **ТО** певного призначення при незмінності зовнішньої функції перехід від покоління до покоління здійснюється в результаті усунення недоліків та поліпшення критеріїв досконалості прототипів при наявності достатнього науково-технічного та економічного рівня, а також соціально-економічної доцільності такого переходу.”

До критеріїв досконалості відносяться найважливіші параметри **ТО**, які протягом всього еволюційного процесу його розвитку постійно і монотонно змінюються в бажаному напрямку, а при досягненні граничного значення залишаються незмінними. Дані критерії сприймаються як ступінь досконалості **ТО**, тому під час проектування на їх покращення увага звертається у першу чергу. Прикладами критеріїв досконалості можуть служити мінімальні: металомісткість, вартість, експлуатаційні витрати; максимальні: продуктивність, точність, енергоємність, надійність, термін служби.

Таким чином, згідно із вищенаведеним законом, для створення **ТО** на рівні найвищих світових стандартів ефективності та якості, - **ТО** нового покоління, - необхідно виявити якомога більше недоліків прототипів та максимально повністю усунути. Для цього для кожного розглядуваного **ТО** слід вказати: критерії досконалості; фактори та параметри, які не відповідають сформульованій зовнішній функції; фактори та параметри, внаслідок невідповідності яких знижується його ефективність або ускладнюється експлуатація; параметри, що бажано поліпшити.

Для кожного критерію, параметра або фактора необхідно вказати чисельну величину, яка кількісно його характеризує.

Перелік критеріїв, параметрів та факторів з їх кількісними характеристиками будемо називати списком недоліків прототипу.

Під час розробки списку доцільно вивчити досвід удосконалення **ТО** даного призначення і виявити, які критерії та параметри намагалися поліпшити перш за все при створенні його нових поколінь.

Недоліки в списках упорядковуються за ступенем важливості їх усунення від основних до другорядних. Перші пункти в упорядкованому списку визначають мету розв'язання задачі.

1.1.5. Попередня постановка задачі

Коротко узагальнюються результати виконання операцій 1 – 4 (див. розд. 1.1.1 – 1.1.4). При цьому постановка задачі традиційно складається з двох частин: „дано” і „вимагається”.

Дано:

- а) Якісний та кількісний опис функції **ТО**.
- б) Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них.
- в) Списки недоліків прототипів.

Вимагається:

Необхідно так змінити прототип, щоб при умові виконання заданої функції і задоволення установлених вимог, він мав би якомога менше виявлених недоліків або не мав їх зовсім.

Після формулювання задачі на основі наявної інформації необхідно попередньо обрати найкращий з прототипів і обґрунтувати прийняте рішення.

1.2. Уточнена постановка задачі

1.2.1. Аналіз функцій прототипів і побудова поліпшених функціональних структур

Детальна методика побудови **ФС** дана в першій частині навчального посібника [1]. **ФС** розробляється для кожного з розглянутих прототипів, після чого здійснюється їх корегування (поліпшення). З цією метою даються відповіді на такі запитання:

а) Чи не доцільно в ту чи іншу **ФС** ввести нові функціональні елементи, які забезпечували б усунення одного або декількох недоліків відповідного прототипу? Які це елементи і які функції вони виконують?

б) Чи не потрібно усунути з розглядуваної **ФС** один або декілька елементів, що дозволило б зменшити кількість недоліків прототипу або підвищити його ефективність?

в) Які елементи **ФС** можна усунути шляхом передачі їх функцій іншим елементам?

г) Чи не доцільно замінити елемент, що виконує складну функцію двома або більшим числом елементів з простими функціями, на які розділиться складна?

Слід враховувати, що в ряді випадків покращити вихідну **ФС** того чи іншого прототипу не вдається, або навпаки – можливі її декілька поліпшених варіантів.

1.2.2. Аналіз функцій надсистеми технічного об'єкта

Будь-який розглядуваний **ТО** є елементом більш складного **ТО**, який є для нього надсистемою (наприклад вузол для деталі, машина для вузла, цех для машини і т.д.) [1].

Виконання даної операції здійснюється у такій послідовності:

а) Для розглядуваного **ТО** визначається надсистема найближчого ієрархічного рівня, а також установлюються інші її елементи.

б) Проводиться опис функцій елементів надсистеми, будується її **ФС**.

в) Перевіряються можливості скорочення числа елементів надсистеми для чого даються відповіді на запитання:

- чи не можна виконати функцію розглядуваного **ТО** шляхом внесення змін в інші елементи його надсистеми?

- чи не можна одному або декільком елементам надсистеми передати виконання функції розглядуваного **ТО**?

г) Згідно із методикою виконання операції 5 формулюється задача внесення змін у інші елементи надсистеми. Якщо в результаті модернізації функція розглядуваного **ТО** буде виконуватись більш ефективно надсистема проробляється за методикою операцій 1 – 5.

1.2.3. Визначення причин виникнення недоліків та можливостей їх усунення

При виконанні даної операції виявлені раніше недоліки (див. розд. 1.1.4) аналізуються більш детально. При цьому намагаються установити причини їх виникнення, а також можливості часткового або повного усунення. Результати виконання операції зводяться до таблиці (див. табл. 1.4).

1.2.4. Виявлення та аналіз протиріч удосконалення

Поліпшення багатьох **ТО** пов'язано з подоланням так званих протиріч удосконалення, що обумовлені наявністю зворотних залежностей між їх важливими параметрами (наприклад, збільшення вантажопідйомності моста вимагає більших витрат матеріалів на його спорудження, а з метою зниження перешкод від деформації антени доводиться ускладнювати її конструкцію і підвищувати металомісткість, що приводить до зростання вартості).

Можливі і інші випадки виникнення протиріч удосконалення, коли подальше поліпшення одного з параметрів з певних причин припиняється (як правило, внаслідок недостатньо високого світового науково-технічного рівня). Наприклад, збільшення числа лопатей гвинтів літаків на початку ХХ в. обмежувалось потужністю авіаційних двигунів, а зростання швидкості комп'ютерної техніки визначається швидкістю передачі сигналів в мікропроцесорі.

Аналіз протиріч удосконалення здійснюється у такій послідовності:

а) Зі списків недоліків прототипів, виявлених в операції 4 попередньої постановки задачі (див. розд. 1.1.4), вибираються недоліки, пов'язані з поліпшенням кількісних параметрів, і в першу чергу ті, що відносяться до критеріїв досконалості **ТО**.

б) При розгляді кожного з таких параметрів даються відповіді на запитання:

- який параметр **ТО** суттєво погіршується при поліпшенні розглядуваного?

- які фактори (константи, стандарти і т.д.) обмежують поліпшення даного параметра?

в) Наводиться якісна або кількісна залежність параметра, що погіршується від параметра, що поліпшується.

Більш детально виявлення та аналіз протиріч досконалості (технічні та фізичні протиріччя) розглядаються в роботах [3 - 6].

При виконанні п. в) доцільно використовувати комп'ютерну техніку і програми комп'ютерного моделювання **ТО**.

1.2.5. Розробка ідеального технічного розв'язку та уточнення списків вимог до прототипів

Виявлення і аналіз недоліків прототипів (див. розд. 1.1.4, 1.2.3, 1.2.4), визначення функцій прототипів та надсистем (див. розд. 1.2.1, 1.2.2) значно розширюють уявлення про задачу і вимоги до прототипів. Однак установити, що є найважливішим в розглядуваній проблемній ситуації, і який з прототипів є найбільш придатним для її усунення дозволить розробка ідеального технічного розв'язку (**ІТР**).

Під час пошуків **ІТР** важливо врахувати найважливіші недоліки прототипів і вимоги до них, і, тим самим, уникнути втрат часу та коштів на розробку тупикових напрямків пошуку (створення безперспективних **ТО**, які в принципі неможливо удосконалити). **ІТР** є нібито орієнтиром при виборі найефективнішого прототипу і розробки поліпшеного **ТО**. Так, наприклад, академік В.А. Котельников ввів в свій час поняття про „ідеальний приймач” і показав, що навіть в найкращому з приймачів перешкоди можуть бути знижені лише до певного рівня. Поява схеми ідеального приймача Котельникова направила пошуки винахідників у вужчому і перспективнішому напрямку.

Будемо вважати технічний розв'язок (**ТР**) ідеальним, якщо він має такі характеристики і параметри:

а) В **ІТР** розміри та чиста маса **ТО** наближаються до нуля.

б) В **ІТР** час обробки або транспортування об'єкта впливу наближається до нуля.

в) В **ІТР** **ККД** наближається до одиниці, а витрати енергії – до нуля.

г) В **ІТР** **ТО** функціонує нескінченно тривалий час без зупинок та ремонту.

д) **ТО** **ІТР** виконує всі основні та допоміжні операції в автоматичному режимі (без участі людини).

е) **ТО** **ІТР** практично не здійснює негативного впливу на людину та **НС**.

Нижче наведені приклади, в яких **ТО** наближається до **ІТР**.

Прототипи ТО
Глиняні посудини для зберігання та транспортування зерна та інших сипких матеріалів у давнину

Передача інформації через кінну естафету

Лампові ЕОМ зі швидкодією 10 – 20 тис. операцій за секунду

Телевізор 80-х рр. з розмірами 800×600×500 мм

ТО наближені до ІТР
Тканинні мішки

Передача інформації за допомогою радіо- та телевізійних хвиль

ЕОМ на базі мікропроцесорів зі швидкодією мільйони операцій за секунду

Сучасний телевізор з розмірами 800×600×50 мм

При розробці **ІТР** слід намагатись максимально наблизити розглядуваний **ТО** до досконалості, навіть якщо більшість якісних і кількісних характеристик першого з фізичних або економічних причин здаються недосяжними. Тільки в цьому випадку можна об'єктивно та всебічно оцінити розглядувані прототипи і обрати серед них найкращий.

Після створення **ІТР** проводиться уточнення вимог до порівнюваних **ТО**, під час якого найбільш важливі з них можуть бути посилені, а другорядні - послаблені. В ряді випадків це дозволяє суттєво підвищити ефективність **ТО**.

1.2.6. Поліпшення інших параметрів технічного об'єкта

При розробці нового покоління **ТО** намагаються не лише усунути виявлені недоліки прототипів, але й досягти значних переваг перед існуючими зразками аналогічного призначення за комплексом всіх суттєвих параметрів. У зв'язку із цим, необхідно ще раз розглянути обрані прототипи і відповісти на такі запитання:

- а) Які ще недоліки прототипів можуть бути усунені?
- б) Які параметри можуть бути поліпшені і наскільки?

При відповіді на запитання слід проаналізувати можливості більш ефективного виконання функцій, сформульованих у операціях 1 і 2 уточненої постановки задачі (див. розд. 1.2.1, 1.2.2), усунення недоліків, виявлених в операціях 3, 4 (див. розд. 1.2.3, 1.2.4), а також наближення до **ІТР** (див. розд. 1.2.5).

Під час проведення даної роботи необхідно також врахувати рекомендації, дані в операції 4 попередньої постановки задачі (див. розд.1.1.4). Крім того, корисно застосовувати існуючі, а також самостійно розроблені проблемно і об'єктно орієнтовані списки критеріїв досконалості **ТО**, списки параметрів та вимог.

1.2.7. Уточнена постановка задачі

За формою вона аналогічна попередній постановці задачі (див. розд.1.1.5). При цьому до вихідних даних відносяться:

- а) Якісний і кількісний опис функції **ТО** (див. розд. 1.1.2).
- б) Перелік і короткий опис прототипів, до яких відносяться також поліпшені **ФС** і **ІТР**; списки основних вимог до прототипів (див. розд.1.1.3, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.5).
- в) Списки головних недоліків прототипів із зазначенням неочевидних причин їх виникнення (див. розд. 1.1.4, 1.2.3).
- г) Списки додаткових недоліків і параметрів, які бажано поліпшити (див. розд. 1.2.6).
- д) Формулювання протиріч досконалості прототипів (див. розд.1.2.7).

1.3. Приклад виконання індивідуального практичного завдання з постановки та аналізу задачі інженерної творчості

Умова задачі

В механооброблювальному цеху машинобудівного підприємства для транспортування з 1-го на 2-й ярус контейнерів з алюмінієвими деталями використовується електричний підйомник (рис. 1.1), який містить вертикальну ферму 1 з напрямними, платформу 2, що переміщується по напрямних, а також шків 3, троси 4, барабани 5 та електродвигун 6 для приведення в рух платформи з контейнером 7. З переведенням цеху на випуск нової продукції виникла потреба забезпечити вертикальне транспортування з незмінною продуктивністю деталей аналогічних конфігурації та габаритів, але виготовлених зі сталі

Етап 1. Попередня постановка задачі

Операція 1.1. Опис проблемної ситуації

- а) В цеху експлуатується електричний підйомник розрахований на вертикальне транспортування із заданою продуктивністю деталей певної маси, форми та розмірів. Цех перевели на випуск нової продукції, у зв'язку з чим, виникла потреба у забезпеченні з незмінною продуктивністю підйом деталей того ж самого типорозміру, але з більшою одиничною масою.
- б) Необхідно збільшити вантажопідйомність існуючого **ТО** для механічного вертикального транспортування деталей в цеху.
- в) Недостатність потужності електродвигуна привода наявного підйомника, а також міцності його ферми, платформи і тросів.
- г) Розв'язання задачі дозволить виконати замовлення на виготовлення нової продукції, в результаті чого підприємство отримує прибуток

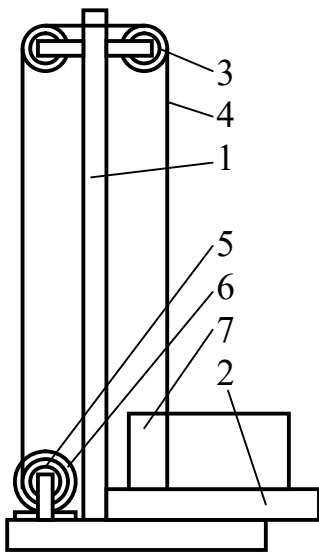


Рис.1.1. Схема підйомника: 1 – ферма; 2 - платформа; 3 – шків; 4 – троси; 5 - барабани; 6 - електродвигун; 7 - контейнер із заготовками

Ф	ФС	ПС	КС	Проект
СВ1	СВ2	СВ3	СВ4	СВ5

Рис. 1.2. Схема укладання списків вимог до прототипів ТО

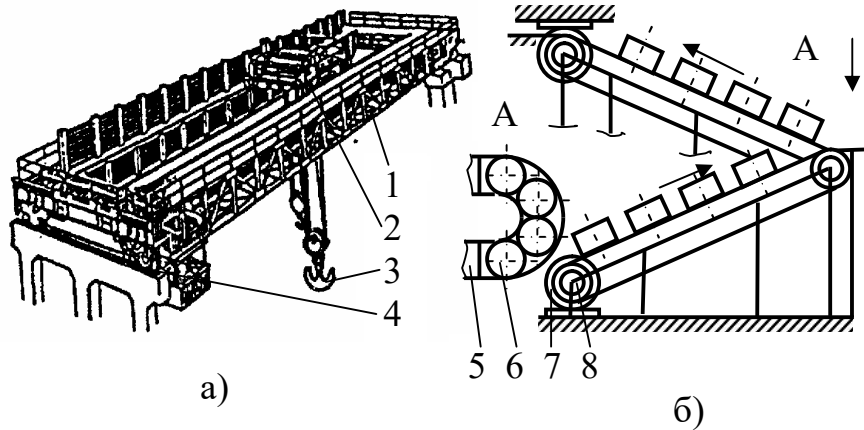


Рис. 1.3. Прототипи електropідйомника: а - мостовий кран; б – стрічковий конвеєр; 1- міст; 2 – візок; 3 – гак; 4 – колії; 5 – стрічки; 6 – заготовки; 7 - електродвигун; 8 – тяговий барабан

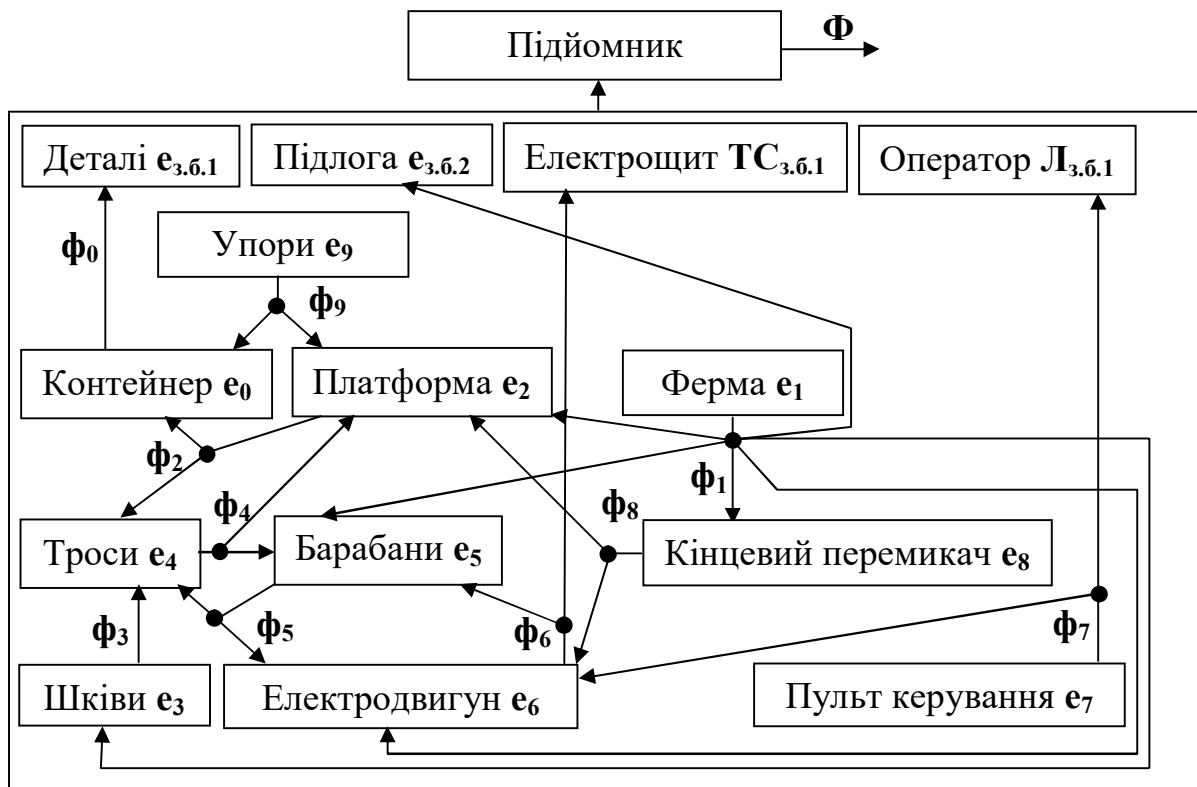


Рис. 1.4. Поліпшена **ФС** підйомника

Опис зовнішньої функції електропідйомника

Найменування ТО	Опис функції		
	Вплив – В	Об'єкт впливу – О	Умови та обмеження – У
Електропідйомник	Забезпечує вертикальне транспортування	Стальних деталей	На задану висоту із заданою швидкістю
	<< >>	<< >> загальною масою 200 кг	На висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с

Операція 1.3. Вибір прототипів і укладання списків вимог до них

Вихідним прототипом є удосконалений електропідйомник. В якості додаткових прототипів оберемо цеховий мостовий кран (рис. 1.3, а) та стрічковий двоступінчастий конвеєр (рис. 1.3, б). Перший складається з мосту 1 і візка 2 з гаком 3 на тросах, що переміщується по мосту. Сам міст рухається по коліях 4, змонтованих на повздовжніх перекриттях цеху. Двоступінчастий конвеєр містить гумотканинні стрічки 5, установлені під кутом до горизонталі, який усуває ковзання заготовок 6 під час транспортування. Даний кут, а також задана висота вертикального переміщення заготовок визначають необхідне число ступенів конвеєра (на схемі показані два ступені). Стрічки приводяться в рух тяговими барабанами 8, що обертаються електродвигунами 7. На поворотній ділянці (див. вид А) заготовки транспортуються під впливом задніх заготовок, що ще знаходяться на попередній похилій ділянці.

