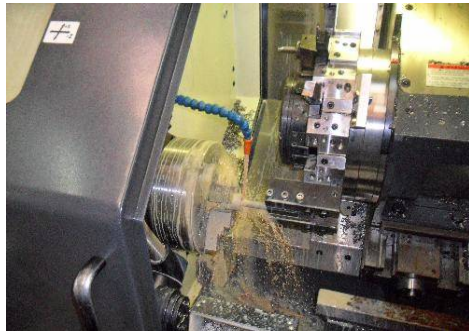


**І. В. Севостьянов**

**ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**



**Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет**

**І. В. Севостьянов**

# **ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

**Підручник**

**Вінниця  
ВНТУ  
2014**

**УДК 62 (075)**  
**ББК 30я73**  
**С28**

Автор  
**Севостьянов І. В.**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Машинобудування» та «Інженерна механіка». Лист № 1/11-20795 від 31.12.2013 р.

Рецензенти:  
**Г. Й. Зайончковський**, доктор технічних наук, професор  
**О. П. Губарев**, доктор технічних наук, професор  
**В. Ф. Анісімов**, доктор технічних наук, професор

**Севостьянов, І. В.**

Теорія технічних систем : підручник / Севостьянов І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 181 с.

ISBN 978-966-641-592-2

У підручнику наведено основні поняття, пов'язані із технічними системами, їх класифікації, структура, елементи, параметри, етапи створення і використання, методи оцінювання технічних систем та їх еволюцію. Також наводяться методика постановки задач інженерної творчості і найбільш відомі методи їх розв'язання, в тому числі із застосуванням комп'ютерів. Для одержання практичних навичок з постановки і розв'язання творчих задач студентам пропонуються контрольні завдання.

**УДК 62 (075)**  
**ББК 30я73**

**ISBN 978-966-641-592-2**

© І. Севостьянов, 2014

## ЗМІСТ

ПОЗНАЧЕННЯ.....	6
ВСТУП.....	7
<b>ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС</b> .....	<b>8</b>
1 ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ (ТТС), МЕТА, ЗАДАЧІ ТА СТРУКТУРА КУРСУ, ЗВ'ЯЗОК З ІНШИМИ ДИСЦИПЛІНАМИ.....	8
1.1 Наукові основи ТТС .....	8
1.2 Практичні основи ТТС .....	11
1.3 Мета і задачі ТТС .....	12
1.4 Зв'язок ТТС з іншими дисциплінами .....	15
1.5 Контрольні запитання .....	17
2 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТТС .....	18
3 СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЕНЬ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТИ .....	26
4 ТЕХНІЧНІ ПРОЦЕСИ .....	31
4.1 Модель технічного процесу .....	31
4.2 Елементи технічного процесу.....	34
4.3 Параметри та ефективність технічного процесу .....	38
4.4 Подання технічних процесів .....	39
4.5 Класифікації технічних процесів.....	42
4.6 Контрольні запитання .....	42
5 ТЕХНІЧНІ ОБ'ЄКТИ.....	43
5.1 Загальні ознаки технічних об'єктів .....	43
5.2 Загальна модель технічних об'єктів .....	45
5.3 Типові моделі технічних об'єктів.....	45
5.4 Контрольні запитання .....	52
6 КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ .....	53
6.1 Класифікація технічних об'єктів за виконуваною функцією ....	53
6.2 Класифікація технічних об'єктів за принципом дії.....	54
6.3 Класифікація технічних об'єктів за рівнем складності .....	54
6.4 Класифікація технічних об'єктів за способом виготовлення ....	56
6.5 Класифікація технічних об'єктів за ступенем конструктивної складності .....	57
6.6 Класифікація технічних об'єктів за ступенем стандартизації та походженням .....	58
6.7 Класифікація технічних об'єктів за ступенем оригінальності конструкції .....	59
6.8 Класифікація технічних об'єктів за типом виробництва .....	60
6.9 Контрольні запитання .....	61
7 ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	62
7.1 Класифікації параметрів технічних об'єктів.....	62
7.2 Зв'язки між параметрами технічних об'єктів .....	78

7.3	Визначення параметрів технічних об'єктів та їх взаємозв'язків	79
7.4	Складання переліку заданих параметрів технічних об'єктів	81
7.5	Реалізація параметрів технічних об'єктів	83
7.6	Контрольні запитання	85
8	ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	86
9	ПОДАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	90
10	ЕТАПИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	92
10.1	Стадії створення та використання технічних систем серійного виробництва	93
10.2	Стадії створення та використання технічних систем одиничного виробництва	96
10.3	Стадії створення та використання технічних систем четвертого рівня складності	98
10.4	Часова послідовність стадій створення та використання технічних систем	99
10.5	Розподілення стадій і операцій між виконавцями	102
10.6	Контрольні запитання	103
11	ЕВОЛЮЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	104
11.1	Закономірності еволюції технічних систем	104
11.2	Тенденції технічного розвитку	109
11.3	Керування процесом технічного розвитку	112
11.4	Мотивація досліджень та розробок	114
11.5	Контрольні запитання	114
12	СПЕЦІАЛЬНІ ТЕОРІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	115
<b>МАТЕРІАЛИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ</b>		116
13	ПОСТАНОВКА І АНАЛІЗ ЗАДАЧ ІНЖЕНЕРНОЇ ТВОРЧОСТІ	116
14	НАЙПРОСТІШІ ПРИЙОМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТВОРЧИХ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ	129
15	МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ТЕХНІЧНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ	135
15.1	Морфологічна комбінаторика	135
15.2	Послідовність реалізації методу морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків	137
15.3	Приклад виконання індивідуального практичного завдання з морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків	141
15.4	Контрольні запитання	149
15.5	Контрольні завдання	150
16	АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ТЕХНІЧНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ	151
16.1	Багаторівневі морфологічні таблиці	151
16.2	Послідовність реалізації методу автоматизованого синтезу варіантів технічних розв'язків	152
16.3	Послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу ефективних технічних розв'язків	161

16.4 Контрольні запитання .....	162
16.5 Контрольні завдання .....	163
17 АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ВИНАХІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧ (АРВЗ) .....	164
17.1 Переваги АРВЗ перед іншими методами інженерної творчості .....	164
17.2 Основні поняття АРВЗ .....	165
17.3 Послідовність розв'язання творчих задач за допомогою АРВЗ .....	172
17.4 Контрольні запитання .....	174
17.5 Контрольні завдання .....	175
ПІСЛЯМОВА .....	178
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	179

## ПОЗНАЧЕННЯ

- в** – внутрішній вплив;  
**В** – множина внутрішніх впливів системи;  
**В<sub>з.вх</sub>**, **В<sub>з.вих</sub>** – зовнішні вхідний та вихідний впливи системи;  
**В<sub>з.п.вх</sub>**, **В<sub>з.п.вих</sub>** – зовнішні побічні вхідний та вихідний впливи;  
**В<sub>з.п.вх</sub>**, **В<sub>з.п.вих</sub>** – загальні зовнішні побічні вхідний та вихідний впливи;  
**в<sub>п</sub>** – внутрішній побічний вплив;  
**В<sub>п</sub>** – загальний внутрішній побічний вплив;  
**В<sub>з.вх</sub>**, **В<sub>з.вих</sub>** – загальні зовнішні вхідний та вихідний впливи;  
**е<sub>з.б</sub>** – зовнішній елемент безпосереднього впливу;  
**Ен** – енергетичний потік;  
**І** – інформаційний потік;  
**ІТ** – інженерна творчість;  
**КС** – конструктивна схема (конструктивні схеми);  
**Л** – людина;  
**ΣЛ** – множина людей як елемент системи перетворень;  
**М** – матеріальний потік;  
**НС** – навколишнє середовище;  
**О** – об’єкт впливу;  
**Ор** – операція (операції) технічного процесу;  
**п** – параметр системи;  
**ПП** – процес перетворення (процеси перетворень);  
**ПС** – принципова схема (принципові схеми);  
**С** – система (системи);  
**С<sub>з.б</sub>** – зовнішня система безпосереднього впливу;  
**Сн** – стан системи;  
**Сн<sub>вх</sub>**, **Сн<sub>вих</sub>** – вхідний та вихідний стани;  
**СП** – система (системи) перетворень;  
**Стр** – структура (структури) системи;  
**ТЗ** – технічне завдання на розробку;  
**ТО** – технічний об’єкт (технічні об’єкти);  
**ТП** – технічний процес (технічні процеси);  
**ТпП** – технічний підпроцес (технічні підпроцеси);  
**ТС** – технічна система (технічні системи);  
**ΣТС** – множина технічних систем як елемент системи перетворень;  
**ТпС** – технічна підсистема (технічні підсистеми);  
**ТТС** – теорія технічних систем;  
**ф** – внутрішня функція (внутрішні функції) системи;  
**Ф** – зовнішня функція системи;  
**ФС** – функціональна структура (функціональні структури).

## ВСТУП

Підручник відповідає робочій програмі дисципліни «Теорія технічних систем», що вивчається студентами напрямів підготовки 6.050502, 6.050502мс – «Технологія машинобудування» та 6.050503 – «Машинобудування».

Вивчення дисципліни дає студентам загальне уявлення про галузь техніки, в якій вони будуть працювати, виявляє її взаємозв'язки з іншими галузями та навколишнім світом, що сприяє формуванню гармонійно розвинутого фахівця. В курсі теорії технічних систем з високим ступенем узагальнення викладаються всі основні аспекти системного підходу і дається інструмент для орієнтування в будь-якій спеціальній області техніки. Теорія дозволяє пов'язати між собою різні навчальні курси і пояснити мету їх вивчення. Такий підхід буде забезпечувати краще розуміння зв'язків між окремими елементами системи навчання і змісту багатьох підручників.

Теорія робить для студента зрозумілою всю систему навчання і прояснює місце окремих дисциплін, наприклад, термодинаміки як спеціальної теорії процесів в теплових машинах (окремому типі технічних систем) або теорії опору матеріалів як загального вчення про міцність – один з параметрів систем. В курсі подається системний огляд спеціальної проблематики, завдяки чому легше виявляються прогалини, які необхідно ліквідувати при повторенні навчального матеріалу, а взаємозв'язки між дисциплінами висуваються на передній план. Більш того, включення даної дисципліни в загальний курс інженерного навчання дозволяє пояснити і довести до свідомості всіх, в тому числі і не спеціалістів, суть техніки як одного з основних елементів ноосфери, що створений і використовується людиною.

Завдяки застосуванню теорії стає більш глибоким розуміння історії інженерної діяльності, а також процесу розвитку технічних систем, оскільки на теоретичному та практичному рівні усвідомлюється залежність їх конструктивних параметрів від факторів навколишнього середовища.

Таким чином, дисципліна може слугувати: базою знань для розробки нових технічних систем, вчень про конструкції; вихідним пунктом для спеціальних теорій; основою для застосування комп'ютерної техніки (алгоритмів, систем банків даних і банків знань); керівництвом для системи навчання; з'єднувальною ланкою для фахівців різного профілю; базою для систематичних досліджень в сфері історії інженерної діяльності.

На закінчення можна сказати, що теорія технічних систем є відображенням сучасного розвитку техніки і являє собою один з проявів розуміння інженерами своєї ролі в сучасному суспільстві.



## ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС

### 1 ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ (ТТС), МЕТА, ЗАДАЧІ ТА СТРУКТУРА КУРСУ, ЗВ'ЯЗОК З ІНШИМИ ДИСЦИПЛІНАМИ

#### 1.1 Наукові основи ТТС

Загалом ТТС вивчає закономірності структури, створення та використання технічних систем (ТС) різного призначення [1]. ТС ми будемо називати технічні об'єкти (пристрої) (ТО) – різальні інструменти, контрольні прилади, металорізальні верстати, виробничі ділянки тощо – (системи типу «об'єкт») та технічні процеси (ТП) – механічної обробки заготовок на верстатах, складання та випробовування машин, зварювання, лиття і т. д. – (системи типу «процес») [1, 2]. Але для розробки цих положень необхідно спочатку створити достатньо велике число самих ТС, дослідити їх, узагальнити та систематизувати інформацію про них, відпрацювати термінологію та визначити основні поняття. На все це необхідно було багато часу.

Людині під час розробки та удосконалення основних положень фундаментальних та інших дисциплін, в тому числі ТТС, допомагав принцип виділення найбільш загального та важливого у досліджуваних об'єктах та абстрагування від несуттєвого і другорядного. При цьому відпрацювання положень дисциплін неможливе без взаємодії теорії та практики. Теорія, як правило, (але не завжди) випереджає практику, потім перевіряється нею, удосконалюється, таким чином, згодом на підставі відкоригованої теорії з'являється можливість покращити й практичні результати [1].

Перші примітивні ТС виникають ще у первісний період (400 – 100 тисяч років до н. е.) і являли собою прості знаряддя праці (кам'яні рубала, сокири, списи) та технології, пов'язані, в основному, з добуванням та приготуванням їжі (наприклад, технологія добування вогню) – (рисунок 1.1). Для опису цих ТС використовуються найпростіші схеми, що пояснюють їх

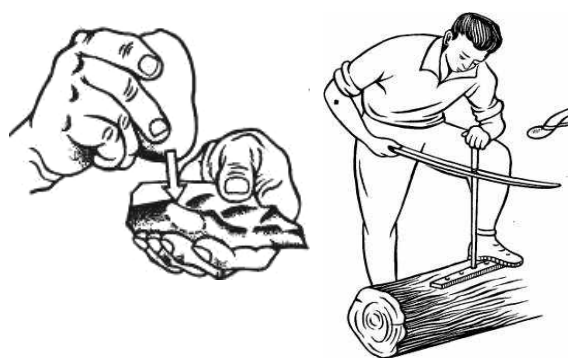


Рисунок 1.1 – Перші пристрій та технологія, створені людиною

будову або принцип [3].

У давніх Єгипті, Греції, Римі, інших країнах використовуються механізми і прості машини (водяні колеса, катапульти, преси для вичавлювання соку та олії – рисунок 1.2), для яких наводяться словесні описи та виконуються розрахунки (Архімедом, Ктесібієм) з метою визначення конструктивних та функціональних параметрів ТС [3].

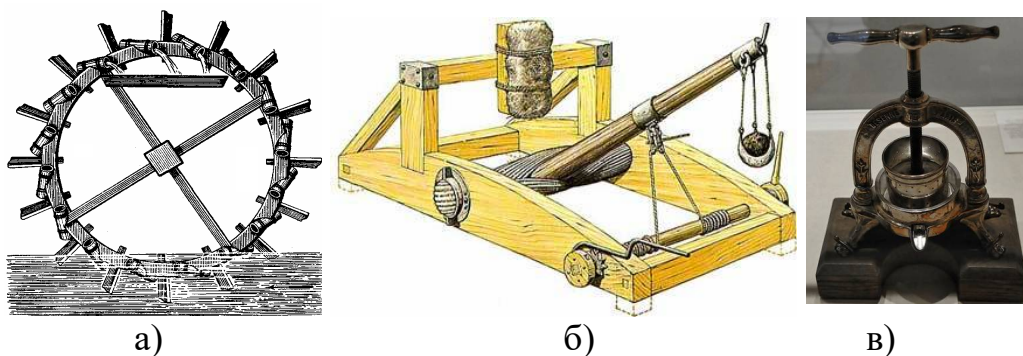


Рисунок 1.2 – ТО і ТП епохи античності: а – водопідйомне колесо; б – катапульта; в – прес для вичавлювання соку з сирого м'яса

У Середні віки ТС змінюються мало. Обмін інформацією ще утруднений, тому кожна ТС, навіть вже достатньо відома, вивчається «з нуля» і розглядається як об'єкт, що складається з тільки йому належних елементів. Загальноприйнята термінологія ще відсутня, тому одна і та сама ТС не тільки в різних країнах, але й в одній країні, в роботах різних авторів може означатись тим чи іншим терміном [1].

На більш передових позиціях в той час стояв видатний учений та винахідник Леонардо да Вінчі (1452 - 1519 рр.). На жаль його наукові роботи залишились неопублікованими і впливу на розвиток учення про ТС не зробили [1, 3]. Да Вінчі розглядав елементи ТС як загальні для ряду однотипових зразків і займався їх дослідженням. У праці «Мадридський кодекс» він сформулював два постулати про машини, які у перефразованому вигляді можна подати таким чином:

- головним у будь-якій машині є її призначення (виконувана функція), інші параметри – конструктивні, естетичні – є другорядними;
- механізми і машини удосконалюються за допомогою математики, що дозволяє розраховувати їх оптимальні параметри, в той же час машини здійснюють позитивний вплив на розвиток математики [2].

Тільки з появою перших технічних шкіл (у Парижі в 1794 р. і в Празі в 1806 р.) починається процес упорядкування теорії механізмів в рамках загального учення про машини (яке згодом стане однією з основ ТТС). В цей період теорія механізмів розробляється в основному французькими вченими Монжем, Карно, Ашеттом, Лансом. Вводяться 10, а пізніше – 21 клас механізмів, призначених для перетворення руху. Коріоліс і Понселе виділяли у машинах три основні елементи: рецептор, що сприймає обертальний або поступальний рух від привода, передавальний механізм, який сприймає рух від рецептора та перетворює його, а також інструмент (виконавчий елемент), що безпосередньо виконує функцію машини. Наприклад, у токарного верстата виконавчими елементами є шпindel, на якому закріплюється і приводиться в обертання оброблювана заготовка, та супорт, що забезпечує фіксацію і переміщення різального інструмента. У подальшому концепція Коріоліса і Понселе була розвинена засновниками навчання про механізми, в тому числі й А. М. Ампером [1].

Лише у XIX ст. після створення великого числа різних машин було проведено систематичне дослідження їх елементів та механізмів, що дозволило, ґрунтуючись на реальних надійних конструкціях, вести пошук закономірностей, які лежать в основі машин. На той час поряд з машинами, що застосовувалися у військовій та гірничій справах, а також гідроенергетичних машин, існували прядильні, ткацькі (рисунок 1.3, а) та металообробні верстати, друкарські та підйомні машини (рисунок 1.3, в) [1, 3]. Розроблялися нові типи двигунів: парова машина (рисунок 1.3, б), парова та газова турбіни, гідравлічні та електричні двигуни, двигун внутрішнього згоряння. Важливою проблемою, пов'язаною з механікою і, насамперед, з теорією міцності, стало визначення оптимальних розмірів механізмів та їх елементів. Ф. Рело (1829 – 1905 рр.) бачив основу для виявлення загальних принципів роботи машин у прикладній механіці і, зокрема, у кінематиці [1].

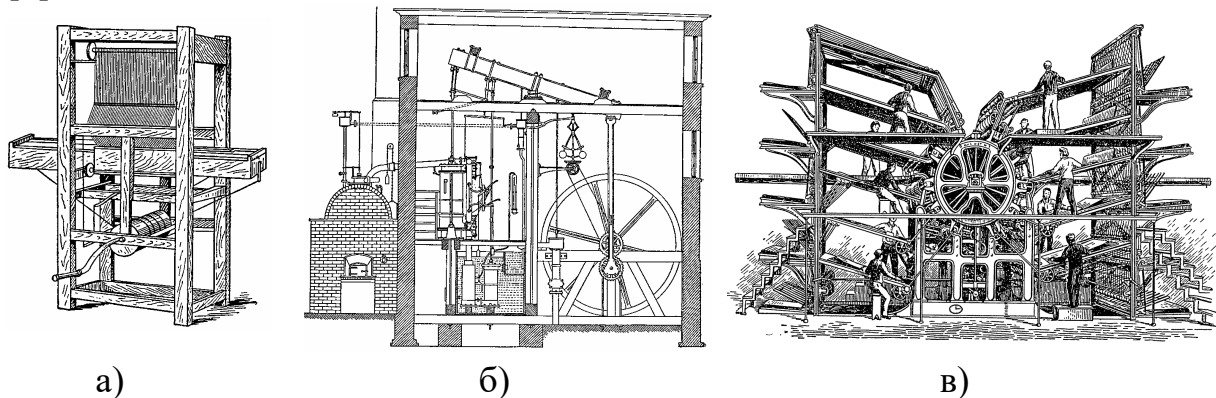


Рисунок 1.3 – Машини XIX ст.: а – ткацький верстат Картрайта; б – парова машина Уатта; в – друкарська машина

Саме Рело в 1874 р. у своїй роботі «Теоретична кінематика», опираючись на дослідження Редтенбахера (1809 - 1869 рр.), зробив першу спробу створення загальної теорії механізмів і машин (ТММ). Далі вона розвивається в роботах Р. Вілліса і П. Л. Чебишова, а у XX ст. – остаточно сформована в роботах І. І. Артоболевського [1, 4].

З практичних міркувань усі питання, пов'язані з проектуванням, виробництвом і експлуатацією машин різного призначення, розв'язувалися окремо в рамках кожної галузі. Внаслідок цього виникли відокремлені одна від одної галузі знань і професій, в яких професійне навчання повинно було доповнюватися багаторічним досвідом. Причина цього полягала у відсутності загальної теорії, а також відповідної системи збирання інформації і класифікації нових технічних пристроїв і технологій.

Таке положення було можливим і прийнятним тільки на етапі промислової революції (кінець XVIII – початок XIX ст.), коли здійснювався перехід від ручних форм виробництва до машинних. Зростаюче промислове виробництво, різні кризові ситуації (особливо Друга світова війна), сировинні й екологічні проблеми, що виникли в ході науково-технічної революції (XX ст.), – усе це потребувало нового підходу і загальної теорії сис-

тематизації машин. Створення нових **ТС**, поряд з підвищенням вимог до них, розробка нових способів розв'язання задач (наприклад, за допомогою комп'ютерної техніки), обумовлюють необхідність перегляду методів вивчення **ТС** [5].

Доводиться тільки дивуватися відсутності протягом такого довгого часу загальної теорії **ТО** і **ТП**, тоді як в інших галузях знання об'єкти дослідження (наприклад, мінерали, тварини, рослини) вже давно вивчаються й упорядковуються в строгих рамках єдиної системи.

Загальна теоретична основа **ТС** почала формуватись після Другої світової війни, спочатку у вигляді окремих положень в рамках декількох тематично пов'язаних між собою досліджень Вегербауера і Кессельрінга, а пізніше в більш інтегрованій формі в роботах Гослінга, Ротта, Хубки, Хансена, Рополя, Йошикави [1].

## 1.2 Практичні основи **ТТС**

Як вказувалось вище, перші **ТС** були достатньо прості і могли бути виготовлені або реалізовані з використанням елементарних схем або словесних описів. Але у подальшому **ТС** ускладнювались в результаті збільшення в них числа елементів та впливів між елементами. Якщо у первісний період найскладнішими **ТС** були кам'яні сокири, рубала, абразивний пристрій для висвердлювання отворів у кам'яних заготовках, технологія добування вогню, то зараз такими є оброблювальні центри з числовим програмним керуванням (**ЧПК**), авіаційні та космічні апарати, лазерні та біотехнології (рисунок 1.4) [6]. Разом з тим розширювалась номенклатура **ТС** різного призначення, яка зараз нараховує 20 млн. одиниць [6].



Рисунок 1.4 – Сучасні **ТО** і **ТП**

У останні десятиріччя суттєво збільшилось число фізико-технічних ефектів, що використовуються у **ТС** (до таких ефектів відносять, наприклад, ефект важеля, гравітації, збільшення об'єму тіла при його нагріванні, нагрівання провідника під час проходження по ньому електричного струму тощо), розширилась номенклатура матеріалів і комплектуючих, зросли об-

сяги патентної та науково-технічної інформації, скорочується час, що виділяється на створення нових ТС [6].

Відмічені тенденції призвели до того, що починаючи з 50-х рр. ХХ в. середня сумарна трудомісткість робіт інженерної творчості (ІТ) збільшується через кожні 10 років у десять разів, тоді як число інженерів, які займаються розробками, з 1980-х рр. залишається незмінним; з них спроможних створювати нову ефективну техніку менше 20% [6].

Невідповідність між збільшенням обсягів робіт та чисельністю кадрового потенціалу фахівців обумовлює ймовірність зниження якості та надійності розроблюваних ТС. Правда останнім часом при створенні нових ТО і ТП широко застосовується комп'ютерна техніка, що дозволяє суттєво прискорити розв'язання задач ІТ, проаналізувати значно більшу кількість прототипів (ТП або ТО, що виконують одну і ту саму функцію, але відрізняються за конструкцією або принципом дії) і більш обґрунтовано обрати найкращий варіант (найдешевший, найнадійніший, найприбутковіший, найменш шкідливий для людини або навколишнього середовища тощо). Але для ефективного використання комп'ютерів необхідні спеціальні методи ІТ та відповідне програмне забезпечення [7].

Загалом у інженерній практиці розрізняють творчі та чітко визначені задачі. В творчих задачах потрібно запропонувати ідею, спрощену схему, пристрій, технологію, за допомогою яких може бути усунена проблема на виробництві, транспорті або в інших галузях. При цьому усунення цієї проблеми з використанням відомих схем, пристроїв або технологій, як правило, неможливе або не забезпечує необхідного ефекту. Тому інженер, який розв'язує творчу задачу, повинен придумати щось нове або удосконалити відомі ТС. Чітко визначені задачі, наприклад, з обчислення об'єму тіла складної конфігурації, з розрахунку вала на міцність, з визначення параметрів редуктора або з вибору технологічного обладнання є вторинними відносно творчих задач. Вони ставляться і розв'язуються після того як знайдені або розроблені ідея, схема, пристрій чи технологія для усунення проблеми, але для їх впровадження необхідно більш детально розробити конструкцію або складові процеси та операції, виконати проектні, перевірені та технологічні розрахунки, оформити відповідну документацію (складальні креслення виробу та його вузлів, робочі креслення деталей виробу, специфікації, технологічні карти). Для постановки і розв'язання чітко визначених задач є відомі, добре відпрацьовані методи, методики, залежності, а також відповідне програмне забезпечення. У таблиці 1.1 проведено порівняння двох типів інженерних задач за рядом показників. Дане порівняння доводить більшу трудомісткість творчих задач [1, 6].

### **1.3 Мета і задачі ТТС**

*Метою дисципліни «Теорія технічних систем» є узагальнення та систематизація теоретично обґрунтованих та експериментально перевірених*

положень, що стосуються закономірностей структури, створення та використання ТС різного призначення, їх параметрів, методів оцінювання та удосконалення.

Для досягнення вказаної мети потрібно розв'язати такі *основні задачі*:

- розробка основних понять та термінології, пов'язаних з ТС, їх елементами та впливами між елементами;
- вивчення структури та класифікацій ТС різних типів та призначення;
- ознайомлення з параметрами ТС та класифікаціями параметрів;
- вивчення етапів створення та використання ТС;
- розробка методів оцінювання (визначення ефективності) ТС;
- вивчення напрямків, факторів та умов еволюції (розвитку) ТС;
- оволодіння методами постановки і розв'язання задач ІТ – задач з удосконалення відомих ТО і ТП та створення принципово нових ТС, задач з реконструкції та модернізації, економії сировини, праці, часу та енергії.

Таблиця 1.1 – Порівняння чітко визначених і творчих інженерних задач

Показники порівняння задач	Інженерні задачі	
	чітко визначені	творчі
Постановка задачі	Є	Як правило, відсутня
Метод (спосіб) розв'язання	Як правило, вказаний	Не вказаний
Навчальний приклад	Як правило, наводиться	Типових прикладів немає
Результат розв'язання	Однозначний	Багатоваріантний

Що стосується основних понять та термінології ТТС, то вибір і розробка їх повинні здійснюватись з таким розрахунком, щоб значення будь-якого поняття або терміна міг зрозуміти любий кваліфікований інженер на інтуїтивному рівні, без додаткових пояснень. При цьому число основних понять повинно бути не занадто великим, щоб їх легко можна було запам'ятати, і не дуже малим – для вільного пояснення положень дисципліни. З основних більш простих понять ТТС методом їх об'єднання виводяться складніші комплексні поняття, які також можна зрозуміти достатньо легко [1].

### Види теорії

Залежно від сфери використання розрізняють:

- загальну ТТС, яка справедлива для всіх ТС;
- спеціальні теорії, що конкретизують загальну ТТС для окремих типів, класів і видів ТС [1].

Структура спеціальних теорій може також бути ієрархічною, наприклад: теорія верстатів → теорія металорізальних верстатів → теорія токарних верстатів → теорія токарно-гвинторізних верстатів. Особливе положення займають спеціальні теорії, які застосовуються в ряді галузей техніки, наприклад: теорія механізмів і машин, теорія деталей машин.

## Класифікація методів інженерної творчості

Основне практичне значення ТТС полягає у методах ІТ, які можна поділити на дві групи: евристичні (інтелектуальні) та комп'ютерні (машинні) методи [6].

Евристичні методи реалізуються на підставі інтелекту та інтуїції людини, яка розв'язує задачу ІТ. При цьому людина виконує всю роботу щодо постановки задачі, пошуку можливих варіантів її розв'язку, визначення критеріїв оцінювання та вибору за ними найкращого варіанта розв'язку задачі [8].

Реалізація комп'ютерних методів основана на використанні комп'ютерної техніки, за допомогою якої виконується найбільш трудомістка частина задачі, пов'язана із синтезом допустимих варіантів розв'язків, їх аналізом та пошуком найбільш раціонального варіанта розв'язку. Від людини ж вимагається грамотно поставити задачу, укласти список вимог до прототипів ТС та визначити основні критерії їх оцінювання. При цьому, завдяки високій швидкодії та значним обсягам пам'яті комп'ютера, з'являється можливість проаналізувати велике число варіантів розв'язку задачі (значно більше, ніж при використанні евристичних методів), порівняти їх за великим числом критеріїв і більш обґрунтовано вибрати найкращий варіант [7].

Евристичні методи почали розробляти ще зі стародавніх часів (Сократ, Архімед). Пізніше багато уваги їм приділяли провідні вчені XVII – XVIII століть. Ф. Бекон, Р. Декарт і Г. Лейбніц. Починаючи із 1940-х років різко зросла інтенсивність досліджень і розробок зі створення і застосування евристичних методів, методик, прийомів, правил, принципів і т. д. На даний момент їх відомо більше 100. У СРСР значний внесок у розробку евристичних методів зробили Г. С. Альтшуллер, А. І. Половинкін та інші вчені [6].