Функціональною вимогою (**СВ1**) до всіх трьох прототипів є виконання ними заданої зовнішньої функції (див. табл. 1.1): забезпечення вертикального переміщення сталевих деталей на задану висоту із заданою швидкістю.

СВ2 містить вимоги, пов'язані із виконанням елементами прототипів власних внутрішніх функцій. Наприклад, у електропідйомника функцією електродвигуна 6 є приведення в обертання барабана 5, який, в свою чергу забезпечує натяг та вибирання тросів 4, шків 3 забезпечують необхідний напрямок намотування тросів, а самі троси – вертикальне переміщення платформи 2, що служить опорою і приводним елементом для контейнера 7 із заготовками, ферма 1 призначена для фіксації інших елементів підйомника у певних положеннях і реалізації між ними необхідних зв'язків.

До **СВ3** мостового крана відносяться вимоги щодо реалізації поступальних пар для переміщення моста 1 відносно колій 4 і візка 2 відносно мосту, обертальних пар для намотування тросів (на схемі не позначені) приводним електродвигуном і барабаном, вимоги міцності на згин мосту, тросів, гака 3 з врахуванням номінальних та граничних навантажень, вимо-

ги забезпечення достатнього обертового моменту та частоти обертання на валу електродвигуна та на барабані, вимоги зносостійкості та довговічності елементів, реалізації заданих швидкості та висоти підйому.

Основними конструктивними вимогами (**СВ4**) до стрічкового конвеєра є: оптимальні габаритні розміри, форма та матеріал елементів, виходячи з умови дотримання вимог **СВ3** стосовно заданих міцності, зносостійкості, довговічності, номінальних зусиль та обертових моментів на головних (виконавчих) та передаточних елементах, швидкості та висоти підйому; вимоги щодо впливів між елементами – типу, кількості та параметрів зв'язків (наприклад, деталі основи конвеєра з'єднуються за допомогою болтів та гайок М16); вимоги, що стосуються точності обробки та шорсткості поверхонь елементів; вимоги, які визначають технологічний спосіб виготовлення деталей (наприклад, вал тягового барабана 8 виготовляється обробкою різанням на універсальному токарно-гвинторізному верстаті із пруткової заготовки з використанням прохідних та підрізних різців і нормативних режимів різання).

До **СВ5** зводиться решта вимог, пов'язаних із різними етапами створення та використання **ТО** [1], а саме: з підготовкою та організацією виробництва (наприклад, використання наявного технологічного обладнання, закупівля нових високоефективних верстатів, інструментів та технологій), виготовленням та випробовуванням (наприклад, реалізація автоматизованого завантаження-розвантаження заготовок елемента „тяговий барабан”, випробовування стрічки з максимальним навантаженням 200 кг), зберіганню та транспортуванням прототипу (наприклад, вимога консервації перед зберіганням, транспортування електродвигунів в умовах, що усувають потрапляння в них вологи), експлуатацією та ліквідацією, включаючи вимоги техніки безпеки, охорони праці та захисту навколишнього середовища (наприклад, робота підйомника з максимально допустимим навантаженням не більше 1 хв., перевірка радіального та осевого биття тягового барабана не рідше 1 разу на 2 місяці, заміна тросів мостового крана через кожні 6 місяців). В цьому ж списку наводяться вимоги, що характеризуються параметрами категорій класифікації, пов'язаної зі створенням та використанням **ТО** [1], в тому числі: ергономічні вимоги (наприклад, зручність розташування кнопок та рукояток на пульті керування конвеєром, дотримання вимог техніки безпеки під час експлуатації мостового крана та при виконанні підйомно-транспортних робіт); естетичні (фарбування рухомих елементів підйомника у червоний колір, решти – в зелений); економічні (мінімальні виробничі витрати, собівартість та ціна прототипу); вимоги постачання та планування (розмір партії, термін постачання); відповідності правовим нормам (патентування нових схем, що реалізовані в удосконаленому прототипі, придбання ліцензій на виготовлення стрічки нової конструкції).

Операція 1.4. Укладання списків недоліків прототипів

Список недоліків підйомника:

1. Необхідність проведення перевірних розрахунків, підсилення або заміни електродвигуна, ферми, тросів, шківів, барабана, платформи.
 2. Пов'язані із модернізацією існуючого підйомника витрати на матеріали, вузли та комплектуючі, реалізацію технологічних процесів обробки та складання.
 3. Пов'язане із установкою більш потужного електродвигуна підвищення енерговитрат, рівнів шуму та вібрацій, загальних витрат на експлуатацію та обслуговування, амортизаційних відрахувань.
 4. Необхідність завантаження транспортюваних деталей у контейнер і розвантаження контейнера.
 5. Можливість пошкодження деталей під час завантаження-розвантаження контейнера і його транспортування, утворення рисок та задирок на оброблених поверхнях.
 6. Відносно низький рівень механізації та автоматизації обладнання.
- Головними недоліками у списку є 1, 2 і 3, отже їх усунення і є метою розв'язання задачі з удосконалення підйомника.

Операція 1.5. Попередня постановка задачі

Дано:

- а) Якісний та кількісний опис функції **ТО** – див. операцію 1.2.
- б) Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них – див. операцію 1.3.
- в) Списки недоліків прототипів – див. операцію 1.4.

Вимагається:

Обрати найбільш ефективний з описаних прототипів і удосконалити його таким чином, щоб при умові виконання функції вертикального транспортування сталевих деталей загальною масою 200 кг на висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с і задоволення наведених вище вимог, капітальні та експлуатаційні витрати, а також негативний вплив **ТО** на людину-робітника та навколишнє середовище (**НС**) були б мінімальними.

Попередній аналіз та зіставлення підйомника, мостового крана та стрічкового конвеєра за повнотою виконання наведених вимог, кількістю та значимістю недоліків дозволяють зробити висновок, що найбільш раціональним з них є перший – вихідний прототип, оскільки при його модернізації та використанні загальні витрати коштів та енергоресурсів будуть меншими ніж для двох інших прототипів, при приблизно адекватному негативному впливі на людину та **НС**. Переваги підйомника стають ще більш відчутними у випадку відсутності на підприємстві додаткового за технічними характеристиками і не перевантаженого іншими роботами мостового крану або конвеєру, у зв'язку з тим, що в подібній ситуації один з додаткових прототипів необхідно закуповувати і крім цього провести його установку та підготувати обслуговуючий персонал.

Етап 2. Уточнена постановка задачі

Операція 2.1. Аналіз функцій прототипів і побудова полішених функціональних структур

Розділення вихідного прототипу – підйомника – на неподільні елементи і визначення їх найменувань було проведено в операції 1.1 (див. також рис. 1.1). Розглядуваний **ТО** пов'язаний зовнішніми безпосередніми впливами із: елементом „партія сталених деталей масою 200 кг” ($e_{3.61}$), які він підіймає на задану висоту, виконуючи зовнішню функцію; підлогою цеху ($e_{3.62}$), на якій він установлений; **ТС** „розподільний електроцист” ($ТС_{3.61}$) – забезпечує живлення електродвигуна підйомника; людиною – оператором ($Л_{3.61}$) – керує роботою підйомника, здійснює його завантаження і розвантаження. Впливи на підйомник інших факторів **НС**, людей та **ТС** для нашої задачі несуттєвими і ними можна знехтувати.

Головним елементом розглядуваного **ТО** є контейнер 7 (e_0), функція (Φ_0) якого аналогічна зовнішній функції підйомника – „вертикальне транспортування сталених деталей загальною масою 200 кг на висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с”. Позначення і функції решти елементів **ТО** наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Аналіз функцій **ТО** „підйомник”. Зовнішня функція **ТО** (Φ) вертикальне транспортування сталених деталей загальною масою 200 кг на висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с

Елемент		Функція	
Позначення	Найменування	Позначення	Опис
ня	2	ня	4
e_0	Контейнер	Φ_0	Вертикальне транспортування сталених деталей ($e_{3.61}$) загальною масою 200 кг на висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с
E_1	Ферма	Φ_1	Забезпечення необхідного взаємного розташування платформи (e_2), шківів (e_3), барабанів (e_5), електродвигуна (e_6), кінцевого перемикача (e_8) - відносно один одного та підлоги цеху ($e_{3.62}$)
E_2	Платформа	Φ_2	Передача зусилля підйому від тросів (e_4) до контейнера (e_0)
E_3	Шків	Φ_3	Забезпечення необхідного напрямку натягування тросів (e_4), зменшення зусилля тертя їх проковзування
E_4	Трос	Φ_4	Перетворення обертового моменту на барабані (e_5) у зусилля підйому платформи (e_2)

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
E_5	Барабани	Φ_5	Перетворення обертального моменту на валу електродвигуна (e_6) у силу натягування тросів (e_4), намотування тросів
e_6	Електро-двигун	Φ_6	Перетворення електроенергії, що надходить від розподільного електрощита (ТС _{3.61}) у механічну енергію обертання барабанів (e_5)
e_7	Пульт керування	Φ_7	Передача команд від оператора (Л _{3.61}) до електродвигуна (e_6)
e_8	Кінцевий перемикач	Φ_8	Подача команди на зупинку електродвигуна (e_6) у момент досягнення платформою (e_2) граничного верхнього положення
e_9	Упори	Φ_9	Фіксація контейнера (e_0) на платформі (e_2) під час його підйому

а) Вихідний прототип можна удосконалити шляхом установки додаткових елементів: кінцевого (шляхового) перемикача (e_8), що забезпечує розмикання електричного ланцюга живлення електродвигуна 6 в момент досягнення платформою 2 верхнього граничного положення, в якому вона повинна зупинитись, а також упорів (e_9) для фіксації контейнера 7 на платформі 2 під час підйому. Потреба у фіксації контейнера, обумовлена конструктивною модернізацією платформи, яка виконана з похилою верхньою поверхнею для забезпечення легкого завантаження і розвантаження контейнера одним робітником. З цією метою контейнер додатково оснащений колесами, які дозволяють закріплювати його заповненого партією деталей на платформу, після чого упори переводяться у позицію фіксації. Далі на позиції розвантаження інший робітник переводить упори у позицію зняття фіксації і контейнер без сторонньої допомоги скочується на підлогу 2-го ярусу.

Додаткові елементи і їх функції також отримують позначення і вносяться в табл. 1.2.

На рис. 1.4 наведений один з варіантів поліпшеної ФС підйомника, яких може бути нескінченна множина. Поліпшені ФС будуються також для мостового крана та стрічкового конвеєра

Операція 2.2. Аналіз функцій надсистеми технічного об'єкта

а - б) Для підйомника, що удосконалюється надсистемою найближчого ієрархічного рівня є механооброблювальний цех. До елементів цеху, з якими безпосередньо зв'язаний підйомник можуть відноситись: промисловий робот (ПР), який знімає оброблені деталі з металорізального верстата 1-го ярусу і складає їх у контейнер, що буде транспортуватись підйомником; перекидний пристрій – автоматизований або з ручним керуванням, за допомогою якого на 2-му ярусі цеху деталі з контейнера зсипаються у чашу вібробункера.

в) Розглядуваний підйомник може бути вилученим з описаної вище надсистеми, якщо **ПР**, який завантажує деталі в контейнер має достатнє число ступенів вільності і виліт руки або достатній вертикальний хід руки, що дозволяє йому після завершення технологічного процесу обробки на верстаті 1-го ярусу піднімати деталі на 2-й ярус і скидати їх в чашу бункера. В цьому випадку **ПР** передається функція не тільки підйомника, але і перекидного пристрою, який також стає непотрібним.

г) Якщо наявний **ПР** не має описаних вище можливостей може бути проведена його необхідна модернізація або придбаний новий **ПР**, який відповідає зміненим потребам. В подібній ситуації попередня постановка задачі формулюється таким чином:

Дано:

а) Якісний та кількісний опис функції **ПР** – табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Опис зовнішньої функції **ПР**

Найменування ТО	Опис функції		
	Вплив – В	Об'єкт впливу – О	Умови та обмеження – У
Промисловий робот	Забезпечує вертикальне транспортування	Стальних деталей	На задану висоту із заданою швидкістю
	<< >>	<< >> загальною масою 200 кг	На висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с

б) Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них.

Основними прототипами **ТО** для виконання описаної вище функції є: вихідний прототип - **ПР**, що працює в циліндричній системі координат, створений на основі наявного **ТО** (рис. 1.5, а) і має захват 1, руку 2, а також поворотний вертикальний стояк 3, довжина якого збільшена для забезпечення можливості підйому заготовок з 1-го на 2-й ярус цеху (стрілками показані напрямки можливих переміщень рухомих елементів **ПР**); **ПР**, що працює в сферичній системі координат (рис. 1.5, б) і містить захват 1, руку 2, стояк 3, а також додаткову гойдальну ланку 4 (довжина елементів 2, 3, 4 повинна відповідати заданій висоті підйому деталей); **ПР** типу Spine, що працює в сферичній системі координат (рис. 1.5, в), гнучкий елемент 5 якого складається з великої кількості сочевицеподібних сталевих елементів 6, з'єднаних тросами 7 (див. виносний елемент І), завдяки чому при натягуванні тросів з різними зусиллями, що здійснюється чотирма гідроциліндрами, захват **ПР** повертається і переміщується в задану точку простору.

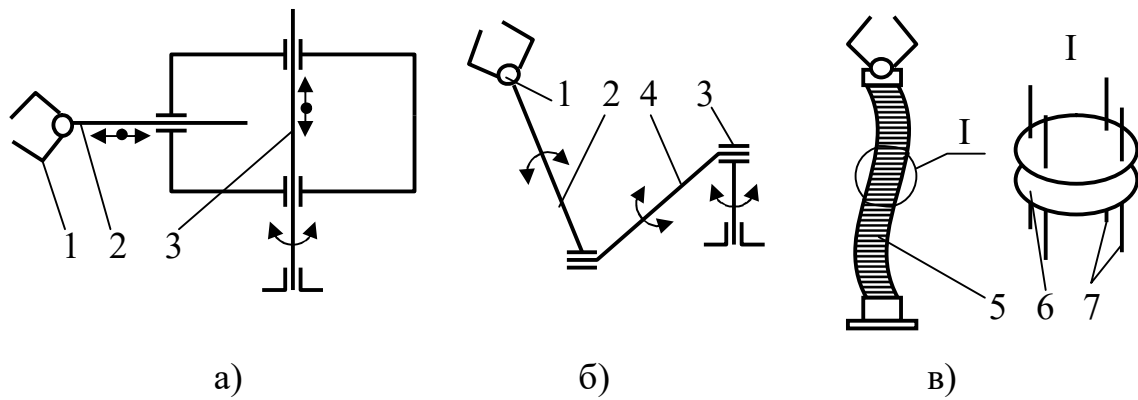


Рис. 1.5. Прототипи ПР, що працюють: а – в циліндричній системі координат; б – в сферичній системі; в – в сферичній системі (ПР типу Spine)

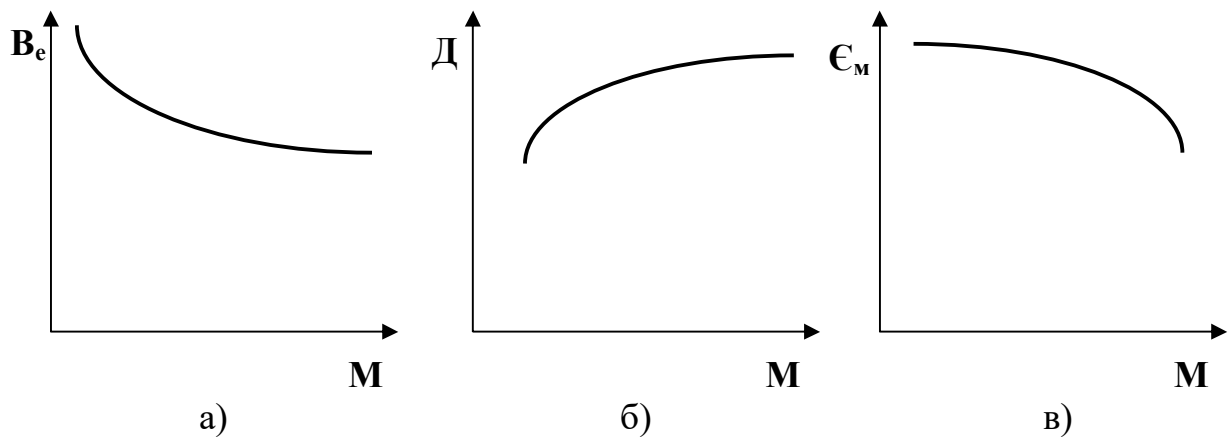


Рис. 1.6. Залежності критеріїв досконалості підйомника від витрат не матеріали (М) для виготовлення його елементів: а - експлуатаційних витрат (V_e); б - довговічності (Д); в - матеріалоемності (ϵ_m)

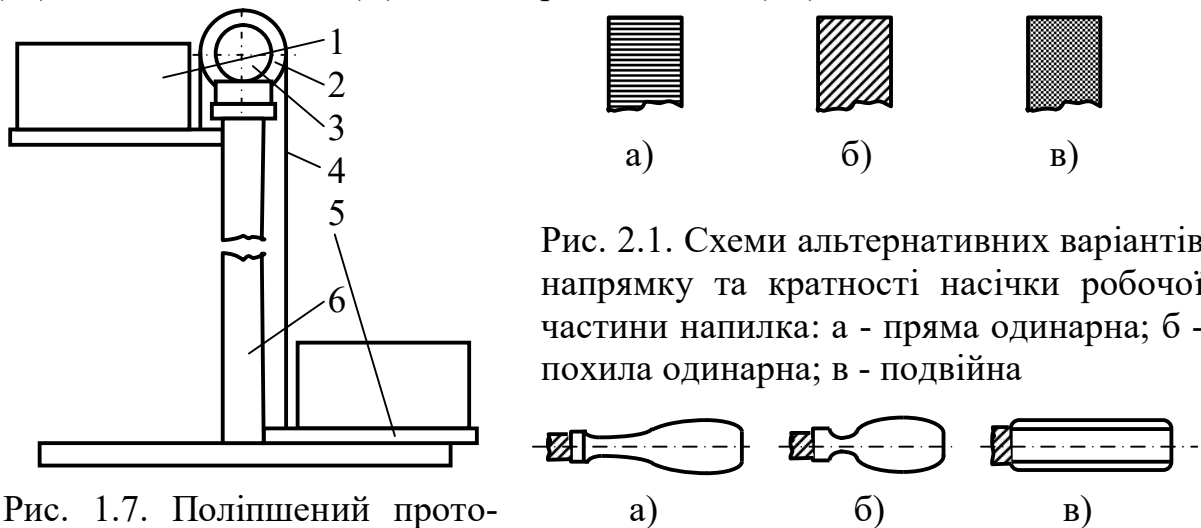


Рис. 1.7. Поліпшений прототип підйомника: 1 - контейнер; 2 – зірки; 3 - електродвигун; 4 – ланцюги; 5 - платформа; 6 - ферма

Рис. 2.1. Схеми альтернативних варіантів напрямку та кратності насічки робочої частини напилка: а - пряма одинарна; б - похила одинарна; в - подвійна

Рис. 2.2. Схеми альтернативних варіантів форми рукоятки напилка: а – фігурна; б – сферична; в - призматична

Послідовність та вказівки до укладання списків вимог до прототипів детально розглянуті вище в операції 1.3. Для **ПР** вони визначаються на основі їх структури та принципу дії і по суті збігаються із наведеними вимогами до підйомника. Серед загальних проектних вимог найважливішими є мінімізація матеріальних витрат та часу на модернізацію існуючого **ПР**, а також витрат на експлуатацію та обслуговування прототипів.

в) Списки недоліків прототипів.

Основними недоліками 1-го прототипу (див. рис. 1.5, а) є:

1. Необхідність проведення проектних розрахунків, виготовлення і заміни стояка 3 та основи, виходячи з умови забезпечення підйому деталей на висоту 4 м.

2. Зростання у порівнянні із наявним **ПР** витрат на експлуатацію, ремонт та обслуговування, можливе зниження точності позиціонування, надійності та терміну служби **ТО**.

3. Значні витрати часу та електроенергії на переміщення кожної окремої деталі (даний недолік є загальним для всіх трьох прототипів).

Для додаткових прототипів (див. рис. 1.5, б, в) серед основних недоліків слід також назвати:

1. Значні витрати на придбання **ПР**, його транспортування, монтаж та введення в експлуатацію.

2. Необхідність додаткового навчання наладчика вихідного **ПР** для обслуговування ним нового, складнішого **ТО** або підготовки ще одного наладчика більш високої кваліфікації.

Головними недоліками для всіх прототипів є значне зростання витрат часу та електроенергії для переміщення партії деталей масою 200 кг, а також необхідність у великих витратах на модернізацію існуючого або придбання нового **ПР**. Усунення цих недоліків і є метою розв'язання задачі.

Вимагається:

Змінити конструкцію вихідного прототипу або придбати один з додаткових прототипів, щоб при умові виконання функції вертикального транспортування сталених деталей загальною масою 200 кг на висоту 4 м зі швидкістю 1 м/с, а також задоволення установлених вимог, загальні витрати були б мінімальними, а негативний вплив на людину-робітника та **НС** - найменшим.

Сукупний аналіз та порівняння прототипів **ПР** і модернізованого підйомника виявляють перевагу останнього, оскільки у випадку його виключення витрати часу та електроенергії на транспортування партії деталей зростають, тоді як капітальні і експлуатаційні витрати є відповідними або більшими.

У зв'язку із вищевикладеним, передача функції розглядуваного **ТО** одному з елементів найближчої вищої за ієрархією надсистеми представляється недоцільною.

Операція 2.3. Визначення причин виникнення недоліків та можливостей їх усунення

Таблиця 1.4

Аналіз причин виникнення недоліків підйомника та можливостей їх усунення

№ п/п	Причини виникнення недоліків	Чи можливо в який-небудь спосіб усунути недоліки?
1	2	3
1	Недостатність потужності електродвигуна, а також міцності складових елементів існуючого підйомника	Так, якщо потужність електродвигуна та міцність складових елементів існуючого підйомника будуть достатніми для виконання заданої функції та усунення проблемної ситуації
2	Відсутність більш потужного електродвигуна та готових складових елементів достатньої міцності	Так, якщо на складах підприємства є в наявності необхідні матеріали, вузли та комплектуючі
3	Установка більш потужного електродвигуна обумовлює збільшення витрат на електроенергію, експлуатацію, обслуговування та амортизацію, а також зростання негативного впливу на людину – оператора та НС	Так, якщо потужніший електродвигун буде мати найвищий ККД, а найновіші заходи з енергозбереження, мінімізації шуму та вібрацій дозволять знизити експлуатаційні та амортизаційні витрати, а також негативний вплив на людину та НС до значень відповідних параметрів вихідного електродвигуна
4	Нераціональність та складність транспортування деталей на підйомнику поштучно окремо або партіями без контейнерів	Так, якщо швидкість підйому буде настільки високою, а енерговитрати настільки малими, щоб поштучне транспортування було б більш раціональним ніж транспортування партіями, або якщо будуть запропоновані ефективні та раціональні заходи та пристрої для безпосереднього без контейнера завантаження на платформу підйомника партії деталей загальною масою 200 кг, що звільняються із затискного пристрою металорізального верстата, а також розвантаження їх у чашу вібробункера на 2-му ярусі

1	2	3
5	Удари деталей одна об одну та об стінки контейнера та чаші вібробункера під час завантаження-розвантаження і транспортування; поверхневі деформації деталей в результаті їх затиску в захваті ПР	Так, якщо маніпуляції із деталями будуть виконуватись з високою точністю і найнижчими швидкостями, що дозволить звести удари до мінімуму; для усунення поверхневих деформацій деталей необхідно установити мінімально можливе для надійної фіксації зусилля затиску, а на затискних поверхнях губок захватного пристрою закріпити прокладки з еластичного матеріалу
6	Складність та висока вартість більшості можливих заходів та пристроїв для механізації та автоматизації роботи підйомника	Так, якщо заходи та пристрої з механізації та автоматизації є економічно доцільними і якщо у підприємства є кошти на їх реалізацію

Операція 2.4. Виявлення та аналіз протиріч удосконалення

а) Серед недоліків підйомника з критеріями досконалості пов'язані недоліки пп. 2, 3 і 6 (див. операцію 1.4). При цьому в пп. 2 і 3 недоліки характеризуються кількісними величинами, а в п. 6 – якісними.

б) При застосуванні більш дешевих (а отже і менш якісних) матеріалів, вузлів та комплектуючих, а також зі зменшенням витрат на реалізацію технологічних процесів обробки та складання, погіршуються технічні та експлуатаційні характеристики окремих елементів та **ТО** в цілому, в тому числі і такі критерії досконалості, як довговічність, безвідмовність, надійність, термін служби. Якщо ж ставиться і реалізується вимога збереження довговічності та надійності **ТО** при мінімальних витратах на його виготовлення, то це, як правило, приводить до зростання загальної маси та зниження енергоємності.

Зниження енерговитрат під час роботи підйомника, а також рівня шуму та вібрацій, загальних витрат на експлуатацію та обслуговування, амортизаційних відрахувань можна досягти при реалізації і застосуванні спеціальних заходів та пристроїв: електродвигуна з більшим **ККД** (дорожчого двигуна), систем заглушення шумів та зменшення амплітуди вібрацій, більш надійних та довговічних (а отже і дорожчих) виконавчих елементів підйомника, своєчасного та якісного проведення всіх операцій з технічного обслуговування та ремонту. Зрозуміло, що в результаті здійснення всього названого, знов таки, зростає загальна вартість **ТО**.

Підвищення рівня механізації та автоматизації **ТО** пов'язане із необхідністю впровадження пристроїв та приладів механізації та автоматизації

основних та допоміжних операцій виконуваних при роботі підйомника. Як і в попередніх випадках це обумовлює збільшення загальної вартості технологічного комплексу для підйому деталей, а також витрат на його експлуатацію.

Таким чином, поліпшення вказаних критеріїв досконалості обмежується умовами забезпечення і поєднання оптимальних продуктивності, точності, надійності, довговічності, терміну служби, матеріало- та енергоємності, загальної вартості, експлуатаційних витрат, а також привабливого зовнішнього вигляду.

в) На рис. 1.6 наведені якісні залежності експлуатаційних витрат, довговічності та матеріалоємності підйомника від витрат на матеріали, з яких виготовляються його елементи.

Операція 2.5. Розробка ідеального технічного розв'язку та уточнення списків вимог до прототипів

Опис ІТР підйомника виглядає приблизно таким чином. Після завершення процесу механічної обробки деталей та їх звільнення із затискного пристрою металорізального верстата, вони під дією власної сили тяжіння падають, скочуються або сковзають у контейнер, установлений на платформі підйомника, при цьому мінімальна сила ударів деталей усуває їх навіть незначне пошкодження. Марка матеріалу та розміри контейнера та платформи обрані з умов забезпечення мінімальної можливої маси, транспортування заданої партії деталей, а також максимальних довговічності та надійності. Розміри та матеріал ферми визначаються вимогами стійкості платформи під час переміщення, заданою висотою та швидкістю підйому. Діаметр тросів та шківів мінімальний, їх тертя та знос відсутні. Електродвигун має оптимальну потужність, ККД, що наближається до одиниці, необмежений термін служби без обслуговування та ремонту. Розміри електродвигуна залежать від мінімально необхідних розмірів барабанів, які він приводить в обертання. При роботі електродвигуна повністю відсутні шум, вібрація, теплове випромінювання. Під час функціонування підйомника у людини немає потреби знаходитись біля нього. Вмикання електродвигуна відбувається автоматично в момент завершення скидання в контейнер останньої деталі партії, вимикання також автоматичне – при досягненні платформою верхнього граничного положення. В момент завершення підйому контейнер автоматично перекидається і деталі пересипаються в чашу вібробункера. Подається сигнал на повернення платформи із контейнером у вихідне нижнє положення, після чого цикл роботи підйомника повторюється.

На основі сформульованого ІТР можуть бути посилені вимоги до забезпечення мінімальних матеріалоємності підйомника, витрат енергії та загальної вартості, максимальних енергоємності, надійності, довговічності, терміну служби, продуктивності та точності роботи, зручності та легкості технічного обслуговування і ремонту, керування та регулювання, мініміза-

ції негативного впливу на людину та **НС** (зменшення шуму, вібрацій, теплового випромінювання), підвищення рівня механізації та автоматизації, простоти конструкції та виготовлення, естетично гармонійного зовнішнього вигляду і оптимальної ергономіки, які сприяють максимально ефективному та тривалому використанню **ТО**.

Операція 2.6. Поліпшення інших параметрів технічного об'єкта

а - б) В певній мірі вартість модернізації підйомника можна знизити шляхом використання при проектуванні і виготовленні його елементів наявного на підприємстві програмного комп'ютерного забезпечення, технічної документації, основного технологічного та допоміжного обладнання, інструмента і пристосувань.

Підвищення продуктивності підйомника можна досягти при установленні електродвигуна з більшою ніж у вихідного номінальною частотою обертання вала. З цією ж метою - збільшення продуктивності - доцільно замість одної установити дві платформи 5, що переміщуються у протиході (рис. 1.7), а привод здійснити від електродвигуна 3 через зірки 2 та ланцюги 4. Такий підйомник може забезпечувати переміщення деталей, що надходять від двох металорізальних верстатів.

Більш повно використати енергію, що витрачається і тим самим підвищити загальну ефективність підйомника можна також при завантаженні його і на етапі холостого ходу платформи у нижнє вихідне положення, для спуску з 2-го на 1-й ярус тих чи інших вантажів (наприклад, відходів виробництва).

Таким чином, в якості додаткового критерію досконалості можна запропонувати вимогу максимально повного завантаження підйомника при виконанні всіх рухів і використання при цьому всієї потужності електродвигуна.

Операція 2.7. Уточнена постановка задачі

В результаті сукупного аналізу отриманих при виконанні операцій 1-го і 2-го етапів постановки задачі даних щодо вихідного поліпшеного та додаткових прототипів **ТО**, яким може бути передана функція вихідного прототипу, а також **ІТР**, робимо остаточний висновок, що для усунення описаної вище проблемної ситуації найбільш доцільно використовувати модернізований підйомник, який у порівнянні із іншими прототипами при умові виконання заданої функції, має достатню ефективність (високі продуктивність, енергоємність, надійність, довговічність, ремонтпридатність, термін служби, низькі металомісткість, експлуатаційні витрати, загальну вартість, при допустимому негативному впливі на людину та **НС**, оптимальних ергономіці і естетичних параметрах), однакове або менше число приблизно адекватних за значимістю недоліків, що можуть бути усунені, - і при цьому витрати на його удосконалення менші, ніж на реалізацію інших **ТО** аналогічного призначення. Слід також відмітити, що у випадку

потреби є реальні можливості для значного підвищення продуктивності підйомника і більш повного використання його потужності. При необхідності даний **ТО** може бути наближений до **ІТР**.

1.4. Варіанти індивідуальних практичних завдань з постановки та аналізу задачі інженерної творчості

Виконати постановку та аналіз задачі інженерної творчості за наведеною нижче умовою.

1. В цеху заводу використовується промисловий робот, який функціонує в циліндричній системі координат з максимальним кутом повороту відносно вертикальної осі 270° . Необхідно забезпечити маніпулювання заготовками в замкненій циліндричній системі координат.
2. Промисловий робот функціонує в прямокутній системі координат. Необхідно забезпечити обслуговування технологічного обладнання в циліндричній системі координат.
3. Промисловий робот призначений для переміщень відносно вертикальної осі заготовок з максимальною масою 10 кг. Необхідно забезпечити можливість маніпулювання заготовками масою 15 кг.
4. Захват промислового робота призначений для захоплення циліндричних заготовок максимальним діаметром 80 мм. Виникла необхідність забезпечити автоматизоване маніпулювання заготовками діаметром 150 мм.
5. Промисловий робот обслуговує 1 металорізальний верстат. Необхідно розширити програму випуску деталей за рахунок включення до виробничого комплексу ще одного верстата і забезпечити його автоматичне обслуговування.
6. Промисловий робот здійснює передачу заготовок між двома верстатами на відстань до 750 мм. Внаслідок перепланування цеху відстань між верстатами збільшилась до 1500 мм. Необхідно забезпечити автоматичну передачу заготовок між верстатами.
7. Гідравлічний захват промислового робота забезпечує максимальне зусилля затиску заготовки в 1000 Н. Виникла потреба збільшити це зусилля в 2 рази.
8. Максимальна швидкість переміщення захвату промислового робота відносно горизонтальної осі складає 0,5 м/с. Необхідно збільшити її до 1,5 м/с.
9. Промисловий робот стаціонарного типу обслуговує 1 верстат. Необхідно перевести вказаний робот на обслуговування 5 верстатів, установлених в лінію.
10. Стрічковий конвеєр здійснює транспортування деталей масою 5 кг. Необхідно перевести цех на випуск деталей масою 8 кг.
11. Стрічковий конвеєр обслуговує лінію з 10 верстатів. Виникла потреба забезпечення переміщення заготовок між двома паралельними лініями (по 10 верстатів в кожній лінії).

12. Електропіді здійснює нагрів заготовки до заданої температури за 20 хв. Необхідно в 2 рази підвищити швидкість нагріву.
13. Міст витримує постійне навантаження в 10 т. Необхідно в цьому ж місці забезпечити транспортний потік з навантаженням в 20 т.
14. Мостовий кран розрахований на максимальний вантаж масою 500 кг. Виникла потреба в підйомі вантажів масою до 800 кг.
15. Кроковий електродвигун здійснює поворот вхідного вала коробки подачі фрезерного верстата з частотою 1000 Гц. Необхідно в 2 рази збільшити вказану частоту
16. Шляховий перемикач переміщення столу фрезерного верстата спрацьовує за 0,5 сек. Необхідно підвищити його швидкодію вдвічі.
17. Електроустановка спроектована для роботи при температурі навколишнього середовища не вище 20 °С. Виникла потреба використовувати вказану установку при температурах до 40 °С.
18. Зусилля на штоці гідроциліндра установки складає 1000 Н. Виникла необхідність збільшити згадане зусилля в 2 рази при незмінних габаритних розмірах установки.
19. Кран-балка призначена для підйому вантажів масою до 300 кг. Необхідно збільшити максимальну масу вантажу, що піднімається, до 600 кг.
20. Коробка швидкостей верстата забезпечує максимальну частоту обертання шпинделя в 1500 об/хв. Необхідно розширити діапазон частот до 1800 об/хв.
21. Рукав високого тиску розрахований на максимальний тиск в гідросистемі до 8 МПа. Необхідно збільшити тиск в гідросистемі до 12 МПа.
22. Максимальний діапазон спрацьовування запобіжного клапана може змінюватись від 0 до 10 МПа. Виникла потреба розширити зазначений діапазон до 15 МПа.
23. Привод шнека-змішувача включає електродвигун, плоскопасову передачу та черв'ячний редуктор, вихідний вал якого з'єднується зі шнеком за допомогою пружної муфти з тороподібною оболонкою. В процесі роботи бункер змішувача завантажується на 1/3 свого максимального робочого об'єму. Необхідно збільшити продуктивність змішувача в 2 рази.
24. Зубчасте колесо фіксується на валу редуктора за допомогою шпонки, розрахованої виходячи з колової сили 2000 Н. Внаслідок зміни умов експлуатації редуктора колова сила на вказаному валу збільшилась вдвічі.
25. Набір плоских пружин задньої підвіски автомобіля розрахований на максимальне навантаження у 800 кг. Виникла потреба збільшити згадане навантаження до 1200 кг.
26. Два кулькових радіально-упорних підшипники вала циліндричного косозубого редуктора працюють з еквівалентним навантаженням в 3000 Н, яке є для них розрахунковим. Необхідно забезпечити можливість використання даного редуктора в приводі, при роботі якого еквівалентне навантаження на вказаному валу збільшилось до 5000 Н.

27. Стелажі складального приміщення призначені для зберігання на них пластмасових деталей. Виникла потреба тимчасово розташувати в приміщенні партію сталевих деталей.
28. Температура масла в корпусі черв'ячного редуктора на 10 °С нижча допустимої. Потужність на швидкохідному валу редуктора збільшилась в 1,3 раза.
29. Транспортні доріжки з гумовим покриттям в цеху заводу експлуатуються з граничним допустимим навантаженням. Внаслідок зміни номенклатури виробів, що випускаються в цеху сумарна вага партій заготовок, що транспортуються збільшилась в 1,5 раза.
30. Бункерний живильник з електромагнітним приводом, спроектований для автоматизованої подачі в робочу зону верстата пластмасових заготовок у формі ковпачків. Виникла потреба автоматизувати подачу сталевих заготовок аналогічної конфігурації та розмірів.
31. Жорстко закріплена одним кінцем горизонтальна ферма зварена з кутників і розрахована на зосереджене навантаження на вільному кінці 10кН. Виникла необхідність збільшити вказане навантаження у 1,5 рази без зміни габаритних розмірів ферми.
32. Підвищити довговічність опорних поверхонь напрямних столу фрезерного верстата.
33. Збільшити пропускну спроможність фермового металевго моста при наявності подвійного запасу міцності його опор.
34. Збільшити в 2 рази максимальну подачу радіально-свердлильного верстата.
35. Забезпечити 3-ступінчасте регулювання швидкості лінійного переміщення виконавчого елемента верстата, якщо його привод містить електродвигун, насос та гідроциліндр.
36. Забезпечити зворотно-гвинтові рухи виконавчої ланки машини, що має гідравлічний привод.
37. Стрічковий конвеєр забезпечує транспортування заготовок з 1-го на 2-й ярус цеху, на висоту 5 м. Після введення додаткової операції механічної обробки виникла потреба у переміщенні тих же самих заготовок у зворотному напрямку.