Комп'ютерні методи почали створюватись у 60-і роки минулого століття з появою ефективних та доступних електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). В наш час їх налічується декілька десятків [6, 9].

Огляд методів обох груп достатньо широко поданий в літературі. До найчастіше використовуваних евристичних методів відносяться методи: мозкової атаки (колективний пошук і обговорення можливих розв'язків задачі), евристичних прийомів (використання комплексу ефективних підходів та методик щодо змін конструктивних параметрів ТС, які дозволяють поліпшити її робочі характеристики), морфологічного аналізу та синтезу (укладання таблиць з варіантами реалізації основних ознак ТС і отримання шляхом їх об'єднання в різні комбінації нових більш ефективних прототипів, див. розділ 15) [6, 8, 10], алгоритм розв'язання винахідницьких задач (АРВЗ) (виявлення та усунення протиріч, що заважають розв'язанню задачі – див. розділ 17) [11]. Відомими методами пошукового конструювання є: синтез технічних розв'язків (ТР) на І-АБО-деревах (укладання багаторівневих морфологічних таблиць і машинний аналіз та синтез на їх основі допустимих та перспективних варіантів ТР – див. розділ 16), синтезу фізич-



них принципів дії (комплексне використання для створення прототипів ТС фізико-технічних ефектів) та синтезу оптимальних структур і форм (використання графічних модулів, з яких машина синтезує варіанти структурних схем або складальні креслення прототипів) [12, 13, 14].

### **Вимоги, що висуваються до методів інженерної творчості**

1. Методи ІТ повинні мати єдину науково-обґрунтовану понятійну основу, узгоджену із системою понять фундаментальних та загально-інженерних дисциплін [6].

2. Для ефективного використання методу необхідно розробити комплект документів – навчально-робочий модуль, який полегшує впровадження методу у навчальну, науково-дослідну та дослідно-конструкторську роботу. Модуль повинен включати:

- чітко описану методику постановки та розв'язання задачі, яка має міжгалузевий або проблемно-орієнтований характер;
- необхідне інформаційне забезпечення;
- комплекси навчальних задач і завдань;
- програмне забезпечення із вказівками до його використання та рекомендаціями щодо підготовки нових версій;
- рекомендації щодо застосування навчально-робочого модуля у навчальній, дослідно-конструкторській та науково-дослідній роботі, а також в САПР (системах автоматизованого проектування) [6].

### **1.4 Зв'язок ТТС з іншими дисциплінами**

Окрім фундаментальних (математика, фізика, хімія, біологія), ТТС пов'язана з рядом загально-інженерних та спеціальних дисциплін (опір матеріалів, теоретична механіка, матеріалознавство, теорія механізмів і машин, деталі машин, ОНДР (основи науково-дослідної роботи), САПР та іншими) [2].

Зокрема, з курсу математики у ТТС використовуються: теорія множин та теорія графів – для подання структури ТС; диференціальні та інтегральні рівняння – для моделювання функціонування ТС та визначення їх функціональних та конструктивних параметрів; теорія ймовірностей та математична статистика – для дослідження ТС, функціонування яких має ймовірнісний характер.

З фізики у ТТС застосовуються рівняння та залежності для розрахунку параметрів ТС, фізичні принципи – для удосконалення відомих та створення нових ТС. Крім цього, у курсі ТТС зустрічається багато фізичних прикладів для пояснення основних теоретичних положень дисципліни.

З хімії взято деякі важливі властивості хімічних елементів та сполук, рівняння їх реакцій – для опису структури, функціонування та взаємодії хімічних ТС.



З біології використовуються: деякі закономірності життєдіяльності та взаємодії біологічних істот, що беруть участь у технологічних процесах (наприклад, у реакторах для виробництва біогазу) з метою моделювання цих процесів та використовуваних при цьому пристроїв; принцип класифікації рослин та тварин – для упорядкування та систематизації всієї множини ТС; закони еволюції (необоротності еволюційних процесів, прискорення темпів еволюції, нерівномірності еволюційного розвитку, збільшення розмаїтості організмів тощо) – як й живі організми, ТС постійно змінюються, розвиваються та удосконалюються [15].

З дисциплін «Опір матеріалів» та «Теоретична механіка» запозичені залежності для визначення параметрів деяких ТС, а також схеми металоконструкцій та механізмів – як приклади для пояснення суті основних та допоміжних понять ТТС.

З курсу «Матеріалознавство» використовуються властивості різни груп матеріалів.

З ТММ взято структурні схеми механізмів, аналогом та розвитком яких є принципові схеми ТС; також в обох курсах спільно використовуються методи аналізу та синтезу [1].

Досить значним є внесок у ТТС з курсу «Деталі машин»: принципові та конструктивні схеми, класифікації деталей, стандартних виробів та складальних одиниць; формули для визначення конструктивних та функціональних параметрів ТС [1].

З ОНДР використовується послідовність та рекомендації зі здійснення теоретичних та експериментальних досліджень нових ТС, зокрема, методи їх динамічного та математичного моделювання, удосконалення, розробка методик проектного розрахунку створених ТС. Також і в ОНДР, і у ТТС вивчається послідовність подання заявки на видачу патенту, дається поняття про світовий сучасний науково-технічний рівень, а також патентно-ліцензійну комерційну діяльність [2].

Із САПР спільними є програмні засоби для автоматизованого проектування нових ТС, а також бази даних з інформацією про типові елементи та впливи між ними, з яких може формуватись структура прототипів ТС або з кресленнями стандартизованих виробів та складальних одиниць, що входять до складу сучасних ТО (використання останніх спрощує, здешевлює та прискорює проектування та виробництво ТО) [7, 9].

Також використовуються елементи таких дисциплін, як «Електротехніка», «Гідравліка та гідропневмоприводи», «Металорізальні верстати», «Ріжучий інструмент»: методи побудови принципових схем технічних об'єктів (електричних, гідравлічних, пневматичних, кінематичних схем), впливи між принциповими елементами, принципи, що лежать в основі функціонування різних технічних пристроїв та реалізації технічних процесів.

З курсу «Експлуатація та обслуговування машин» використовується поняття про основні експлуатаційні параметри технічних об'єктів.

## 1.5 Контрольні запитання

1. Що собою являє метод абстрагування?
2. Якими були перші технічні пристрої та технології, створені людиною? Коли вони з'явилися?
3. Якими були підходи до створення машин в епоху античності та у Середні віки?
4. Яким був внесок у теорію систем Леонардо да Вінчі?
5. Розкажіть про початковий період розвитку теорії механізмів і машин.
6. Які нові машини і двигуни з'явилися у ХІХ ст.?
7. Як змінювались підходи до вивчення механізмів і машин в історії людства?
8. Як систематизувались знання про машини і механізми?
9. Назвіть вчених, які зробили суттєвий внесок у формування дисципліни «Теорія технічних систем».
10. Як змінювались технічні системи у продовж всієї історії їх еволюції?
11. В чому полягає складність створення сучасних технічних систем?
12. В чому специфіка творчих інженерних задач порівняно із чітко визначеними інженерними задачами?
13. Сформулюйте мету і задачі ТТС.
14. Якою є структура дисципліни ТТС?
15. Які є види теорії технічних систем?
16. Як класифікуються методи інженерної творчості?
17. Розкажіть про найбільш відомі методи інженерної творчості.
18. Які вимоги висуваються до методів інженерної творчості?
19. З якими дисциплінами і яким чином пов'язана ТТС?

## 2 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТТС

Звичайно для формулювання власних думок люди користуються словами і словосполученнями, що обирають інтуїтивно, на рівні підсвідомості. Однак такий інтуїтивний підхід є непридатним для формування теорії та методик розв'язання задач наукової дисципліни (в тому числі і ТТС) у зв'язку із тим, що призводить до непорозумінь і втрат важливої інформації. Тому для основних понять, а також для їх означень рекомендується використовувати загальну наукову термінологію, що вже склалась протягом останніх трьох сторіч [1].

В основу теоретичних положень фундаментальних та загальноінженерних дисциплін покладено здебільшого спеціалізовані або вузькоспеціалізовані терміни (наприклад, «профіль повздовжнього перерізу», «станина», «карданний вал»), однак зустрічаються і слова взяті із мови загального використання, які отримали друге або третє, але вже наукове значення (наприклад, терміни «коромисло», «кулачок», «бабка»).

Заради точності треба відмітити, що і в ряді фундаментальних дисциплін між вченими ще не досягнуто єдності з питання вибору термінів та формулювання означень. Наприклад, основна деталь певного механізму або машини, яка безпосередньо виконує задану функцію (такою деталлю в ТО слюсарні лещата є губки, між якими затискається оброблювана заготовка і в такий спосіб виконується функція лещат) у різних дисциплінах та різними авторами називається «виконавчий елемент» або «робочий орган». Це не дозволяє робити посилання на відповідні літературні джерела і змушує повторно розглядати деякі елементарні, але важливі поняття [1].

Ще одна термінологічна проблема пов'язана із відмінами значень одних і тих самих слів у різних мовах, або навпаки, із різним вимовлянням та написанням термінів, що застосовуються для одного поняття. Так, наприклад, німецький термін «Technik» (техніка) не збігається з англійським «technique» (методика, технічний прийом, обладнання), а німецьке слово «Konstrukteur» (конструктор, будівельник) є неадекватним відповідному англійському «designer» (конструктор, проектувальник) [1].

У зв'язку із вищевикладеним, при формуванні понятійної основи ТТС було використано такі принципи:

- орієнтація в термінологічному плані, в першу чергу, на поняття фундаментальних дисциплін, які мають загальне визнання;
- максимально широке використання міжнародної термінології.

Крім того, для ряду понять будуть рекомендовані аббревіатури та літерно-цифрові символи, що, по-перше, відповідає вимогам міжнародних стандартів і, по-друге, дозволяє скороти записи і витрати інженерної праці при розв'язанні задач [1, 2].

Означення понять буде здійснюватись в два етапи. Спочатку (в даній лекції) даються означення найбільш важливих основних понять, що зу-

стрічаються протягом усього курсу. Спеціальні поняття будуть розглядатись пізніше, в порядку обговорення відповідних тем. Для полегшення орієнтації основні поняття об'єднуються в групи за ключовим словом, наприклад групи «множина», «система» і т. д. При цьому, кожна з груп вивчається у порядку черговості, який залежить від необхідності застосування того чи іншого ключового поняття у формулюваннях означень групи. Наприклад, в означенні ключового поняття «система» використовується інший ключовий термін «множина». Отже, спочатку треба розглянути групу понять «множина» [1, 16].

### **Множина**

*Множина* – це сукупність реальних або уявних процесів або об'єктів – елементів ( $e$ ) множини. За кількістю елементів розрізняють скінченні і нескінченні множини. Якщо  $e$  — елемент множини  $M$ , то записують:  $e \in M$ . Дві множини  $M$  і  $N$  *еквівалентні*, якщо кожному елементу множини  $M$  точно відповідає елемент множини  $N$  і навпаки. Якщо всі елементи множини  $N$  містяться в  $M$ , то  $N$  — *підмножина*  $M$ :  $N \subset M$ . Тоді сукупність всіх елементів  $M$ , неналежних  $N$ , називається *доповненням* множини  $N$ . *Об'єднання*  $M \cup N$  — це множина, яка складається зі всіх елементів  $M$  і  $N$ . *Перехрещення*  $M \cap N$  – множина, що містить елементи, які одночасно належать як  $M$ , так і  $N$  [1].

### **Система**

*Системою* ( $C$ ) ми називаємо сукупність, утворену і упорядковану за певними правилами зі скінченної множини елементів, які можуть впливати один на одного (пов'язані внутрішніми впливами). Відомі також системи, між елементами яких відсутні впливи [1].

Розрізняють *системи типу «процес»* (елементами є операції) і *системи типу «об'єкт»* (елементами є реальні об'єкти).

*Внутрішні впливи* ( $v$ ) між елементами системи являють собою зв'язки матеріального ( $M$ ), енергетичного ( $En$ ) або інформаційного ( $I$ ) характеру. Інші більш складні впливи можуть бути подані комбінаціями трьох вказаних простих.

Елемент і система є відносними поняттями. Залежно від того, відносно чого розглядається об'єкт або процес, він може бути системою (для об'єктів або процесів нижчого рівня складності) або елементом в системі вищого рівня складності. Наприклад, коробка швидкостей є системою для валів і зубчастих коліс, з яких вона складається. Однак ця ж коробка в системі металорізального верстата розглядається як елемент. Інколи системи вищого і нижчого рівня складності називають *над-* і *підсистемами* ( $TnC$ ) [1, 2].

Користуючись положеннями ТТС можна досліджувати як найпростіші (атоми), так і найскладніші системи (космічні апарати, міжгалузеві підприємства). Залежно від рівня складності систем визначаються профіль та ква-

ліфікація фахівців, яких необхідно залучити для їх розробок та дослідження (фізиків–ядерників, конструкторів металорізальних верстатів або проєктувальників заводів) [2, 17].

З поняттям «система» пов’язані такі похідні поняття як призначення, функціонування, структура, зовнішні системи і елементи, зовнішні впливи, параметри і стан системи.

### **Призначення системи**

*Призначення* системи – це виконання її зовнішньої (загальної) функції ( $\Phi$ ). Наприклад, зовнішньою функцією металорізального верстата є забезпечення розмірної обробки металевих заготовок шляхом зняття з них стружки. *Зовнішню функцію* системи можна подати множиною *внутрішніх функцій* ( $\phi$ ) або функцій елементів, що містяться в її складі [1, 2]:

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\},$$

де  $n$  – число елементів системи.

Як внутрішню функцію кожного елемента системи, так і зовнішню функцію системи в цілому математично можна описати як [2, 6]

$$\Phi = (\mathbf{B}; \mathbf{O}; \mathbf{Y}), \quad (2.1)$$

де  $\mathbf{B}$  – загальний внутрішній вплив, який необхідно реалізувати для виконання заданої функції  $\Phi$ ;  $\mathbf{O}$  – об’єкт, на який спрямований вплив  $\mathbf{B}$ ;  $\mathbf{Y}$  – умови та обмеження, що накладаються на реалізацію впливу  $\mathbf{B}$ . Так, в описаній вище функції металорізального верстата: «забезпечення розмірної обробки» – це вплив ( $\mathbf{B}$ ), «металевих заготовок» – об’єкт ( $\mathbf{O}$ ), «шляхом зняття стружки» – умова ( $\mathbf{Y}$ ). Опис функції системи може бути якісним (у словесній формі або у формалізованому вигляді) або кількісним (додатково охарактеризованим кількісними параметрами). Наприклад, для «забезпечення розмірної обробки» можна вказати числові значення швидкості різання, подачі і глибини різання, з якими вона відбувається.

### **Параметри системи і їх чисельні значення**

Кожна система та її елементи характеризуються якісними або кількісними *параметрами* ( $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n$ ), які визначають дану конкретну систему та її місце серед інших систем. Наприклад, основними параметрами металорізального верстата можуть бути потужність електродвигуна привода головного руху, діапазон швидкостей обертання шпинделя та діапазон подач супорта, які на ньому можна реалізувати, клас точності верстата, його маса та інші. За значеннями цих параметрів один металорізальний верстат може відрізнитись від іншого верстата аналогічного призначення [1, 2].

Основними для будь-якої системи є величини, що характеризують її зовнішню та внутрішні функції – *функціональні (робочі) параметри*. Вка-

зані вище приклади параметрів металорізального верстата відносяться до функціональних [2].

### Стан системи

Множину параметрів системи з їх числовими значеннями у певний момент часу називають *станом* (Сн) системи. Стан може залишатись незмінним або змінюватись за *диференціальним* (постійна зміна) або *дискретним* (з проміжками незмінного стану) *законами*. В свою чергу, диференціальна зміна може мати *лінійний* або *нелінійний характер* [1].

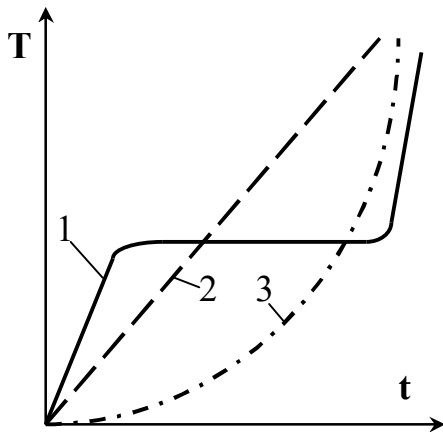


Рисунок 2.1 – Графіки зміни температури  $T$  в часі  $t$ : 1 – дискретна; 2 – диференціальна лінійна; 3 – диференціальна нелінійна

На рисунку 2.1 для прикладу показано графіки зміни температури  $T$  в часі  $t$  у печі для гартування заготовок в цеху згідно із дискретним, диференціальним лінійним та диференціальним нелінійним законом.

### Функціонування системи

*Функціонування* може бути визначено як множина послідовних в часі робочих станів системи або як стабільна спроможність до реалізації заданих послідовних впливів на об'єкт при визначених умовах та обмеженнях. *Метою створення* системи є задана модель її функціонування [1, 18].

Прикладами робочих станів автомобіля є його переміщення на першій, другій, третій та четвертій передачах (швидкостях), при перемиканнях яких змінюються обертальні моменти та швидкості обертання валів коробки передач, а також коліс автомобіля, змінюється споживання палива тощо.

### Структура системи

*Структура* (Стр) системи є об'єднанням множини її елементів  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  і множини внутрішніх впливів між ними  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , тобто,  $Стр = \{E, V\}$ . Структури деяких систем можна розділити на декілька структур різного типу нижчого рівня складності [1]. Наприклад, структура металорізального верстата містить кінематичну, електричну, електронну, гідравлічну та пневматичну підструктури (підсистеми) – рисунок 2.2.

### Зв'язок між функціонуванням та структурою системи

Модель функціонування системи цілком визначається її структурою. Якщо якісні та кількісні параметри, що характеризують елементи системи, її внутрішні та зовнішні впливи, знаходяться в допустимих межах – система функціонує однозначно. Навпаки, функціонування не визначає однозначно структуру. Одна і та ж сама зовнішня функція може бути реалізована різними структурами (системами) [1]. Наприклад, функція транспорту-

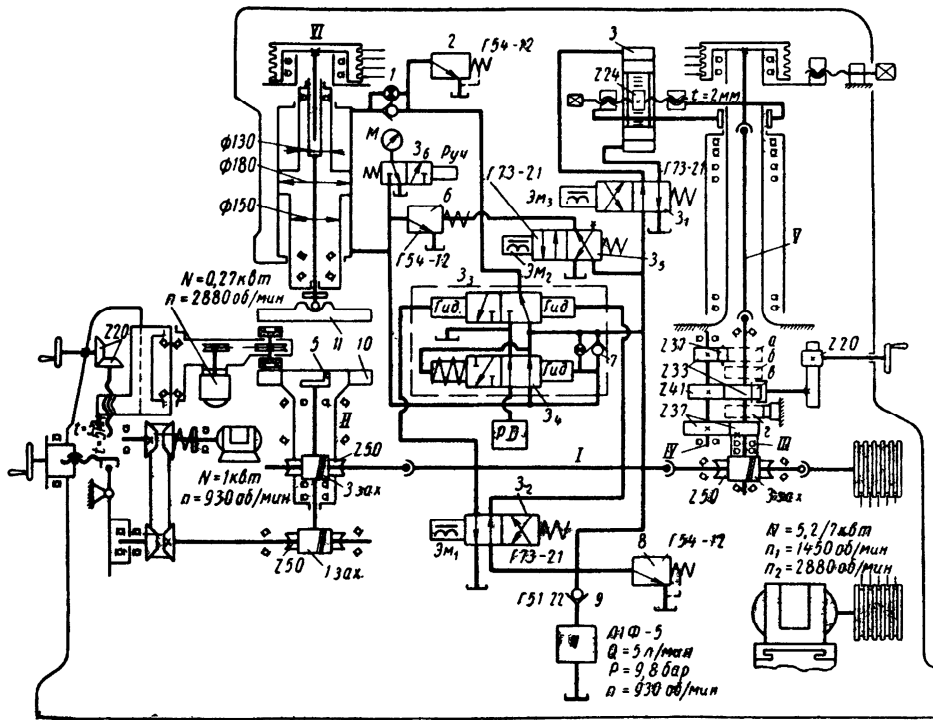


Рисунок 2.2 – Гідрокінематична схема притирального верстата мод. 3Б816

вання пасажирів може виконуватись різними за конструкцією автомобілями (рисунок 2.3).

### Зовнішні системи і елементи

Теоретично *множина зовнішніх систем і елементів* для даної конкретної системи включає всі процеси та об'єкти, які не входять в множину її елементів (доповнення множини елементів системи до загальної множини процесів та об'єктів всесвіту).



Рисунок 2.3 – Варіанти конструкцій легкового автомобіля

Однак інтерес при вивченні тієї чи іншої системи становлять зовнішні системи та елементи, які безпосередньо впливають на її елементи (пов'язані з ними потоками матерії, енергії або інформації) або ті, на які безпосередньо впливають елементи системи, що розглядається. Подібні елементи та їх сукупності називаються *зовнішніми елементами і системами безпосереднього впливу* ( $e_{з.б}$ ) і ( $C_{з.б}$ ) [1, 2].

Наприклад, до зовнішніх систем і елементів металорізального верстата, що працює в цеху підприємства, відносяться всі інші верстати підприємства, в тому числі і в сусідніх цехах, транспортні засоби (конвеєри, навантажувачі, вантажівки), заготовки і деталі на складах тощо. Але вплив більшості названих об'єктів на розглядуваний верстат є настільки несуттєвим, що їм можна знехтувати. Тому, в даному випадку, як  $e_{3.6}$  і  $C_{3.6}$  беруться до уваги тільки оброблювана на верстаті заготовка, промисловий робот, що установлює заготовку на верстат і знімає деталь після обробки, автоматизований прилад для контролю розмірів заготовки в процесі і після обробки та інші об'єкти, що безпосередньо пов'язані з верстатом.

### **Зовнішні впливи системи**

Під *вхідними зовнішніми впливами* ( $V_{3.вх}$ ) розуміють потоки матерії, енергії або інформаційних сигналів, спрямовані від зовнішніх систем і елементів безпосереднього впливу до елементів системи, яка розглядається.

*Вихідними зовнішніми впливами* ( $V_{3.вих}$ ) системи є потоки матерії, енергії або інформації в напрямку від її елементів до зовнішніх систем і елементів безпосереднього впливу [1, 2].

Наприклад, для автомобіля, що рухається по шосе,  $V_{3.вх}$  – це впливи з боку водія – повороти керма, перемикання передач, зміна швидкості, які мають матеріальний, енергетичний та інформаційний характер (оцінювання водієм ситуації на дорозі) і впливи з боку навколишнього середовища – зустрічний опір повітря під час руху автомобіля, тертя між його колесами та дорогою. Тоді як  $V_{3.вих}$  – вихлопні гази автомобіля, створювані ним шум та вібрації.

*Загальні зовнішні вхідний* ( $V_{3.вх}$ ) *та вихідний* ( $V_{3.вих}$ ) *впливи* являють собою множини відповідно всіх вхідних та вихідних зовнішніх впливів системи [1, 17].

За наявністю або відсутністю зовнішніх впливів системи класифікують як *відкриті* (мають хоча б один вхідний або вихідний зовнішній вплив) та *закриті* (не мають зовнішніх впливів або останніми можна знехтувати) [14].

Вхідні та вихідні зовнішні впливи можуть мати *передбачуваний* і *непередбачуваний*, *позитивний* і *негативний* характер. До останніх відноситься, наприклад, шкідливий вплив на людину, забруднення ТС навколишнього середовища [1].

### **Навколишнє середовище (оточення) системи**

Необхідно також враховувати вплив на систему природних умов (змін температури, вологості, тиску), а також біологічних об'єктів (і в першу чергу, людини). Все вказане можна об'єднати в загальному понятті *навколишнє середовище* (НС). Впливи на систему з боку НС і навпаки – впливи



системи на **НС** – також відносяться до зовнішніх. При необхідності їх можна виділити серед інших зовнішніх впливів [1, 14].

### Модель системи

Модель побутової електроплитки, подана на рисунку 2.4, наочно ілюструє наведені вище означення та їх взаємозв'язки.

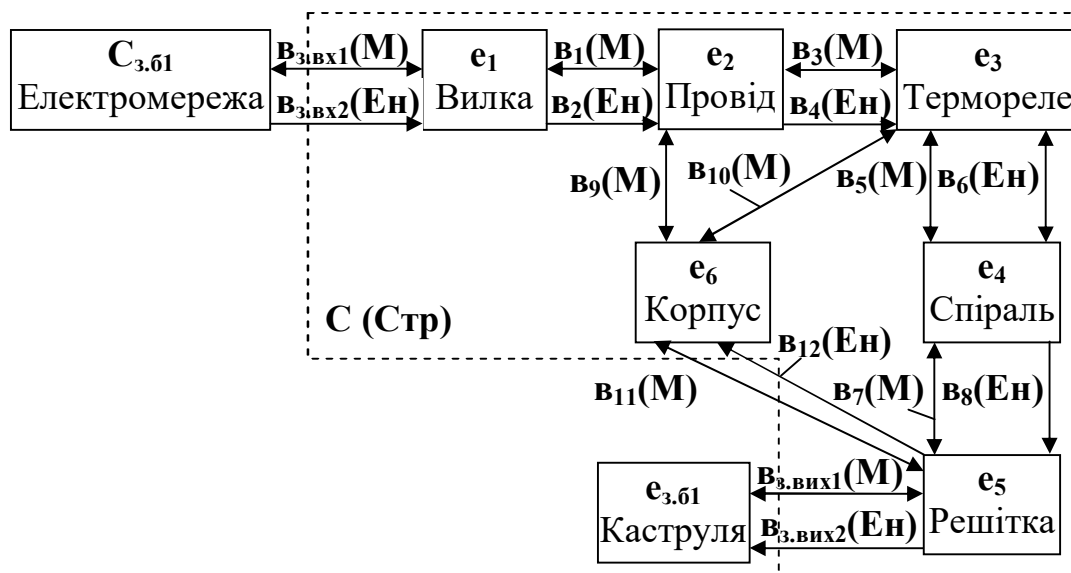


Рисунок 2.4 – Модель системи «побутова електроплитка»

### Типи задач теорії технічних систем

Всі задачі створення та удосконалювання систем можна поділити на два основні типи: задачі синтезу та задачі аналізу.

В *задачах синтезу* задано зовнішню та внутрішні функції системи і необхідно розробити її структуру. До таких задач відносяться, наприклад, задачі створення принципово нових **ТС**, що не мають аналогів або задачі удосконалення відомих технічних процесів та об'єктів для забезпечення їх відповідності новим більш жорстким вимогам.

В *задачах аналізу* відомо структуру системи і потрібно установити функцію останньої та функції її складових елементів [1, 14]. До задач даного типу відносяться задачі оцінювання ефективності відомої або нової розробленої **ТС**. Наприклад, необхідно зіставити фактичні функціональні параметри системи із заданими (див. розділ 7). Такими параметрами у металорізального верстата є: потужність електродвигуна привода головного руху, діапазони частот обертання шпинделя та подач супорта, клас точності, ступінь автоматизації та рівень спеціалізації обладнання. Також задачі аналізу можуть бути пов'язані із порівнянням кількох різних за конструкцією або принципом дії зразків **ТС**, що виконують одну й ту саму функцію, з вибором найбільш придатного варіанта за основними функціональними параметрами.

## Контрольні запитання

1. Розкажіть про термінологічні проблеми фундаментальних та загально інженерних дисциплін.
2. Які принципи використовувались під час формування понятійної основи ТТС?
3. Якою є структура понятійної основи ТТС?
4. Дайте означення ключового терміна «множина» та похідних від нього понять?
5. Дайте означення терміна «система», розкажіть про типи систем.
6. Чому поняття «система» і «елемент» є відносними?
7. Дайте означення призначення системи, її зовнішньої та внутрішніх функцій.
8. За якою формулою описуються функції системи?
9. Що собою являють параметри системи, яка їх роль?
10. Що називають станом системи, за якими законами він може змінюватись?
11. Що таке функціонування та структура системи, як вони пов'язані одне з одним?
12. Що собою являють зовнішні системи та елементи безпосереднього впливу?
13. Чому недоцільно розглядати всі об'єкти навколишнього середовищі системи?
14. Дайте означення зовнішніх впливів системи.
15. Наведіть приклади зовнішніх впливів системи «промисловий робот».
16. Які типи задач розв'язуються у ТТС? Наведіть приклади задач обох типів.
17. Що собою являє навколишнє середовище системи?
18. Яку інформацію про систему несе її модель?

### 3 СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЕНЬ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТИ

Коли ми намагаємось сформулювати відповідь на запитання про практичне застосування ТТС, то рано чи пізно приходимо до необхідності визначення мети створення технічних процесів та об'єктів.

Людина, як і будь-яка жива істота, має життєво важливі потреби, такі як їжа, сон, житло тощо. Однак на відміну, наприклад, від тварин потреби і бажання людини постійно зростають, що пов'язано з розвитком цивілізації, прогресом техніки і зростанням добробуту. Більшість з даних потреб не є життєво необхідними, але це не знімає проблеми їх задоволення. При цьому для задоволення своїх потреб людина знаходить у природі лише деякі повноцінні засоби. У більшості ж випадків вона змушена змінювати останні за рахунок організації процесів їх перетворень.

Взагалі, термін «процес» означає, що щось відбувається, триває, змінюється протягом часу. У природі постійно відбуваються ті чи інші процеси перетворень як повільні (вивітрювання, ерозія скель і гір), так і швидкоплинні (гроза, виверження вулканів). Деякі з природних перетворень можуть безпосередньо служити на користь людині, але, в основному, вона реалізує штучні процеси з метою досягнення бажаних для себе змін. Хоча людина і підкоряється законам природи, вона може прискорити, підсилити або поліпшити деякі природні процеси або їх параметри [1, 6].

Штучні процеси, в яких за участю людей і (або) технічних систем, а також під впливом навколишнього середовища, об'єкт впливів змінює свій стан із заданого вхідного ( $C_{нвх}$ ) на заданий вихідний ( $C_{нвих}$ ), що характеризуються множиною певних параметрів, називають *перетвореннями* [1, 2].

Множина людей  $\Sigma L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ , множина технічних систем  $\Sigma TC = \{TC_1, TC_2, \dots, TC_m\}$ , навколишнє середовище  $HC$ , а також об'єкт впливу  $O$ , що пов'язані між собою внутрішніми та зовнішніми (вхідними та вихідними) впливами – потоками матерії, енергії або інформації – називають *елементами системи перетворень (СП)* [1].

Можна навести безліч прикладів процесів перетворень (ПП), які організовує людина, у машинобудуванні це: зварювання, механічне оброблення; на транспорті: фарбування автомобіля, заміна мастила (рисунок 3.1). Для реалізації більшості складних ПП, особливо тих, що супроводжуються значними (у десятки і сотні разів) підвищеннями або пониженнями температури, тиску, вологості, робочих зусиль, електричної напруги, людина не може обійтись без організації штучних технічних процесів – нагрівання заготовок, пластичного деформування, свердління отворів, а також без допомоги штучних технічних об'єктів – вимірювальних приладів, металорізальних верстатів, тракторів, суден, космічних апаратів [2].

Вся множина штучних технічних процесів та об'єктів об'єднується в комплексне поняття «*технічні системи*» (ТС) [1, 6].



Рисунок 3.1 – Приклади процесів перетворень

*Технічним процесом (ТП)* називають спосіб, метод або послідовність перетворення матерії, енергії або інформації із заданого вхідного у заданий вихідний стан, які реалізуються людиною або технічним об'єктом при виконанні певної функції [1].

Під *технічним об'єктом (ТО)* розуміють деталь, вузол, агрегат, пристрій, машину, виробничу ділянку, підприємство, які створені людиною за допомогою інших технічних об'єктів і технічних процесів та призначені для виконання певної функції з перетворення матерії, енергії або інформації із заданого вхідного у заданий вихідний стан [1].

Таким чином, *загальним призначенням систем типу «процес» і систем типу «об'єкт»* є забезпечення штучних процесів перетворень для реалізації потреб людини [1].

*Вплив навколишнього середовища (НС)* визначається сукупним впливом природних (біологічних) об'єктів, а також зміною температури, тиску, вологості, наявністю або відсутністю газів й іншими факторами оточення [17].

*Об'єктом впливу* в процесі перетворення може бути матерія (технічна система, окремий елемент – деталь, матеріал або їх сукупність), енергія або інформація [1].

**ПП** можна поділити на окремі технічні процеси, технічні підпроцеси (**ТпП**) та операції (**Ор**). Тоді сам *процес перетворення* являє собою однозначно визначену послідовність технічних процесів, підпроцесів та операцій, яка або установлюється один раз заздалегідь і дійсна упродовж всього перетворення, або змінюється залежно від результату реалізації його складових частин (упорядкована множина технічних процесів, підпроцесів, операцій, а також внутрішніх та зовнішніх впливів між ними – рисунок 3.2) [2].

Одними з найбільш розповсюджених **ПП** в техніці є процеси керування і регулювання.

*Керування* – процес в системі перетворень, при реалізації якого на об'єкт впливу системи діють один або декілька зовнішніх вхідних впливів,

в результаті чого параметри об'єкта змінюються згідно із заданим законом (формування заданого вихідного впливу). Наприклад, під час керування автомобілем водій здійснює повороти керма (вхідні впливи на систему), в результаті автомобіль повертає (зміна параметрів системи) згідно із напрямком дороги (за заданим законом) [2].

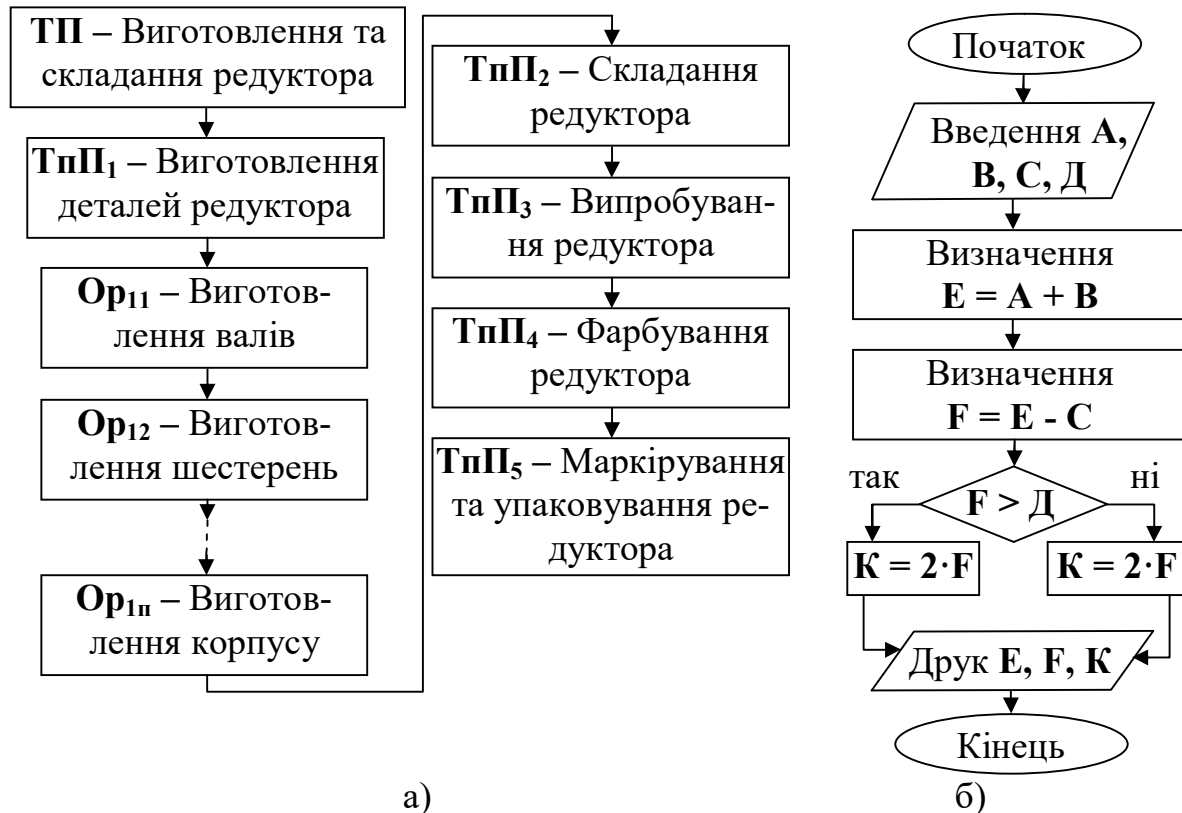


Рисунок 3.2 – Блок-схеми послідовності ТП: а – одноваріантного без розгалужень; б – двоваріантного з розгалуженням

*Регулювання* – це процес перетворення, при якому деякі змінні параметри (параметри регулювання) постійно зіставляються із заданими, і при наявності недопустимих відхилень на об'єкт впливу системи перетворень здійснюються зовнішні або внутрішні впливи з метою приведення вказаних відхилень у певні межі. Наприклад, під час регулювання температури у електропечі для гартування заготовок робітник визначає за допомогою термометра фактичну температуру всередині печі і зіставляє її із заданою (необхідною для гартування заготовок). За наявності недопустимого відхилення фактичної температури від заданої, робітник повертає рукоятку регулятора електричного опору кола, в який увімкнена нагрівна спіраль печі (здійснює зовнішній вплив на систему), змінюючи, в такий спосіб, фактичну температуру і приводячи її у відповідність із заданою [2].

На рисунку 3.3 наведено загальну модель абстрактної СП, на якій вказано всі описані вище елементи системи та впливи між ними.

В рамках глобальної системи Всесвіту може бути виділена нескінченна множина СП. Окремий елемент часто входить в декілька СП. Наприклад, різець токарного верстата, який під час роботи одночасно зміщуєть-

ся в повздовжньому напрямку (змінює місцеположення), зрізає стружку із заготовки, зношується, передає коливання іншим елементам СП – перетворення матерії, а також нагрівається – перетворення енергії.

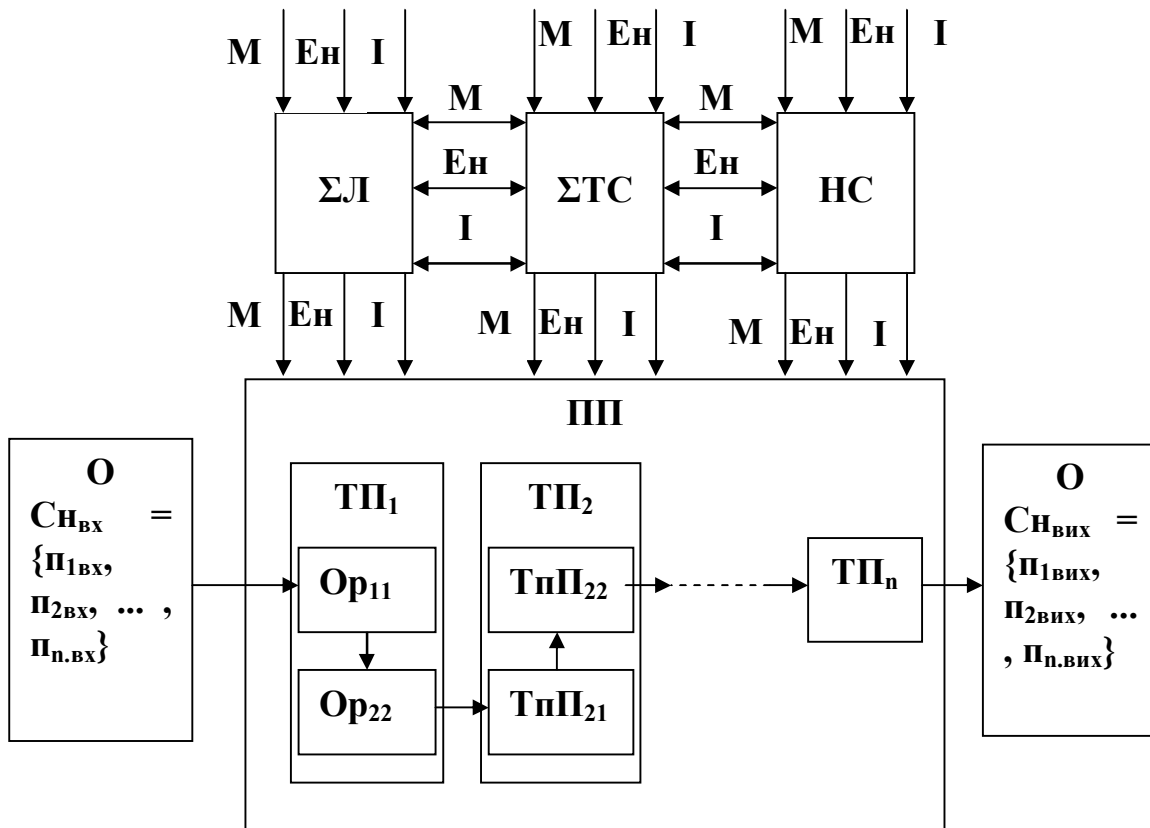


Рисунок 3.3 – Загальна модель абстрактної СП

З врахуванням наведених вище положень визначимо *загальні ознаки систем перетворень*.

1. Системи перетворень призначені для реалізації тих чи інших потреб людини.

2. У загальному випадку вони включають такі елементи: об’єкт впливу (матерія, енергія, інформація), множини людей та технічних систем, а також навколишнє середовище, які пов’язані між собою матеріальними, енергетичними або інформаційними потоками.

3. В результаті перетворення об’єкт впливу переходить із заданого вхідного у заданий вихідний стан.

4. Процес перетворень може бути поділений на технічні процеси, підпроцеси або операції, які утворюють упорядковану одно- або багатоваріантну послідовність [1, 2].

В таблиці 3.1 подано приклад опису СП гартування сталевий заготовки [2], що реалізується вручну робітником, який захоплює заготовку щипцями, установлює її у піч, а після нагрівання в останній до заданої температури, витягає заготовку щипцями та опускає її у ванну з мастилом.

Таблиця 3.1 – Опис СП гартування сталевोї заготовки

Найменування ПП	Гартування
Об'єкт впливу (О)	Сталева заготовка
Перетворення стану О $C_{н_{вх}} \rightarrow C_{н_{вих}}$	Зовнішня поверхня: м'яка $\rightarrow$ тверда
Склад і послідовність ПП= $=\{\Sigma TP, \Sigma TnП, \Sigma Op\}$	Завантаження у піч $\rightarrow$ нагрівання $\rightarrow$ переміщення від печі до ванни $\rightarrow$ охолодження у ванні $\rightarrow$ виймання з ванни
Участь в ПП множин $\Sigma Л$ , $\Sigma ТС$ і $НС$ : - робітник	Захват щипцями заготовки і переміщення її у піч, від печі до ванни і з ванни до контейнера
- щипці	Захист робітника від впливу високої температури з боку печі та заготовки
- піч	Нагрівання заготовки до заданої температури
- масляна ванна	Охолодження заготовки
- температура, вологість, тиск у цеху, наявність у повітрі агресивних газів, сторонні шуми, вібрації	Поліпшення або погіршення виробничих умов для робітника, обладнання, заготовки, процесу гартування, збільшення або зниження його продуктивності

### Контрольні запитання

1. Яким є значення процесів перетворень для життєдіяльності людини?
2. Що називають процесами перетворень та системами перетворень?
3. Назвіть елементи систем перетворень.
4. Дайте означення технічних процесів та технічних об'єктів.
5. Дайте означення процесів керування та регулювання.
6. Що собою являє структура технічних процесів?
7. Якими є загальні ознаки систем перетворень?
8. Які є способи подання систем перетворень?

## 4 ТЕХНІЧНІ ПРОЦЕСИ

У попередньому розділі було вказано, що **ТП** разом з людьми, технічними об'єктами, навколишнім середовищем та об'єктом впливу є елементом **СП**. **ТП** займають центральне місце в **СП**, оскільки перетворення, взагалі, можуть бути здійснені не інакше, як за їх допомогою. Крім того, інші елементи **СП** можуть бути об'єднані лише на основі **ТП**. Наприклад, для перетворення заготовки у деталь, яка за формою, розмірами та шорсткістю поверхонь відрізняється від заготовки, необхідно реалізувати **ТП** обробки тиском або **ТП** механічної обробки.

В сучасному світі постійно здійснюється нескінченна множина **ТП**, у яких, так чи інакше, беруть участь люди. Кожна людина інколи є елементом декількох **ТП** одночасно, в результаті чого вона задовольняє свої потреби безпосередньо або створює умови для їх подальшої реалізації. Ключовим словом тут є *потреба*.

Який зв'язок потреби з **ТП**? Повторимо:

а) виникає стан незадоволеності або ситуація, яку людина хоче чи повинна змінити; б) даний стан змушує сформулювати потребу; в) усвідомлюється, що потреба може бути задоволена різними засобами; г) з'ясовується, що засоби, які могли б бути використані для цього безпосередньо, відсутні; д) потрібно змінити існуючий стан на бажаний шляхом перетворень; е) перетворення здійснюються в **ТП** [1].

### 4.1 Модель технічного процесу

Ми установили, що **ТП** є елементом **СП** (див. рисунок 3.3). Модель **ТП** розробляється з врахуванням впливів на нього з боку інших елементів. Можливі декілька способів подання **ТП**. На рисунку 4.1 подано загальну модель, в якій враховано і зображено всі можливі елементи **ТП** і впливи між ними [1, 2].

Послідовність розробки моделей **ТП** [1, 2].

1. Визначається **ПП**, який необхідно реалізувати для задоволення тієї чи іншої потреби людини. *Наприклад, для виготовлення побутової пральної машини потрібен кронштейн, на якому установлюється електродвигун її привода.*

2. Вказується об'єкт впливу (**О**), його вхідний (**С<sub>нвх</sub>**) та вихідний (**С<sub>нвих</sub>**) стани, а також основні параметри, що їх характеризують. *У розглянутому прикладі з кронштейном пральної машини об'єктом впливу є матеріал (сталь), з якого литтям буде одержано кронштейн. Вхідний і вихідний стан об'єкта характеризується формою, розмірами, якістю поверхонь, твердістю тощо.*



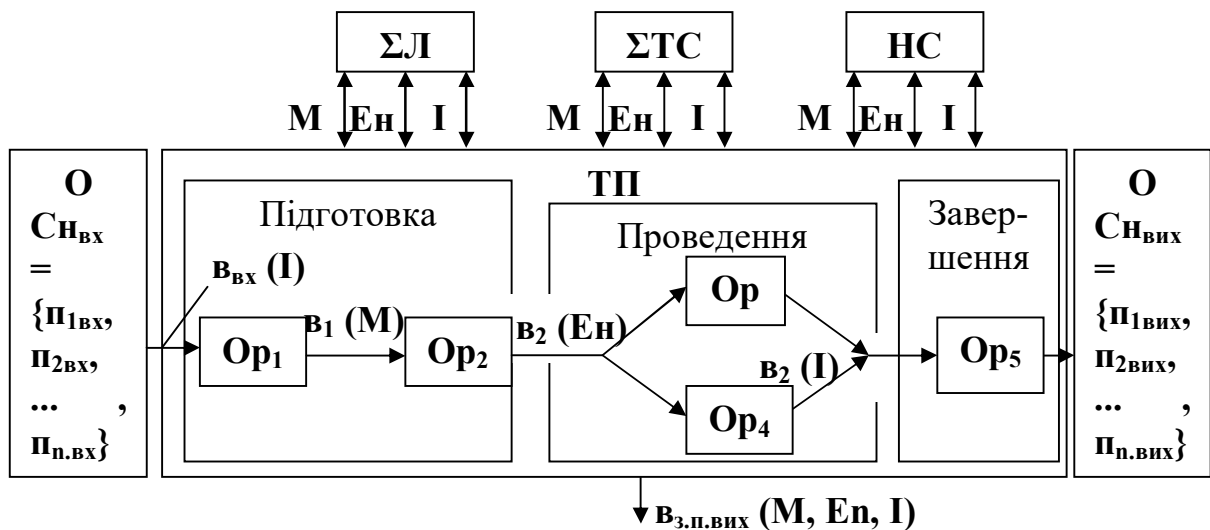


Рисунок 4.1 – Загальна модель ТП

3. Визначаються найбільш раціональні варіанти ТП, що дозволяють реалізувати задане перетворення. Для одержання кронштейна можна використовувати способи лиття у кокіль, у оболонкові форми та за виплавлюваними моделями.

4. Для кожного варіанта ТП вказуються складові  $\Sigma ТпП$  та  $\Sigma Op$ , визначається вид їх структури – послідовний або паралельний (рисунок 4.2), а також характер протікання – диференціальний (лінійний чи нелінійний) або дискретний. Так, для ТП лиття у кокіль складовими  $\Sigma ТпП$  і  $\Sigma Op$  будуть підготовка півформ (їх перевірка, очищення, покриття всередині облицюванням, скріплення), розплавлення металу і заливання його у форму, охолодження металу до затвердіння, роз'єднання півформ та вилучення з них вилівка. При цьому операції підготовки півформ та розплавлення металу можуть виконуватись паралельно (одночасно); решта операцій є послідовними.

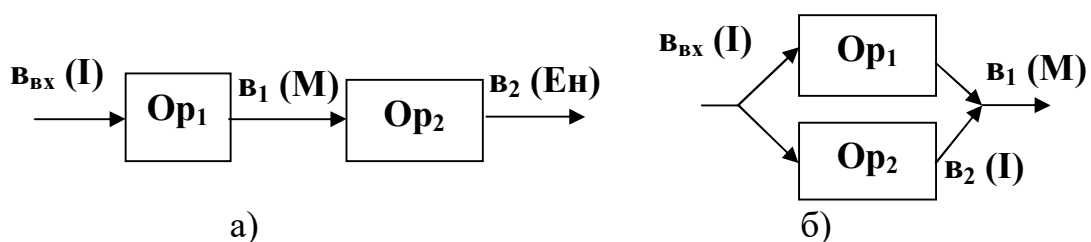


Рисунок 4.2 – Види структури  $\Sigma ТпП$  ( $\Sigma Op$ ): а) послідовна; б) паралельна

5. Установлюються впливи між  $\Sigma ТпП$  та  $\Sigma Op$ , а також характер впливів (матеріальний –  $M$ ; енергетичний –  $E_H$  або інформаційний –  $I$ ). При реалізації способу лиття у кокіль під час підготовки півформ на них здійснюються матеріальні впливи, крім цього, йде оцінювання інформації (в процесі перевірки, очищення та скріплення півформ). Паралельно при здійсненні розплавлення металу в електропечі відбувається перетворення енергії – електроенергія переходить у теплову, а також відбувається матеріальне перетворення металу – з твердого у рідкий стан. Далі при зали-

ванні металу у форму перетворюється матерія (змінюється форма матеріалу), енергія (тепло від металу переходить до форми та до навколишнього середовища) та інформація (здійснюється контроль рівня, до якого метал заливається у форму, контроль температури форми, часу витримки).

6. Вказується стан об'єкта впливу ( $C_{n} = \{P_{1n}, P_{2n}, \dots, P_{m,n}\}$ ) після виконання кожного **ТпП** або **Ор**. Перед розплавленням метал знаходиться у стані грубих призматичних виливків. Після розплавлення він змінює свої форми розміри, температуру, внутрішню структуру. Ці ж самі параметри металу змінюються після заливання його у форму.

7. В загальному **Тп** виділяються етапи підготовки, проведення та завершення (див. рисунок 4.1). При реалізації варіанта **Тп** лиття у кокіль етап підготовки – це перевірка, очищення, покриття облицюванням і скріплення півформ, а також розплавлення металу; етап проведення – заливання металу у форму та його охолодження до затвердіння; етап завершення – роз'єднання півформ та вилучення з них вилівка.

8. Визначаються множини  $\Sigma L$ ,  $\Sigma TC$  об'єктів та умов **НС**, які безпосередньо пов'язані впливами з елементами **Тп**. У **Тп** лиття у кокіль беруть участь робітники, що готують форми, розплавляють і заливають в них метал, вибивають з форм вилівки, обслуговують і ремонтують печі, форми. Як **ТО** використовуються форми, трубицини для їх скріплення, електричні печі, ковші для розплавлення металу, кран-балки або промислові роботи для переміщення ковшів, обладнання та оснащення для охолодження форм, інструмент і пристосування для ремонту і обслуговування вищевказаного обладнання. Основними умовами **НС** є: температура, вологість та тиск у ливарному цеху, наявність у його повітрі газів та пилу.

9. Установлюється характер впливів  $\Sigma L$ ,  $\Sigma TC$  та **НС** на  $\Sigma T_{пП}$  та  $\Sigma Ор$ . При цьому необхідно визначити достатньо повний перелік елементів **Тп** і впливів між ними, оскільки в іншому випадку проміжні та вихідні параметри **Тп** можуть відрізнятись від заданих, а сам **Тп** залишитись нереалізованим. Наприклад, в **Тп** лиття у кокіль як вихідні матеріальні та енергетичні потоки потрібно вказати не тільки вилівки, а й високотемпературні теплові потоки від форми з розплавленим металом, гази – продукти згоряння металу тощо. Для перевірки правильності і повноти виконання даного пункту доцільно розглянути баланси матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків.

10. При необхідності проводиться повний опис із зазначенням елементів та впливів не тільки для основних  $\Sigma T_{пП}$  та  $\Sigma Ор$ , що відносяться до етапу проведення **Тп**, а і для допоміжних  $\Sigma T_{пП}$  і  $\Sigma Ор$  етапів підготовки та завершення. Доцільність такого опису обумовлена тим, що допоміжні  $\Sigma T_{пП}$  і  $\Sigma Ор$  у більшості випадків суттєво впливають на основні перетворення **Тп**.

11. Визначаються процеси керування і (або) регулювання **Тп**. У **Тп** лиття у кокіль реалізовується керування пристроями для завантаження

*вихідного матеріалу у ківш з метою його розплавлення, керування переміщеннями ковша, контроль і регулювання температури розплаву у ковші та у формі тощо.*

12. При необхідності згідно із наведеною вище послідовністю розробляються моделі окремих **ТпП** і **Ор**.

13. При розробці нових **ТП** і особливо у випадку повторної реалізації вже відомих визначається час проведення кожної **Ор**, конкретні зовнішні впливи на об'єкт **ТП**, а також їх фактичні параметри.

14. Ретельно перевіряється можливість реалізації кожної **Ор**. В сумнівних випадках проводяться додаткові розробки та удосконалення.

15. Залежно від галузі техніки, в якій реалізовується **ТП**, а також призначення **ТС**, що є його елементами, можливо врахування тільки одного або тільки двох типів перетворень (наприклад, матеріальних або матеріальних і енергетичних). Несуттєві і другорядні для даного **ТП** перетворення можна не брати до уваги.

16. Перевіряється раціональність розроблених варіантів **ТП**. Для цього даються відповіді на такі запитання:

- Чи не можна скоротити той чи інший (ті чи інші) **ТпП** або **Ор**?
- Чи не потрібно додати який-небудь (які-небудь) **ТпП** або **Ор**?
- Чи не краще замінити той чи інший (ті чи інші) **ТпП** або **Ор** іншим (іншими)?
- Чи не раціональнішим буде змінити послідовність реалізації **ТпП** або **Ор**?
- Чи недоцільно розділити або об'єднати ті чи інші **ТпП** або **Ор**?
- Чи можливо повторити кожен **ТпП** і **Ор** окремо і весь **ТП** в цілому?

*Як вказувалось у п. 4, при реалізації **ТП** лиття у кокіль з метою економії часу можна здійснити паралельне (одночасне) виконання операцій перевірки, очищення, покриття облицюванням та скріплення півформ і операції розплавлення металу.*

У таблиці 4.1 наведено ще один приклад опису **ТП** механічної обробки різанням заготовки на верстаті, розробленого згідно із наведеними рекомендаціями [1, 2].

## 4.2 Елементи технічного процесу

### Об'єкт впливу технічного процесу

Об'єкт впливу **ТП** є одночасно об'єктом впливу **СП**. Ним може бути: матерія (**ТС**, **ΣТС**, елемент – деталь, матеріал або їх сукупність), енергія або інформація. В **ТП** змінюється стан об'єкта впливу  $S_{нвх} = \{P_{1вх}, P_{2вх}, \dots, P_{п.вх}\} \rightarrow S_{нвих} = \{P_{1вих}, P_{2вих}, \dots, P_{п.вих}\}$ . Параметрами стану, залежно від об'єкта, можуть бути габаритні розміри, форма, температура, тиск, робоче зусилля, електрична напруга, швидкість і т. д. [1, 2].

Таблиця 4.1 – Приклад опису ТП токарної обробки сталеві заготовки

Об'єкт впливу (О)		Стан	ΣТпП та ΣОр	Впливи на ΣТпП і ΣОр людей ΣЛ, ΣТС, НС		
На- ймену- вання, характер	Сн <sub>вх</sub>			Сн <sub>вих</sub>	↓М	↓Ен
		Матеріал – сталь Ст50	Заготовка – розміри		Деталь – розміри, шорткості	Підготовка: ТпП <sub>11</sub> – настроюван- ня верстата.
ТпП <sub>12</sub> – установлен- ня та закріплення за- готовки.	Л+ТС+ +НС			Л+ТС +НС		Л+ +НС
ТпП <sub>13</sub> – запуск верс- тата.	Л+НС			ТС+ +НС		Л+ТС +НС
Проведення: ТпП <sub>21</sub> – обточування заданих поверхонь.	Л+ТС+ +НС			Л+ТС +НС		Л+ТС +НС
ТпП <sub>22</sub> – вимикання подачі супорта та обертання шпинделя.	Л+НС			ТС+ +НС		Л+ТС +НС
Завершення: ТпП <sub>31</sub> – звільнення та зняття деталі.	Л+ТС+ +НС			Л+ТС +НС		Л+ +НС
ТпП <sub>32</sub> – обмірювання деталі.	Л+НС			Л+Н С		Л+ТС +НС
ТпП <sub>33</sub> – складання деталі в контейнер.	Л+НС	Л+ +НС	Л+ +НС			

### Внутрішні та зовнішні впливи технічного процесу

Впливи ТП являють собою потоки матерії, енергії або інформації, спрямовані до його елементів або від них. В машинобудівному виробництві та на транспорті впливами можуть бути: потоки робочої рідини в гідросистемі верстата, теплота, яка виділяється при згорянні палива в двигуні внутрішнього згорання, переміщення за допомогою стрічкового конвеєра деталей від одного верстата до іншого і т. д. Неминучі в ТП і різні відходи (дим і стружка під час механічної обробки), а також шкідливі впливи (шум, вібрації, зустрічний опір повітря при переміщенні автомобіля), які відносяться до негативних факторів ПП. Матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки, що не є безпосередньою метою даного перетворення, але без яких не можуть бути здійснені відповідні технічні процеси, називаються *побічними внутрішніми (В<sub>п</sub>) та зовнішніми вхідними (В<sub>з.п.вх</sub>) та зовнішніми вихідними (В<sub>з.п.вих</sub>) впливами*. Множини окремих побічних впливів можна подати як *загальні внутрішні та зовнішні вхідний та вихідний побічні впливи (В<sub>п</sub>, В<sub>з.п.вх</sub>, В<sub>з.п.вих</sub>)* [1, 14].

Враховувати побічні потоки необхідно у зв'язку із їх впливом (часто досить помітним і шкідливим) на системи і елементи, що безпосередньо пов'язані з **ТП**. Людству вже давно загрожують негативні впливи **ТП**. Дана загроза стає з кожним роком все більш відчутною. Тому, ще при проектуванні **ТП**, слід враховувати по можливості всю множину позитивних і негативних побічних впливів, а при реалізації **ТП** – постійно або періодично контролювати деякі з них та підтримувати в заданих межах. Наприклад, при експлуатації високоточних вимірювальних приладів такими впливами є підвищення температури, атмосферного тиску, вологості повітря, наявність в ньому агресивних газів, вібрації і т. д. [1, 18].

### **Люди, технічні системи та навколишнє середовище як елементи технічного процесу**

До множини елементів **ТП** входять всі люди, технічні системи, а також об'єкти **НС**, які безпосередньо впливають на його перетворення. Одне і те ж саме перетворення може бути реалізоване на основі різних **ТП**. Від вибору варіанта **ТП** залежать склад його елементів (множин **ΣЛ**, **ΣТС** і **НС**), а також число та характер впливів, які вони реалізують [1, 2].