2. Морфологічний аналіз та синтез технічних розв'язків

2.1. Морфологічна комбінаторика

Метод морфологічного аналізу та синтезу відноситься до евристичних методів ІТ [1]. Розроблений він був у 30-х рр. ХХ в. швейцарським астрономом Ф. Цвіккі для створення астрономічних приладів. Однак практичну перевірку метод вперше пройшов у 1942 р., коли Цвіккі, працюючи в той час в американській авіаційній фірмі за короткий термін запропонував декілька десятків перспективних ТР, пов'язаних із ракетами та ракетними двигунами. Як пізніше виявилось деякі з них випередили найновіші розробки німецьких ракет ФАУ-1 і ФАУ-2.

Розглядуваний метод оснований на морфологічній комбінаториці. Суть його полягає в тому, що в ТО, який удосконалюється, виділяються функціональні, принципіві або конструктивні ознаки. Далі для кожної з ознак розробляються варіанти її реалізації. Поєднуючи останні між собою в різних комбінаціях отримуємо множину ТР, в тому числі і тих, що представляють практичний інтерес.

Для прикладу в табл. 2.1 наведені конструктивні ознаки та альтернативні варіанти їх реалізації для ТО „слюсарний напилек” (схеми для деяких з альтернативних варіантів напилка зображені на рис. 2.1, 2.2). Якщо з кожного рядку таблиці взяти по одному з альтернативних варіантів і об'єднати їх між собою отримаємо варіант ТР. Кожен з альтернативних варіантів має позначення, що складається з розділених крапкою номерів рядка і стовпця, в яких він знаходиться. Таким чином, кодом (1.3, 2.1, 3.4, 4.5, 5.5, 6.3) позначений ТР, що являє собою напилек з подвійною дрібною насічкою, із загартованою робочою частиною прямокутного поперечного перерізу, без рукоятки, тобто – надфіль.

Загальне число можливих конструкцій напилка, які можна синтезувати за допомогою табл. 2.1 підраховується як добуток чисел альтернативних варіантів в рядках: $4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 5 = 8000$.

З розглянутого прикладу зрозуміло, що загальна послідовність методу включає етапи підготовки форми морфологічної таблиці, заповнення її альтернативними варіантами реалізації функціональних, принципівіх або конструктивних ознак ТО і вибору серед всієї множини можливих комбінацій найбільш ефективних ТР.

Морфологічні методи отримали широке розповсюдження в 50-60-х рр. ХХ в. у СРСР, США і Західній Європі. Ф. Цвіккі розробив декілька модифікацій свого методу. Одна з модифікацій була використана У.Г.Зіннуровим для розробки морфологічної таблиці технологічних принципів обробки металів (див. табл. 2.2), яка містить понад 3 млн. варіантів комбінацій.

За допомогою морфологічних методів можна удосконалювати не лише ТО, а і технічні процеси (ТП). В останньому випадку до таблиці включаються альтернативні варіанти реалізації операцій ТП.

Таблиця 2.1

Морфологічна таблиця ТО „слюсарний напилек”

№ рядка	Конструктивні ознаки	Альтернативні варіанти (№ стовпця)				
		1	2	3	4	5
1	Напрямок та кратність насічки	Пряма одинарна	Похила одинарна	Подвійна	Комбінована	
2	Частота насічки	Дрібна	Середня	Крупна	Рашпіль	
3	Форма поперечного перерізу робочої частини	Кругла	Напівкругла	Квадратна	Прямокутна	Фасонна
4	Форма рукоятки	Фігурна	Сферична	Призматична із закругленими гранями	Дві рукоятки	Без рукоятки
5	Матеріал рукоятки	Дерево	Пластмаса	Кістка	Метал	
6	Наявність зносостійкого та корозійностійкого покриття	Без покриття	Загартована поверхня	Наявність металевого зносостійкого напилювання	Зносостійке покриття закріплюється механічним способом	Наявність корозійностійкого напилювання

Таблиця 2.2

Морфологічна таблиця технологічних принципів обробки металів

Класифікаційна ознака		Альтернативні варіанти конструктивних ознак	
№	Найменування	№	Найменування
1	2	3	4
01	Вид зміни (перетворення) стану речовини вихідного предмету праці (заготовки)	01	Зміна форми речовини
		02	Зміна об'єму речовини
		03	Зміна властивостей речовини
		04	Зміна форми і об'єму речовини
		05	Зміна форми і властивостей речовини

1	2	3	4
02	Вид агрегатного стану речовини вихідного предмета, що видаляється в процесі перетворення	01 02 03 04 05 06	Твердий Розплавлений Іонізований Текучий Хімічно зв'язаний Речовина, що видаляється, відсутня
03	Фізико-хімічний ефект, що лежить в основі процесу перетворення	01 02 03 04 04 05	Дифузія Ерозія Анодне розчинення Гідравлічний удар Консолідація (спікання) Електроліз розчинів (розплавів)
04	Вид енергії реалізації фізико-хімічного ефекту	01 02 03 04 05 06 07	Теплова Механічна Потенціальна Електрична Хімічна Ядерна Випромінювання
05	Характер підведення і розподілення енергії в процесі перетворення	01 02 03	Точковий Лінійний Поверхневий
06	Характер впливу енергії в часі	01 02	Безупинний Переривчастий (імпульсний)
07	Вид фізичного стану робочого середовища	01 02 03 04 05	Рідкий Газоподібний Твердий В'язкий (текучий) Вакуум
08	Вид фізичного стану інструмента	01 02 03 04	Твердий Рідкий Газоподібний В'язкий (текучий)
09	Вид руху інструмента в процесі перетворення	01 02 03 04	Обертальний Поступальний Обертально-поступальний Нерухомий
10	Вид руху предмета праці в процесі перетворення	01 02 03	Обертальний Поступальний Обертально-поступальний

Нами вивчається модифікація методу основана на функціональному підході, коли в якості ознак розглядаються функції елементів **ТО**, а альтернативними варіантами є можливі **ТР** з реалізації функцій.

2.2. Метод морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків

Метод морфологічного аналізу та синтезу **ТР** реалізується в п'ять етапів, розглянутих нижче.

2.2.1. Постановка задачі

Методика попередньої та уточненої постановки задачі пошуку ефективних варіантів **ТР** наведена у розд. 1.1 і розд. 1.2.

2.2.2. Вибір критерію досконалості варіантів технічних розв'язків

Додатково в якості параметра порівняння для визначення серед допустимих варіантів **ТР** найкращого необхідно обрати один з критеріїв досконалості (див. розд. 1.1.4). Допустимими варіантами називають **ТР**, що відповідають основним вимогам.

2.2.3. Побудова функціональних структур прототипів технічного об'єкта

Послідовність побудови **ФС** детально розглянута у першій частині посібника [1], а також в розд. 1.2.1. На рис. 1.4 наведений приклад **ФС** підйомника. Слід мати на увазі, що оптимальне число елементів, на яке треба розділити **ТО** повинно бути не меншим трьох, але не більшим десяти. Інколи та чи інша внутрішня функція може бути дуже складною і, в зв'язку з цим, якщо передати її виконання одному елементу, при подальшому синтезі варіантів **ТР** можуть виникати труднощі. З метою їх уникнення рекомендується для виконання такої функції передбачувати декілька простих елементів замість одного складного.

При розв'язанні задач **ІТ** взагалі і з використанням методу морфологічного аналізу та синтезу зокрема рекомендується виділяти в **ТО**, що удосконалюється, в першу чергу уніфіковані, стандартизовані та нормалізовані елементи, для яких відомі такі параметри, як маса, вартість і т.д. У подальшому варіанти **ТО**, що містять значну кількість таких елементів досить просто і швидко порівнюються між собою за сумарними параметрами вартості, маси і інших.

Після виконання даного етапу для кожного прототипу отримують одну або декілька **ФС**, в тому числі і поліпшених. При цьому для **ТО** певного призначення, особливо для конструктивно складних, доцільно укласти та використовувати каталог **ФС**.

2.2.4. Укладання морфологічних таблиць

Четвертий етап складається з трьох операцій.

2.2.4.1. Заготовка формуляра таблиці

Морфологічну таблицю будують на основі **ФС**. Число її стовпців відповідає числу функціональних елементів – внутрішніх функцій **ТО**. В заголовках стовпців вказуються позначення та описи функцій. Формуляр укладається таким чином, щоб стовпці функціонально пов'язаних між собою елементів були, по можливості, сусідніми.

Вже на етапі створення формуляра оцінюється доцільність включення до таблиці того чи іншого стовпця. Справа в тому, що для деяких функцій запропонувати альтернативні варіанти їх виконання не представляється можливим. Стовпці з описами таких функцій до таблиці не включаються.

Для того, щоб таблиця містила більше число патентоспроможних **ТР** рекомендується розробляти її на основі декількох ефективних прототипів в результаті виділення в них характерних функціональних елементів і формулювання узагальнених описів функцій, які стають заголовками стовпців таблиці.

2.2.4.2. Заповнення морфологічної таблиці

Кожен з альтернативних варіантів реалізації функції в стовпці позначається A_i^k , де i – порядковий номер стовпця функції ($i = 1, 2, \dots$); k - порядковий номер альтернативного варіанта в i -му стовпці ($k = 1, 2, \dots$).

Спочатку у морфологічну таблицю вносять варіанти прототипів, потім записують решту ефективних та цікавих варіантів. При цьому можуть бути використані:

- власні знання та результати опитування фахівців з розглядуваних **ТО**;

- довідники та енциклопедії;
- міжнародна класифікація винаходів;
- словники технічних функцій;
- описи до патентів за останні 5 – 10 років;
- каталоги виставок.

2.2.4.3. Виявлення ефективних комбінацій альтернативних варіантів, що належать одному стовпцю

Практично в кожному стовпці морфологічної таблиці можна знайти одну або декілька ефективних (взаємопідсилювальних) комбінацій альтернативних варіантів, при реалізації яких окремі недоліки прототипів усуваються більш повно, а критерії досконалості **ТО** поліпшуються більш суттєво ніж у випадку здійснення кожного варіанта окремо.

Подібні ефективні комбінації записуються у нижній частині стовпців в якості додаткових альтернативних варіантів.

Якщо описи до альтернативних варіантів в таблиці не достатньо зрозумілі їх доповнюють схемами, графіками або коментарями на окремому аркуші.

2.2.5. Вибір найефективніших технічних розв'язків

П'ятий заключний етап методу морфологічного аналізу та синтезу містить п'ять операцій.

2.2.5.1. Визначення числа можливих технічних розв'язків

Загальне число варіантів **ТР**, що може бути синтезоване за допомогою деяких морфологічних таблиць сягає сотень тисяч. Їх детальний аналіз та вибір найкращих **ТР** вимагає значних витрат часу та інженерної праці (а отже і коштів). У зв'язку із цим, доцільно ще до початку синтезу скоротити найменш перспективні варіанти. Для визначення необхідного масштабу скорочення таблиці спочатку підраховується загальна кількість всіх можливих **ТР**, при цьому використовується формула

$$N = n_1 \cdot n_2 \times, \dots, \times n_m, \quad (2.1)$$

де n_1, n_2, \dots, n_m – число альтернативних варіантів в стовпцях таблиці; m – число стовпців.

2.2.5.2. Скорочення числа альтернативних варіантів в стовпцях і числа стовпців

Зі всієї множини **ТР** найперспективніші можуть бути обрані шляхом послідовного скорочення найменш ефективних варіантів. Перше скорочення проводять до виконання умови

$$N \leq N_{ог}, \quad (2.2)$$

в якій $N_{ог}$ – оглядове число можливих варіантів **ТР**, яке для відносно простих **ТО** (для яких час порівняння будь-яких двох прототипів і вибору з них найкращого не перевищує 10 с) складає $N_{ог} = 10000$; для складніших зразків $N_{ог} = 1000$.

Якщо нерівність (2.2) не виконується в кожному стовпці морфологічної таблиці проводять порівняльний аналіз альтернативних варіантів для виявлення серед них найкращих та найгірших за ступенем відповідності основним вимогам та оптимальним значенням критеріїв досконалості, а також за кількістю основних недоліків. Визначені таким чином найгірші альтернативні варіанти усуваються.

Інший більш радикальний спосіб зменшення N полягає у скороченні окремих стовпців морфологічної таблиці зі всіма альтернативними варіантами, що містяться у їх складі. При цьому серед всіх стовпців (функціональних елементів) виділяють основні, від яких в першу чергу залежить ефе-

ктивність **Т_О**, а також другорядні елементи, що практично не впливають на виконувану зовнішню функцію і тому підлягають усуненню.

2.2.5.3. Скорочення множини можливих варіантів технічних розв'язків шляхом усунення найгірших комбінацій альтернативних варіантів

У випадку виконання умови (2.2) можна починати синтез можливих **Т_Р** та вибір серед них найкращих шляхом порівняння. Однак такий спосіб не дивлячись на його простоту є досить трудомістким. У зв'язку із цим, нижче пропонується більш раціональна методика скорочення числа **Т_Р**.

При її реалізації скорочення здійснюється шляхом викреслювання найгірших комбінацій з мінімального числа альтернативних варіантів, які аналізуються значно швидше ніж повністю синтезовані **Т_Р**. До найгірших відносять комбінації, що важко реалізуються або не реалізуються взагалі, найдорожчі комбінації, комбінації, які мають найбільше число недоліків, а також ті, що в найменшій мірі відповідають вимогам до прототипів або оптимальним критеріям досконалості. Опишемо дану методику, використовуючи абстрактну морфологічну таблицю – табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Абстрактна морфологічна таблиця

Φ_0	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4
A_0^1	A_1^1	A_2^1	A_3^1	A_4^1
A_0^2	A_1^2	A_2^2		A_4^2
A_0^3	A_1^3	A_2^3		
A_0^4		A_2^4		
		A_2^5		

а) У вихідній морфологічній таблиці (див. табл. 2.3) обираємо два стовпці з найменшим числом альтернативних варіантів – стовпці Φ_3 і Φ_4 – і утворюємо з їх елементів всі можливі подвійні комбінації (табл. 2.4). Нехай в нашому абстрактному прикладі обидві комбінації є допустимими та приблизно адекватними за ефективністю, тому жодну з них ми не відносимо до найгірших і не скорочуємо.

Таблиця 2.4

Утворення комбінацій з двох елементів

	A_4^1	A_4^2
A_3^1	$A_3^1 A_4^1$	$A_3^1 A_4^2$

б) Обираємо з табл. 2.3 серед стовпців, що залишились незадіяними в табл. 2.3 наступний стовпець з найменшим числом альтернатив – стовпець Φ_1 - і утворюємо між його елементами та подвійними комбінаціями табл.2.4 всі можливі потрійні комбінації – табл. 2.5. Припустимо, що ре-

зультати порівняльного аналізу даних комбінацій дозволили три з них (виділені фоном сірого кольору) віднести до найгірших і виключити.

Таблиця 2.5

Утворення та скорочення комбінацій з трьох елементів

	A_1^1	A_1^2	A_1^3
$A_3^1 A_4^1$	$A_3^1 A_4^1 A_1^1$	$A_3^1 A_4^1 A_1^2$	$A_3^1 A_4^1 A_1^3$
$A_3^1 A_4^2$	$A_3^1 A_4^2 A_1^1$	$A_3^1 A_4^2 A_1^2$	$A_3^1 A_4^2 A_1^3$

в) Обираємо з табл. 2.3 наступний стовпець з найменшим числом альтернатив – стовпець Φ_0 – і утворюємо між ними та потрійними комбінаціями, що залишились в табл. 2.5 всі можливі комбінації чотирьох елементів – табл. 2.6. Оскільки комбінації легко утворюються та аналізуються думкою, їх позначення не обов’язково вписувати в клітини таблиці. В табл.2.6 на основі порівняльного аналізу також визначаються найгірші комбінації (відповідні клітини виділені сірим кольором).

Таблиця 2.6

Утворення та скорочення комбінацій з чотирьох елементів

	A_0^1	A_0^2	A_0^3	A_0^4
$A_3^1 A_4^1 A_1^3$				
$A_3^1 A_4^2 A_1^1$				
$A_3^1 A_4^2 A_1^2$				

За розглянутою методикою утворюємо таблиці комбінацій альтернативних варіантів і проводимо їх скорочення. Послідовність повторюється до останнього стовпця вихідної морфологічної таблиці. В останній таблиці утворення комбінацій після викреслювання найгірших з них залишиться множина допустимих **ТР**. Якщо їх кількість виявиться все ще надмірно великою, слід провести скорочення за додатковими параметрами ефективності або критеріями досконалості (загальною масою, надійністю, витратами електроенергії та дорогих матеріалів, трудомісткістю виготовлення і т.д.).

2.2.5.4. Вибір найефективніших варіантів технічних розв’язків

Перелік допустимих варіантів, отриманий після скорочення найгірших комбінацій, упорядковується за критеріями досконалості від кращих до гірших. При рівних або близьких значеннях критерію досконалості у двох або більшого числа варіантів **ТР** для визначення їх місця в упорядкованому переліку, враховують кількість основних недоліків.

Якщо упорядкування **ТР** у переліку і вибір найефективніших варіантів викликають утруднення, рекомендується скористатись таблицями порівняння (табл. 2.7), в яких дається оглядова розрахунково-експертна оцінка **ТР**.

Порівняльна оцінка варіантів ТР „Електроустановка”

Параметри порівняння	Варіанти ТР		
	1	2	3
Витрати міді, кг	26,2	21,5	34,0
Трудомісткість складання	Висока	Середня	Низька
ККД	0,89	0,92	0,94
Зовнішній вигляд	Незадовільний	Задовільний	Незадовільний

Після упорядкування для подальшого проектування обирають 3 – 5 найефективніших варіантів ТР.

2.2.5.5. Виконання попередніх ескізів технічних розв'язків та їх опис

Для обраних найефективніших варіантів ТР розробляють попередні моделі (ПС та КС), а також дають їх короткий опис.

Після цього проводиться більш детальне конструкторське пророблення знайдених ТР з врахуванням додаткового списку вимог (надійності роботи, зручності обслуговування, трудомісткості виготовлення, витрат енергії та дорогих матеріалів і т.д.). При цьому найважливіші та найскладніші елементи ТР можуть бути також пророблені з використанням методу морфологічного аналізу та синтезу.

2.3. Приклад виконання індивідуального практичного завдання з морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків

В даному розділі наведений приклад розв'язання задачі ІТ з використанням методу морфологічного аналізу та синтезу.

Умова задачі

Індивідуальні побутові електроплитки мають у порівнянні із газовими плитами низький ККД (30 – 40%), а також надмірно великий час t_k доведення до кипіння холодної води з початковою температурою 10 – 20 °С. Виникла необхідність в удосконаленні електроплитки – підвищення її ККД до 60 – 80% і зменшення часу t_k до величини відповідної t_k для газової плити.

Етап 1. Постановка задачі

В даному прикладі розглядається досить простий за конструкцією та виконуваними функціями ТО, у зв'язку із чим, достатньо обмежитись попередньою постановкою задачі (див. розд. 1.1).

Операція 1.1. Опис проблемної ситуації

а) Індивідуальні побутові електроплитки мають у порівнянні із газовими плитами низький ККД (30 – 40%), а також надмірно великий час t_k

доведення до кипіння холодної води (води з початковою температурою 10–20 °С).

б) Необхідно створити електроплитку з ККД 60 – 80% і часом t_k не більшим ніж у газової плити.

в) Низький ККД пов'язаний із великими втратами теплоти, що йде на нагрівання елементів плитки та **НС**. Великий час t_k обумовлений попереднім нагріванням елементів плитки, а також її низьким ККД.

г) Усунення описаної проблемної ситуації дозволить досягти значної економії електроенергії і часу на приготування їжі, а також замінити більш шкідливі та небезпечні для людини і **НС** газові плити більш досконалими електронагрівальними приладами.

Операція 1.2. Опис зовнішньої функції технічного об'єкта

Таблиця 2.8

Опис зовнішньої функції побутової електроплитки

Найменування ТО	Опис функції		
	Вплив – В	Об'єкт впливу – О	Умови та обмеження – У
Побутова електроплитка	Забезпечує нагрівання	Води в ємності	До кипіння
	« »	« » об'ємом 3 – 6 л	Від початкової температури 10°С до 100 °С за 10 – 20 хв

Операція 1.3. Вибір прототипів і укладання списків вимог до них

Вихідним прототипом в даній задачі є побутова електроплитка (рис.2.3), що складається з нагрівальної спіралі 4, яка лежить на теплоізолювальному вогнетривкому блоці 5. Останній змонтований в корпусі 6. Електроенергія підводиться через електричний роз'єм 1 та провід в електроізоляції 2. Нагрівальна спіраль покрита захисним екраном 3 з тугоплавкого металу.

В якості першого додаткового прототипу приймемо електроплитку, яка конструктивно відрізняється від вихідного прототипу відсутністю захисного екрана 3.

Другий додатковий прототип на відміну від вихідного має регулятор потужності, який забезпечує нагрівання і доведення води до кипіння при максимальній температурі (що скорочує час t_k), після чого установлює мінімальну температуру, достатню для підтримання кипіння.

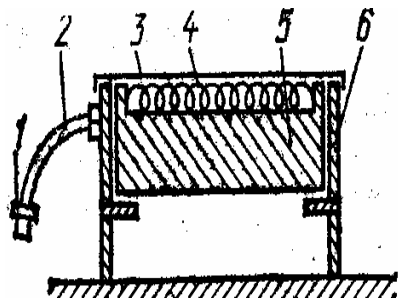


Рис. 2.3. Вихідний прототип електроплитки: 1 – роз’єм; 2 – провід; 3 – захисний екран; 4 – спіраль; 5 – теплоізолювальний вогнетривкий блок; 6 – корпус

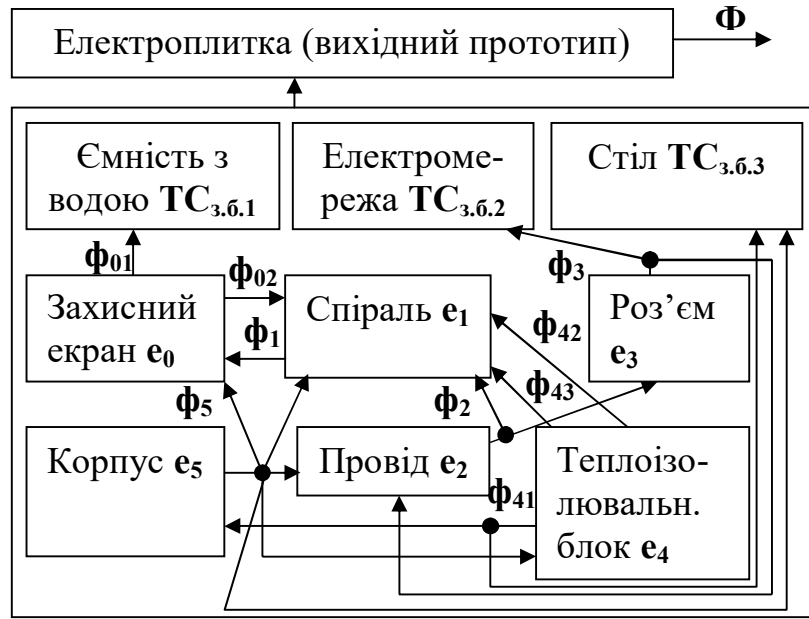


Рис. 2.4. ФС вихідного прототипу електроплитки

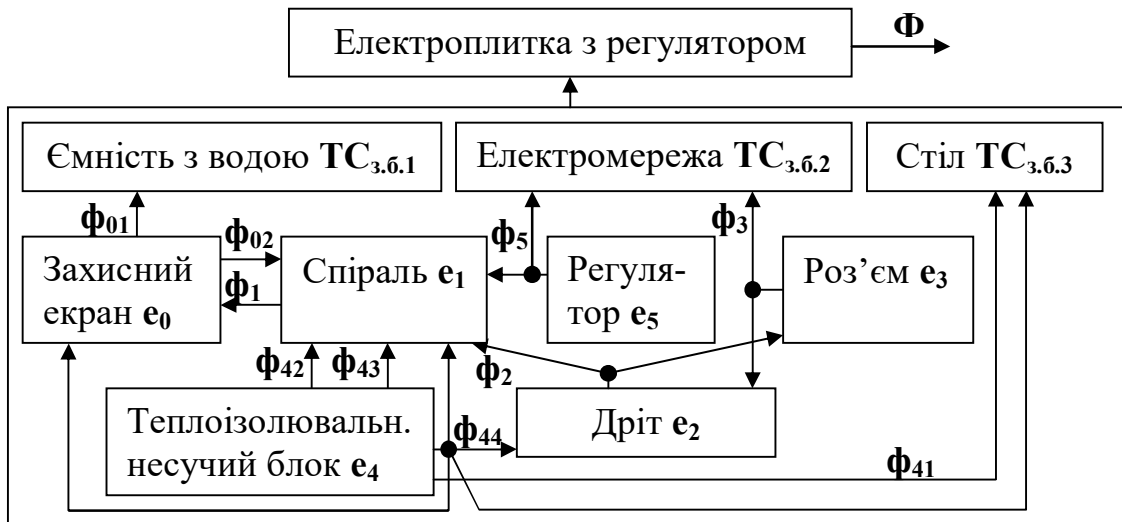


Рис. 2.5. ФС додаткового прототипу електроплитки з регулятором

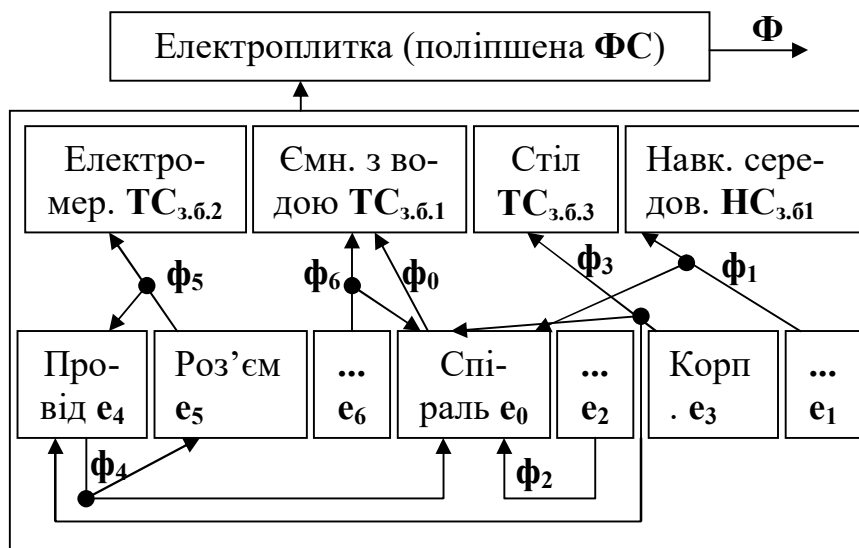


Рис. 2.6. Поліпшена ФС електроплитки

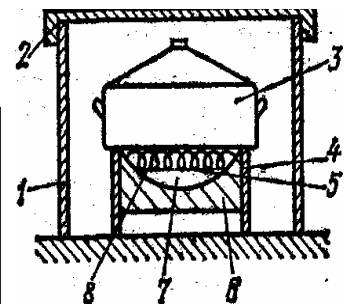


Рис. 2.7. Поліпшений ТР електроплитки: 1 – дзеркальний циліндр; 2 – кришка; 3 – ємність; 4 – каркас; 5 – решітка

Функціональною вимогою (**СВ1**) для всіх трьох прототипів є виконання ними заданої зовнішньої функції (див. табл. 2.8): забезпечення нагрівання води в ємності об'ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв.

СВ2. Внутрішніми функціями вихідного прототипу є: роз'єм 1 – під'єднання і роз'єднання електромережі та дроту 2; провід – передача електроенергії, отриманої через роз'єм 1 - до спіралі 4, в якій вона перетворюється у теплову енергію; спіраль служить для нагрівання захисного екрана 3, а останній – для нагрівання ємності з водою та захисту спіралі від пошкодження; теплоізолювальний вогнетривкий блок 5 запобігає недопустимо інтенсивному нагріву корпусу 6 та столу, на якому установлений **ТО**, крім цього, блок підтримує спіраль у певному положенні і забезпечує її електроізоляцію; корпус 6 призначений для фіксації решти елементів електроплитки у певних положеннях в просторі відносно один одного та відносно столу.

До **СВ3** електроплитки відносяться вимоги щодо реалізації електричного контакту роз'єму 1, проводу 2 та спіралі 3 з мінімальними значеннями опору двох перших та максимальним опором останньої, забезпечення вимог теплоізоляції та жаростійкості блоку 5, жаростійкості, довговічності і високої теплопровідності спіралі 4 та захисного екрану 3, міцності та жорсткості корпусу 6; вимоги, пов'язані із призначенням **ТО** – забезпечення заданої потужності (максимальної температури нагріву спіралі 4), достатньої для нагрівання води певного об'єму до кипіння за мінімальний час, а також підвищений ККД.

Серед конструктивних вимог (**СВ4**) електроплитки слід назвати: оптимальні габаритні розміри, форма та марка матеріалу елементів, обраних виходячи з вимог **СВ3** щодо теплопровідності, жаро- та зносостійкості, електричного опору, міцності, довговічності, надійності, потужності та ККД; вимоги, пов'язані із впливами між елементами – енергетичними (електричними та тепловими) та матеріальними (роз'ємними та нероз'ємними з'єднаннями); вимоги стосовно точності та шорсткості поверхонь елементів; вимоги, що визначають технологічний спосіб виготовлення елементів (вид механічної та термічної обробки, використовуване обладнання, ріжучий та вимірювальний інструмент, пристосування, технології, режими, матеріали та комплектуючі).

СВ5 включає вимоги щодо підготовки та організації виробництва (використання наявного технологічного обладнання, закупівля нових високоефективних інструментів та технологій), виготовлення та випробування (засоби та пристрої механізації та автоматизації, використовувані випробувальні стенди та умови випробувань), зберігання та транспортування (вимоги та умови консервації, упакування, завантаження-розвантаження, перевезення різними видами транспорту), використання та ліквідації, включаючи вимоги техніки безпеки, охорони праці та захисту навколишнього середовища (номінальні та граничні режими роботи, періодичність

та послідовність технічного обслуговування, ремонту, перевірок працездатності); ергономічні вимоги (оптимальна висота від поверхні нагрівання до підлоги, довжина електричного проводу, зручність пересування при зміні місцеположення, загальна маса електроплитки, дотримання вимог техніки безпеки та електробезпеки); естетичні (форма, компоновання елементів, пропорціональність, колір фарбування); економічні (максимально допустимі виробничі витрати, собівартість та ціна прототипу); вимоги постачання та планування (розмір партії, термін постачання); відповідності правовим нормам (патентування удосконалень, реалізованих в прототипах, придбання ліцензій на виготовлення більш довговічних спіралі та захисного екрана, більш ефективного регулятора потужності).

Операція 1.4. Укладання списків недоліків прототипів

Список недоліків прототипів електроплитки:

1. У всіх трьох прототипів при виконанні ними заданої зовнішньої функції значна частина енергії витрачається на нагрівання спіралі, теплоізолювального блоку і, в певній мірі, - основи електроплитки та **НС**, що не є корисною роботою і приводить до зниження ККД.

2. З першим недоліком пов'язаний також і значний (у порівнянні із аналогічним параметром газової плити) час нагрівання певного об'єму води до температури кипіння.

3. З метою економії електроенергії в **ТО**, що удосконалюється, необхідно передбачити терморегулятор, який після нагрівання води до заданої температури забезпечує її автоматичне підтримання впродовж установленого часу після чого відключає електроживлення (завдяки цьому споживана потужність електроплитки суттєво знижується).

4. Створення всіх трьох прототипів вимагає проведення проектних та перевірних розрахунків, розробки конструкторської документації (складальних креслень, специфікацій, деталювань), підготовки дослідного та серійного виробництва (включаючи витрати на закупівлю нового основного та допоміжного обладнання, інструмента, пристосувань, технологій, матеріалів та комплектуючих, ліцензій на виготовлення окремих елементів), випуску серійних зразків (витрат часу, електроенергії та коштів на зарплатню робітникам при виготовленні та складанні елементів).

5. Прототипи **ТО** під час експлуатації представляють потенційну небезпеку для людини – ймовірність одержання високотемпературних опіків та уражень електричним струмом.

Головними недоліками слід вважати перші три. Отже їх усунення і є метою розв'язання задачі.

Операція 1.5. Попередня постановка задачі

Дано:

а) Якісний та кількісний опис функції **ТО** (див. операцію 1.2).

б) Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них (див. операцію 1.3).

в) Списки недоліків прототипів (див. операцію 1.4).

Вимагається:

Так удосконалити прототипи, щоб при умові виконання заданої функції забезпечення нагрівання води в ємності об'ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв та задоволення установлених вимог вони би мали як можна менше виявлених недоліків або не мали їх зовсім.

Етап 2. Вибір критерію досконалості варіантів технічних розв'язків

В якості критерію досконалості прототипів електроплитки приймемо їх ККД, підвищення якого у визначальній мірі впливає на скорочення часу нагрівання.

ККД електроплитки визначається за формулою

$$\zeta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{сп}}}, \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{кор}}$ – витрати енергії на нагрівання води від 10 до 100 °С (корисна енергія); $Q_{\text{сп}}$ – споживана за цей час електроенергія.

Етап 3. Побудова функціональних структур прототипів технічного об'єкта

Розробимо **ФС** вихідного прототипу.

Розділення електроплитки на неподільні елементи і визначення їх найменувань та функцій було проведено в 1-й операції постановки задачі (див. також рис. 2.3).

Зі всієї множини людей, **ТС** та впливів **НС** з розглядуваним **ТО** безпосередньо пов'язані: **ТС** „ємність з водою об'ємом 3 – 6 л” (**ТС_{3.61}**), яку він нагріває до заданої температури протягом установленого допустимого часу; **ТС** „стіл” (**ТС_{3.62}**), на якому **ТО** установлений; **ТС** „електромережа” (**ТС_{3.63}**) – забезпечує подачу до **ТО** електроенергії.

Головним елементом **ТО** є захисний екран (**e₀**), одна з функцій якого (**ф₀₁**) відповідає функції самої електроплитки – „забезпечення нагрівання води в ємності об'ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв”.

Укладаємо таблицю аналізу функцій **ТО** – табл. 2.9.

На рис. 2.4. наведена **ФС** вихідного прототипу електроплитки.

У другий додатковий прототип у порівнянні із вихідним прототипом введений новий елемент – регулятор (**e₅**), який дозволяє автоматично підтримувати кипіння води в ємності при пониженому споживанні електро-

енергії, а також відключати електроживлення у певний момент часу, в тому числі і при закипанні. Крім цього, на відміну від вихідного прототипу, у прототипі з регулятором відсутній корпус 6 (e_5) (див. рис. 2.4 та табл.2.9), функція якого „забезпечення фіксації захисного екрана 3 (e_0), спіралі 4 (e_1), проводу 2 (e_2) та теплоізолювального вогнетривкого блоку 5 (e_4) у певних положеннях в просторі відносно один одного та відносно столу ($ТС_{3.63}$)” передана теплоізолювальному несучому блоку (e_4). Останній виконує також функції блоку 5 (e_4) вихідного прототипу, а саме: „зменшення теплового впливу спіралі 4 (e_1) на стіл ($ТС_{3.63}$)”, „підтримання спіралі 4 (e_1) у певному положенні” та „забезпечення електроізоляції спіралі 4 (e_1)”. Найменування, позначення та функції решти елементів додаткового прототипу залишились такими самими, як у вихідного (див. табл. 2.9).

Таблиця 2.9

Аналіз функцій ТО „електроплитка”. Зовнішня функція ТО (Φ) забезпечення нагрівання води в ємності об’ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв

Елемент		Функція	
По-знач.	Найменування	По-знач.	Опис
e_0	Захисний екран	Φ_{01}	Забезпечення нагрівання води в ємності ($ТС_{3.61}$) об’ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв
<< >>	<< >>	Φ_{02}	Забезпечення захисту спіралі (e_1) від пошкодження
e_1	Спіраль	Φ_1	Забезпечення нагрівання захисного екрана (e_0)
e_2	Провід	Φ_2	Передача електроенергії від роз’єму (e_3) до спіралі (e_1)
e_3	Роз’єм	Φ_3	Забезпечення з’єднання і роз’єднання електромережі ($ТС_{3.62}$) та проводу (e_2)
e_4	Теплоіз. вогнетр. блок	Φ_{41}	Зменшення теплового впливу спіралі (e_1) на корпус (e_5) та стіл ($ТС_{3.63}$)
<< >>	<< >>	Φ_{42}	Підтримання спіралі (e_1) певному положенні
<< >>	<< >>	Φ_{43}	Забезпечення електроізоляції спіралі (e_1)
e_5	Корпус	Φ_5	Забезпечення фіксації захисного екрана (e_0), спіралі (e_1), проводу (e_2) та теплоізолювального вогнетривкого блока (e_4) у певних положеннях в просторі відносно один одного та відносно столу ($ТС_{3.63}$)

Φ С прототипу з регулятором подана на рис. 2.5.

Побудуємо також один з можливих варіантів поліпшених **ФС**, для чого скористаємось методикою виконання операції 2.1 уточненої постановки задачі (див. розд. 1.2.1). Представляється доцільним ввести у вихідний прототип три додаткові елементи: елемент (e_1), що забезпечує зниження втрат теплоти від спіралі (e_0) у навколишнє середовище ($HC_{3.61}$); елемент (e_2), який служить для підтримання спіралі (e_0) у певному положенні і елемент (e_6) для підвищення кількості теплоти, що передається від спіралі (e_0) до ємності з водою ($TC_{3.61}$). Складаємо таблицю аналізу функцій **ТО** – табл. 2.10. В таблиці не вказані найменування додаткових елементів e_1 , e_2 і e_6 , оскільки на даному етапі їх принцип дії та конструкція точно ще невідомі.

Таблиця 2.10

Аналіз функцій **ТО** „електроплитка” для побудови поліпшеної **ФС**. Зовнішня функція **ТО** (**Ф**) забезпечення нагрівання води в ємності об’ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв

Елемент		Функція	
По-значен	Найменування	По-значен	Опис
e_0	Спіраль	Φ_0	Забезпечення нагрівання води в ємності ($TC_{3.61}$) об’ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв
e_1	...	Φ_1	Забезпечення зниження втрат теплоти від спіралі (e_0) у навколишнє середовище ($HC_{3.61}$)
e_2	...	Φ_2	Підтримання спіралі (e_0) у певному положенні
e_3	Корпус	Φ_3	Забезпечення фіксації спіралі (e_0), проводу (e_4) у визначених положеннях в просторі відносно один одного та відносно столу ($TC_{3.63}$)
e_4	Провід	Φ_4	Передача електроенергії від роз’єму (e_5) до спіралі (e_0)
e_5	Роз’єм	Φ_5	Забезпечення з’єднання і роз’єднання електромережі ($TC_{3.62}$) та проводу (e_4)
e_6	...	Φ_6	Підвищення кількості теплоти, що передається від спіралі (e_0) до ємності з водою ($TC_{3.61}$)

Поліпшена **ФС** представлена на рис. 2.6.