Розглянемо, наприклад, **ПП** гартування сталевих заготовок. Згідно із першим варіантом **ТП** робітник щипцями захоплює заготовку і установлює її у піч; після нагрівання заготовки до певної температури робітник за допомогою щипців виймає її та опускає в мастильну ванну, а далі укладає в контейнер із загартованими деталями. При реалізації другого варіанта **ТП** укладені на стрічковий конвеєр заготовки безперервним потоком проходять через піч з нагріванням до заданої температури, далі через ванну з мастилом, після чого скидаються з конвеєра у контейнер-збірник [1, 2].

В першому випадку всі операції **ТП**, за винятком нагрівання та охолодження, виконуються за безпосередньою участю людини – робітника. При реалізації другого варіанта **ТП** участь людини обмежується налагодженням стрічкового конвеєра, запуском його у роботу, періодичним контролем параметрів **ТП**, ремонтом та обслуговуванням обладнання [1, 2].

Даний приклад і багато йому подібних доводять, що більш ефективними є **ТП**, в яких людина здійснює впливи, пов'язані в основному з контролем, керуванням та регулюванням **ПП**, тоді як інші впливи реалізуються технічними системами.

### **Підпроцеси та операції технічного процесу**

Перетворення об'єкта впливу часто бувають дуже складними. Об'єкт проходить ряд послідовних проміжних станів, при цьому його параметри змінюються за заданим законом: диференціальним – лінійним чи нелінійним (наприклад, при нагріванні сталевих заготовок) або дискретним (руйнування металоконструкції). Об'єкти переходять в проміжні стани в результаті впливів матеріального, енергетичного або інформаційного характеру. Наприклад, якщо під впливом  $\mathbf{V}_{3.VX1}$  матеріального характеру пара-

метр  $\Pi_1$  об'єкта в двох послідовних проміжних станах мав значення  $\Pi_{11}$  і  $\Pi_{12}$ , то у формалізованому вигляді це можна подати таким чином [1, 2]

$$\Pi_{11} \rightarrow \Pi_{12} = f(\mathbf{V}_{3.VX1}(\mathbf{M})).$$

Тоді сукупна зміна стану об'єкта із заданого вхідного  $\mathbf{C}_{H.VX}$  у заданий вихідний  $\mathbf{C}_{H.VIX}$ , які характеризуються рядом параметрів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ , що є результатом загального  $\mathbf{V}_{3.VX}$  впливу, поданого множиною впливів  $\mathbf{V}_{3.VX1}, \mathbf{V}_{3.VX2}, \dots, \mathbf{V}_{3.VXm}$  записується як [1, 2]

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_{H.VX} = \{ \Pi_{1.VX}, \Pi_{2.VX}, \dots, \Pi_{m.VX} \} &\rightarrow \mathbf{C}_{H.VIX} = \{ \Pi_{1.VIX}, \Pi_{2.VIX}, \dots, \Pi_{m.VIX} \} = \\ &= f(\mathbf{V}_{3.VX}) = f(\mathbf{V}_{3.VX1}, \mathbf{V}_{3.VX2}, \dots, \mathbf{V}_{3.VXm}). \end{aligned}$$

Зовнішні та внутрішні впливи на об'єкт здійснюються під час виконання  $\Sigma \mathbf{Tn\Pi}$  та  $\Sigma \mathbf{Op}$  в рамках загального  $\mathbf{T\Pi}$ .

*Операцією (Op)* ми називаємо елементарний неподільний технічний процес, нерозривну в часі частину процесу перетворень. Власне кажучи, елементарною частиною, наприклад, технічних процесів механічної обробки, є переходи (підрізання торця, фрезерування площини). Однак термін «операція» є більш універсальним, який використовується для означення даного поняття практично у всіх галузях техніки [1, 2].

Упорядкована сукупність  $\Sigma \mathbf{Op}$  утворює  $\mathbf{T\Pi}$ .

Велике значення в техніці, зокрема, в машинобудуванні, мають так звані *типові операції, підпроцеси і процеси*, що є уніфікованими частинами процесів перетворень. Для них розроблені послідовність, методи, способи, прийоми роботи, спроектоване обладнання, пристосування, інструмент. Широке застосування типових процесів дозволяє скоротити витрати на підготовку та здійснення виробництва, підвищити його продуктивність та ефективність. Тому при розробленні, наприклад,  $\mathbf{T\Pi}$  механічної обробки слід орієнтуватись в першу чергу на типові  $\Sigma \mathbf{Tn\Pi}$  та  $\Sigma \mathbf{Op}$  [2].

Операції, в яких безпосередньо здійснюються саме ті перетворення, для реалізації яких призначений даний конкретний технічний процес в цілому, називаються *робочими* або *основними* [2].

Операції, реалізація яких забезпечує виконання робочих операцій або дозволяє поліпшити їх параметри (прискорити, підсилити або стабілізувати протікання), називають *допоміжними*.

Наприклад в  $\mathbf{T\Pi}$  обробки заготовки різанням на верстаті допоміжними операціями будуть: налагодження заданої частоти обертання шпинделя та подачі супорта, установлення та закріплення на верстаті інструмента та заготовки, вмикання верстата та підведення інструмента до заготовки. Основна операція – безпосередньо процес різання заготовки.

Допоміжні операції можна додатково поділити на *операції обслуговування і ремонту* (щоденне змащення верстата, очищення від бруду деталей автомобільного двигуна, ремонт станини), *підготовчі операції* (налаго-

дження пристрою ЧПК верстата, його вмикання та перевірка в роботі), операції керування та регулювання (поворот ключа запалювання автомобіля, вмикання обертання шпинделя токарного верстата) [2].

### 4.3 Параметри та ефективність технічного процесу

Загальним параметром ефективності технічного процесу є вихідний стан об'єкта впливу. **ТП** вважається успішно реалізованим, якщо після його завершення отримано задані вихідні параметри об'єкта, наприклад, розміри і шорсткості поверхонь деталі після її обробки на верстаті [1].

Параметром, що дозволяє порівнювати даний **ТП** з іншими процесами, що здійснюються з аналогічною метою, є економічна ефективність ( $E_{ек}$ ). *Економічна ефективність* визначається як відношення прибутку (**Пр**), отриманого в результаті виконання технічного процесу, до загальних витрат (**Втр**) на його реалізацію [2]

$$E_{ек} = \text{Пр} / \text{Втр}.$$

В **Пр** слід врахувати не тільки сумарну вартість об'єктів впливу у вихідному стані після виконання всіх перетворень **ТП**, але також кошти, отримані від реалізації відходів останнього.

До **Втр** входять витрати на основні та допоміжні матеріали і комплектуючі, енергію, інформацію, зарплатню робітників, керівного та допоміжного персоналу, обслуговування і ремонт обладнання, соціальні та амортизаційні відрахування і т. д.

Для детальнішого аналізу **ТП** визначаються значення ряду вихідних та проміжних параметрів: раціональність структури  $\Sigma \text{ТП}$  та  $\Sigma \text{Ор}$ , досконалість обладнання, інструменту, пристосувань, прийомів роботи, кваліфікація і досвід робітників, якість інформації та керування. Проміжні параметри дозволяють більш точно і всебічно оцінити ефективність **ТП**, а у випадку його невиконання установити причини. Наприклад, якщо два варіанти **ТП** механічної обробки заготовок певної форми та розмірів мають однаково економічну ефективність та тривалість, тоді для вибору кращого варіанта потрібно зіставити число операцій у кожному з них, а також число типових операцій, кваліфікацію робітників, складність використовуваного обладнання тощо [1, 2].

Всі параметри **ТП** можна поділити на три групи: технічні, економічні та планові. В таблиці 4.2 по групах наведено приклади параметрів елементів **ТП** механічної обробки заготовки різанням на верстаті, а в таблиці 4.3 – приклад порівняння **ТП** передачі механічної, гідравлічної і електричної енергії за основними параметрами [1, 2].

Таблиця 4.2 – Параметри елементів **ТП**

Елементи <b>ТП</b>	Параметри		
	технічні	економічні	планові
<b>О</b> , впливи	Розміри, форма, шорсткості поверхонь	Вартість	Обсяги та термін постачання, поставальник
<b>ΣТпП</b> , <b>ΣОр</b>	Раціональність структури, застосування типових <b>ТпП</b> і <b>Ор</b>	Витрати на реалізацію	Час початку, тривалість, кількість людей – робітників
<b>Л (ΣЛ)</b>	Кваліфікація, досвід, особисті якості	Заробітна платня, відрахування у пенсійний фонд	Години роботи, кількість людей – робітників, їх кваліфікація
<b>ТО (ΣТО)</b>	Потужність електродвигуна верстата, діапазони частот обертання шпинделя і подач	Ціна, експлуатаційні витрати	Завантаження, продуктивність роботи
<b>НС</b>	Температура, тиск, вологість, шум, вібрації, наявність у повітрі газів	Витрати на забезпечення необхідних умов <b>НС</b>	Термін та обсяги постачання енергоносіїв для створення необхідних умов

Таблиця 4.3 – Порівняння **ТП** передачі механічної, гідравлічної і електричної енергії

Параметри порівняння	Передача енергії		
	механічної	гідравлічної	електричної
Можливість передачі на значні відстані	I	II	III
Ефективність керування та регулювання	I	II	II
Безпека	I	I	I
Втрати енергії	II	I	I
Гнучкість	I	II	III
Загальна вартість	I	I	II

У таблиці 4.3 I, II, III – відносні ступені оцінювання параметрів **ТП** відповідно низький, середній, високий.

#### 4.4 Подання технічних процесів

Відомо декілька способів подання **ТП**, до яких відноситься також і загальна модель (див. рисунок 4.1). Вибір того чи іншого способу залежить від призначення **ТП**, мети подання, а також стадії розробки [1, 2, 19].



Блок-схема послідовності містить короткі і чіткі описи  $\Sigma Tn\Pi$  та  $\Sigma Op$ , наведені у послідовності їх виконання. Приклад блок-схеми послідовності  $T\Pi$  заміни підшипників на валу коробки швидкостей верстата подано на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Блок-схема послідовності  $T\Pi$  заміни підшипників на валу коробки швидкостей верстата

Структурна схема (рисунок 4.4) є частиною загальної моделі  $T\Pi$ , яка визначає послідовність та склад  $\Sigma Tn\Pi$  та  $\Sigma Op$ , їх структуру (послідовну або паралельну), впливи між  $\Sigma Tn\Pi$  та  $\Sigma Op$ , вхідний ( $Cn_{вх}$ ) та вихідний ( $Cn_{вих}$ ) стани об'єкта впливу, параметри стану.

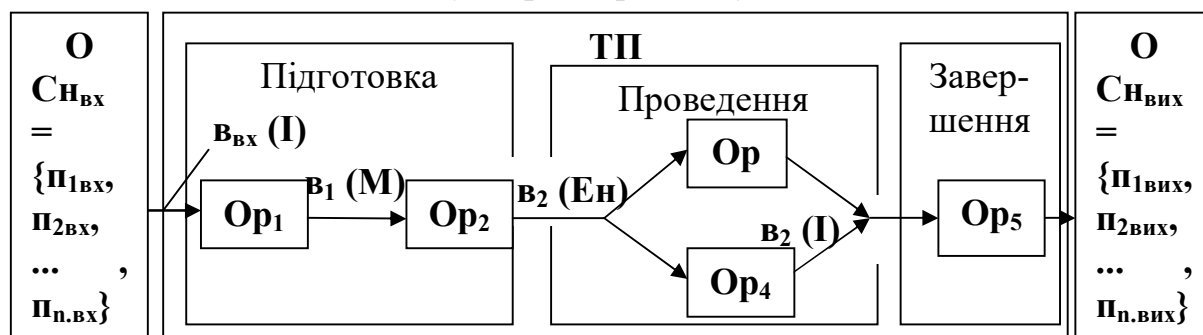


Рисунок 4.4 – Структурна схема абстрактного  $T\Pi$

Різновидом структурної схеми є ієрархічна схема (рисунок 4.5), на якій вказано позначення та найменування складових  $\Sigma Tn\Pi$  та  $\Sigma Op$ , а також їх ієрархічна підпорядкованість. Дана форма подання є зручною, особливо на попередніх стадіях розроблення  $T\Pi$ , під час аналізу можливих варіантів. За даною схемою на сучасних персональних комп'ютерах упорядковуються каталоги, папки і файли у програмі «Провідник».

В ряді задач ІТ необхідно провести аналіз залежностей основних робочих параметрів  $T\Pi$ , у зв'язку з чим необхідне його подання графіками зміни параметрів в часі або по операціях. Для зручності аналізу та порівняння залежності для різних параметрів можна подати в одній системі координат.

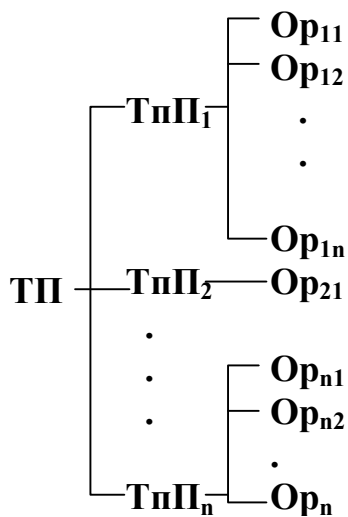


Рисунок 4.5 – Ієрархічна схема

Так, на рисунку 4.6 наведено графіки зміни діаметра отвору (параметр  $\pi_1$ ) і температури заготовки ( $\pi_2$ ) при реалізації ТП її механічної і термічної обробки в складі трьох підпроцесів:  $\text{ТпП}_1$  – розточування отвору в заготовці (включає операції чорнового ( $\text{Op}_{11}$ ), напівчистового ( $\text{Op}_{12}$ ) і чистового ( $\text{Op}_{13}$ ) розточування);  $\text{ТпП}_2$  – транспортування заготовки від верстата до електропечі;  $\text{ТпП}_3$  – гартування, в складі операцій нагрівання заготовки у печі ( $\text{Op}_{31}$ ) і охолодження її у мастильній ванні ( $\text{Op}_{32}$ ). На графіку вказано граничні значення параметрів  $\pi_{1\text{вх}} \rightarrow \pi_{11} \rightarrow \pi_{12} \rightarrow \pi_{13} = \pi_{1\text{вих}}$ ;  $\pi_{2\text{вх}} \rightarrow \pi_{2\text{вих}}$ , а також їх зміни  $\Delta\pi_{11}$ ,  $\Delta\pi_{12}$ ,  $\Delta\pi_{13}$ ,  $\Delta\pi_{23}$ .

ТП може бути також поданим у *математичній* або *словесній формі*. Математичний опис в ряді випадків є найбільш точним та компактним, тому часто використовується на стадіях попередніх досліджень ТП. Наприклад, ТП переміщення  $x$  транспортного електричного візка із заготовками по цеху (рисунок 4.7) можна описати рівнянням руху

$$m \cdot x'' = F_T,$$

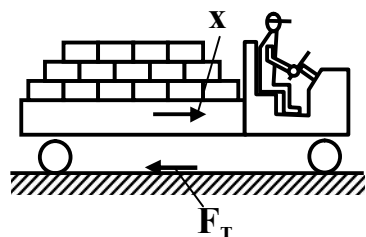


Рисунок 4.7 – Схема руху електровізка

де  $m$  – маса візка із заготовками;  $F_T$  – сила тертя під час його переміщення.

Словесний опис може містити найбільш детальну інформацію стосовно розглядуваного ТП, але є громіздким і не досить точним.

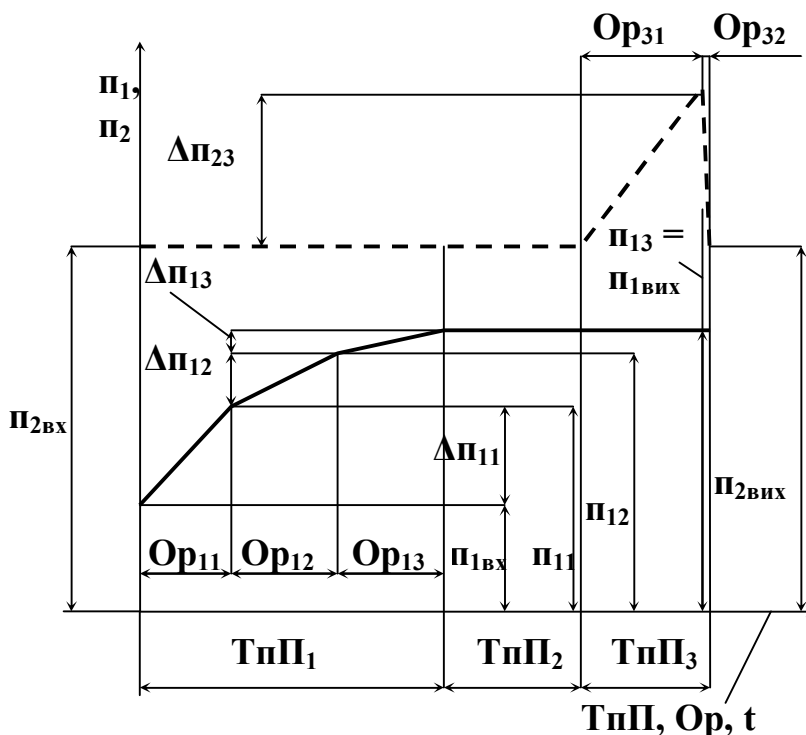


Рисунок 4.6 – Графіки основних робочих параметрів ТП

## 4.5 Класифікації технічних процесів

Основні класифікації **ТП** за рядом ознак подані у таблиці 4.5. Вони дозволяють упорядкувати всю множину існуючих **ТП**, проводити важливі аналогії і використовувати передовий досвід та високоефективні розв'язки, отримані в інших галузях техніки [1, 2].

Таблиця 4.5 – Класифікації **ТП**

Класифікаційні ознаки	Типи, класи, види <b>ТП</b>	Класифікаційні ознаки	Типи, класи, види <b>ТП</b>
Тип перетворення	<b>ТП</b> перетворення матерії <b>ТП</b> перетворення енергії <b>ТП</b> перетворення інформації	Джерело енергії для реалізації	Фізична енергія людини Енергія, що виробляється <b>ТС</b>
Природа $\Sigma$ <b>ТП</b> та $\Sigma$ <b>Ор</b>	Механічні <b>ТП</b> Гідравлічні <b>ТП</b> Теплові <b>ТП</b> Електромагнітні <b>ТП</b>	Ступінь автоматизації	<b>ТП</b> , що виконуються вручну людиною Напівавтоматизовані <b>ТП</b> Автоматизовані <b>ТП</b>
Найменування основної <b>Ор</b>	<b>ТП</b> механічної обробки <b>ТП</b> транспортування Ливарні <b>ТП</b> <b>ТП</b> штампування Ремонтні <b>ТП</b>	Співвідношення числа вхідних та вихідних впливів	<b>ТП</b> розділення – число вхідних впливів менше, ніж число вихідних <b>ТП</b> об'єднання – число вхідних впливів більше, ніж число вихідних
Характер протікання $\Sigma$ <b>ТП</b>	Диференціальний (лінійний або нелінійний) Дискретний	Ступінь складності <b>ТП</b>	Низький Середній Високий

## 4.6 Контрольні запитання

1. В якій послідовності розробляється модель технічного процесу?
2. Як перевірити коректність розробленої моделі технічного процесу?
3. Назвіть елементи систем технічних процесів?
4. Якою може бути структура технічного процесу?
5. Як класифікуються технічні процеси?
6. Як класифікуються параметри технічних процесів?
7. Як визначити ефективність технічного процесу?
8. Що називають операцією технічного процесу, як класифікуються операції?
9. Які є способи подання технічних процесів?

## 5 ТЕХНІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Найбільш важливими елементами СП поряд із людьми та технічними процесами є технічні об'єкти (ТО), які реалізують необхідні впливи на об'єкт впливу, в результаті чого здійснюються задані перетворення. Таким чином, ТО є засобом реалізації перетворень. Наприклад, електрична піч та кокіль є засобами перетворення металу у заготовку при реалізації ТП лиття (див. попередній розділ).

На даний момент відома практично нескінченна множина ТО різного призначення і складності. Ми спробуємо упорядкувати її, а також виділити найбільш загальні ознаки та закономірності, що характерні для всіх ТО. Одразу скажімо, що повністю дана задача до сих пір повністю не розв'язана [1, 2].

### 5.1 Загальні ознаки технічних об'єктів

ТО виконують численні функції, що служать для задоволення потреб людини. Раніше (див. розділ 1) всі функції системи вже були поділені на зовнішні (Ф) та внутрішні (ф). Дана класифікація справедлива і для ТО. Зовнішня функція знаходиться із внутрішньою функцією у відношенні мета – засіб. Призначенням технічного об'єкта є виконання ним заданої зовнішньої функції – досягнення певної мети, яка реалізується при здійсненні елементами внутрішніх функцій (засіб) [1, 2].

Крім цього, в ТО при реалізації їх призначення використовуються різні фізико-технічні ефекти, наприклад, ефект важеля, гравітації, розширення при підвищенні температури, нагрівання провідника при протіканні через нього електричного струму й багато інших. Основою даних ефектів є перетворення різного типу та характеру протікання. Так, для вмикання заданої подачі супорта токарного верстата необхідно пересунути рукоятку 9 (рис.

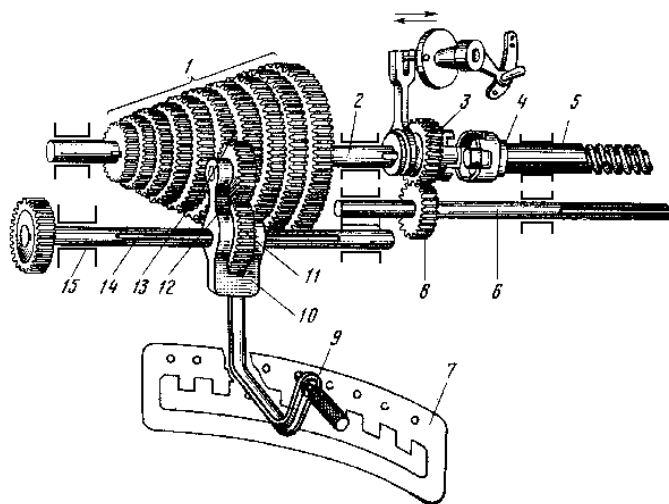


Рисунок 5.1 – Будова коробки подач токарного верстата

унок 5.1) відносно шкали 7 так, щоб її штифт увійшов у отвір шкали напроти відповідного значення подачі. Далі при вмиканні привода обертається зубчасте колесо на лівому кінці вала 14. Це призводить до обертання самого вала 14 та зубчастого колеса 11 на ньому. Колесо 11, в свою чергу, знаходиться у зачепленні із колесом 12, що починає обертатись і передає обертання іншої швидкості та напрямку колесу 13 блока

1. Останній жорстко зв'язаний з валом 2, від якого обертання при вмиканні кулачкової муфти 4 (верхнє положення рукоятки за схемою) передається на ходовий гвинт 5 – даний ланцюг вмикається для нарізання на верстаті різьби. У випадку вимикання муфти 4 (нижнє положення рукоятки) обертання від вала 2 через зубчасті колеса 3, 8 передається на ходовий вал 6 верстата для виконання всіх інших токарних операцій. Даний причинний ланцюг і подібні йому ланцюги з перетворенням наслідків (вихідних впливів технічних процесів, підпроцесів або операцій) у причини (вхідні впливи наступних технічних процесів, підпроцесів або операцій) характеризують функціонування технічного об'єкта.

Протягом всього терміну існування, починаючи від розробки і до ліквідації, технічний об'єкт проходить ряд типових станів (Сн), які визначаються його параметрами. Для правильного опису **ТО** в той чи інший момент циклу життя необхідно обов'язково вказати його **Сн**, який дозволяє установити склад **СП**. В таблиці 5.1 дано назви та характеристики основних станів **ТО** [1, 2].

Таблиця 5.1 – Стани **ТО**

Найменування <b>Сн</b>	Характеристика <b>Сн</b>
1. Розробка	Багатоваріантний аналіз, попередні дослідження, розробка схем, моделювання, теоретичні дослідження, розрахунки, підготовка конструкторської документації
2. Виготовлення	Підготовка виробництва, виготовлення та контроль складових елементів
3. Монтаж	Складання <b>ТО</b> , попередня перевірка
4. Демонтаж	Розбирання на складові елементи для технічного обслуговування, ремонту, транспортування, консервації або ліквідації
5. Випробовування	Перевірка <b>ТО</b> на номінальних та граничних режимах роботи, визначення фактичних робочих параметрів, порівняння їх із заданими, визначення заходів з удосконалення <b>ТО</b>
6. Зберігання	Консервація та відправка на склад
7. Транспортування	Зміна місцеположення для передачі від виробника споживачу, проведення ремонту або ліквідації
8. Експлуатація	Використання за основним призначенням
9. Простій	Перерви у використанні, обумовлені проведенням заходів з технічного обслуговування і ремонту або відсутністю елементів <b>ТО</b> , що потрібні для його нормальної експлуатації
10. Зміна призначення або ліквідація	Використання <b>ТО</b> як макета або виставочного експоната; розділення у брухт

## 5.2 Загальна модель технічних об'єктів

Загальна модель **ТО** (рисунок 5.2) може бути створена на підставі моделі **СП** (див. рисунок 3.3). Як елемент системи перетворень **ТО** пов'язаний: із об'єктом впливу (призначення **ТО** реалізується за рахунок впливів на об'єкт, в результаті чого змінюється його стан ( $C_{H_{BX}} \rightarrow C_{H_{VHX}}$ ); із людьми (у виробничому процесі до множини  $\Sigma J$  можуть відноситись робітники, наладчики, майстри); із технічними процесами та іншими технічними об'єктами; із навколишнім середовищем. Впливи між елементами **ТО** являють собою потоки матерії (**M**), енергії (**EH**) або інформації (**I**) і можуть мати бажаний або небажаний характер (побічні впливи –  $V_{3,п.вх}$ ) [1, 2].

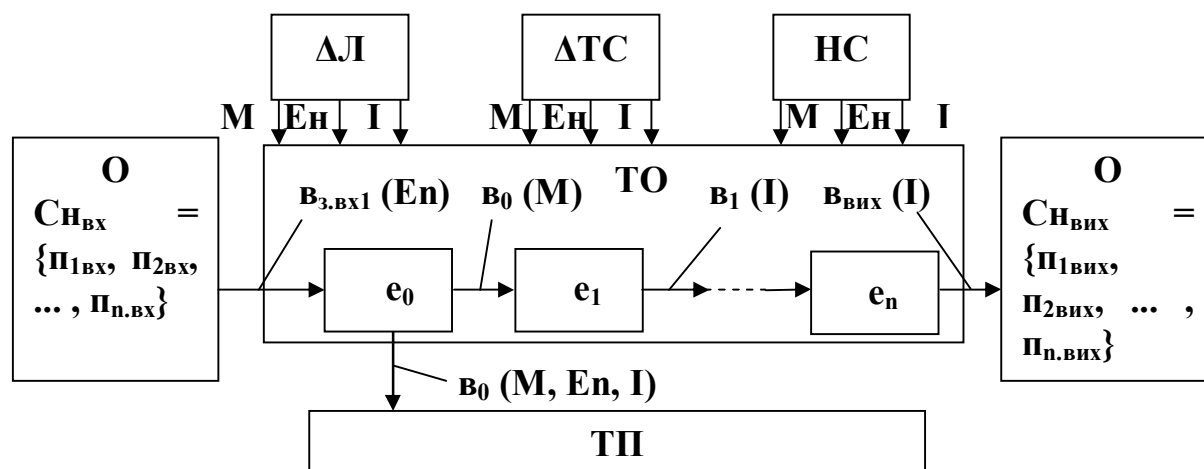


Рисунок 5.2 – Загальна модель **ТО**

## 5.3 Типові моделі технічних об'єктів

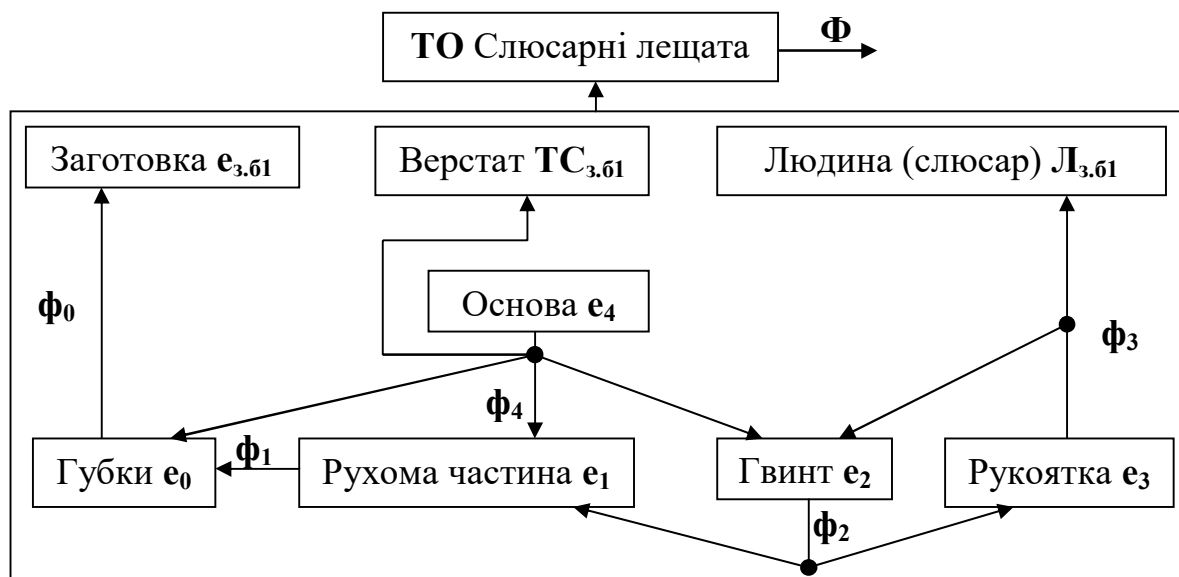
Крім цього, **ТО** або його вузли залежно від призначення та області застосування можуть бути подані функціональними структурами (**ФС**), принципними (**ПС**) або конструктивними (**КС**) схемами.

На рисунку 5.3 наведено типові моделі слюсарних лещат.