Етап 4. Складання морфологічних таблиць

Операція 4.1. Заготовка формуляра таблиці

Морфологічну таблицю розробляємо на основі таблиці аналізу функцій **ТО** з поліпшеною **ФС** (див. табл. 2.10) та самої **ФС** (див. рис. 2.6). Їх аналіз показує, що комбінування альтернативними варіантами для функцій **ф₃**, **ф₄**, **ф₅** мало впливає на усунення недоліків прототипів і підвищення критерію їх досконалості. Тому стовпці з формулюваннями даних функцій і альтернативними варіантами **ТР** з їх реалізації до морфологічної таблиці включати не доцільно.

Операція 4.2. Заповнення морфологічної таблиці

Заповнюємо стовпці відпрацьованого формуляра альтернативними варіантами (табл. 2.11)

Операція 4.3. Виявлення ефективних комбінацій альтернативних варіантів, що належать одному стовпцю

В нижній частині 3-го і 4-го стовпців табл. 2.11 наведені можливі ефективні комбінації альтернативних варіантів реалізації відповідних функцій.

Етап 5. Вибір найефективніших технічних розв'язків

Операція 5.1. Визначення числа можливих технічних розв'язків

За формулою (2.1) число можливих комбінацій **ТР**, які можуть бути синтезовані на основі табл. 2.11 підраховується як $N = 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 = 300$.

Операція 5.2. Скорочення числа альтернативних варіантів в стовпцях і числа стовпців

Оскільки за умовою (2.2) $N < 10^4$, скорочення альтернатив в стовпцях морфологічної таблиці проводити не потрібно.

Операція 5.3. Скорочення множини можливих варіантів технічних розв'язків шляхом усунення найгірших комбінацій альтернативних варіантів

Згідно із вказівками наведеної вище методики (див. розд. 2.2.5.3), будується табл. 2.12 утворення комбінацій з двох елементів, з якої усуваються всі найгірші комбінації – відповідні графи зачорнені.

Далі укладається табл. 2.13, з якої викреслюються найгірші комбінації з трьох елементів. Оскільки число допустимих комбінацій, що залишились в табл. 2.13, все ще занадто велике, для них проводиться додаткове порівняльне оцінювання. Малоєфективні варіанти скорочуються (графи відмічені сірим кольором).

Будується остаточна таблиця 2.14, в якій спочатку викреслюються явно гірші комбінації (зачорнені). Варіанти, що залишились, порівнюються

Таблиця 2.11

Морфологічна таблиця варіантів ТР електроплитки

Φ_0 - нагрівання води в ємності до кипіння	Φ_2 - підтримання нагрівального елемента у певному положенні	Φ_6 - підвищення кількості теплоти, що передається від нагрівального елемента до ємності з водою	Φ_1 - зниження втрат теплоти від нагрівального елемента у навколишнє середовище
1	2	3	4
A_1^1 - спіраль	A_2^1 - теплоізолювальний вогнетривкий матеріал	A_3^1 - криволінійне дзеркало, що відбиває тепловий потік на дно ємності	A_4^1 - елемент значної маси із матеріалу з малою теплопровідністю
A_1^2 - металева пластина з високим електричним опором	A_2^2 - легка вогнетривка решітка з ізоляційного матеріалу	A_3^2 - ізольований нагрівальний елемент, від якого теплота передається стінкам ємності через матеріал з високою теплопровідністю	A_4^2 - дзеркало у вигляді легкого циліндричного вертикального кожуху навколо ємності і плитки для відбиття теплового випромінювання
A_1^3 - спіраль в балоні з інертним газом	A_2^3 - спіраль в жорстких трубках з ізоляційного матеріалу	A_3^3 - трубки між нагрівальним елементом та дном ємності	A_4^3 - теж саме з кришкою над ємністю
	A_2^4 - підвіска на ізольованих металевих гачках	A_3^4 - вертикальний циліндричний кожух навколо ємності і плитки, що забезпечує конвекційний обмін нагрітого повітря зі стінками ємності $A_3^5 = (A_3^1, A_3^3)$	A_4^4 - теж саме із зовнішньою тепловою ізоляцією дзеркального кожуху $A_4^5 = (A_4^1, A_4^3)$

Таблиця 2.12

Утворення та скорочення комбінацій з двох елементів

	A_2^1	A_2^2	A_2^3	A_2^4
A_1^1				
A_1^2				
A_1^3				

між собою за додатковими критеріями (надійність, трудомісткість виготовлення, вартість). Усунені при цьому варіанти відмічені сірим фоном.

Таблиця 2.13

Утворення та скорочення комбінацій з трьох елементів

	A_3^1	A_3^2	A_3^3	A_3^4	A_3^5
$A_1^1 A_2^2$					
$A_1^1 A_2^3$					
$A_1^1 A_2^4$					
$A_1^2 A_2^2$					
$A_1^2 A_2^4$					
$A_1^3 A_2^4$					

Таблиця 2.14

Утворення та скорочення комбінацій з чотирьох елементів

№№		A_4^1	A_4^2	A_4^3	A_4^4	A_4^5
1	$A_1^1 A_2^2 A_3^1$					
2	$A_1^1 A_2^2 A_3^3$					
3	$A_1^1 A_2^2 A_3^4$					
4	$A_1^1 A_2^2 A_3^5$					
5	$A_1^1 A_2^3 A_3^1$					
6	$A_1^1 A_2^3 A_3^2$					
7	$A_1^1 A_2^4 A_3^1$					
8	$A_1^1 A_2^4 A_3^4$					
9	$A_1^2 A_2^2 A_3^3$					
10	$A_1^2 A_2^4 A_3^3$					
11	$A_1^2 A_2^4 A_3^4$					

Було прийнято до уваги, що відбивний кожух A_4^2 може одночасно виконувати функцію конвекційного кожуху A_3^4 (див. табл. 2.11).

Операція 5.4. Вибір найефективніших варіантів технічних розв'язків
Формально в трьох рядках табл. 2.14 залишилось десять варіантів ТР. Якщо у варіанті A_4^3 зробити легку знімну кришку, для того щоб користувач міг його перетворювати у варіант A_4^2 (див. табл. 2.11), то по суті розв'язок A_4^5 одночасно реалізує можливості A_4^2 і A_4^3 в рядках 1, 5 і 7 табл.2.14. Таким чином, для детальнішого пророблення пропонується три варіанти (див. табл. 2.14):

$$\begin{aligned} \text{ТР1} &= (A_1^1, A_2^2, A_3^1, A_4^5), \\ \text{ТР2} &= (A_1^1, A_2^3, A_3^1, A_4^5), \\ \text{ТР3} &= (A_2^2, A_2^4, A_3^1, A_4^5). \end{aligned} \tag{2.4}$$

Операція 5.5. Виконання попередніх ескізів технічних розв'язків та їх опис

Схема отриманого **ТР1** зображена на рис. 2.7. В даному варіанті ємність з водою 3 устанавлюється на несучому каркасі 4. Нагрівання здійснюється спіраллю 8, яка кріпиться на тонкій непровідній решітці 5. Частина теплоти, що випромінюється і йде від спіралі донизу, відбивається сферичним дзеркалом 7 і додатково затримується шаром з теплоізоляційного матеріалу 6. В додаток, для обмеження потоків теплоти, що йдуть від ємності в сторони і вверх, електроплитка оснащується легким металевим порожнім циліндром 1 із дзеркальною внутрішньою поверхнею. Зверху на циліндр вдягається кришка 2.

ТР2 відрізняється від **ТР1** лише тим, що спіраль 8 розташовується у жорстких трубках з ізоляційного матеріалу (наприклад, кварцового скла), які замінюють собою решітку 5.

ТР3 відрізняється від **ТР1** тим, що спіраль 8 підтримується металевими гачками, ізолювано закріпленими на стінках каркасу 4.

2.4. Варіанти індивідуальних практичних завдань з морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків

Скласти таблицю аналізу функцій та розробити поліпшену функціональну структуру технічного об'єкта:

1. Токарно-гвинторізний верстат.
2. Баштовий кран.
3. Екскаватор.
4. Двигун внутрішнього згоряння.
5. Двоелектродна електронна лампа-діод.
6. Електродвигун.
7. Промисловий робот.
8. Стрічковий конвеєр.
9. Автомобіль.
10. Вібробункер.
11. Електропіч опору.
12. Станція технічного обслуговування автомобілів.
13. Агрегатний верстат.
14. Кроковий транспортер.
15. Штампувальна машина.

Скласти морфологічну таблицю для технічного об'єкта:

16. Викрутка.
17. Колесо транспортного засобу.
18. Двері.
19. Авторучка.
20. Болт.
21. Підшипник.
22. Слюсарна ножівка.
23. Токарний різець.
24. Сидіння водія автомобіля.
25. Гайковий ключ.
26. Гідроциліндр.
27. Свердло.
28. Стілець.
29. Слюсарний верстат.
30. Черв'як.

3. Автоматизований синтез технічних розв'язків

3.1. Багаторівневі морфологічні таблиці

Розглядуваний метод автоматизованого синтезу відноситься до комп'ютерної групи методів ІТ [1] і призначений для розв'язання задач, пов'язаних із вибором найраціональніших варіантів ТР. В своїй основі він представляє собою подальший розвиток методу морфологічного аналізу та синтезу (див. розд. 2).

Суть методу полягає в тому, що інформацію про елементи прототипів або відомих ТО визначеного призначення, а також їх конструктивні ознаки представляють у вигляді І-АБО-дерева (І-АБО-графа). Утворюючи з ознак дерева можливі комбінації, отримуємо як відомі так і нові ТР, з яких необхідно обрати найефективніші. Таким чином, І-АБО-дерево – це багаторівнева морфологічна таблиця. Метод автоматизованого синтезу відрізняється від методу морфологічного аналізу та синтезу тим, що при його реалізації у задачу людини входить розробка ієрархічного дерева прототипів ТО, списку вимог до них, моделі оцінювання варіантів ТР, а також алгоритму програми аналізу та синтезу. На комп'ютер покладена функція вибору допустимих та найефективніших ТР, а також формування для них ієрархічного опису.

У порівнянні із методом морфологічного аналізу та синтезу метод автоматизованого синтезу має такі основні переваги:

- можливість здійснення автоматизованого аналізу та порівняння варіантів ТР з вибором серед них найкращих;
- можливості для автоматизованого опису ТР з будь-яким ступенем деталізації як у словесній формі, так і у вигляді КС.

Слід однак додати, що метод автоматизованого синтезу може ефективно застосовуватись для удосконалення визначеної і досить обмеженої множини ТО, які повинні відповідати таким вимогам:

- мати значне, важко оглядове навіть для фахівців число прототипів, яке, до цього ж продовжує постійно зростати, причому всі прототипи мало відрізняються один від одного за внутрішніми функціями та принципом дії і можуть розглядатись на одному загальному І-АБО-дереві;
- складатись з елементів, що зв'язані між собою невеликою кількістю функціональних, принципівих або конструктивних впливів, що під час синтезу ТР полегшує комбінування альтернативними варіантами їх ознак (до подібних ТО відносяться розосереджені в просторі потокові технологічні лінії, енергетичні системи та мережі, металорізальні верстати, підйомно-транспортні пристрої, транспортні засоби і т.д.

У наступних розділах розглядаються етапи реалізації методу автоматизованого синтезу.

3.2. Метод автоматизованого синтезу варіантів технічних розв'язків

Метод автоматизованого синтезу реалізується в чотири етапи.

3.2.1. Побудова І-АБО-дерева технічних розв'язків
Перший етап методу складається з чотирьох операцій.

3.2.1.1. Розділення технічних об'єктів на елементи
і визначення для них конструктивних ознак

Детальна методика розділення **ТО** на елементи представлена в І-й частині навчального посібника [1]. Виділеним елементам присвоюються по можливості загальноприйнятні найменування.

Для полегшення виявлення конструктивних ознак вони розділені на 6 груп:

а) Ознаки, що визначають розташування елементів в просторі і відносно один одного. Для опису таких ознак використовують слова: попереду, в середині, збоку і т.д.

б) Ознаки, що характеризують впливи між елементами при виконанні ними внутрішніх функцій та зовнішньої функції **ТО**. Впливами можуть бути: шарнірні, різьбові та зварні з'єднання; зубчасті, пасові та ланцюгові передачі; гідролінії, електричні сигнали і т.д.

в) Ознаки геометричної форми елементів. Наприклад, квадратний поперечний переріз, сферична форма, стінка з ребрами жорсткості.

г) Ознаки матеріалу, що визначають його марку, основні властивості або параметри.

д) Ознаки решти експлуатаційних, технологічних, конструктивних, ергономічних, естетичних, економічних параметрів, параметрів зберігання та транспортування, планування та постачання, параметри відповідності правовим нормам та якості виготовлення **ТО** [1], а також співвідношень між ними.

е) Інші ознаки до яких відносяться фізичний принцип дії (п'єзоелектричний датчик), вид енергоносія (електроенергія, теплота згоряння рідкого палива), технологічний спосіб виготовлення (литий корпус) тощо.

3.2.1.2. Розробка ієрархічних дерев
прототипів технічних об'єктів

Побудова ієрархічного дерева **ТО** здійснюється у такій послідовності. На першому зверху рівні розташовують вершину з найменуванням самого прототипу **ТО**, на другому – вершини з найменуваннями його неподільних елементів, на третьому – вершини з описами конструктивних ознак елементів. У випадках, коли описи ознак є досить складними і довгими, можливо розділення їх на декілька вершин, при цьому додаткові вершини зображують на четвертому, п'ятому і наступних, якщо це потрібно, рівнях.

На рис. 3.1 наведені спрощені бокові проекції прототипів легкового автомобіля: спортивного, масового, лімузину та джипу. На рис. 3.2 – 3.5 представлені ієрархічні дерева вказаних прототипів.

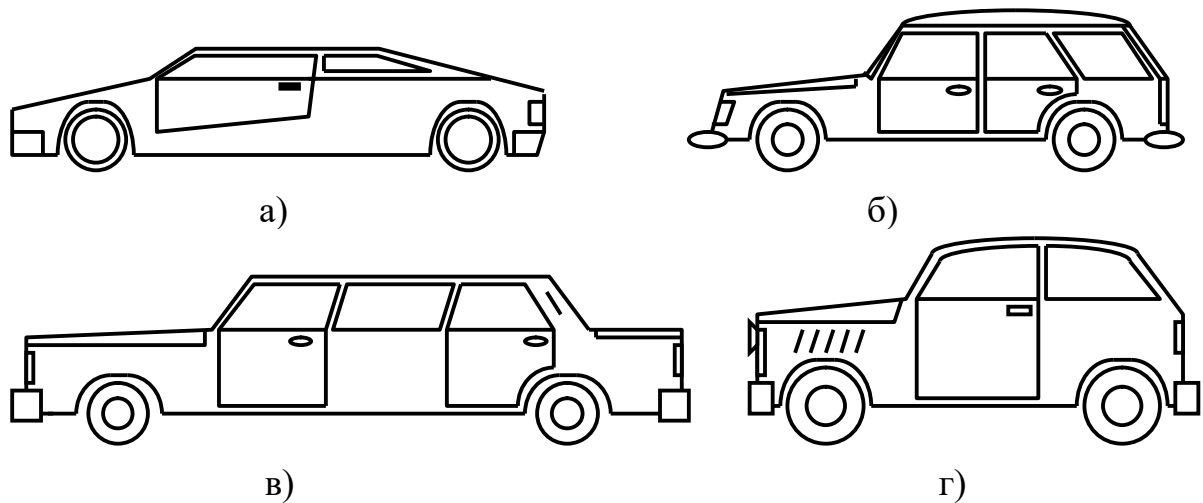


Рис. 3.1. Фронтальні проекції прототипів легкового автомобіля: а - спортивного; б – масового; в – лімузину; г - джипу