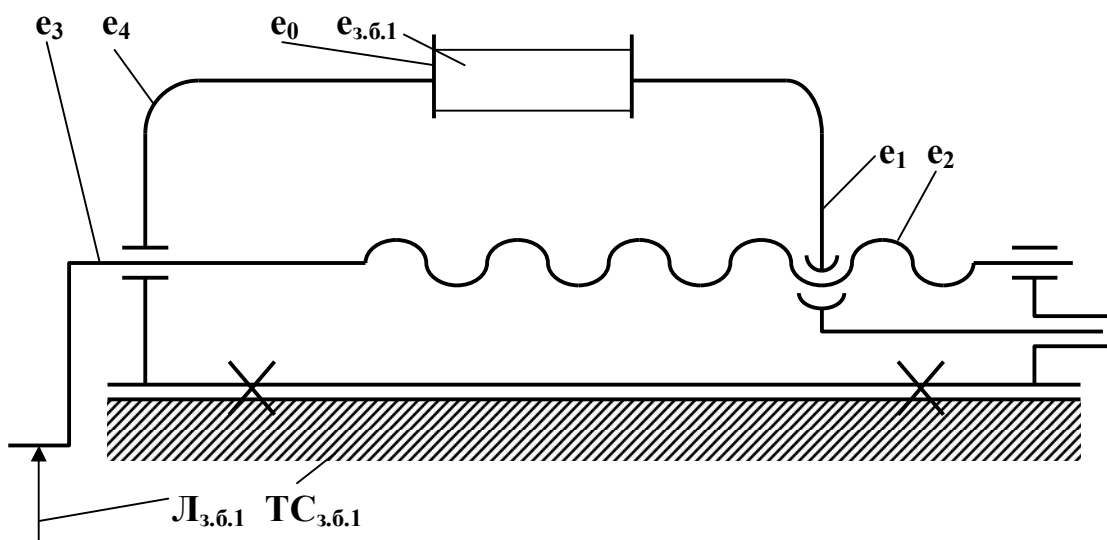
Необхідно також додати, що при створенні тих чи інших **ТО** не завжди доцільно розробляти моделі всіх трьох типів. Вибір виду моделі здійснюється в кожному конкретному випадку, виходячи із практичних міркувань, галузі, в якій буде використовуватись розроблений **ТО**, та умов задачі. Так, **ФС** використовуються в основному у автоматичній та технічній діагностиці, **ПС** – в електротехніці, гідравліці, пневматиці, верстатобудуванні; **КС** – практично у всіх галузях машинобудування [1, 2].

### 5.3.1 Функціональні структури технічних об'єктів

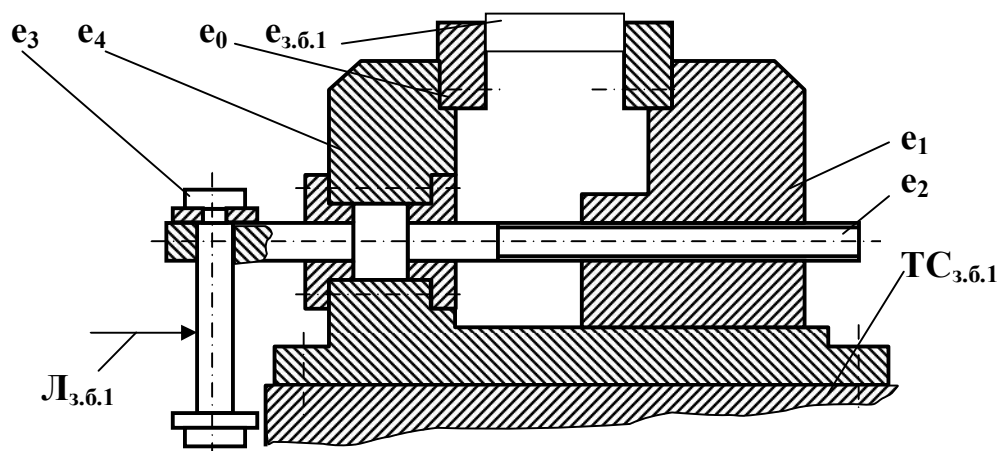
Функціональна структура визначає склад елементів технічного об'єкта і їх функціональний зв'язок (внутрішні функції, виконання яких забезпечує реалізацію заданої зовнішньої функції). **ФС** розробляється для стану експлуатації (робочого стану) **ТО**.



а)



б)



в)

Рисунок 5.3 – Типові моделі слюсарних лещат: а – ФС; б – ПС; в – КС

Зображається **ФС** у вигляді графа, вершинами якого є найменування елементів **ТО**, а ребрами – функції елементів (див. рисунок 5.3, а). Послідовність побудови **ФС** розглянуто в даному розділі нижче [1, 2].

### **Впливи між функціональними елементами технічних об'єктів**

Вже на стадії розробки **ФС** необхідно наближено визначити параметри перетворень матеріальних, енергетичних або інформаційних потоків, які реалізуються при виконанні внутрішніх функцій **ТО**. Наприклад, при зати-сканні заготовки в слюсарних лещатах (див. рисунок 5.3, а) фізична енергія руки людини – слюсаря ( $J_{3,6.1}$ ) перетворюється у енергію обертального руху рукоятки ( $e_3$ ); разом з рукояткою обертається гвинт ( $e_2$ ), в результаті чо-го енергія обертального руху переходить у поступальну енергію перемі-щення рухомої частини лещат ( $e_1$ ) і губок ( $e_0$ ). Останні передають зусилля фіксації заготовці ( $e_{3,6.1}$ ) – перетворення кінетичної енергії руху у потенці-альну енергію пружної деформації елементів **ТО**.

### **Класифікації функцій технічних об'єктів**

Зі всієї множини можливих класифікацій розглянемо найосновніші.

1. Класифікація за рівнем складності: залежно від числа параметрів, що входять до опису функцій, вони можуть бути більш або менш складними:  $c_\Sigma = 1/(1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3)$ . Найменш складною є елементарна функція – за-лежність одного параметра від іншого:  $y = k \cdot x$ .

2. Залежно від типу перетворення, що реалізується, розрізняють функ-ції перетворення матерії (наприклад, перетворення заготовки у деталь), енергії (перетворення механічної енергії в електричну) або інформації (пе-ретворення під час розрахунку вхідних даних у вихідні).

3. За аналогією із класифікацією операцій **ТП** серед внутрішніх функ-цій **ТО** можна виділити робочі, які відповідають його зовнішній функції та допоміжні – решта внутрішніх функцій, що забезпечують виконання зов-нішньої функції. Наприклад, зовнішня (робоча) функція автомобіля – пе-реміщення пасажирів або вантажів зі значною швидкістю на великі відста-ні, а внутрішні (допоміжні) функції: двигуна – перетворення теплової ене-ргії згоряння палива у механічну енергію обертання колінчастого вала; ша-сі – несучий елемент для двигуна, кузова та підвіски коліс; колеса – вико-навчий елемент (рушій); кузов – закриває двигун та салон; салон – забез-печує комфортні умови для пасажирів [1, 2].

### **Розробка функціональної структури**

Для побудови **ФС** необхідно поділити **ТО** на складові елементи, для яких підібрати короткі чіткі та за можливості загальновідомі найменуван-ня. Так, основними елементами слюсарних лещат будуть (див. рисунок 5.3, а): губки, рухома частина, гвинт, рукоятка, основа. Згідно із формулою (2.1) подається словесний опис зовнішньої функції розглядуваного **ТО** – **Ф** та функції кожного його елемента. Визначається виконавчий елемент **ТО**



(функція якого відповідає зовнішній функції **ТО**). Виконавчий елемент позначається як  $e_0$ , решта елементів розглядуваного **ТО** – як  $e_1, e_2, \dots$ , а функції елементів – як  $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots$ . При цьому індекси у позначеннях функцій мають відповідати індексам позначень елементів, що їх виконують. У таблиці 5.2 наведено опис функцій елементів слюсарних лещат (див. рисунок 5.3, а) [2, 6, 7].

Таблиця 5.2 – Аналіз функцій **ТО** «слюсарні лещата». Зовнішня функція **ТО** ( $\Phi$ ) – забезпечення фіксації заготовки під час її механічної обробки

Елемент		Функція	
Позначення	Найменування	Позначення	Опис
$e_0$	Губки	$\phi_0$	Забезпечення фіксації заготовки ( $e_{3.6.1}$ ) під час її механічної обробки
$e_1$	Рухома частина	$\phi_1$	Підтискання однієї губки ( $e_0$ ) до заготовки ( $e_{3.6.1}$ ) і до іншої губки ( $e_0$ ); створення на заготовці зусилля фіксації
$e_2$	Гвинт	$\phi_2$	Перетворення обертального руху рукоятки ( $e_3$ ) у поступальне переміщення рухомої частини ( $e_1$ )
$e_3$	Рукоятка	$\phi_3$	Передача зусилля від руки людини-слюсаря ( $L_{3.61}$ ) до гвинта ( $e_2$ )
$e_4$	Основа	$\phi_4$	Базовий несучий елемент для губки ( $e_0$ ), рухомої частини ( $e_1$ ), гвинта ( $e_3$ ), кріплення до верстата ( $ТС_{3.61}$ )

Зовнішні технічні системи та елементи безпосереднього впливу розглядуваного **ТО**, що згадуються в описах його внутрішніх функцій, позначаються  $e_{3.61}, e_{3.62}, \dots$ ;  $ТС_{3.61}, ТС_{3.62}, \dots$ . Такими елементом і технічною системою для слюсарних лещат будуть: заготовка –  $e_{3.61}$  та верстат –  $ТС_{3.61}$ . Крім цього, потрібно врахувати вплив людини-робітника –  $L_{3.61}$ .

Під час побудови  $\Phi C$  на верхньому рівні розташовується вершина з найменуванням розглядуваного **ТО**, від якої відходить вектор  $\Phi$ , що зображує його зовнішню функцію (див. рисунок 5.3, а). На другому зверху рівні розташовуються вершини з позначеннями та найменуваннями людей, зовнішніх технічних систем та елементів безпосереднього впливу, що згадуються в описах внутрішніх функцій елементів розглядуваного **ТО** (див. таблицю 5.2 та рисунок 5.3, а). На третьому, четвертому і інших нижніх рівнях показують вершини з найменуваннями та позначеннями елементів **ТО**. Вектори, що зображають на  $\Phi C$  внутрішні функції **ТО**, повинні виходити з вершин з позначеннями елементів, що їх виконують, і закінчуватись на вершинах з позначеннями елементів, що згадуються в описі функції (див. таблицю 5.2 та рисунок 5.3, а). Якщо в описі функції згадуються два,

три або більше елементів, вектор, що її зображає, розгалужується. Бажано, щоб вектори, які зображають внутрішні функції **ТО**, якомога менше перетинались [2, 6, 7].

### **5.3.2 Принципові схеми технічних об'єктів**

На принциповій схемі стандартними символами (позначеннями) зображаються елементи технічного об'єкта, впливи між ними (з уточненням типу впливу), а також пояснюється принцип дії об'єкта в цілому та окремих елементів зокрема. **ПС** розробляється для одного з етапів стану експлуатації **ТО** (див. рисунок 5.3, б) [1, 2, 14].

#### **Принципові елементи**

Принципові елементи являють собою окремі елементи або, найчастіше, підсистеми (сукупності неподільних елементів – агрегати, апарати, вузли) реального технічного об'єкта, стандартизовані зображення яких можуть пояснювати принцип дії елемента, але не містять конструктивних ознак. Таке подання спрощує розуміння принципу дії та функцій **ТО**, прискорює аналіз різних варіантів його моделей.

**ПС** досить широко використовуються в різних галузях техніки. Зокрема, в гідро- і пневмосхемах принциповими елементами є насоси, компресори, розподільники, фільтри, запобіжні клапани, дроселі, регулятори витрат, трубопроводи; в електричних схемах – це електродвигуни, магнітні пускачі, резистори, реостати, конденсатори, реле часу, котушки індуктивності [1, 2, 14].

#### **Впливи між принциповими елементами**

Впливи між принциповими елементами являють собою спрямовані потоки матерії, енергії, інформації або їх комбінації. Наприклад, в гідросистемах це потоки робочої рідини (сукупності впливів всіх трьох типів), параметри яких (швидкість, тиск і інші) по довжині потоку змінюються.

Вхідні впливи принципів елементів можна розглядати як вихідні впливи елементів, від яких підводиться потік матерії, енергії або інформації (по трубопроводу, електричному дроту або за допомогою радіозв'язку). При цьому необхідно враховувати передаточні відношення – зміну параметрів потоків, що з'єднують елементи [1, 2].

#### **Класифікації принципів елементів**

1. Рівень складності принципів елементів визначає число неподільних елементів **ТО**, з яких він складається. При необхідності, залежно від умов розв'язуваної задачі, можна ввести декілька проміжних рівнів складності для підсистем або елементів **ТО**. Так в металорізальному верстаті принциповими елементами вищого рівня складності можна умовно вважати коробки швидкостей та подачі; елементами середньої складності – механізм поперечної подачі супорта та задню бабку, а елементами нижчої конс-

труктивної складності – окремі пари зубчастих коліс, ходові гвинт з гайкою тощо.

2. За наявності зв'язків із множинами  $\Sigma Л$  та  $\Sigma ТС$  принципові елементи **ТО** поділяються на зовнішні (з'єднані хоча б одним матеріальним, енергетичним або інформаційним впливом із  $\Sigma Л$  або  $\Sigma ТС$ ) та внутрішні (не мають зовнішніх впливів).

3. Залежно від виконуваних функцій принципові елементи можуть бути поділеними на виконавчі (безпосередньо реалізують зовнішню функцію) **ТО** та допоміжні, що створюють умови для виконання зовнішньої функції. Наприклад, виконавчими елементами металорізальних верстатів, залежно від їх типу, можуть бути шпиндель з патроном, планшайбою, центром або оправкою, супорт з різцетримачем або стіл, на яких закріплюється оброблювана заготовка та різальний інструмент [1, 2].

### **Види принципових схем**

Вище вже вказувалось, що в деяких галузях техніки для створення **ПС** розроблено спеціальну символічну мову, відповідні стандарти та норми. Залежно від типу зображуваних елементів або підсистем **ТО** виділяють такі види **ПС** [1, 2]:

- кінематичні схеми;
- гідравлічні та пневматичні схеми;
- електричні схеми;
- напівпровідникові схеми;
- мікропроцесорні схеми;
- схеми автоматизації;
- монтажні схеми;
- схеми теплоенергетичних установок та теплосхеми.

### **Розробка принципових схем**

Розробка **ПС** може викликати певні труднощі у проектувальників, які звикли мати справу з більш конкретними конструктивними схемами, на яких **ТО** подано спрощеними зображеннями неподільних елементів, що за виглядом наближаються до креслень його деталей (болтів, гайок, кришок, валів і т. д.). В подібних ситуаціях може допомогти видова класифікація **ПС**: залежно від галузі техніки, в якій передбачається використовувати розроблюваний **ТО**, слід визначити на принципові елементи якого виду і якого призначення він може бути поділеним (див. вище). Далі згідно із діючими стандартами та нормами визначається, як принципові елементи повинні зображатись на схемі [1, 2, 14].

### **5.3.3 Конструктивні схеми технічних об'єктів**

На конструктивній схемі технічний об'єкт зображається згідно із основними вимогами стандартів та норм до оформлення конструкторської документації (складальних та робочих креслень). Допускаються лише незна-

чні спрощення (пропуск дрібних елементів, другорядних розрізів і видів), якщо це не заважає розумінню функцій **ТО** та його елементів, принципу їх дії та конструкції (див. рисунок 5.3, в). В будь-якому випадку, конструкція непоказаних елементів повинна бути також продумана і приведена у відповідність із **КС**. Допустимим є також спрощене або принципове зображення відомих або стандартних елементів [1, 9, 10].

Розробка **КС** являє собою початкову стадію створення проекту **ТО**. **КС** достатньо точно визначає склад елементів **ТО**, їх основні параметри (геометрична форма, розміри, матеріал), просторове розташування, типи і характеристики з'єднань – все те, що дозволить реалізувати задані зовнішню та внутрішні функції і принцип дії. При цьому повинні максимально враховуватись всі вимоги до **ТО**, умови його експлуатації, у зв'язку із чим число критеріїв оцінювання **КС** порівняно із **ФС** і **ПС** значно зростає [1, 5].

**КС** розробляються для станів експлуатації і монтажу (складальне креслення), а також демонтажу **ТО** (робочі креслення) [1, 10].

### **Впливи між конструктивними елементами**

Під час створення **КС** при необхідності (залежно від етапу розробки або мети дослідження **ТО**) враховуються всі або частина впливів на його конструктивні елементи. Вказані впливи являють собою потоки матерії, енергії, інформації або їх комбінації, що діють на конструктивні елементи, і в тому числі між елементами [1, 2].

### **Класифікації конструктивних елементів**

Конструктивні елементи класифікуються за тими ж самими ознаками, що і принципові елементи **ТО**.

1. Залежно від складності **ТО** його можна поділити на складальні одиниці, вузли, агрегати, блоки, механізми, підсистеми, машини, цехи і, крім цього, при необхідності – додатково ввести проміжні рівні складності.

2. Залежно від наявності або відсутності зовнішніх впливів конструктивний елемент є зовнішнім або внутрішнім.

3. Серед конструктивних елементів можуть бути виділені виконавчі (виконують зовнішню функцію **ТО**) і допоміжні елементи (виконують внутрішні функції).

Крім цього, при необхідності, використовуються й інші класифікації конструктивних елементів, наприклад, за виконуваною функцією, ступенем стандартизації, походженням, ступенем оригінальності, типом виробництва. За ознаками вони аналогічні класифікаціям **ТО**, які детально розглянуто у наступному розділі [1, 2].

### **Розробка конструктивних схем**

Полегшити створення **КС** і особливо схем складних **ТО** може застосування модульного принципу – розділення **ТО** на конструктивні елементи різного рівня складності і розробка їх окремо з подальшим об'єднанням.

Даний принцип застосовується і на етапах виготовлення та експлуатації **ТО** (заміна несправного конструктивного елемента таким самим справним для прискорення відновлення функціонування **ТО**) [1, 2].

Зображення **КС** ще більшою мірою, ніж для **ПС** регламентовано відповідними стандартами і нормами (в Україні – ДСТУ, ГОСТ, ЄСКД, ЄСТПВ). Розробка **КС** проводиться, як правило, на підставі **ФС** або **ПС** шляхом визначення та відображення конструктивних параметрів **ТО**. Часто робиться декілька послідовних наближень до оптимального варіанта **КС** (ітераційне проектування). При реалізації ітераційного методу, на підставі розрахунків або експериментів на дослідному зразку, визначаються робочі параметри **ТО**, що характеризують його ефективність. Після порівняння їх із заданими, вказаними у технічному завданні (**ТЗ**) на розробку **ТО**, аналізується необхідність удосконалення дослідного зразка – зміни параметрів тих чи інших конструктивних елементів, в результаті чого змінюється і **КС**. Проводиться повторний розрахунок або виготовляється і випробовується другий дослідний зразок. При необхідності цикл доведення повторюється ще кілька разів. На завершальній стадії проектування на підставі остаточно відпрацьованих спрощених **КС** виконуються складальне креслення **ТО** та робочі креслення його конструктивних елементів [5, 9, 10].

#### 5.4 Контрольні запитання

1. Яким є значення технічних об'єктів у системах перетворень?
2. Якими є загальні ознаки технічних об'єктів?
3. Розкажіть про відношення «мета – засіб», «причина – наслідок»?
4. Дати характеристику типовим станам технічних об'єктів.
5. Яку інформацію про технічний об'єкт містить його загальна модель?
6. Якими є типові моделі технічних об'єктів?
7. Яку інформацію про технічний об'єкт містить його функціональна структура, в яких галузях використовуються дані структури?
8. В якій послідовності розробляється функціональна структура?
9. Що є впливами між елементами функціональної структури?
10. Як класифікуються елементи функціональних структур?
11. Яким є призначення принципової схеми технічного об'єкта?
12. Які є види принципів схем технічних об'єктів?
13. Якими є загальні рекомендації з розробки принципів схем?
14. Що собою являють впливи між принциповими елементами?
15. За якими ознаками класифікуються принципові елементи?
16. Яку інформацію про технічний об'єкт несе його конструктивна схема?
17. Якими є вимоги та рекомендації з розробки конструктивних схем, який принцип використовується під час їх розробки?
18. Що собою являють впливи між конструктивними елементами?
19. Як класифікуються конструктивні елементи?

## 6 КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Термін «технічний об'єкт» обраний нами як загальний термін для всіх підприємств, виробничих ділянок, машин, пристроїв, апаратів, приладів, вузлів, деталей (рисунок 6.1). Загальною функцією **ТО** в **ТП** є здійснення перетворень об'єктів впливу. Сфера застосування **ТО** дуже широка і охоплює всі галузі економіки. Класифікації **ТО** за різними ознаками дозволяють упорядкувати всю їх множину, краще орієнтуватись в ній, проводити важливі аналогії і застосовувати закономірності, моделі, методики розрахунку або схеми, виявлені та розроблені для одного з класів **ТО** при розробленні або дослідженні об'єктів іншого призначення [1].



Рисунок 6.1 – **ТО** різних рівнів складності

### 6.1 Класифікація технічних об'єктів за виконуваною функцією

Найменування **ТО** часто обираються з врахуванням виконуваної ними зовнішньої функції. Укладання різного роду класифікацій **ТО** для застосування їх при здійсненні збуту, планування, порівняльного аналізу також проводиться, як правило, виходячи із функції **ТО** [1, 18].

Функцію вказують і в тих випадках, коли необхідно допомогти потенційному споживачеві знайти потрібний йому **ТО**. З цією метою видаються торговельні і промислові каталоги, довідники, проспекти, оглядові таблиці і т. д. [1, 2].

Вузли і деталі машин також упорядковують за виконуваною функцією, залежно від якої виробник або експлуатаційник здійснюють технічне обслуговування або ремонт машини. Таку класифікацію ми називаємо конструктивно-функціональною. Вона є одною з основних при проведенні стандартизації, уніфікації та нормалізації **ТО** і їх елементів. Класифікація до-

зволяє економити робочий час конструктора і інших фахівців, пов'язаних із **ТО**.

Здійснити повну конструктивно-функціональну класифікацію **ТО**, що використовуються в різних галузях техніки, а тим більше класифікацію їх елементів – надзвичайно складно. Однак певна робота в даному напрямку все-таки проводиться. При цьому важливо застосовувати, по можливості, загальні принципи. На кожному машинобудівному підприємстві і на транспорті використовуються стандартизовані, уніфіковані і нормалізовані пристрої, двигуни, апарати, блоки, вузли, деталі, комплектуючі матеріали, які упорядковані виходячи із виконуваної функції і зведені у таблиці розмірних серій, рядів основних робочих параметрів, типів, видів, моделей, модифікацій. До найбільш відомих таких класифікаційних груп відносяться кріпильні деталі, гідромашини, гідроапарати, муфти, ущільнення, редуктори, електричні машини, пристрої і прилади. Якщо спробувати скласти із названих і багатьох неназваних груп загальну номенклатуру вона буде неосяжною [1, 2, 5].

Під час розробки нових і оригінальних **ТО**, а також при проектуванні їх елементів слід пам'ятати про конструктивно-функціональну класифікацію і застосовувати для розроблюваних деталей і машин, по можливості, короткі прості найменування, які б вказували на виконувану функцію. Наприклад, якщо необхідно внести у специфікацію кільцеподібну прокладку, як назву краще обрати термін «прокладка», а не «кільце». Літерно-цифрові маркування не повинні містити занадто великої кількості знаків, в іншому випадку їх буде важко запам'ятати та розшифрувати [1, 2, 9].

## **6.2 Класифікація технічних об'єктів за принципом дії**

Для конструктора важливо щоб **ТО**, які виконують однакову функцію, можна було б згрупувати за додатковими ознаками. До таких ознак відноситься принцип дії **ТО**. Так, наприклад, клас **ТО** «теплові двигуни» за принципом дії поділяються на парові машини, парові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), газотурбінні і турбореактивні двигуни ГТД і ТРД, двигуни Стірлінга тощо (рисунок 6.2). Двигуни внутрішнього згоряння, у свою чергу, за видом використовуваного палива, що певною мірою визначає й принцип їх дії, поділяються на газові, бензинові та дизельні. Бензинові двигуни за конструкцією і принципом розділяють на поршневі і роторно-поршневі, а за типом і принципом дії системи приготування та запалювання паливо-повітряної суміші – на карбюраторні і інжекторні.

## **6.3 Класифікація технічних об'єктів за рівнем складності**

Під час розробки, монтажу або в процесі експлуатації **ТО**, окрім визначення зовнішньої функції, часто виникає потреба у розділенні його на підсистеми. Таблиця 6.1 дає загальне уявлення про класифікацію **ТО** за рі-



внем складності, а наведена на рисунку 6.3 узагальнена структурна схема показує складність структури **ТО** і його елементний склад за рівнями (див. також рисунок 6.1) [1, 2].

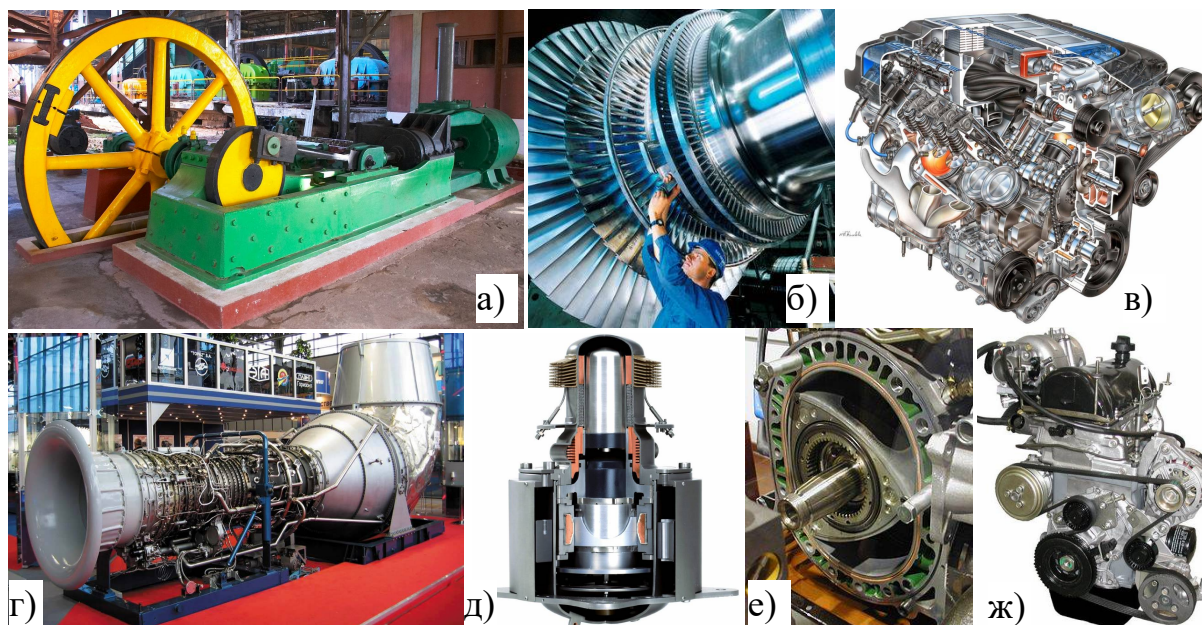


Рисунок 6.2 – Теплові двигуни: а – парова машина; б – парова турбіна; в – поршневий ДВЗ; г – ГТД; д – двигун Стірлінга; е – РПД; ж – інжекторний ДВЗ

Таблиця 6.1 – Класифікація **ТО** за рівнем складності

Рівень складності	Технічні об'єкти і їх елементи	Приклади
I	Конструктивний елемент, деталь, комплектуючий матеріал	Болт, гайка, шайба, кільце, пружина, прокладка, дрiт
II	Підгрупа, група, вузол, агрегат, блок, механізм	Коробка передач, передня бабка, супорт, шасі автомобіля
III	Прилад, пристрій, апарат, машина	Трансформатор напруги, токарно-гвинторізний верстат
IV	Технологічний комплекс, виробнича ділянка, цех, підприємство, галузь	Гнучкий виробничий модуль, автоматична лінія, ковальсько-пресовий цех, автозавод, нафтохімічний комплекс

Число проміжних рівнів залежно від складності **ТО** може бути різним. При цьому слід пам'ятати про відносність ієрархічної підпорядкованості того чи іншого елемента **ТО** і самого **ТО** (див. лекцію 2). Наприклад, одна і та ж сама коробка передач або шпиндель в одному **ТО** розглядаються як елементи, а в іншому – нижчого рівня складності – як підгрупи або машини [1, 2, 9].



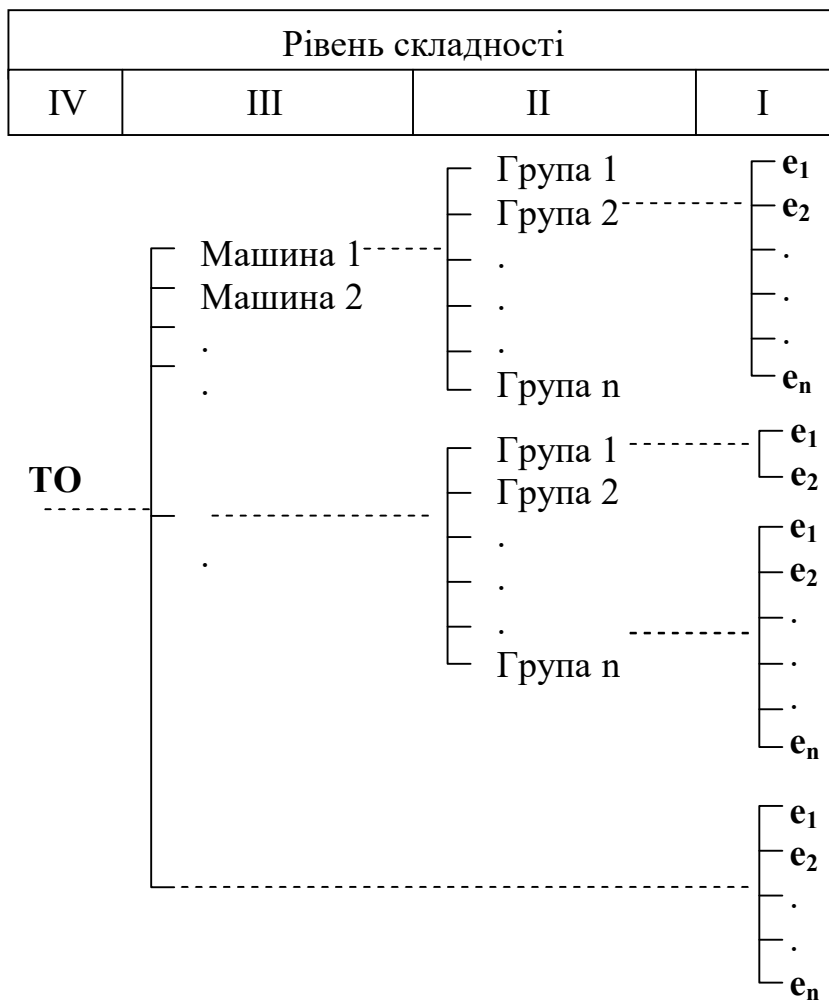


Рисунок 6.3 – Узагальнена структурна схема **ТО**

На практиці установлено, що **ТО** нижчих рівнів складності знаходять ширше застосування, ніж більш складні **ТО**. Наприклад, гвинт застосовується в машинобудуванні повсюдно, електродвигун – рідше, а автоматична лінія – лише на спеціалізованих підприємствах [1].

Дана класифікація має важливе значення для роботи конструктора, оскільки складність **ТО** визначає складність задач з його проектування, спеціалізацію фахівців, задіяних в процесі розробки (наприклад, інженер-проектувальник займається ство-

ренням підприємств, інженер-конструктор – машинами, інженер-конструктор деталей – елементами машин), організаційну структуру процесу проектування (інженер-конструктор, який займається розробкою **ТО** середнього рівня складності, узгоджує свою роботу із інженерами-конструкторами **ТО** найближчого вищого рівня складності, в який проєктований **ТО** входить як елемент, а відносно менш складних об’єктів приймає, в основному, принципові рішення).

Розділення **ТО** на елементи різних рівнів складності забезпечує можливість реалізації модульного принципу як в процесах їх виготовлення, так і під час монтажу, що має важливе значення для раціоналізації виробництва в цілому [1, 2].

#### 6.4 Класифікація технічних об’єктів за способом виготовлення

Для виготовлення елементів і груп **ТО** певної форми та розмірів можуть використовуватись різні способи (технології) та відповідне технологічне обладнання. Наприклад, для виготовлення деталі типу «втулка» можуть використовуватись різні способи лиття (у піщано-глиняні форми, у

кокіль, в оболонкові форми, під тиском, за виплавлюваними моделями, відцентрове), механічна обробка різанням на верстаті, механічна обробка тиском (способи вільного кування, гарячого об'ємного штампування, пресування), а також різання з прокату. При цьому дана втулка може бути елементом металорізальних верстатів, автомобілів, промислових роботів та інших машин і пристроїв.

Така класифікація допомагає підбирати раціональні технології і підвищувати ефективність виробничих процесів шляхом об'єднання робочих місць для виготовлення близьких за типорозміром деталей. Останнє, в свою чергу, дає можливість здійснити ряд заходів з раціоналізації, наприклад, спеціалізацію робочих цехів і підприємств. Значення даної класифікації особливо велике для розробки і виконання планів підготовки виробництва, методів керування і планування [1, 2].

### 6.5 Класифікація технічних об'єктів за ступенем конструктивної складності

**ТО** можна класифікувати і за ступенем конструктивної складності. Як приклад в таблиці 6.2 **ТО** четвертого рівня складності розділені на шість ступенів конструктивної складності (рисунок 6.4). Звичайно, такі класифікації дуже умовні і залежно від номенклатури деталей, що випускаються тим чи іншим підприємством, можуть бути розробленими за іншими якісними і кількісними критеріями. Наприклад, в таблиці 6.2 можна додатково ввести проміжні ступені залежно від числа регламентованих розмірів, їх точності, а також шорсткості оброблених поверхонь [1, 2, 14].



Рисунок 6.4 – Деталі різного ступеню конструктивної складності

Залежно від ступеня конструктивної складності **ТО** для його розробки залучається фахівець або група фахівців відповідної спеціалізації та категорії. При плануванні конструкторських робіт даний показник дозволяє визначити потрібний час на розробку, випробовування, доведення і впровадження **ТО**.

Звичайно, параметрами, на які орієнтуються при укладенні таких класифікацій, служать: ступінь оригінальності конструкції, складність вико-

нуваних функцій, форм, структури в цілому, складність розрахунків, число розмірів, задані точність і шорсткість поверхонь, маса, технологічність елементів і **ТО** в цілому, витрати на виготовлення, естетичні вимоги і т. д. [1, 2, 5].

Таблиця 6.2 – Класифікація деталей машин за ступенем конструктивної складності

Ступінь конструктивної складності	Характеристики	Приклади
1	Деталі низької складності з числом контрольованих розмірів $\leq 5$ , невисокої точності	Болти, гайки, шайби, прості важелі, одноступінчасті вали
2	Деталі низької складності з числом контрольованих розмірів $\leq 10$	Важелі, шківів, 2-3-ступінчасті вали
3	Деталі середньої складності з числом контрольованих розмірів $\leq 20$	Вали, шестерні, черв'яки, стакани, кришки
4	Деталі середньої складності з числом контрольованих розмірів $\leq 30$	Фланці, корпуси, гребні вали
5	Деталі високої складності з числом контрольованих розмірів $\leq 40$	Каркаси, кожухи машин, станини верстатів
6	Деталі високої складності з числом контрольованих розмірів $>40$	Лопатки турбін, гребні гвинти, фюзеляжі літаків

## 6.6 Класифікація технічних об'єктів за ступенем стандартизації та походженням

Дані класифікації дуже важливі для оцінювання економічності конструкції. Ступінь стандартизації **ТО** дозволяє визначити доцільність і масштаби його виробництва на конкретному підприємстві [1, 2, 5].

За ступенем стандартизації **ТО** поділяють на стандартизовані, нормалізовані, уніфіковані і оригінальні. Відносна кількість елементів кожного класу в більш складних **ТО** визначає технологічність їх конструкції. Стандартизованими технічними об'єктами називають деталі і машини, які за конфігурацією, розмірами та конструкцією цілком відповідають вимогами ДСТУ, ГОСТ і ЄСКД. Конфігурація, розміри і конструкція нормалізованих технічних об'єктів відповідають стандартам заводу-виготівника. Уніфікованими технічними об'єктами є однакові за формою, розмірами та конс-

трукцією деталі і машини, що повторюються в конструкції об'єкта вищого рівня складності. Оригінальні технічні об'єкти не мають аналогів за конфігурацією, розмірами і конструкцією [10].

Стандартизовані, а часто і нормалізовані, **ТО** мають літерно-цифрові позначення, які містять значення їх основних параметрів і дозволяють скоротити записи, а отже і витрати часу в процесі підготовки конструкторської документації. Приклад умовного позначення болта виконання 1, діаметром різьби  $d = 6$  мм, довжиною  $l = 20$  мм, з великим кроком різьби, з полем допуску 8g, класом міцності 6.6 з покриттям 02 (кадмієве з хромуванням) товщиною 9 мкм: Болт М6-8g×20.66.029 ГОСТ 7798 – 70 [1, 5].

Зрозуміло, що конструктору під час розробки **ТО** слід орієнтуватись, в першу чергу, на стандартизовані і нормалізовані деталі, вузли та комплектуючі матеріали, і при цьому максимально підвищувати ступінь їх уніфікації. Нехтування стандартизацією, нормалізацією та уніфікацією може призвести до різкого підвищення вартості машини, збільшення термінів її виготовлення та окупності [2, 5].

За ознакою походження розрізняють **ТО** власних розробки та виробництва; **ТО**, що виготовляються за ліцензією; **ТО**, які складаються з придбаних деталей і комплектуючих та покупні **ТО** [1, 2].

Рішення про розробку або закупку **ТО** приймають, виходячи із кваліфікаційного рівня конструкторів та робітників підприємства, наявності необхідного для виробництва обладнання, його потужностей та паспортних характеристик (продуктивності, точності, діапазону зміни режимів обробки), наявності матеріалів і комплектуючих, а також залежно від загальних матеріальних витрат при реалізації кожного з варіантів одержання **ТО**.

Однак в деяких випадках вказані міркування не є вирішальними, наприклад, при створенні нової військової техніки, яка не має аналогів і дозволяє добитись важливого пріоритету у різних сферах на міждержавному рівні [1, 2, 8].

## **6.7 Класифікація технічних об'єктів за ступенем оригінальності конструкції**

Під час розробки нової машини інженер завжди прагне максимально широкого використання в її конструкції вузлів та деталей, що вже добре зарекомендували себе на практиці. За ступенем оригінальності конструкції всі **ТО** можна розділити на відомі, доопрацьовані, модернізовані та оригінальні [1, 2, 9].

*Відомі технічні об'єкти.* Для виконання заданої функції вже існує один або декілька **ТО**. В цьому випадку задача конструктора зводиться до вибору найбільш придатного зразка з врахуванням фактичних виробничих, економічних та інших умов. До відомих **ТО** відносяться, в першу чергу, стандартизовані, нормалізовані і уніфіковані деталі і вузли (болти, пружини-

ни, муфти, електродвигуни), а також неуніфіковані елементи і групи, які можуть бути запозиченими з інших конструкцій.

*Доопрацьовані технічні об'єкти.* В наявності є **ТО**, що виконує задану функцію, але не відповідає деяким вимогам. Необхідно, наприклад, змінити габарити, потужність, швидкість, робочий тиск, матеріал або технологію. **ФС** і **ПС** такого об'єкта, як правило, залишаються незмінними. Нові матеріали застосовуються за умови забезпечення зниження вартості, підвищення якості або поліпшення одного із регламентованих параметрів.

*Модернізовані технічні об'єкти.* Існуючі об'єкти аналогічного із розроблюваним **ТО** призначення не відповідають деяким важливим вимогам, що висуваються до груп і елементів конструкції. В модернізованому **ТО** незмінною залишається лише **ФС** і по можливості **ПС** або її підсистеми. Щодо конструктивних елементів, то можуть бути зміненими їх форма, розміри, матеріал і технологія виготовлення. Таким чином, модернізація, як правило, пов'язана зі зміною конструкції і принципу дії **ТО**.

*Нові технічні об'єкти.* Для реалізації заданої функції відсутній **ТО** або ж існуючий зразок має недоліки принципового характеру. В результаті розробки створюється **ТО** з іншими внутрішніми функціями ряду елементів, новими принципом дії та конструкцією. Наприклад, функція транспортування пасажирів по суші, яка раніше виконувалась за допомогою легкового автомобіля з бензиновим двигуном, після розв'язання задачі з врахуванням нових заданих умов та параметрів, виконується з використанням автобуса з газотурбінним двигуном.

## **6.8 Класифікація технічних об'єктів за типом виробництва**

Тип виробництва, який залежить від потрібної кількості одиниць **ТО**, що виготовляється, визначає його конструкцію, заходи з організації розробки та підготовки до випуску, а також технологію виробництва, тип і вид використовуваних обладнання, пристосування та інструментів. Як відомо, розрізняють три основні типи виробництва: масове, серійне та одиничне [1, 2, 16].

*Технічні об'єкти одиничного виробництва.* При одиничному виробництві суттєво збільшується частка витрат на розробку у загальній собівартості **ТО**, яка також зростає порівняно із собівартістю **ТО** аналогічного призначення і складності, але виготовленого в умовах масового виробництва. Головним при проектуванні подібних **ТО** є виконання ними заданої функції, яка в деяких випадках взагалі може бути і нереалізованою, наприклад, в результаті прорахунків під час проектування або якщо вартість створення **ТО** виявляється недопустимо високою. Основною причиною такого положення справ є, як правило, відсутність прототипів. Виготовляються **ТО** одиничного виробництва з використанням наявного на підприємстві технологічного обладнання, інструмента, пристосувань, у зв'язку із чим раціональність конструкції, а також ефективність можуть бути невисокими. До

професіоналізму і досвіду конструкторів, що залучаються до їх створення, висуваються особливо жорсткі вимоги.

*Технічні об'єкти серійного і масового виробництва.* Дані **ТО** значно краще ніж **ТО** одиничного виробництва, відпрацьовані з точки зору технологічності, раціональності конструкції та оптимальності значень функціональних, експлуатаційних та інших параметрів. Внаслідок великих обсягів випуску частка витрат на розробку у загальній сумі витрат є невеликою. Однак, у зв'язку із тим, що контролю піддається лише незначна частина виготовлених зразків, можливий брак та відхилення значень ряду параметрів від заданих. Створенням таких **ТО**, що, як правило, являють собою модифікації і модернізації існуючих **ТО**, займаються фахівці середньої категорії, що працюють на самому підприємстві-виготівнику.

Останнім часом простежується все більш чітка тенденція до все більш широкого впровадження стандартизованих, нормалізованих і уніфікованих **ТО**, що виготовляються масовими серіями. Звичайно вони призначені для виконання функцій нижчих рівнів складності. Прикладами таких **ТО** можуть бути редуктори, коробки передач, карданні вали, універсально-складальні пристосування.

З іншої сторони зростає частка **ТО** спеціального призначення: верстатів, автоматів, автоматичних ліній, які слугують для виготовлення у великих кількостях дешевих уніфікованих **ТО**, а також для ефективного та тривалого їх використання.

Створення **ТО** обох категорій потребує проведення об'ємних і якісних розробок.

## **6.9 Контрольні запитання**

1. Яким є значення класифікацій технічних об'єктів?
2. Як класифікуються технічні об'єкти за виконуваною функцією, яким є практичне значення та використання даної класифікації?
3. Як класифікуються технічні об'єкти за принципом дії, як дана класифікація використовується на практиці?
4. Як класифікуються технічні об'єкти за рівнем складності, яким є практичне значення даної класифікації?
5. Як класифікуються технічні об'єкти за способом виготовлення, яким є практичне значення даної класифікації?
6. Як класифікуються технічні об'єкти за ступенем конструктивної складності, яким є практичне значення даної класифікації?
7. Як класифікуються технічні об'єкти за ступенем стандартизації та походженням, яким є практичне значення даних класифікацій?
8. Як класифікуються технічні об'єкти за ступенем оригінальності конструкції?
9. Як класифікуються технічні об'єкти за типом виробництва?

## 7 ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Параметри **ТО** відіграють вирішальну роль під час розв'язання задач порівняння об'єктів одного призначення, але різних за конструкцію або принципом дії, оскільки тільки чисельні значення таких параметрів, як продуктивність, енергоємність, вартість, витрати на технічне обслуговування та ремонт дозволяють однозначно вибрати найбільш ефективний або найбільш надійний варіант.

У зв'язку із складністю сучасних **ТО**, а також з врахуванням значної кількості параметрів, що їх визначають, необхідно упорядкувати ці параметри з тим, щоб під час розробки та виготовлення **ТО** забезпечити найбільш важливі з них. Також потрібно установити зв'язки між параметрами різних класифікаційних категорій та методи їх визначення.

### 7.1 Класифікації параметрів технічних об'єктів

Для укладання максимально повного переліку основних параметрів **ТО**, а також зручності їх використання під час проектування, всю множину параметрів поділяють за різними ознаками на категорії і групи.

#### 7.1.1 Класифікація параметрів технічних об'єктів за способом їх визначення

За даною ознакою розрізняють зовнішні і внутрішні параметри [1, 2]. Наближено зовнішні параметри можна охарактеризувати, як ті, що визначаються за допомогою органів чуття людини або найпростіших універсальних контрольних приладів (лінійки, транспортира, різьбоміра і т. д.) – габаритні розміри **ТО**, кут нахилу його поверхонь, діаметр різьби. Відповідно внутрішні параметри зовні ніяк не проявляються і визначаються за допомогою спеціальних контрольних пристосувань, приладів, засобів (датчиків зусиль, температури або тиску, лакмусового паперу тощо). Однак така характеристика дуже відносна і неточна. Тому *зовнішніми параметрами* ми будемо називати ті, що характеризують впливи (потoki матерії, енергії, інформації або їх комбінації) між даним **ТО**, людьми, іншими **ТС** та навколишнім середовищем, а *внутрішніми* – ті, що характеризують впливи між елементами самого **ТО**. Наприклад, під час роботи металорізального верстата зовнішніми параметрами будуть частота обертання заготовки, закріпленої у шпинделі, обертальний момент на валу останнього, швидкість переміщення супорта з інструментом та зусилля на ньому. Внутрішні параметри – це швидкості обертання та обертальні моменти на проміжних валах коробок швидкості та подач.

### **7.1.2 Класифікація параметрів технічних об'єктів за їх місцем у причинних зв'язках**

Вторинні параметри, що вказуються у технічному завданні і, виходячи з яких, визначаються інші – первинні параметри **ТО**, називають *наслідками*. Первинні параметри в подібних зв'язках є *причинами*. Спроможність конструктора відчувати різницю між причиною та наслідком і визначати первинні та вторинні параметри відноситься до його найважливіших професійних творчих якостей. Образно кажучи, в процесі розробки **ТО** йому доводиться «конструювати» причини для забезпечення заданих наслідків. Наведемо приклади причинних зв'язків в **ТО**: достатній ступінь стискання в робочому циліндрі дизельного двигуна (який, в свою чергу, залежить від точності та якості виготовлення деталей циліндрово-поршневої групи) обумовлює необхідне збільшення температури повітря, що, в свою чергу приводить до запалення палива; недостатня жорсткість супорта токарно-гвинторізного верстата є причиною зниження точності обробки заготовки [1, 2, 10].

### **7.1.3 Класифікація параметрів технічних об'єктів за можливістю їх кількісного визначення**

Параметри **ТО** можна поділити на ті, що *можуть* і ті, що *не можуть* бути кількісно визначеними.

У випадках, коли параметр якісний (наприклад, зовнішній вигляд **ТО**, раціональність його структури, зручність експлуатації та обслуговування тощо) і числове значення параметра не може бути установлене, застосовується бальна система оцінювання, згідно із якою вся множина **ТО** того чи іншого призначення ділиться на групи і підгрупи. Кожна група і підгрупа отримує найменування або характеристику, що дозволяє оцінити **ТО** згідно із даним параметром і визначити місце **ТО** серед інших зразків. Такий метод, безумовно, є більш точним, ніж якась суб'єктивна оцінка, що здебільшого основана на емоціях і завершується словами «добре» або «погано». Однак і в цьому випадку виникає багато невизначеностей, обумовлених труднощами обчислення «ціни» бала, а з іншого боку – суб'єктивізмом експерта, який дає оцінку. До цього питання ми ще повернемося пізніше (див. розділ 8) [1, 2, 5].

### **7.1.4 Класифікація параметрів технічних об'єктів за ступенем важливості**

Практично в будь-якому **ТО** можна визначити *основні параметри*, безпосередньо пов'язані із виконуваною ним зовнішньою функцією (наприклад, для металорізального верстата це швидкість різання, подача, обертальний момент на шпинделі і зусилля переміщення супорта, максимальний діаметр оброблюваної заготовки) та *другорядні параметри*, що не мають безпосереднього відношення до об'єкта впливу або виконавчого елемента



**ТО** (наприклад, колір кузова автомобіля зовні, марка матеріалу, з якого виготовлені елементи салону автомобіля) [1, 2].

При визначенні ступеня важливості параметра **ТО** слід обов'язково враховувати стан останнього, зовнішні та внутрішні умови, а також ряд інших факторів, які залежать від специфіки використання конкретного **ТО**. Один і той самий параметр одного **ТО** в різних умовах може відноситись як до основних, так і до другорядних параметрів. Наприклад, маса верста-та, яка є другорядним параметром при його використанні, стає одною з основних характеристик на етапі транспортування.

### **7.1.5 Класифікація параметрів технічних об'єктів за їх фізичною природою**

Параметри **ТО** класифікуються за фізичною природою таким чином:

- геометричні параметри (ширина, висота, симетрія, форма, міжосьова відстань, кут);
- кінематичні (середня швидкість, прискорення, шлях, час);
- динамічні (сила, маса, коефіцієнт тертя, прискорення);
- статичні (рівнодійна сила, маса, сила тертя, сила натягу);
- параметри міцності (твердість, межа міцності на розтягання, розподілене навантаження);
- теплові (температура нагрівання, теплопровідність, теплоємність, теплоізоляція);
- електричні і магнітні (сила струму, напруга, електропровідність, магнітна проникність);
- оптичні (кут падіння, фокусна відстань, поляризація);
- акустичні (рівень шуму, поглинальна спроможність, частота звуку);
- хімічні (хімічна активність, концентрація, валентність).

Дана класифікація, в основному, збігається із розділенням фундаментальних дисциплін за напрямками [1, 2].

### **7.1.6 Класифікація параметрів технічних об'єктів, пов'язана із їх створенням та використанням**

Дана класифікація є основною в курсі даної дисципліни, оскільки дозволяє визначити найважливіші параметри **ТО** на всіх етапах його створення і використання (див. розділ 10).

В таблиці 7.1 наведено перелік категорій параметрів **ТО** даної класифікації, дано їх характеристику і приклади параметрів. Нижче окремі категорії будуть розглянуті більш детально [1, 2, 14].

### **Функціональні параметри технічних об'єктів**

Зовнішня і внутрішні функції **ТО** є найважливішими його параметрами, оскільки якщо об'єкт не виконує свого призначення, тобто верстат не обробляє заготовку, а автомобіль не перевозить пасажирів або вантаж, то такий **ТО** може використовуватись хіба що як виставочний експонат або

макет, навіть і при відповідності значень параметрів інших категорій заданим значенням [1].

Таблиця 7.1 – Класифікація параметрів технічних об'єктів, пов'язана із їх створенням та використанням

Категорії параметрів	Характеристика категорій	Приклади параметрів для <b>ТО</b> «металорізальний верстат»
Функціональні параметри	Параметри, безпосередньо пов'язані із виконанням зовнішньої і внутрішніх функцій <b>ТО</b>	Потужність електродвигуна, клас точності, діапазони частот обертання шпинделя та подач супорта
Експлуатаційні параметри	Параметри, що визначають ефективність експлуатації <b>ТО</b>	Займана площа, маса, термін служби, надійність, ремонтпридатність, витрати енергії
Ергономічні параметри	Параметри, що характеризують впливи між <b>ТО</b> і людиною, яка його використовує або обслуговує	Зручність розташування кнопок керування на пульті, легкість та швидкість демонтажу елементів під час ремонту
Естетичні параметри	Параметри, що характеризують зовнішній вигляд <b>ТО</b>	Форма, розміри, їх співвідношення, колір
Параметри зберігання і транспортування	Параметри, що визначають зручність та можливість тривалого зберігання і транспортування	Габарити, маса, форма, міцність, корозійна стійкість, нечутливість до струшувань, змін температури, тиску
Параметри постачання і планування	Параметри, що визначають потреби у <b>ТО</b> і можливість задоволення вказаних потреб	Розмір партії, термін постачання, постачальник
Параметри відповідності правовим нормам	Відповідність <b>ТО</b> законам, нормам і положенням, що стосуються його розробки, виробництва і реалізації	Наявність ліцензії на верстат, що буде виготовлятися, отримання патенту на конструкцію вузла, закупка готового верстата
Конструктивні параметри	Параметри конструкції <b>ТО</b>	Структура, впливи між елементами, розміри, форма, марка матеріалу, точність виготовлення, шорсткість оброблених поверхонь
Технологічні параметри	Параметри, що характеризують можливість виготовлення <b>ТО</b> з мінімальними витратами	Застосування типових або наявних технологій, матеріалів, обладнання, інструментів, пристосувань, тривалість операцій технологічного процесу

Продовження таблиці 7.1

Категорії параметрів	Характеристика категорій	Приклади параметрів для <b>ТО</b> «металорізальний верстат»
Економічні параметри	Параметри, що визначають грошові витрати на розробку, створення і реалізацію	Виробничі витрати на виготовлення, собівартість, ціна верстата
Якість виготовлення	Параметри, що визначають можливість якісного виготовлення <b>ТО</b>	Якість конструкторської документації, кваліфікація робітників, наладчиків, майстрів, клас точності обладнання

Вище вже говорилося (див. пункт 5.3.1) про залежність рівня складності функції від числа умов та обмежень, що накладаються на її реалізацію. Опис функції також залежить від зовнішніх умов. Наприклад, функцію транспортування виконують автомобілі, поїзди, судна, ракети, конвеєри, підйомні крани. Однак тільки автомобілі забезпечують реалізацію функції безрейкового транспортування по суші, а легкові автомобілі – безрейкового транспортування пасажирів по суші. Таким чином, опис функції ускладнюється разом зі збільшенням числа врахованих умов. Вказане наочно ілюструє схема ієрархії функцій «транспортування» залежно від рівня складності, наведена на рисунку 7.1. Кожний конкретний **ТО** може бути досить точно визначений через описану виконувану ним функцію [1, 2].

Функції **ТО** можуть відрізнятись різноманітністю і складністю. Розглянемо деякі функції, що виконуються при виробництві автомобілів: виготовлення колінчастого вала, випробовування двигуна, загальне складання. Число умов в наведених функціях збільшується від першої до третьої, відповідно зростає і складність. Даний приклад показує наявність певної ієрархії функцій. При виробництві автомобілів необхідно, окрім названих, реалізувати ще ряд складних функцій, що можна розділити на більш прості (випробовування системи запалювання, складання шасі) і елементарні функції (обточування шийки вала, загвинчування гайки) [2].

Практично будь-яка задана функція може бути виконана різними **ТО** (див. підрозділ 2.1). Рівню складності функції відповідає рівень складності **ТО**. З іншої сторони, один і той самий **ТО** може виконувати різні функції. Так, наприклад, гвинт з'єднує дві деталі, забезпечує перетворення обертового руху у поступальний або слугує для зміни зазору між двома деталями. Конструюючи **ТО**, звичайно прагнуть, щоб він виконував максимальне число функцій. Можливості для більш широкого застосування **ТО** зменшуються з ускладненням функції, для виконання якої він призначений [1, 2].

Вже відмічалось, що для виконання основних операцій необхідно реалізувати ряд допоміжних дій (див. підрозділ 4.2). Згідно із цим всі функції можна додатково розділити на основні (виконавчі) та допоміжні (обслуго-

вування, ремонту, підготовчі, керування і регулювання). Однак необхідно враховувати відносність даних категорій. Як правило, допоміжна функція **ТО** більш високого рівня здійснюється через **ТО** нижчого рівня, для якого дана функція є основною. Так, наприклад, при виконанні основної функції виготовлення деталі на токарному верстаті допоміжна функція фіксації заготовки реалізується за допомогою трикулачкового патрона. Але при здійсненні операції фіксації заготовки функція патрона буде основною [1, 2].

$\Phi$	$\Phi^1$	$\Phi^2$	$\Phi^n$
Функція без умов	Функція з 1-ю умовою	Функція з 2-ма умовами	Функція з n – умовами



Рисунок 7.1 – Ієрархія функцій «транспортування» залежно від рівня складності

Користуючись методом аналізу, ми можемо констатувати, що дані про перетворення, його умови, об'єкт впливу являють собою функціональні параметри. Вони дозволяють обрати серед усього різноманіття **ТО** саме той, що потрібен для реалізації заданої функції. Дані функціональні параметри у подальшому аналізуються і систематизуються разом із параметрами інших категорій.

### Експлуатаційні параметри технічних об'єктів

Бажане перетворення об'єкта **СП** здійснюється шляхом впливу на нього **ТО**. Ефективність використання **ТО** характеризується сукупністю експлуатаційних параметрів, до яких відноситься надійність, безпека експлуатації, термін служби, витрати енергії, матеріалів, займана площа, ремонтпридатність, легкість та точність регулювання тощо. Оскільки задана фун-

кція **ТО** виконується саме в процесі його експлуатації, значення даних параметрів зростає ще більше.

Поняття про найважливіші експлуатаційні параметри та їх оптимальні межі для **ТО**, навіть одного і того ж призначення, у продовж часу змінюється. Якщо в **ТП**, що реалізовується за допомогою **ТО**, задіяна також і людина, то вимоги надійності і безпеки стають найважливішими. В процесі прискореного розвитку техніки змінюються уявлення про оптимальний термін служби **ТО**. Так, часто вже неактуально є вимога стосовно того, що деталі повинні мати якомога більшу довговічність, оскільки більшість **ТО** морально старіють швидше, ніж зношуються. Інший підхід зараз і до габаритів **ТО**. Вартість площ виробничих приміщень постійно підвищується, тому актуальною є задача забезпечення максимальної компактності машини. Відомо також, що витрати на експлуатацію **ТО** напряду пов'язані з його масою, у зв'язку із чим вимоги зменшення маси висуваються вже не лише до літальних апаратів та автомобілів, як це було раніше, а й до металорізальних верстатів, промислових роботів, конвеєрів [1, 2, 10].

В процесі експлуатації сам **ТО** звичайно є джерелом шуму, тепла, вібрацій, продуктів згоряння, відходів, від яких необхідно позбавлятися. Зі збільшенням числа **ТО** інтенсивність та шкідливість побічних впливів набувають катастрофічних значень, що робить їх загрозою для людства. До недавнього часу ці параметри **ТО** не брались до уваги, оскільки переважали економічні міркування. Однак, якщо ми хочемо «пережити» створені нами машини, параметри екологічної безпеки необхідно враховувати ще на етапі проектування [1, 2, 19].

Точне визначення фактичних експлуатаційних параметрів **ТО** на початку його розробки викликає певні труднощі. Досить повно з вказаної сторони **ТО** проявляє себе лише після тривалого періоду експлуатації. Через це конструктору потрібно протягом певного періоду часу використання **ТО** за прямим призначенням контролювати його роботу, аналізувати причини можливого відхилення від заданих значень експлуатаційних параметрів і вносити необхідні зміни у конструкцію або принцип дії **ТО**.