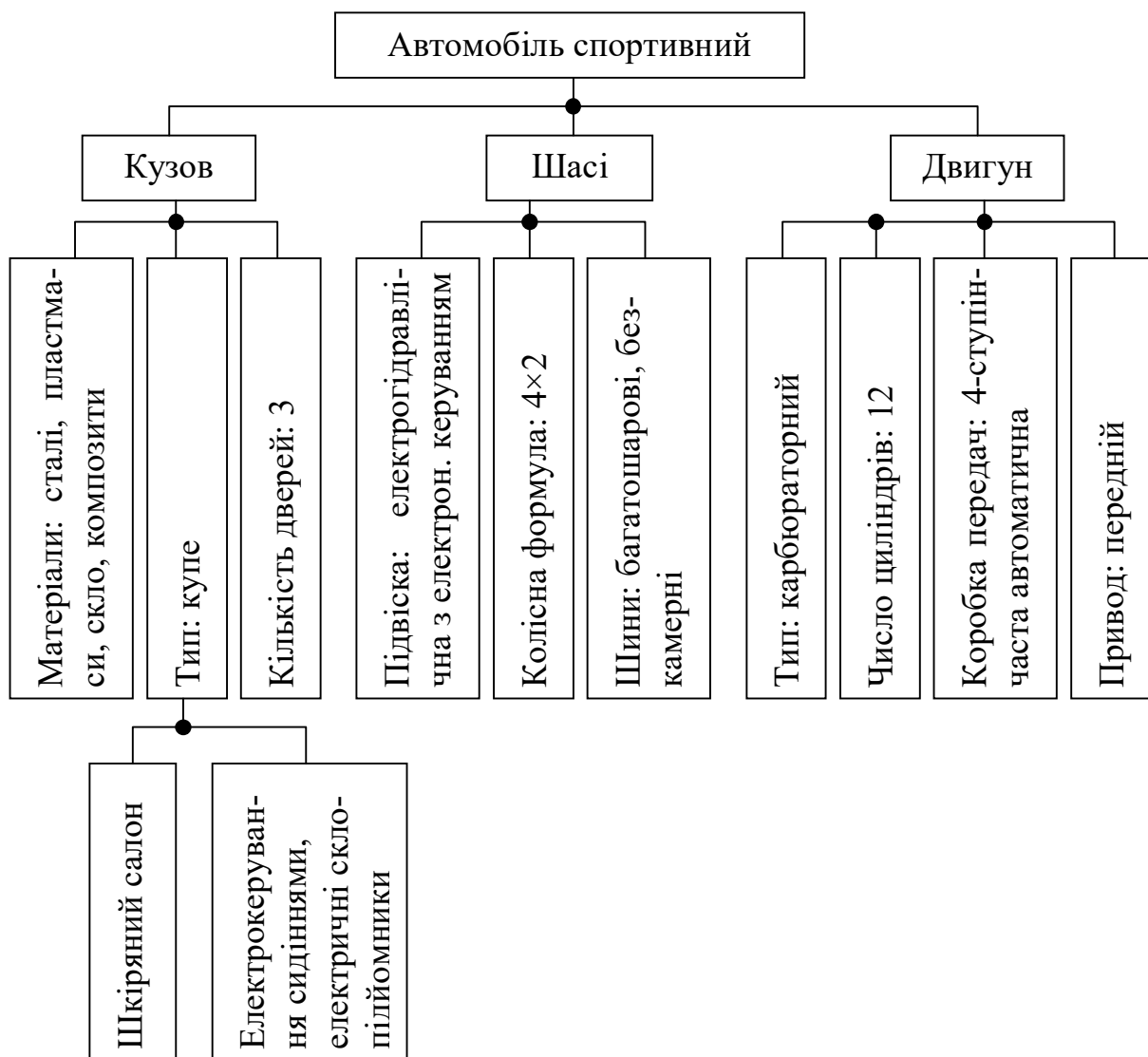


Рис. 3.2. Ієрархічне дерево спортивного автомобіля

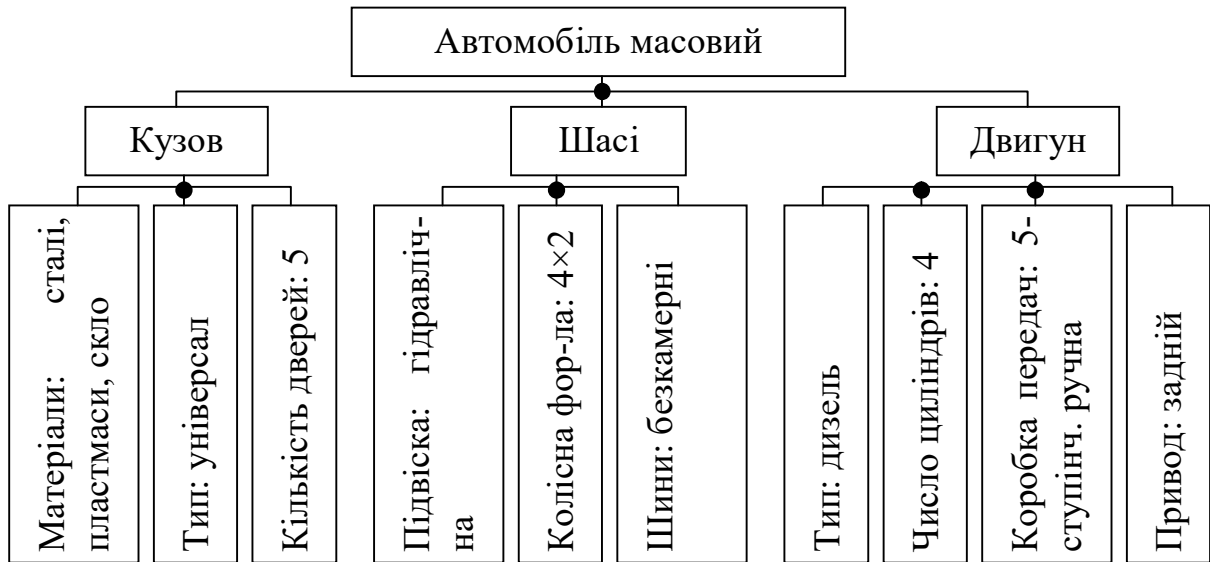


Рис. 3.3. Ієрархічне дерево масового легкового автомобіля

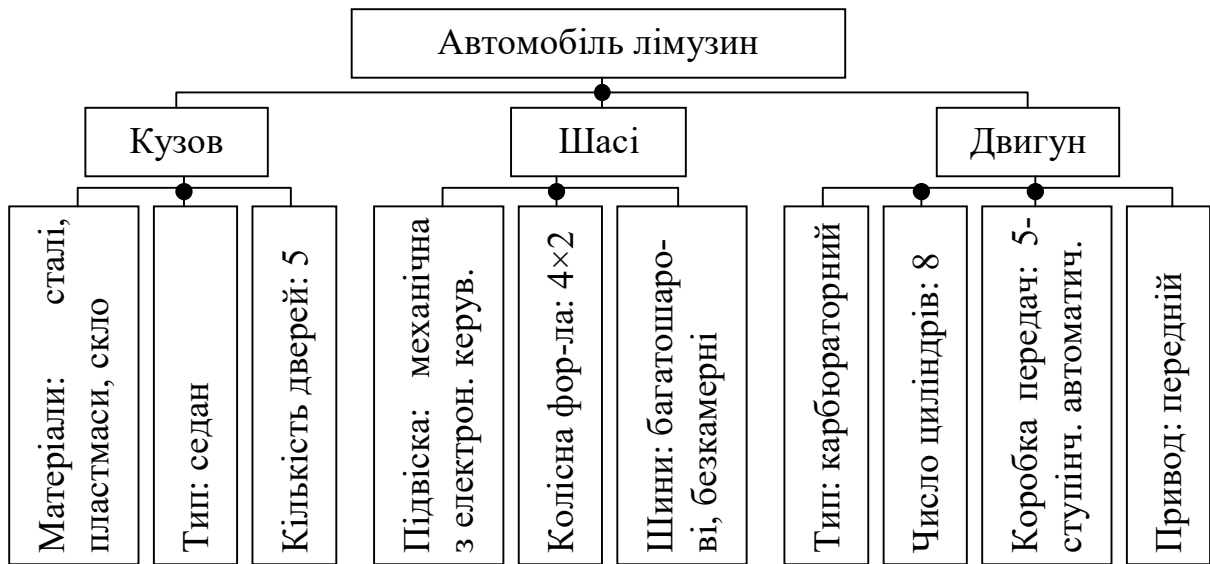


Рис. 3.4. Ієрархічне дерево автомобіля лімузин

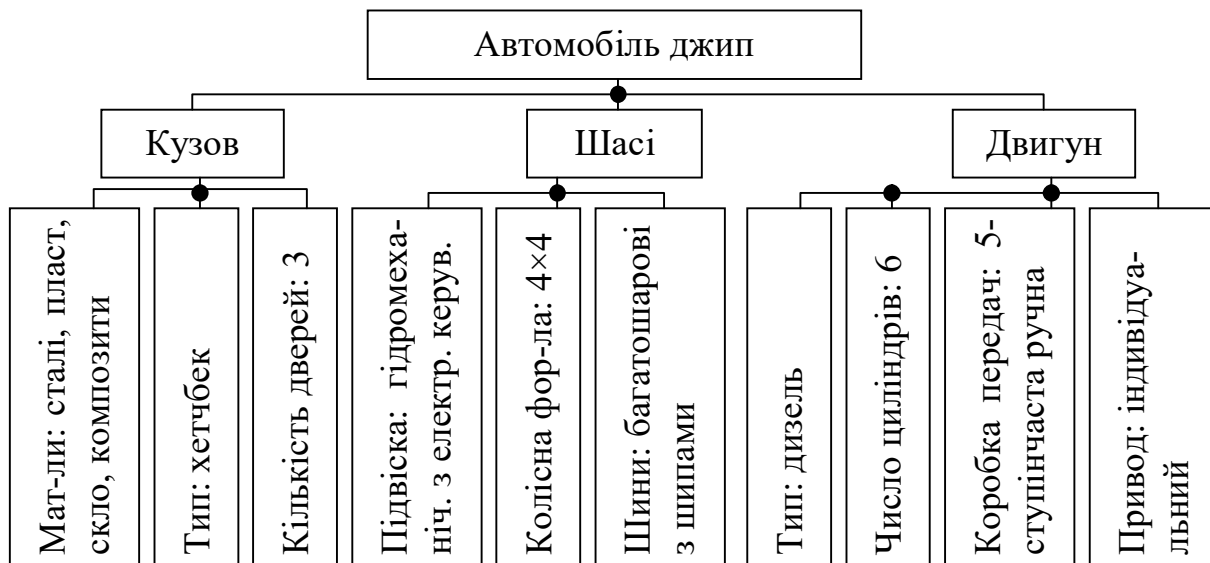


Рис. 3.5. Ієрархічне дерево автомобіля джип

Слід мати на увазі, що вершини всіх елементів кожного окремого прототипу, а також вершини їх конструктивних ознак об'єднуються у вузлах І-типу (вони на деревах показані зачорненими крапками). Це означає, що всі елементи та ознаки ієрархічного дерева (яке називають також І-деревом) є обов'язковими (безальтернативними) для даного вихідного прототипу **ТО**.

3.2.1.3. Об'єднання І-дерев технічних об'єктів в загальне І-АБО-дерево

Розроблені окремі І-дерева вихідних прототипів **ТО** необхідно об'єднати в загальне І-АБО-дерево варіантів **ТР**, яке окрім вершин обов'язкових елементів та ознак, що сходяться у вузлах І-типу, містить вершини їх альтернативних варіантів, взяті з окремих дерев прототипів і об'єднані в АБО-вузлах.

Побудова загального І-АБО-дерева здійснюється у такому порядку.

а) Всю множину відібраних **ТО**, для яких побудовані І-дерева, розбивають на декілька підмножин **ТО**, що мають близькі **ФС**, **ПС** та **КС** (в прикладі із легковими автомобілями будемо вважати, що всі розглядувані прототипи відносяться до одної підмножини).

б) Для кожної підмножини **ТО** будується своє І-АБО-дерево. З цією метою, на другому зверху рівні (на першому рівні знаходиться вершина із загальним найменуванням всіх **ТО** підмножин), а якщо потрібно, то і на нижніх додаткових рівнях, - розташовуються вершини з найменуваннями елементів всіх прототипів. При цьому вершини аналогічних або близьких за призначенням та конструкцією елементів різних **ТО** зображуються на дереві один раз (для них підбирається загальне найменування), вершини ж елементів з аналогічною функцією але суттєвими принциповими або конструктивними відмінностями, об'єднуються у АБО-вузлах, які позначаються на загальному дереві порожніми крапками. Під рівнем або рівнями з вершинами елементів розташовуються вершини з описами конструктивних ознак, які також можуть сходитись у І-вузлах (якщо вони є обов'язковими для всіх прототипів) або в АБО-вузлах (у випадку, якщо вони представляють альтернативні варіанти одної і тої самої ознаки). При цьому слід звертати увагу на недопустимість повторного зображення вершин з описами по суті аналогічних ознак, які лише незначно відрізняються за формою. В таких випадках, знов таки, підбирається один загальний опис.

На рис. 3.6 наведений фрагмент загального І-АБО-дерева для прототипів легкового автомобіля, побудованого на основі І-дерев прототипів (див. рис. 3.2 – 3.5).

в) І-АБО-дерева побудовані для окремих підмножин об'єднують у одне загальне І-АБО-дерево **ТР**. При цьому з метою зменшення розмірів дерева, скорочення часу на реалізацію наступних етапів методу, а також виключення можливості повторного синтезу аналогічних **ТР**, слід, як і при

виконанні попереднього пункту звернути увагу на використання стандартизованої та уніфікованої термінології.

Якщо загальне дерево об'єднує десятки і сотні окремих І-дерев прототипів, рекомендується створити термінологічний словник, який допоможе в його укладанні і розвитку, а також сприятиме підвищенню грамотності опису ТР. При укладанні словника слід користуватись рубриками покажчиків класів винаходів, енциклопедіями, технічними словниками, стандартами на термінологію і т.п. Словник краще оформлювати у вигляді таблиці, що складається з чотирьох стовпців під заголовками:

- найменування елементів (вузлів, деталей);
- описи функцій елементів;
- конструктивні ознаки елементів;

- ескізи елементів (дані ескізи значно полегшують перегляд і читання зального дерева, а також служать вихідною графічною інформацією при подальшому автоматизованому укладанні складальних креслень синтезованих ТР).

3.2.1.4. Розширення множини можливих технічних розв'язків

Загальне І-АБО-дерево є засобом компактного збереження інформації щодо аналізованої множини ТО, включаючи і принципово нові ТР, які можуть бути отримані шляхом комбінування елементами та їх конструктивними ознаками. Однак, як показує досвід, І-АБО-дерево побудоване лише на основі відомих прототипів ТО, у більшості випадків містить мало патентоспроможних ТР, тому рекомендується розширити та доповнити його додатковими елементами та конструктивними ознаками. Таке розширення та доповнення ведеться, по-перше, шляхом вивчення останніх патентів та авторських свідоцтв на ТО аналогічного призначення, а, по-друге, за допомогою евристичних методів ІТ [2].

На рис. 3.7 представлений фрагмент загального І-АБО-дерева легкового автомобіля, одна з груп альтернативних варіантів якого пов'язана із матеріалами, що використовуються для виготовлення елементів кузова, доповнена вершиною „титанові сплави” (можливо також введення вершини „алюмінієві сплави”). Крім цього, додатково введені варіанти: „надувні подушки безпеки”, „бортовий комп'ютер”, „регулювання положення керма”. Множину конструктивних ознак двигуна карбюраторного типу можна розширити альтернативами „форкамерно-смолоскипове-”, та „електронне запалювання”, а дизеля – „передкамери та іскрове запалювання”. Доцільно додати і альтернативи щодо типу кузова (кабріолет) та двигуна (газотурбінний, двигун Стірлінга, парова машина, електродвигун, маховиковий двигун й інші).

Після розширення та доповнення загального І-АБО-дерева необхідно перевірити правильність його побудови. При цьому виходять з умови, що загальне дерево повинно містити описи всіх прототипів ТО, які послужили



Рис. 3.7. Фрагмент розширеного та доповненого загального І-АБО-дерева легкового автомобіля

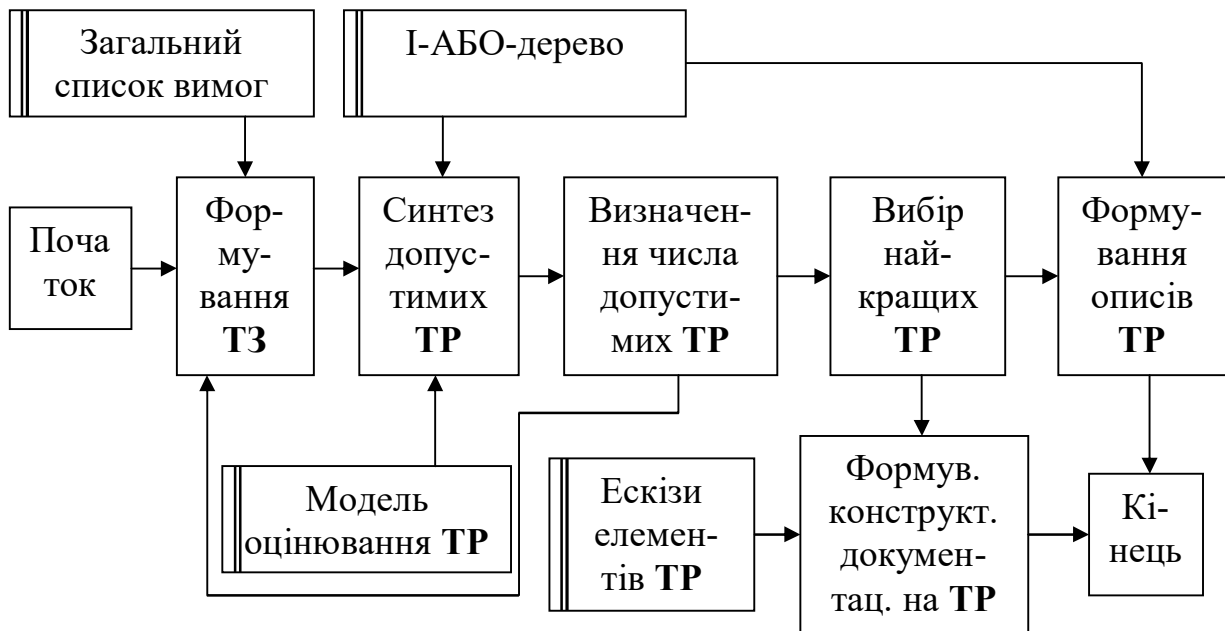


Рис. 3.8. Загальна послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу ТР

його основою. Для перевірки, один з таких описів пробують синтезувати шляхом послідовного (від верхнього до нижнього рівня) об'єднання відповідних елементів і конструктивних ознак в І-вузлах, та викреслювання зайвих альтернативних варіантів у вузлах АБО-типу.

3.2.2. Укладання списку вимог

На другому етапі розробляється список вимог до синтезованих **ТР**, який, аналогічно загальному І-АБО-дереву, являє собою блок інформації, необхідної для розв'язання задачі **ІТ** методом автоматизованого синтезу. Список вимог повинен відповідати всій множині **ТО**, представлених на загальному дереві, тобто - містити **ТЗ** на розробку будь-якого з прототипів.

Вимоги загального списку тісно пов'язані із параметрами **ТО** – функціональними, експлуатаційними, конструктивними, технологічними, економічними, ергономічними, естетичними, параметрами зберігання та транспортування, постачання та планування, відповідності правовим нормам та якості виготовлення [1]. Всі вимоги доцільно розділити на дві групи:

- основні вимоги, виконання яких забезпечує функціонування **ТО** (вимоги, пов'язані із функціональними параметрами);
- додаткові вимоги, – пов'язані із параметрами інших категорій.

Обов'язкові вимоги дозволяють відібрати допустимі **ТР**, додаткові – визначити серед допустимих варіантів найкращі.

Слід однак відмітити, що межа між основними та додатковими вимогами є досить умовною, оскільки одна і та ж сама вимога при різних умовах використання **ТО** може відноситись як до перших, так і до других.

Загальний список вимог оформлюється у вигляді таблиці (в табл. 3.1 представлені вимоги для легкових автомобілів), яка містить стовпці з порядковими номерами та формулюваннями вимог, а також кількісні або якісні параметри, що їх характеризують. Формулювання слід подавати коротко і чітко, з максимально широким використанням стандартизованої та уніфікованої термінології. У верхній частині таблиці звичайно розташовуються основні вимоги, у нижній – додаткові.

При формуванні окремого **ТЗ** список вимог у математичній формі можна записати таким чином

$$\mathbf{B}_i = I_1(\mathbf{a}_k), I_2(\mathbf{a}_l), \dots, I_n(\mathbf{a}_m), \quad (3.1)$$

де I_1, I_2, \dots, I_n – формулювання вимог; k, l, \dots, m – номери діапазонів значень або варіантів параметрів, що характеризують вимоги.

При укладанні списку вимог рекомендується користуватись державними стандартами, технічними умовами, технічними завданнями на розробку, актами випробовувань та експлуатації, патентами та авторськими свідоцтвами на **ТО**, що мають аналогічне або близьке призначення.

Оскільки трудомісткість виконання наступного етапу (див. розд.3.2.3) в значній мірі залежить від числа вимог у загальному списку,

рекомендується обмежити їх число і не включати до списку ті додаткові вимоги, що не роблять суттєвого впливу на вибір найкращих **ТР** і можуть бути легко забезпечені при подальшому конструктивному проробленні.

Таблиця 3.1

Список вимог для прототипів **ТО** „Легковий автомобіль”

№	Вимоги	Параметри вимог
1	Максимальна швидкість	120 км/год 180 км/год 220 км/год 320 км/год
2	Загальна маса	1 т 1,5 т 1,8 т 2 т 2,5 т
3	Потужність двигуна	80 к.с. 100 к.с. 200 к.с. 300 к.с.
4	Ступінь стиску двигуна	1:8 1:10 1:12
5	Витрати пального на 100 км шляху по міському циклу	5 7 10 15
6	Пробіг до першого капітального ремонту	100000 км 500000 км 1000000 км
7	Число пасажирських місць	3 4 5 7
8	Колір кузова	Білий Синій Червоний

3.2.3. Розробка моделі оцінювання технічних розв’язків

На третьому етапі на основі І-АБО-дерева і загального списку вимог розробляється модель оцінювання синтезованих **ТР**, яка дозволяє проводити автоматизоване порівняння варіантів **ТР** і обирати серед них допустимі та найефективніші.

У модель оцінювання входять значення параметрів І-вузлів загально-го дерева та таблиці сумісності його вершин.

Значення параметрів І-вузлів порівнюються зі значеннями або варіантами відповідних параметрів списку вимог. Обчислюються вони через аналогічні параметри вершин, що сходяться у даному вузлі. Розрахунок ведеться за одною з п'яти згорток (формул).