### **Ергономічні параметри технічних об'єктів**

Як вже вказувалось вище, задані перетворення матерії, енергії або інформації здійснюються при взаємодії людини та **ТО**. Результат перетворення значною мірою залежить від ефективності сумісної роботи названих учасників **ТП**. Суспільство також зацікавлене, щоб людині при цьому наносилась мінімальна шкода. У останній час досить інтенсивно розвивається нова самостійна дисципліна – *ергономіка*, яка вивчає взаємні впливи в системі «людина – машина». Практичним аспектом даних впливів займаються прикладна ергономіка та психотехніка, основою яких є антропологія, фізіологія, психологія, біологія, соціологія, фізика і кібернетика. Задачі досліджень впливів в системі **Л – ТО** включають вивчення впливу часу і руху у виробничому процесі на людину, сприйнятливості її органів чуття,

спроможність до обробки даних та прийняття рішень, впливів робочих, ефективних та граничних навантажень (часу, зусилля, температури, тиску, прискорення, випромінювання, голоду), порушення нормальної орієнтації (акустичної і оптичної), адекватність реакцій, адаптацію тощо [1, 2].

Коло задач ергономіки не обмежується забезпеченням дотримання вимог техніки безпеки та необхідних умов роботи. Йде також і пошук меж можливостей людини в екстремальних ситуаціях. Звичайно, даний напрямок досліджень пов'язаний в основному з авіацією і космонавтикою. Однак існує достатньо широка множина загальних питань, наприклад, створення **ТО** з таким розрахунком, щоб людина із середніми здібностями могла ефективно здійснювати його обслуговування і керування. В ідеалі робота не повинна втомлювати ні фізично, ні психологічно [1, 9].

Конструктор ставить перед людиною в системі **Л – ТО** певні задачі, у зв'язку із чим йому повинні бути відомі переваги та недоліки двох основних елементів **СП**, які подано в таблиці 7.2. Впливи в системі **Л–ТО** схематично показані на рисунку 7.2 [1, 2].

Таблиця 7.2 – Характеристика елементів системи **Л - ТО**

<b>Л</b>	<b>ТО</b>
<p>Переваги</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спроможність приймати важливі рішення навіть при обмеженні необхідної інформації.</li> <li>2. Правильні реакції в нестандартних ситуаціях.</li> <li>3. Спроможність виконувати одну і ту ж саму операцію різними способами, що особливо важливо при відмові одного з механізмів.</li> <li>4. Гнучкість у плануванні робіт</li> </ol>	<p>Переваги</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока точність визначення поточних робочих параметрів <b>ТП</b>, можливість постійного контролю.</li> <li>2. Постійна продуктивність і точність в часі.</li> <li>3. Можливість роботи в некомфортних умовах при змінах в широких межах параметрів <b>НС</b>.</li> <li>4. Швидке виконання логічних і інших операцій з низькою ймовірністю помилки.</li> </ol>
<p>Недоліки</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обмежена спроможність до сприйняття інформації, обмежена швидкість сприйняття.</li> <li>2. Обмежені можливості органів чуття.</li> <li>3. Зниження продуктивності і уваги з часом.</li> <li>4. Необхідність комфортних умов.</li> <li>5. Відносна уповільненість розумових операцій, висока ймовірність помилок.</li> </ol>	<p>Недоліки</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функціонування тільки згідно із закладеною програмою і за наявності команди.</li> <li>2. Можливість відмови у непередбачених ситуаціях.</li> <li>3. Обмежена кількість виконуваних операцій.</li> </ol>

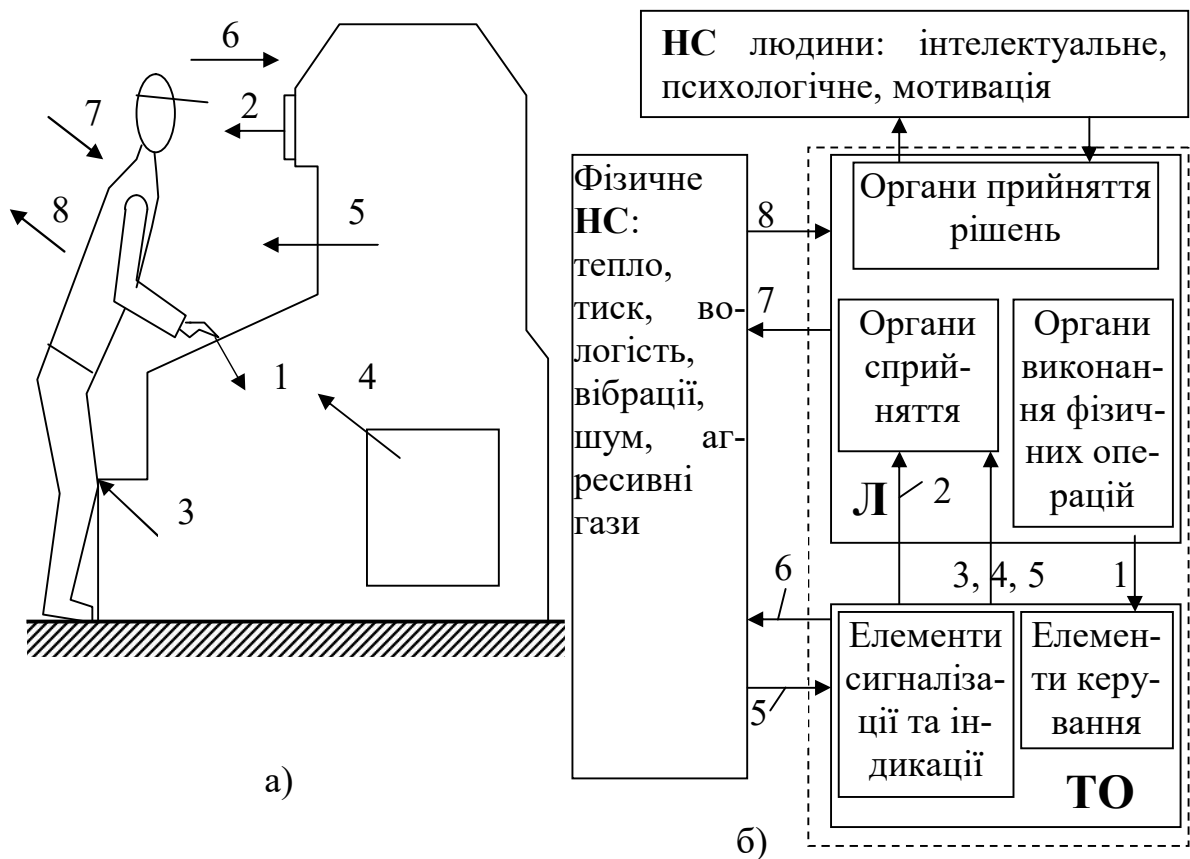


Рисунок 7.2 – Впливи в системі Л – ТО: 1 – обслуговування і керування; 2 – сигнали про функціонування; 3 – фізичні перешкоди; 4 – шуми; 5 – вібрації, тепло; 6 – вплив НС на ТО; 7 – вплив НС на Л; 8 – вплив Л на НС

Звичайно, основними вихідними даними в ергономічних задачах є:

- фізичні можливості людини для виконання різних **Ор**, використання і обслуговування **ТО**;

- основні розміри різних частин тіла людини (антропометрія).

Метою розв'язання таких задач може бути:

- визначення продуктивності людини у виробничому процесі при різних умовах **НС** і заданих робочих параметрах **ТО** і **ТП**;

- забезпечення оптимального розташування елементів керування **ТО** (кнопок, рукояток, маховиків) для досягнення максимальної продуктивності системи **Л – ТО** [1, 2].

### Естетичні параметри технічних об'єктів

З початку створення перших механізмів і машин, ще на ранніх стадіях ремісничого виробництва людина прагнула до поєднання практичної корисності **ТО** і його привабливого зовнішнього вигляду (єдності корисності та краси). У подальшому дана тенденція отримала наукове обґрунтування. Так, Ф. Рело в роботі «Вчення про конструювання» [1, 9] один з розділів присвятив стилю машин. Треба одразу ж додати, що поняття про красу і гармонію, в тому числі **ТО**, з часом змінювались. Наприклад плавні форми верстатів та автомобілів середини минулого сторіччя зараз вже не вважа-

ються оптимальними ні з естетичної, ні з експлуатаційної, ні з ергономічної точок зору (рисунок 7.3).

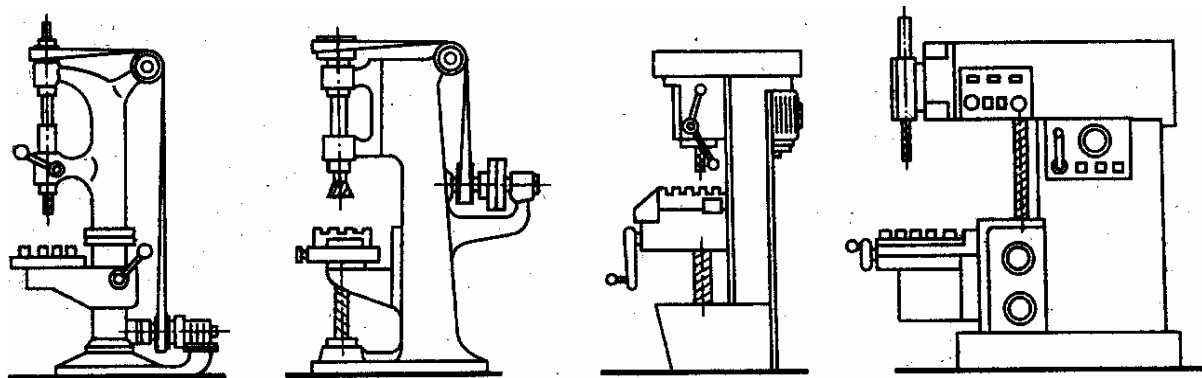


Рисунок 7.3 – Еволюція форм вертикально-свердильного верстата

У подальшому, із початком промислової революції відношення до естетичних параметрів **ТО** змінилось. Універсальний підхід до проблеми формулювався у такому постулаті: «Все що доцільне є красивим». Лише в середині ХХ ст. конструктори і виробничники стали знову приділяти багато уваги естетиці та дизайну виробів. Сформувалась окрема дисципліна – промислова естетика, метою якої є визначення впливу зовнішнього вигляду **ТО** на відчуття прекрасного людини, що її експлуатує. При цьому мова йде не стільки про відчуття «в чистому вигляді», скільки про практичні результати відміченого впливу. Був установлений зв'язок між естетичними параметрами **ТО** і характеристиками фізичної та розумової діяльності людини – продуктивністю, фізіологічною втомлюваністю організму тощо. Для забезпечення істотного позитивного впливу на стан та спроможності людини необхідно враховувати за можливості всі естетичні фактори **ТО** і максимально повно їх використовувати.

До основних естетичних параметрів **ТО** можна віднести:

- симетрію (абсолютну, відносну, контрастну);
- ритм як доцільне чергування форм, площин, кольорів, структур;
- членування (в горизонтальному і вертикальному напрямках);
- пропорціональність (домірність людини, **ТО** і об'єктів **НС**);
- контраст (матеріалів, форм, розмірів, кольорів, світла);
- композицію (форм, ліній, кольорів).

Вказані параметри є комплексними і залежать від ряду більш простих естетичних параметрів, таких як:

- форма (плавна або з різкими переходами);
- матеріал (дерево, метал, пластмаса в різних випадках і сполученнях дають різний естетичний ефект);
- вигляд поверхні елементів (матові – необроблені, гладкі – оброблені);
- габаритні розміри і об'єм;
- лінії (горизонтальні, вертикальні, похилі, прямі, ламані, криві);
- кольори (основні та відтінки);
- текст (шрифт, розмір, колір, розташування);



- світло (яскраве, розсіяне, світлотінь).

Таким чином, засобами промислової естетики можна значно підвищити сукупну цінність **ТО**. Звичайно, значення естетичних параметрів не слід перебільшувати, оскільки краса **ТО** є, все ж таки, вторинною відносно його функції. Для кожного **ТО** залежно від його призначення і галузі, в якій він використовується, можна знайти приблизне оптимальне співвідношення між естетичними, ергономічними і технічними (функціональними, експлуатаційними, конструктивними, технологічними) параметрами [1, 2].

**ТО** останнім часом стають все більш складними і для забезпечення оптимальних значень їх параметрів, в тому числі і естетичних, потрібно докладати все більших зусиль та часу. У зв'язку із цим проблемами зовнішнього вигляду сучасних **ТО** займаються спеціально підготовлені фахівці з промислової естетики – дизайнери. Дизайнер має справу не лише з естетичними, але і з взаємопов'язаними з ними ергономічними та іншими параметрами **ТО** [5, 9, 10].

Важливий правильний вибір моменту часу, коли дизайнер залучається до роботи зі створення **ТО**. Часто (що є цілком невиправданим) конструктор передає дизайнеру вже практично готовий проект з певним розташуванням функціональних, принципівих і конструктивних елементів. В подібній ситуації участь дизайнера обмежується лише естетичним оформленням **ТО**, що є неприпустимим. Найбільш ефективними результати його роботи можуть бути, якщо сумісна розробка розпочнеться вже на стадії створення **ФС** або найпізніше – під час створення **ПС** [1].

### **Параметри зберігання та транспортування технічних об'єктів**

Після виготовлення і до початку експлуатації **ТО** проходить ще ряд проміжних етапів і стадій, протягом яких його стан змінюється. Спочатку **ТО** упаковується і доставляється за допомогою підйомно-транспортних пристроїв до замовника. Далі, за необхідності, він може у законсервованому стані зберігатись на складі протягом певного терміну. Після встановлення на місці експлуатації та розконсервування здійснюється монтаж **ТО** і підготовка його до використання за основним призначенням. Протягом виконання всіх згаданих операцій **ТО** може піддаватись впливу підвищених або низьких температур, вологості, тиску, вібрацій, поштовхів, ударів. Для того, щоб при цьому зберігалися функціональні та інші технічні параметри **ТО**, повинні бути дотримані задані параметри зберігання та транспортування, а також співвідношення між ними. Відомо, наприклад, що витрати на транспортування, зберігання і монтаж напряму залежать від маси і габаритів **ТО**. Нижче наведено ще деякі основні параметри категорії, а також дано рекомендації щодо вибору їх оптимальних значень [1, 2].

1. Габарити **ТО** відносяться до найважливіших параметрів зберігання та транспортування, вони повинні допускати здійснення необхідних маніпуляцій з ним із застосуванням існуючих підйомно-транспортних засобів.

2. Форма **ТО** може також істотно впливати на зручність та ефективність його завантаження, розвантаження, транспортування і зберігання. В ряді випадків **ТО** може мати й нераціональну з точки зору легкості здійснення з ним вказаних операцій і мінімізації витрат форму, однак в комплекті (в сукупності) із такими ж самими **ТО** питомі займаний об'єм та витрати будуть зменшуватись. Сказане ілюструється прикладами на рисунку 7.4. За необхідності повинна бути передбачена можливість легкого та зручного розбирання **ТО** на елементи, придатні для ефективного зберігання та транспортування. Для важких **ТО**, як правило, обов'язковими є такалажні гаки, кільця, петлі, серги, отвори, що також вносить певні корективи в їх форму.

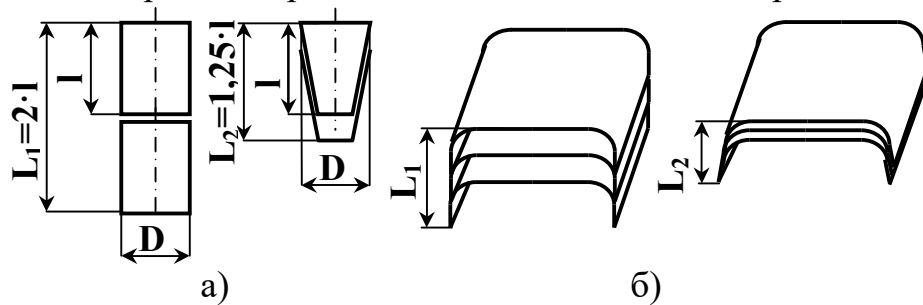


Рисунок 7.4 – Схеми, що ілюструють способи зменшення об'єму, займаного **ТО** при його комплектному зберіганні і транспортуванні: а – кільцевих виробів; б – штампованих панелей

3. Маса **ТО**, яка повинна знаходитись у відповідності із вантажопідйомністю промислових роботів, транспортерів, конвеєрів, кранів, залізничних вагонів і т. д. У випадку її виходу за установлені межі слід конструювати **ТО** з врахуванням необхідності його розбирання на транспортабельні елементи.

4. Міцність **ТО** в цілому та його окремих елементів зокрема повинна бути достатньою для усунення ймовірності їх пошкодження під час завантаження-розвантаження або транспортування, інакше потрібно забезпечувати відповідні умови та упаковку.

5. Марка (параметри) матеріалів, з яких виготовлені елементи **ТО**, не повинні допускати, щоб останні протягом установлених термінів і при дотриманні допустимих умов зберігання та транспортування піддавались впливу підвищених (понижених) температур, вологи, агресивних газів, корозії, і що приводило б до погіршення інших параметрів **ТО** або втрати ним роботоздатності. В іншому випадку необхідно передбачити відповідні захисні заходи.

Параметри зберігання та транспортування особливо важливі для **ТО** серійного та масового виробництва.

### Параметри постачання і планування технічних об'єктів

Для замовника **ТО** одним з найважливіших його параметрів є термін постачання. Не менш важливим він є і для конструктора, виробника та постачальника **ТО**, оскільки регламентує часові рамки їх роботи. До цієї ж

категорії параметрів відноситься і розмір партії **ТО**, виходячи із якого перевіряється достатність виробничого потенціалу та технічного рівня підприємства-виготівника, а також підприємств, що забезпечують доставку **ТО**. За необхідності та доцільності проводиться нарощування виробничих потужностей та модернізація виробництва (закупівля нового, більш ефективного, в тому числі й автоматизованого, спеціалізованого і спеціального основного та допоміжного обладнання, пристосувань, інструмента, матеріалів, комплектуючих, технологій – всього того, що дозволяє зменшити собівартість виготовлення або транспортування **ТО**). Крім цього, розмір партії визначає рівень і якість його конструктивної розробки. Для **ТО** одиничного виробництва головним є виконання заданої функції, тоді як загальна вартість і вартість експлуатації, технологічність конструкції, тривалість виготовлення, енергоємність є менш суттєвими. Виготовляються такі **ТО** з використанням, в першу чергу, наявних на підприємстві обладнання, інструмента та технологій і лише у крайніх випадках здійснюється закупівля відсутніх верстатів або виконання частини робіт на інших підприємствах. Якщо ж **ТО** планується випускати масово, намагаються максимально підвищити його конкурентоздатність, довести її до відповідності сучасному світовому технічному рівню **ТО** даного призначення або до рівня, що перевищує світовий. Так само, шляхом реалізації наведених вище заходів, удосконалюється і виробництво [1, 2, 17].

### **Правові норми, пов'язані із технічними об'єктами**

Практично в кожній державі розроблено правові норми, що регулюють відносини між виробниками та споживачами **ТО**. Відповідність **ТО** правовим нормам – один з найважливіших його параметрів. По суті, конструктор повинен знати всі основні закони, постанови та правила, що стосуються патентування, виготовлення та використання створеного ним **ТО** не тільки в його країні, а й всіх державах, куди **ТО** буде експортуватись. Відсутність у конструктора необхідних знань з патентно-ліцензійного, виробничого або торговельного законодавства часто призводить до різного роду конфліктних ситуацій. В більш складних випадках можна звернутись за консультацією до юриста [1, 2, 16].

У наш час практично у всьому цивілізованому світі неодмінною умовою виготовлення та використання **ТО** є дотримання норм та вимог охорони праці, техніки безпеки та захисту навколишнього середовища, що також необхідно враховувати конструкторові [14].

### **Технологічні параметри технічних об'єктів**

Технологічні параметри характеризують спосіб виготовлення та складання **ТО**. До основних з вказаних параметрів відносяться: найменування, число та тривалість операцій механічної обробки та складання, застосування універсального, спеціалізованого або спеціального обладнання, верстатів з ручним керуванням, напівавтоматів, автоматів, верстатів з ЧПК,

автоматичних ліній, стандартизованих, нормалізованих, уніфікованих або спеціальних інструментів, пристосувань, контрольних пристроїв та приладів, напівфабрикатів, заготовок. Крім цього, серед параметрів даної категорії розглядаються форма та габарити (типорозмір) **ТО** в цілому, а також кожного з його складових елементів окремо, ступінь точності, допустимі параметри шорсткості оброблених поверхонь, наявність зміцнювальних покриттів та термообробки [1, 2].

Вимоги до технологічних параметрів змінюються залежно від типу виробництва (одиничне, серійне або масове), а також від його технічного рівня. В пункті «Параметри постачання і планування технічних об'єктів» даного розділу вже йшлося про залежність технології від виробництва.

Крім цього, вибір того чи іншого конструктивного рішення, а отже і технологічні параметри залежать від установлених термінів розробки та виготовлення **ТО**, оскільки деякі технологічні процеси можуть виявитись неприпустимо довгими. Наприклад, на початку Великої Вітчизняної війни, коли виникла потреба налагодити масове виробництво танків, академіком Є. О. Патonom був запропонований новий високопродуктивний спосіб зварювання металів під флюсом (рисунок 7.5), що дозволило, в ряді випадків,



Рисунок 7.5 – Сучасна установка для зварювання під флюсом

відмовитись від відливання елементів корпусів і башт танків та виготовляти їх зварюванням з катаних броньованих листів. В результаті фронт отримав значно більшу кількість бойових машин. З часом, навпаки, більш ефективними стали технологічні процеси лиття, а також складання **ТО** з попередньо виготовлених різанням елементів, що обумовлювалось появою продуктивних та високоточних способів лиття під тиском, в оболонкові форми, відцентрового та за виплавленими моделями, створенням верстатів з ЧПК, оброблювальних центрів, промислових роботів, складальних автоматів [1, 2, 14].

### **Конструктивні параметри технічних об'єктів**

Основними конструктивними параметрами елементів **ТО** є їх форма, розміри, точність виготовлення, шорсткість, марка матеріалу, а всього **ТО** – структура та впливи між елементами. Перелічені параметри називають також *первинними* або *внутрішніми*, оскільки вони визначають ряд *вторинних* (зовнішніх) конструктивних параметрів елементів та **ТО** в цілому, таких як міцність, жорсткість, пружність, електро- і теплопровідність, корозійна та хімічна стійкість, зносостійкість і т. д. [1, 2].

### Економічні параметри технічних об'єктів

Економічні параметри об'єднують в собі більшість розглянутих вище категорій параметрів. Вони відображають з одної сторони витрати на створення і експлуатацію **ТО**, з іншої сторони – прибуток, отриманий в результаті його використання [1, 2, 9].

Витрати виникають на стадіях розробки, підготовки виробництва, виготовлення, реалізації та експлуатації **ТО**.

Як прибуток розглядається загальний економічний ефект, отриманий в результаті реалізації або використання **ТО**.

На рисунку 7.6 наведено алгоритм визначення виробничих витрат, собівартості та ціни **ТО** [1, 2].

Ціна	Собівартість	Витрати на виготовлення дослідного зразка	Виробничі витрати	Витрати на основні та допоміжні матеріали; Оплата праці робітників; Витрати на електроенергію, воду, опалення, мастила; Соціальні та інші відрахування.
			Одноразові витрати на виготовлення (патентування, ліцензування)	
		Загальні дослідно-конструкторські витрати; Загальні адміністративні витрати і витрати по збуту; Одноразові накладні витрати.		
		Надбавки і податки, норма прибутку		

Рисунок 7.6 – Алгоритм визначення виробничих витрат, собівартості та ціни **ТО**

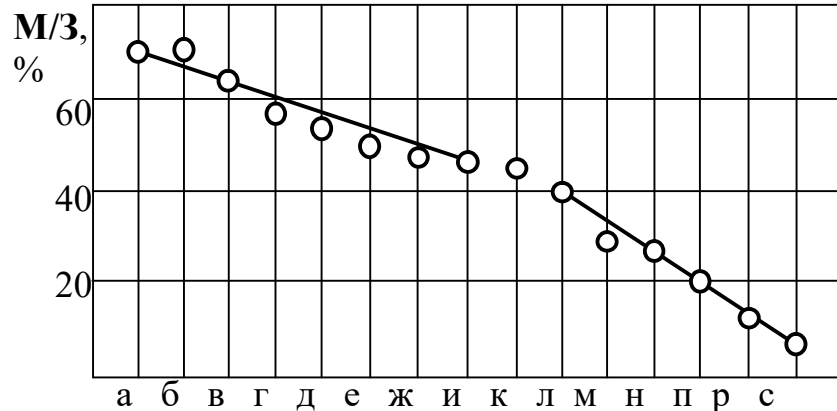
Важливе значення має не лише абсолютних значень окремих витрат на **ТО**, а й їх співвідношень, наприклад, відношення витрат на матеріали до загальних витрат (рисунок 7.7).

Попереднє оцінювання собівартості здійснюється за наближеними формулами за всіма статтями витрат. Підставою для визначення накладних витрат служать витрати на оплату праці, а також нормативи часу роботи.

Собівартість є вихідною величиною для обчислення орієнтовної ціни **ТО** – його найважливішого економічного параметра (слід однак пам'ятати, що ринкова ціна може значно відрізнятись від розрахункової) [1, 9].

На загальну вартість **ТО** впливають величина партії та обрана технологія виготовлення (рисунок 7.8). Вартість зразка **ТО** в цілому знижується зі зростанням кількості виготовлених одиниць. Для мінімізації виробничих витрат важливе значення має визначення оптимальної кількості зразків в партії (рисунок 7.9) [1, 2, 5].

Для виготовлювача собівартість є одним з найважливіших параметрів, оскільки вона дозволяє оцінити вартість виробництва **ТО**. Собівартість охоплює всі прямі витрати на створення **ТО** (витрати на розробку, дослідження, випробовування та доведення дослідного зразка, підготовку виробництва, оплату праці робітників, соціальні відрахування, матеріали, електроенергію, воду, опалення, мастила, ЗОР, стиснене повітря, амортизаційні відрахування). Крім цього, враховуються і непрямі одноразові витрати на патентування, ліцензування, рекламу і збут. Оскільки не всі названі витрати



можна віднести до конкретного зразка **ТО**, деякі з них входять до накладних витрат.

Витрати на виробництво залежать також від ступеня оригінальності конструкції **ТО**, ступеня стандартизації, походження й інших показників. Попередній розрахунок виробничих витрат дозволяє керівництву підприємства, зацікавленого

Рисунок 7.7 – Відношення витрат на матеріали (**М**) до загальних витрат (**З**) на **ТО**: а – будівельних конструкцій; б – цистерн; в – вагонів; г – вантажівок; д – підйомників; е – дизелів; ж – верстатів; и – легкових автомобілів; к – трансформаторів; л – вимірювальних приладів; м – готовалень; н – годинників; п – скляних приладів; р – електронних приладів; с – мікропроцесорів

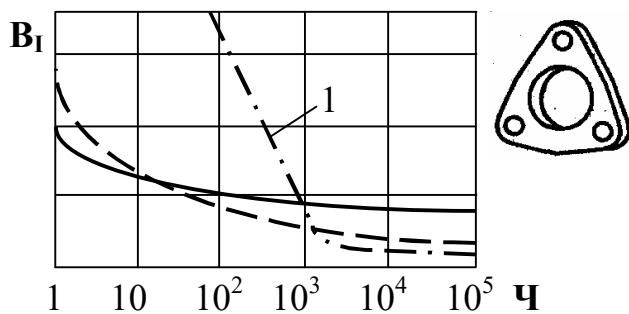


Рисунок 7.8 – Залежність вартості виготовлення (**В<sub>1</sub>**) зразка **ТО** «прокладка» від технології його виготовлення та числа зразків в партії (**Ч**): 1 - технологія, орієнтована на масове виробництво

у випуску **ТО** вирішити, чи вигідніше виготовлювати елементи **ТО** на власному заводі, чи краще придбати їх.

Для споживача дуже важливими є експлуатаційні витрати, пов'язані із під-

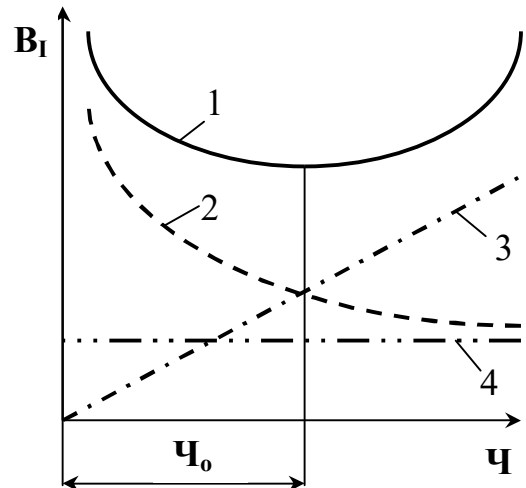


Рисунок 7.9 – Залежність для визначення оптимального числа **ТО** в партії (**Ч<sub>0</sub>**), виходячи із витрат на один зразок (**В<sub>1</sub>**): 1 – загальних; 2 – на виготовлення; 3 – на зберігання та транспортування; 4 – на матеріали

триманням роботоздатності **ТО** та його основних робочих параметрів. Ще один суттєвий параметр – величина амортизаційних відрахувань протягом терміну служби **ТО**, що визначається закупівельною ціною, витратами на зберігання, транспортування, монтаж і налагодження.

Експлуатаційним витратам протиставляється досягнутий за цей же самий період економічний ефект. *Економічна ефективність* визначається як відношення отриманого прибутку до експлуатаційних витрат. Інший комплексний економічний параметр – *рентабельність* – відношення прибутку до капіталовкладень за аналогічний період часу [1, 2, 10].

Оскільки розрахунок економічної ефективності є достатньо трудомістким і не входить до кола задач, розв’язуваних конструктором, ним на попередніх стадіях проектування часто нехтують, що часто призводить до додаткових витрат часу і коштів на створення **ТО**, а також вибору менш раціонального варіанта [1, 2, 14].

### **Якість виготовлення технічних об’єктів**

Як показує досвід, недостатньо сконструювати ефективний **ТО** – необхідно також якісно його виготовити. Від якості **ТО** напряду залежить його функціонування. Злагоджений і кваліфікований робочий колектив, мабуть, зможе, користуючись навіть посередньо виконаними кресленнями, виготовити роботоздатний **ТО**, тоді як бригада недостатньо високої кваліфікації навіть і за допомогою бездоганної документації не в змозі випускати якісну продукцію. Певною мірою гарантом якості може служити ім’я фірми-виготівника, якщо вона добре зарекомендувала себе серед споживачів.