1. Згортка **СУМА** використовується у тих випадках, коли параметр І-вузла визначається як сума відповідних параметрів вершин, що в ньому об'єднуються. У математичній формі згортка записується як

$$\text{СУМА } \Pi_i = \sum_{i=1,2,\dots,n} \pi_i, \quad (3.2)$$

де $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ – параметри об'єднаних вершин. Прикладами параметрів, для яких застосовується згортка даного типу є: маса, загальний об'єм, трудомісткість і т.д.

2. Згортки **МАКСИМУМ (МІНІМУМ)** застосовуються у випадках, коли параметру І-вузла присвоюється значення, що є максимальним (мінімальним) серед значень відповідних параметрів всіх об'єднаних вершин. Математичні формули згорток мають вигляд

$$\text{МАКСИМУМ } \Pi_i = \max: \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n. \quad (3.3)$$

$$\text{МІНІМУМ } \Pi_i = \min: \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n. \quad (3.4)$$

За формулою (3.3) визначається, наприклад, ймовірність відмови вузла машини (як максимальне значення серед значень ймовірностей відмов всіх деталей, з яких складається даний вузол). Формулою (3.4) слід скористатись для визначення, наприклад, продуктивності автоматичної лінії (відповідає мінімальній величині серед величин продуктивності всіх послідовно об'єднаних одиниць технологічного обладнання, що входить до складу лінії).

3. Згортка **СРВЗВ** – середньозважене – використовується у тих випадках, коли значення параметра І-вузла обчислюється через зважені значення параметрів об'єднаних вершин, тобто, коли ступені залежності параметра І-вузла від параметрів вершин помітно відрізняються. Відповідна формула записується таким чином

$$\text{СРВЗВ } \Pi_i = \frac{\sum_{v,i} k_{v,i} \pi_i}{\sum_{v,i} k_{v,i}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.5)$$

де $k_{v,1}, k_{v,2}, \dots, k_{v,n}$ - вагові коефіцієнти параметрів $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ об'єднаних вершин.

Згортка **СРВЗВ** застосовується, наприклад, для розрахунку довговічності кузова автомобіля, яка в різному ступені залежить від довговічності його складових елементів, якісних та кількісних параметрів з'єднань, значень навантажень під час експлуатації, інтенсивності негативних впливів з боку **НС**, своєчасності та якості технічного обслуговування та ремонту і т.д.

4. Згортка **КЛАС** – класифікаційна – використовується для визначення якісних параметрів І-вершини (кольору, форми, матеріалу і т.д.), виходячи із варіантів даних параметрів, що мають об'єднані вершини, а також їх вагового впливу:

$$\text{КЛАС } \Pi_i = \Pi_i: \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n. \quad (3.6)$$

Так, наприклад, якщо 80% зовнішньої поверхні сидіння легкового автомобіля складається зі шкіряних елементів, то і все сидіння ми можемо назвати шкіряним, а якщо корпус автомобіля зовні має синій колір, то і автомобіль в цілому також синій.

У моделі оцінювання необхідно вказати номери І-вузлів, типи згорток для розрахунку параметрів кожного з вузлів, а також значення відповідних параметрів зі списку вимог, з якими вони будуть порівнюватись.

Таблиці сумісності, що також входять до моделі оцінювання, призначені для виявлення елементів та конструктивних ознак, які не можуть бути поєднані у тому чи іншому варіанті **ТР**. Зокрема, можлива несумісність за геометричною формою (вал зі шліцами не може передавати обертальний момент зубчастому колесу, у посадочному отворі якого не виконані шліцеві пази), за розмірами (недостатньо широкий шпонковий паз для установки в ньому шпонки визначеної ширини), за типами та марками матеріалів (в ряді випадків для попередження прискореного зносу не рекомендується з'єднувати сталеві та пластмасові деталі), за видом енергії, що використовується (постійний і змінний струми) і т.д.

Для заповнення таблиць сумісності необхідно переглядати і аналізувати об'єднані вершини всіх можливих пар АБО-вузлів. Результати аналізу подаються за формою табл. 3.2, в якій $\Pi_{\text{АБО}11}, \Pi_{\text{АБО}12}, \dots, \Pi_{\text{АБО}m,n}$ - параметри сумісності вершин пари АБО-вузлів, позначених **A** і **B**; **m** і **n** - число об'єднаних вершин відповідно вузла **A** і **B**. Значення $\Pi_{\text{АБО}i,j}$ визначається за формулою

$$\Pi_{\text{АБО}i,j} = \{ 1, \text{ якщо } A_i \text{ і } B_j \text{ сумісні; } 0, \text{ якщо } A_i \text{ і } B_j \text{ несумісні} \}. \quad (3.7)$$

Значення параметрів сумісності для деяких вершин вузлів „тип двигуна” та „тип запалювання” І-АБО-дерева легкового автомобіля наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.2

Форма таблиці сумісності

Об'єднувані вершини вузла А	Об'єднувані вершини вузла В			
	B_1	B_2	...	B_n
A_1	$P_{АБО11}$	$P_{АБО12}$	$P_{АБО1j}$	$P_{АБО1n}$
A_2	$P_{АБО21}$	$P_{АБО22}$	$P_{АБО2j}$	$P_{АБО2n}$
...	$P_{АБО.i1}$	$P_{АБО.i2}$	$P_{АБО.i.j}$	$P_{АБО.i.n}$
A_m	$P_{АБО.m1}$	$P_{АБО.m2}$	$P_{АБО.m.j}$	$P_{АБО.m.n}$

Таблиця 3.3

Фрагмент таблиці сумісності вершин пари АБО-вузлів загального дерева **ТР** легкового автомобіля

Тип запалювання	Тип двигуна		
	карбюраторний	дизель	газотурбінний
Електронне	1	0	0
Форкамерно-смолоскипове	1	0	0
Іскрове з передкамерами	0	1	0
Запуск за допомогою допоміжного дизеля	0	0	1

3.2.4. Укладання алгоритму програми пошуку ефективних технічних розв'язків на І-АБО-дереві

Загальна послідовність пошуку на І-АБО-дереві найефективніших варіантів **ТР** має такий вигляд: спочатку на дереві видаляються вершини, які заздалегідь не задовольняють **ТЗ** на шуканий **ТР**, а також умовам сумісності із іншими вершинами, далі за допомогою дерева, що відповідає вказаним вимогам та умовам синтезують допустимі та ефективні **ТР**.

Алгоритм програми пошуку ефективних **ТР** містить такі кроки.

Крок 1

Проводиться порівняння параметрів І-вузлів загального дерева та відповідних основних параметрів списку вимог. У випадках недопустимих відхилень від заданих значень невідповідні вузли разом зі всіма об'єднуваними вершинами, позначаються як тимчасово видалені і підлягають (якщо це доцільно) додатковому проробленню з удосконаленням елементів та корегуванням їх конструктивних ознак. Якщо і після корегувань та удосконалень параметри І-вузла не відповідають заданим він остаточно замінюється або видаляється з дерева.

Крок 2

Несумісні вершини в таблицях сумісності разом із АБО-вузлами, до яких вони відносяться, позначаються як тимчасово видалені. При наявності можливості та необхідності здійснюється їх корегування або заміна до виконання всіх умов сумісності.

Крок 3

З елементів та конструктивних ознак загального дерева синтезується перший варіант **ТР**, визначаються його параметри та проводиться їх порівняння із відповідними додатковими параметрами списку вимог. Варіант заноситься до списку допустимих **ТР** під номером 1. Далі формується другий варіант **ТР** і проводиться визначення та порівняння його параметрів із допустимими параметрами списку вимог. Якщо за результатами порівняння другий варіант виявиться ефективнішим ніж перший він займає місце останнього у списку допустимих **ТР**, тоді як перший варіант отримує номер 2. Описана послідовність синтезу та аналізу **ТР** реалізується до визначення порядкових номерів всіх варіантів у списку допустимих **ТР**.

Крок 4

Для найефективніших варіантів (наприклад, перших трьох в списку допустимих **ТР**) подається автоматизований опис у словесній формі та роздруковується конструкторська документація (складальне креслення, специфікації, деталювання).

3.3. Послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу ефективних технічних розв'язків

Загальна послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу **ТР** показана на рис. 3.8.

Користувач за допомогою загального списку вимог, викликаного на дисплей монітора, формує **ТЗ**: список вимог до шуканого ефективного **ТР** з формулюваннями та відповідними параметрами, а також список у математичній формі (3.1).

Згідно із введеним завданням комп'ютер синтезує (знаходить на І-АБО-дереві) допустимі **ТР** і визначає їх число. Якщо дане число виявляється занадто великим, користувач посилює основні вимоги і тим самим зменшує множину допустимих **ТР**. В іншому випадку, при недостатніх кількості та оглядовості допустимих **ТР**, слід, навпаки, послабити окремі вимоги або усунути їх з **ТЗ**.

В результаті декількох описаних ітерацій отримують оптимальне (оглядове) число допустимих **ТР**, серед яких обирають найкращі.

3.4. Варіанти індивідуальних практичних завдань з
автоматизованого синтезу технічних розв'язків

Побудувати І-АБО-дерева для 3-х - 4-х прототипів технічного
об'єкта:

1. Літак.
2. Стілець.
3. Велосипед.
4. Вантажний автомобіль.
5. Муфта.
6. Редуктор.
7. Болтове з'єднання.
8. Світильник.
9. Гідронасос.
10. Гідроциліндр.
11. Підшипник.
12. Трубопровід.
13. Корабель.
14. Стіл.
15. Ручка для писання.
17. Промисловий робот.
18. Токарний верстат.
19. Двигун внутрішнього згоряння.
20. Підйомний кран.
21. Електродвигун.
22. Стрічковий конвеєр.
23. Міст.
24. Викрутка.
25. Колесо транспортного засобу.
26. Двері.
27. Слюсарна ножівка.
28. Токарний різець.
29. Сидіння водія автомобіля.
30. Свердло.

Література

1. Севост'янов І.В. Теорія технічних систем. Навчальний посібник. Ч. I. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 124 с. Укр. мовою.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.: ил.
3. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1973. – 296 с.
4. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. – М.: Сов. радио, 1979. – 189 с.
5. Половинкин А.И. Методы инженерного творчества. Учеб. пособие. – Волгоград: ВолгПИ, 1984. – 364 с.
6. Трушкин В. Ошибка! Как ее предотвратить. – М.: Московский рабочий, 1971. – 264 с.
7. Марш П., Александер И., Барнетт П. и др. Не счесть у работа професий: Пер с англ./ Под ред. В.С. Гурфинкеля. – М.: Мир, 1987. – 182 с., ил.
8. Металлорежущие системы машиностроительных производств: Учеб. пособие для студентов технических вузов/ О.В. Таратынов, Г.Г. Земсков, И.М. Баранчукова и др.; под ред. Г.Г. Земскова О.В. Таратынова. – М.: Высшая школа, 1988. – 464 с.
9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога/ А.А.Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
10. Механика промышленных роботов: Учебное пособие для втузов: В 3 кн./ Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика/ Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И. Шевелева. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
11. Механика промышленных роботов: Учебное пособие для втузов: В 3 кн./ Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2: Расчет и проектирование механизмов/ Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.
12. Воинов Б.С. Принципы поискового конструирования: Учеб. пособие. - Горький: ГГУ, 1982. – 75 с.
13. Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития. – Л.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
14. Кантор К.М. Красота и польза. – М.: Искусство, 1967. – 312 с.
15. Мелищенко Ю.С. Техника и закономерности ее развития. – Л.: Лениздат, 1970. – 246 с.
16. Одрин В.М., Кратавов С.С. Морфологический анализ систем. Киев: Наукова думка, 1977. – 183 с.
17. Половинкин А.И. Законы строения и развития техники/ Учебное пособие. – Волгоград: ВолгПИ, 1985. – 202 с.
18. Тринг М., Лейтауэйт Э. Как изобретать?/ Пер. с англ. М.: Мир, 1980. – 272 с.

19. Чус А.В., Данченко В.А. Основы технического творчества/ Учеб. пособие. Киев – Донецк: Вища школа, 1983. - 184 с.
20. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках/ Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1984. - 144 с.
21. Автоматизация поискового конструирования/ Под ред. А.И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981. - 344 с.
22. Джонс Дж. К. Методы проектирования. /Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1986. – 326 с.
23. Буш Г.Я. Методы технического творчества. Рига: Лиесма, 1972. – 94 с.
24. Методы поиска новых технических решений/ Под ред. А.И. Половинкина. - Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. – 192 с.
25. Хубка В. Теория технических систем. Пер. с нем., М.: Мир, 1987. - 208 с.
26. Алгоритмы оптимизации проектных решений/ Под ред. А.И. Половинкина. М.: Энергия, 1976. – 264 с.
27. Борисов В.И. Общая методология конструирования машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 120 с.
28. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования/ Пер. с нем. – Л.: Машиностроение, 1969. – 166 с.

Питання поточного та підсумкового контролю
з лекційного курсу дисципліни „Теорія технічних систем”

Модуль 1

Тема 1. Історія виникнення та розвитку дисципліни, мета, задачі та структура курсу, зв'язок з іншими дисциплінами

Наукові основи дисципліни. Практична основа. Мета і задачі дисципліни. Структура і види теорії технічних систем. Класифікація методів інженерної творчості. Вимоги, що пред'являються до методів інженерної творчості. Зв'язок теорії технічних систем з іншими дисциплінами.

Тема 2. Основні поняття

Термінологічні проблеми фундаментальних та загально інженерних дисциплін, принципи формування понятійної основи теорії технічних систем. Множина. Система та елемент. Призначення системи (зовнішня та внутрішні функції). Функціонування та структура системи, зв'язок між ними. Зовнішні системи та елементи, зовнішні впливи системи, навколишнє середовище. Параметри та стан системи. Модель системи. Типи задач теорії технічних систем.

Тема 3. Система перетворень та її елементи

Процес перетворення, система перетворень, її елементи. Приклади процесів перетворень. Технічні системи, процеси, об'єкти. Загальне призначення систем типу „процес” та систем типу „об'єкт”. Вплив навколишнього середовища на об'єкт. Структура процесів перетворення. Процеси керування та регулювання. Загальна модель системи перетворень. Загальні ознаки систем перетворень.

Тема 4. Технічні процеси

Модель технічного процесу. Вимоги та рекомендації до розробки моделі технічного процесу. Види структур технічних підпроцесів та операцій. Перевірка раціональності технічних процесів. Опис технічних процесів. Об'єкт впливу технічного процесу. Внутрішні та зовнішні впливи технічного процесу. Люди, технічні системи та навколишнє середовище, як елементи технічного процесу. Підпроцеси та операції технічного процесу. Основні та допоміжні операції. Параметри та ефективність технічного процесу. Представлення технічних процесів. Типові задачі, пов'язані із технічними процесами. Класифікації технічних процесів.

Тема 5. Технічні об'єкти

Суть технічних об'єктів. Призначення технічних об'єктів. Функціонування технічних об'єктів. Структура технічних об'єктів. Стани технічних об'єктів. Загальна модель технічних об'єктів. Моделі конкрет-

них технічних об'єктів. Функціональні структури технічних об'єктів. Впливи між функціональними елементами технічних об'єктів. Класифікації функцій технічних об'єктів. Загальна послідовність розробки функціональної структури. Принципові схеми технічних об'єктів. Принципові елементи. Впливи між принциповими елементами. Класифікації принципів елементів. Види принципів схем. Розробка принципів схем. Конструктивні схеми технічних об'єктів. Конструктивні елементи, впливи між ними. Класифікації конструктивних елементів. Розробка конструктивних схем. Порівняння моделей технічних об'єктів та їх перетворення. Межа технічних об'єктів. Зовнішні системи та елементи, навколишнє середовище технічних об'єктів.

Тема 6. Класифікації технічних об'єктів

Основні класифікаційні ознаки. Класифікація технічних об'єктів за виконуваною функцією. Класифікація технічних об'єктів за принципом дії. Класифікація технічних об'єктів за ступенем складності. Класифікація технічних об'єктів за способом виготовлення. Класифікація технічних об'єктів за ступенем конструктивної складності. Класифікація технічних об'єктів за ступенем стандартизації та походженням. Класифікація технічних об'єктів за ступенем оригінальності конструкції. Класифікація технічних об'єктів за типом виробництва. Класифікація технічних об'єктів за типом перетворення.

Модуль 2

Тема 7. Параметри технічних об'єктів

Класифікація параметрів технічних об'єктів за способом їх визначення. Класифікація параметрів технічних об'єктів за їх місцем у причинних зв'язках. Класифікація параметрів технічних об'єктів за можливістю їх кількісного визначення. Класифікація параметрів технічних об'єктів за ступенем важливості. Класифікація параметрів технічних об'єктів за їх фізичною природою. Класифікація параметрів технічних об'єктів, пов'язана із їх створенням та використанням. Функціональні параметри технічних об'єктів. Експлуатаційні параметри технічних об'єктів. Ергономічні параметри технічних об'єктів. Естетичні параметри технічних об'єктів. Параметри зберігання та транспортування технічних об'єктів. Параметри постачання та планування технічних об'єктів. Правові норми, пов'язані із технічними об'єктами. Технологічні параметри технічних об'єктів. Конструктивні параметри технічних об'єктів. Економічні параметри технічних об'єктів (алгоритм визначення виробничих витрат, собівартості та ціни, економічна ефективність та рентабельність). Якість виготовлення технічних об'єктів. Зв'язки між параметрами технічних об'єктів. Методи визначення параметрів технічних об'єктів та їх взаємозв'язків. Укладання переліку параметрів технічних об'єктів, які необхідно забезпечити. Реалізація параметрів технічних об'єктів.

Тема 8. Оцінювання технічних систем

Способи оцінювання. Типи задач оцінювання технічних систем. Вибір критеріїв оцінювання технічних систем. Визначення узагальненого критерію оцінювання.

Тема 9. Представлення технічних систем

Способи представлення технічних систем. Площинні та просторові моделі технічних систем.

Тема 10. Етапи створення та використання технічних систем

„Цикл життя” технічних систем, основні стадії їх створення та використання. Стадії створення та використання технічних систем серійного виробництва (розробка та проектування, підготовка дослідного виробництва, випробовування дослідного зразка, корегування виробничої документації, підготовка серійного виробництва, виготовлення установочної серії, остаточне корегування виробничої документації). Стадії створення та використання технічних систем одиничного виробництва. Стадії створення та використання технічних систем четвертого ступеня складності. Часова послідовність стадій створення та використання технічних систем. Розподілення стадій і операцій між виконавцями.

Тема 11. Еволюція технічних систем

Підвищення технічного рівня систем в часі. Еволюція попиту на технічні системи. Фактори еволюційного процесу. Організація і обсяг науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських робіт. Тенденції технічного розвитку, їх зв'язок із параметрами технічних об'єктів різних категорій. Керування процесом технічного розвитку. Мотивація досліджень та розробок.

Тема 12. Спеціальні теорії технічних систем

Предмет спеціальних теорій, їх зв'язок із загальною теорією. Задачі спеціальних теорій, питання, що в них розглядаються. Зв'язок спеціальних теорій із загально-інженерними та спеціальними дисциплінами, їх розробка.

Навчальне видання

Іван Вячеславович Севостьянов

ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник

Ч. II

Створення та удосконалення систем
машинобудування і транспорту

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор В.О.Дружиніна

Коректор З.В.Поліщук

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42¼
Друк різнографічний
Тираж 75 прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