Конструктор під час проектування повинен враховувати кваліфікацію робітників і технічний рівень підприємства, на якому буде випускатись **ТО**. Звичайно конструктор пристосовує вимоги креслень до вказаних факторів. Таким чином, його контакт із виробництвом є важливою умовою отримання якісного **ТО** [1, 2, 10].

## **7.2 Зв’язки між параметрами технічних об’єктів**

Параметри **ТО** та їх взаємозв’язки можуть описуватись у словесній формі або за допомогою позначень та формул. Математична статистика та логіка дозволяють виразити дані зв’язки аналітично і оперувати ними.

В кожному конкретному випадку для розробки та дослідження **ТО** одних загальних зв’язків недостатньо. Так, наприклад, при аналізі функціонування калорифера розглядаються залежності теплопередачі за рахунок конвекції, випромінювання і теплопровідності контактуючих елементів. Які впливи слід враховувати у випадку нагрівання об’єкта в електропечі, яка питома частка кожного з них?

Важливо оцінити взаємозв'язки категорій параметрів. Зі схеми на рисунку 7.10 [1, 2] видно, що внутрішні параметри **ТО** (конструктивні та технологічні) є визначальними для зовнішніх, які, в свою чергу, визначають економічні параметри. Наведена схема виявляє надзвичайну складність залежностей між параметрами **ТО**.

### 7.3 Визначення параметрів технічних об'єктів та їх взаємозв'язків

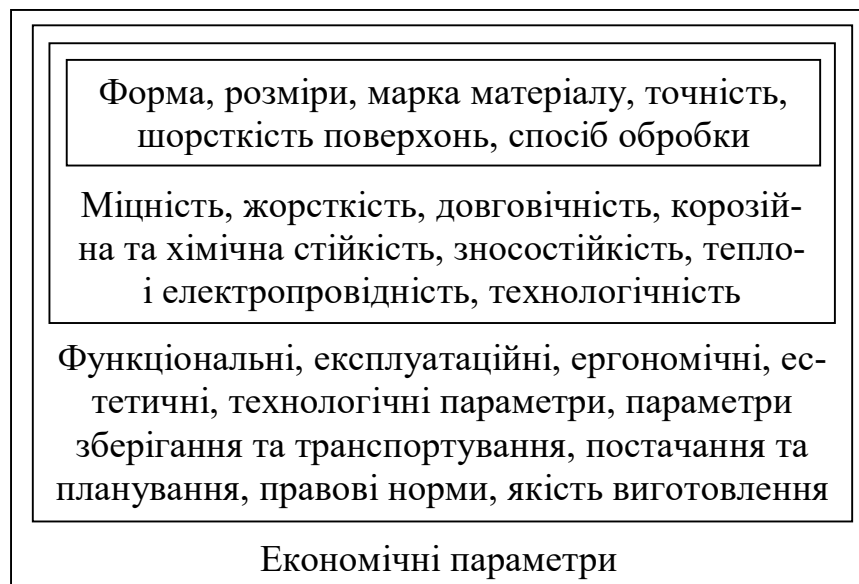


Рисунок 7.10 – Схема взаємозв'язків між параметрами **ТО**

**ТО**, а також стану, в якому він знаходиться.

Використовуються чотири основні методи визначення параметрів **ТО**: 1) вимірювання; 2) експертного оцінювання; 3) розрахунку; 4) порівняння.

#### Метод вимірювання параметрів технічних об'єктів

Більшість кількісних параметрів **ТО** в процесі їх експлуатації можна визначити за допомогою різних вимірювальних приладів і на основі спеціально розроблених відповідних методів та методик. Наприклад, вимірювання розміру деталі за допомогою штангенциркуля, вимірювання тиску мастила у гідросистемі верстата з використанням манометра тощо.

#### Метод експертного оцінювання параметрів технічних об'єктів

Забезпечення об'єктивності експертного оцінювання в ряді випадків викликає певні труднощі. Даний метод звичайно застосовується для визначення якісних (не вимірюваних) параметрів. Для його реалізації необхідно розробити досить детальні та чіткі критерії оцінювання. Наприклад, висновок про ремонтпридатність **ТО** робиться на підставі таких характеристик, як легкість, зручність і простота визначення причини несправностей, демонтажу та монтажу елементів, проведення операцій технічного обслуго-

Для порівняння фактичних і заданих значень параметрів **ТО**, а також для коректного і швидкого зіставлення між собою різних **ТО**, їх детального аналізу, необхідно визначити параметри та установити зв'язки між ними [1, 2, 9].

Метод визначення параметрів обирається залежно від стадії розробки



вування та ремонту, наявність спеціальних пристроїв та приладів, що прискорюють виконання ремонтних заходів та підвищують їх якість, можливість широкого використання стандартизованого, нормалізованого та уніфікованого ремонтного оснащення. Не дивлячись на відносну суб'єктивність, метод експертного оцінювання є особливо ефективним при аналізі складних комплексних параметрів [1, 2].

### **Метод розрахунку параметрів технічних об'єктів**

Параметри **ТО** можна отримати і проаналізувати на підставі розрахунків за формулами. Даний метод реалізується при мінімумі додаткових витрат та засобів, але в ряді випадків є досить трудомістким і потребує високої кваліфікації конструктора, оскільки необхідні методики не завжди є в наявності. При використанні методу можливо дослідження зміни параметрів в часі або залежно від інших параметрів. Останнє найбільш зручно реалізується за допомогою графіків (див. рисунок 4.3, г).

Останнім часом, у зв'язку із інтенсивним розвитком комп'ютерної техніки досить широко застосовується окремий вид розрахункового методу – моделювання [1, 2, 7].

*Модель* – це подання реального **ТО** або **ТП** доступними фізичними або математичними засобами. Залежно від умов задачі та стадії розробки **ТО** при створенні моделі приймається більша або менша кількість припущень [1, 2].

Моделювання і, зокрема, математичне моделювання дозволяють зекономити час та кошти і проаналізувати велику кількість варіантів **ТО**. З іншого боку, дослідження абстрактної моделі інколи набагато складніше за дослідження реального зразка.

Перш за все слід з'ясувати, якого роду подібність між моделлю та оригіналом нас цікавить, які параметри останнього повинні бути враховані в моделі і що є метою дослідження. На відміну від дослідного зразка **ТО**, у якого можуть бути обмірювані або обчислені більшість параметрів, модель відображає лише деякі з них: функціональні, принципові або конструктивні. Відповідно розробляються **ФС**, **ПС** або **КС** технічного об'єкта [1, 2].

Модель завжди має певне призначення. І мова тут йде не лише про конкретні параметри **ТО** – вона часто слугує засобом контролю, інструктажу, навчання або передачі інформації [5, 10].

Для відображення зовнішнього вигляду **ТО** в дво- або тривимірному вимірі служать креслення загального вигляду, проекції, ізометричні рисунки, фотографії, об'ємні моделі.

Динамічні і математичні моделі, як правило, відтворюють динаміку робочих процесів **ТО** під час експлуатації. При цьому деталі, механізми і вузли, наприклад, металорізального верстата, а також впливи між ними подаються і розглядаються як інерційні, пружні, дисипативні елементи, а також елементи сухого тертя, пов'язані між собою механічними передава-

льними структурами. Параметри елементів моделі і впливів між ними визначаються як зведені [2].

На рисунку 7.11 наведено приклад динамічної моделі залізничного товарного вагона [2], що перевозить ламкий вантаж, для захисту якого від пошкоджень застосовуються пружні елементи. На моделі позначено: зведені маси вантажу  $m_B$  і вагона  $m_{\text{ваг}}$ ; їх переміщення  $x_B$ ,  $x_{\text{ваг}}$ ; жорсткість пружних елементів  $c_{\text{пр}}$  і коефіцієнт сухого тертя  $R_{\text{в.п}}$  між нижньою поверхнею вантажу і поверхнею підлоги у вагоні; тягова сила  $F_{\text{п}}$ , створювана локомотивом. З використанням даної динамічної моделі можуть бути складені рівняння руху і рівняння імпульсу для мас вантажу і вагона – математична модель **ТО** і визначені значення швидкості і прискорення вантажу, а також його переміщень при зміні швидкості вагона (початку руху або гальмуванні), ударах об інший вагон під час зчеплення і в інших ситуаціях

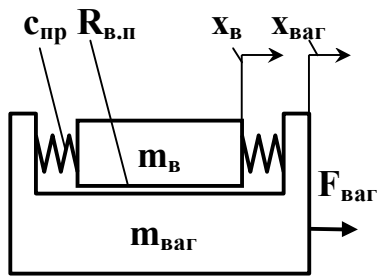


Рисунок 7.11 – Динамічна модель товарного вагону з вантажем

Рисунок 7.11 наведено приклад динамічної моделі залізничного товарного вагона [2], що перевозить ламкий вантаж, для захисту якого від пошкоджень застосовуються пружні елементи. На моделі позначено: зведені маси вантажу  $m_B$  і вагона  $m_{\text{ваг}}$ ; їх переміщення  $x_B$ ,  $x_{\text{ваг}}$ ; жорсткість пружних елементів  $c_{\text{пр}}$  і коефіцієнт сухого тертя  $R_{\text{в.п}}$  між нижньою поверхнею вантажу і поверхнею підлоги у вагоні; тягова сила  $F_{\text{п}}$ , створювана локомотивом. З використанням даної динамічної моделі можуть бути складені рівняння руху і рівняння імпульсу для мас вантажу і вагона – математична модель **ТО** і визначені значення швидкості і прискорення вантажу, а також його переміщень при зміні швидкості вагона (початку руху або гальмуванні), ударах об інший вагон під час зчеплення і в інших ситуаціях

Рисунок 7.11 наведено приклад динамічної моделі залізничного товарного вагона [2], що перевозить ламкий вантаж, для захисту якого від пошкоджень застосовуються пружні елементи. На моделі позначено: зведені маси вантажу  $m_B$  і вагона  $m_{\text{ваг}}$ ; їх переміщення  $x_B$ ,  $x_{\text{ваг}}$ ; жорсткість пружних елементів  $c_{\text{пр}}$  і коефіцієнт сухого тертя  $R_{\text{в.п}}$  між нижньою поверхнею вантажу і поверхнею підлоги у вагоні; тягова сила  $F_{\text{п}}$ , створювана локомотивом. З використанням даної динамічної моделі можуть бути складені рівняння руху і рівняння імпульсу для мас вантажу і вагона – математична модель **ТО** і визначені значення швидкості і прискорення вантажу, а також його переміщень при зміні швидкості вагона (початку руху або гальмуванні), ударах об інший вагон під час зчеплення і в інших ситуаціях

$$\begin{aligned} m_{\text{ваг}} \cdot x_{\text{ваг}}'' &= F_{\text{п}}; \\ m_B \cdot x_B'' &= c_{\text{пр}} \cdot x_{\text{ваг}} + R_{\text{в.п}}. \end{aligned}$$

### Метод порівняння параметрів технічних об'єктів

В даному випадку еталон, наприклад, форма поверхні (профіль різьби) служать моделлю. Фактичне значення параметра і точність його реалізації визначають шляхом порівняння зразка **ТО**, що перевіряється, і еталона.

### 7.4 Складання переліку заданих параметрів технічних об'єктів

Для проведення коректного обґрунтованого аналізу **ТО** і особливо при його порівнянні із іншими зразками аналогічного призначення необхідно вказати досить повний перелік параметрів, які повинні забезпечуватись під час експлуатації – визначити задані параметри. Інколи неповне врахування основних робочих та конструктивних параметрів **ТО** призводить до відмов останнього в процесі експлуатації. Особливо частими є помилкові висновки про вторинність того чи іншого параметра, коли вважається, що він забезпечується автоматично при дотриманні інших, пов'язаних з ним характеристик. Наприклад, про міцність якоїсь деталі, що має нібито великі габарити, але не витримує прикладеного навантаження. Сказане підтверджується відомим положенням про те, що правильна постановка задачі – це вже половина її розв'язку [1, 2].

Вибір параметрів, їх число та форма подання обумовлені умовами конкретної задачі і, як правило, визначаються:

1) виконуваною функцією та конструкцією **ТО** (наприклад, вибір того чи іншого автомобіля залежить від необхідної потужності його двигуна,

максимальної швидкості, запасу ходу та вантажопідйомності машини, її габаритів та конструктивної складності тощо);

2) конкретними умовами експлуатації **ТО** (наприклад, його використанням при підвищеному рівні запилення повітря або високих середніх температурах);

3) додатковими вимогами замовника **ТО**.

Перші дві групи факторів вже досить детально розглядалися вище. Що стосується додаткових вимог, то в загальному випадку у замовника є два основні варіанти.

Перший варіант – закупівля готового виробу. Якщо один або декілька пропонувані різними фірмами зразків **ТО** певного призначення задовольняє замовника за всіма найважливішими функціональними та конструктивними параметрами і до його експлуатаційних параметрів не висувається підвищених або додаткових вимог, він може купити один зі зразків, за необхідності доопрацювати або модернізувати його і використовувати для розв'язання своєї технічної задачі [1, 2].

Якщо ж існуючі зразки **ТО** не задовольняють замовника за одним або декількома найважливішими параметрами, можливий другий варіант – розробка нового спеціального **ТО**. Зразок, створений згідно з вимогами замовника, зазвичай більш дорогий, ніж той, що вже виготовляється серійно. Для правильної постановки та розв'язання задачі зі створення спеціального **ТО** необхідно тісне та активне співробітництво ряду фахівців, серед яких конструктор повинен відігравати провідну роль [5, 9].

Оскільки постановка задачі ніколи не буває цілком повною (всього передбачити неможливо), при виконанні кожного замовлення конструктор сам визначає і забезпечує ряд додаткових параметрів **ТО** і серед них функціональні та конструктивні. Під час проектування важливий також постійний контакт конструктора із замовником, оскільки останній звичайно є висококваліфікованим фахівцем із прототипів потрібного йому **ТО**, особливо з їх експлуатації. Вимоги до підсистем і елементів розроблюваного **ТО** звичайно визначає сам конструктор.

Для забезпечення необхідної повноти переліку заданих параметрів **ТО** доцільно скористатись характеристиками їх категорій і прикладами, наведеними в таблиці 7.1.

Особливу групу утворюють параметри, що не обов'язково вказуються в **ТЗ**, але розглядаються і враховуються конструктором практично в будь-якому випадку. До них відносяться [1, 2, 14]:

1) оптимальні конструктивні та експлуатаційні параметри (мінімальні габарити, маса, енерговитрати, максимальні надійність, довговічність, ремонтпридатність);

2) оптимальні ергономічні параметри (простий, легкий і зручний контроль та регулювання під час експлуатації, мінімальні рівень шуму, загазованості, вібрацій, виділення тепла, інтенсивність електромагнітних випромінювань);

3) максимально повне використання можливостей підприємства, де розроблюваний **ТО** буде виготовлятися та використовуватися (наявних обладнання, інструмента, матеріалів, комплектуючих, заготовок, пристосувань, технологій);

4) максимальна економічна ефективність (мінімальні вартість виготовлення та експлуатації, максимальний прибуток).

Від наведених груп первинних параметрів залежить ряд вторинних, що дотримуються під час розробки [1, 2]:

1) максимальна простота **ФС, ПС, КС**;

2) по можливості однаковий і не завжди максимальний термін служби основних елементів **ТО**;

3) дешевизна та легкість заміни елементів **ТО**, що швидко зношуються;

4) врахування умов **НС**, в яких буде використовуватися **ТО**.

Однчасне забезпечення деяких із вказаних параметрів може бути неможливим і тоді доводиться шукати компромісний варіант.

Особливу групу утворюють параметри, що диктуються конструктору природою та суспільством. Однак вони не сприймаються як обмеження, оскільки кожен звик до фундаментальних законів і розуміє, що не можна сконструювати вічний двигун. Суспільство накладає обмеження правового характеру.

В пункті 7.1.4 розглядалась класифікація параметрів за ступенем важливості, причому як класифікаційна ознака був обраний їх зв'язок із зовнішньою або одною із внутрішніх функцій. Аналогічну назву можна застосувати і для класифікації параметрів на *основні*, забезпечення яких є обов'язковим, і *додаткові*, пов'язані із вимогами і побажаннями замовника, що можуть бути реалізовані за сприятливих обставин [1, 2].

## **7.5 Реалізація параметрів технічних об'єктів**

В даному підрозділі ми розглянемо питання забезпечення параметрів спроектованого **ТО**, оскільки, якщо в реальному зразку основні параметри не дотримані, зовнішня функція може залишитись і невиконаною, не дивлячись на високу якість проекту і здавалося б всебічну обґрунтованість прийнятих рішень. Зрозуміло, що роботоздатність реального зразка **ТО** значною мірою залежить також і від якості його виготовлення, однак головним, все ж таки, залишається правильна організація конструювання. До основних факторів, що впливають на його результат, відносять кваліфікацію, особисті якості та досвід конструкторів, їх кількість, час, відведений на розробку, складність та ступінь оригінальності розроблюваної конструкції [17].

В роботі [1] була наведена залежність якості виконання проекту (як міри реалізації заданих параметрів) від кваліфікації конструкторів (рисунки 7.12). Однак терміни «кваліфікація» та «якість проекту» не можуть бути точно кількісно визначені.

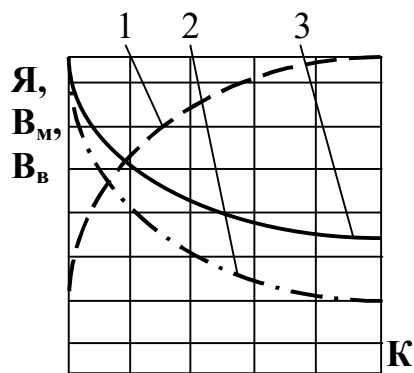


Рисунок 7.12 – Залежності: 1 – якості розробки (Я) **ТО**; 2 – витрат на матеріали ( $B_M$ ); 3 – виробничих витрат ( $B_B$ ) від кваліфікації конструктора (К)

Залежність якості проекту від тривалості конструювання і від кількості розробників показана на рисунку 7.13. Чисельність конструкторського персоналу можна виразити також у грошових витратах на оплату їх праці за одиницю часу. З графіка видно, що, з одної сторони, зі збільшенням часу  $t_0^x$  якість зростає відносно повільно, а з іншої – використання подвійної кількості конструкторського персоналу не забезпечує пропорційного прискорення роботи. Графік на рисунку 7.13 відповідає кваліфікації злагодженого і високопрофесійного конструкторського колективу. Професійним колективом нижчої кваліфікації відповідав би графік з менш крутим нахилом кривої і значно більшим значенням відстані між нею та асимптотою ідеального розв'язку [1, 2].

Слід також звернути увагу на те, що в ряді випадків матеріальні витрати на конструкторську розробку у загальному обсязі витрат на створення нового **ТО** можуть складати значну частку. Існує переконання, що величина загальних витрат залежить, в першу чергу, від вартості підготовки виробництва та його здійснення. Однак це справедливо певною мірою лише для масового і серійного виробництва. Наближене ж розподілення основних витрат при одиничному виробництві **ТО**

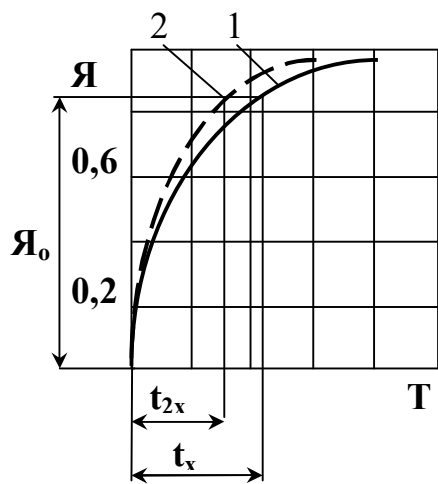


Рисунок 7.13 – Залежності якості розробки (Я) **ТО** від тривалості розробки (Т): 1 – при кількості конструкторів  $x$ ; 2 – при кількості конструкторів  $2x$ ;  $Я_0$  – оптимальна якість

високої складності зображено на діаграмі (рисунок 7.14) [1, 2, 10].



Рисунок 7.14 – Приблизне розподілення витрат при одиничному виробництві складних **ТО**

## 7.6 Контрольні запитання

1. Розкажіть про зовнішні та внутрішні параметри технічних об'єктів.
2. Як класифікуються параметри технічних об'єктів за їх місцем у причинних зв'язках?
3. Яка різниця між якісними та кількісними параметрами технічних об'єктів? Як підвищити об'єктивність визначення якісних параметрів?
4. Розкажіть про основні та другорядні параметри технічних об'єктів.
5. Як класифікують параметри об'єктів за їх фізичною природою?
6. Як класифікуються параметри технічних об'єктів за зв'язками із різними стадіями їх створення та використання?
7. Від чого залежить рівень складності функції технічного об'єкта?
8. Розкажіть про експлуатаційні параметри технічних об'єктів.
9. Що входить у задачі ергономіки? Які основні ергономічні параметри технічних об'єктів ви знаєте?
10. Якими є основні переваги і недоліки людини та машини під час їх взаємодії? Як взаємодіють людина і машина у виробничих процесах?
11. Назвіть типові ергономічні задачі.
12. Які ви знаєте основні параметри транспортування та зберігання технічних об'єктів?
13. Розкажіть про параметри постачання та планування.
14. Назвіть естетичні параметри технічних об'єктів.
15. Назвіть основні економічні параметри технічних об'єктів. Як визначаються виробничі витрати на виготовлення технічного об'єкта, його орієнтовна собівартість та ціна?
16. Розкажіть про правові норми, пов'язані з технічними об'єктами.
17. Назвіть основні конструктивні параметри технічних об'єктів.
18. Що собою являють технологічні параметри технічних об'єктів?
19. Від чого залежить якість технічних об'єктів?
20. Як пов'язані між собою основні категорії параметрів технічних об'єктів?
21. Які є основні методи визначення параметрів технічних об'єктів?
22. Розкажіть про суть і застосування методів вимірювання та експертного оцінювання параметрів технічних об'єктів.
23. В чому є суть методу розрахунку параметрів технічних об'єктів? Якими є його переваги та недоліки?
24. Що називають моделлю технічного об'єкта? Якими є різновиди моделей?
25. Розкажіть про динамічні та математичні моделі технічних об'єктів.
26. Виходячи з яких факторів та рекомендацій укладається перелік параметрів технічних об'єктів?
27. Від яких факторів залежить практична реалізація параметрів технічних об'єктів?

## 8 ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Під час аналізу варіантів технічних систем одного призначення за рядом параметрів доцільно здійснити їх об'єднання в один комплексний узагальнений параметр (критерії) оцінювання, що дозволяє однозначно визначити кращі варіанти ТС. Наприклад, під час порівняння варіантів автомобіля об'єднати такі його параметри, як максимальна швидкість, потужність двигуна, витрати пального, надійність, зовнішній вигляд тощо. Зрозуміло, що це непроста задача, оскільки розмірності більшості параметрів відрізняються.

В загальному випадку оцінювання може проводитись двома способами: інтуїтивно, у підсвідомості спеціаліста і на підставі *критеріїв* – якісних або кількісних параметрів технічної системи, що зіставляються із оптимальними їх значеннями [1].

Інтуїтивна оцінка, не дивлячись на її суб'єктивність, використовується досить часто. Як правило, вона ґрунтується не лише на суб'єктивних відчуттях, але й на багаторічному досвіді фахівця, який оцінює. У зв'язку із цим слід систематично розвивати навички інтуїтивного оцінювання. Воно особливо важливе для початку процесу конструювання за відсутності повної інформації про ТС.

Залежно від умов задачі оцінювання ТС буває трьох основних типів (таблиця 8.1 і рисунок 8.1) [1, 2]

Таблиця 8.1 – Типи задач оцінювання технічних систем

Тип задачі і алгоритму її розв'язання	Вихідні дані	Мета розв'язання задачі
I	Дано ТС із певними параметрами	Дати загальну оцінку ТС
II	Дано ТС та перелік вимог до неї	Установити відповідність ТС вимогам
III	Дано множину ТС аналогічного призначення	Обрати найкращу (найефективнішу) ТС

В алгоритмах розв'язання задач оцінювання (рисунок 8.1) основними операціями є вибір критеріїв оцінювання ТС та визначення узагальненого критерію оцінювання.

Розглянемо деякі поняття, пов'язані із вказаними операціями та пояснимо їх проблематику.

### **Вибір критеріїв оцінювання технічних систем**

Вибір критеріїв оцінювання є одним з найважливіших етапів розв'язання задачі. Обрані параметри повинні достатньо повно і точно ви-

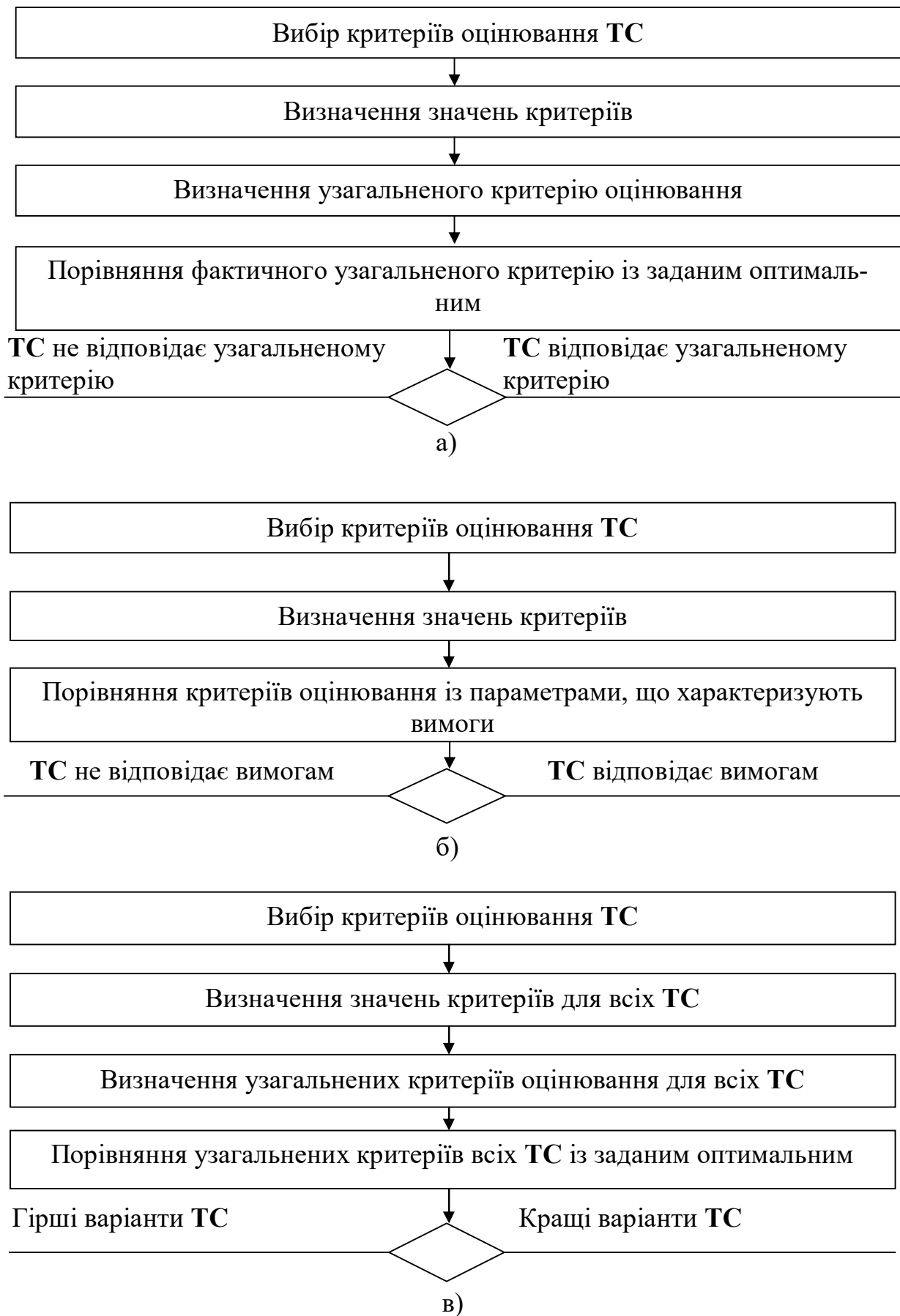


Рисунок 8.1 – Блок-схеми алгоритмів розв’язання задач оцінювання: а – типу I; б – типу II; в – типу III



значати ТС. Однак часто доводиться йти на певне обмеження їх числа, оскільки в іншому випадку ускладнюється аналіз варіантів ТС, збільшується час на його проведення, знижується очевидність переваги того чи іншого варіанта. Обирати слід, в першу чергу, параметри, які можуть бути визначені кількісно. Так, при зіставленні двох токарно-гвинторізних верстатів різних моделей слід обов'язково взяти до уваги такі їх параметри, як потужність електродвигуна, діапазони частот обертання шпинделя та подачі супорта, число ступенів обертання та подач, клас точності, маса, ступінь автоматизації тощо. Крім цього, вибір критеріїв залежить від мети оцінювання, а також стану, в якому знаходиться ТС. Наприклад, на стадіях ескізного проектування і виготовлення дослідного зразка можуть братись до уваги різні множини параметрів одної і тої самої ТС. Можливості для вибору критеріїв в задачах оцінювання першого і третього типу (див. рисунок 8.1) більш широкі, ніж в задачах другого типу, в яких вони визначаються вимогами, що висуваються до ТС [1, 2].

### **Визначення узагальненого критерію оцінювання**

В цілому узагальнений критерій оцінювання (цінність) ТС визначається ефективністю виконання нею заданої зовнішньої функції. Залежно від умов задачі розрізняють декілька видів узагальнених критеріїв [1, 2].

*Технічний критерій* є інтегральним комплексним параметром, що об'єднує функціональні, конструктивні, технологічні, експлуатаційні, частково ергономічні параметри, параметри зберігання та транспортування.

*Економічний критерій* об'єднує у собі основні економічні параметри, а також параметри постачання та планування.

*Критерій споживача* включає функціональні, експлуатаційні, ергономічні, економічні і естетичні параметри, а також якість виготовлення.

Три наведені критерії можуть бути об'єднані у *сукупному узагальненому критерії*.

Перелічені критерії є абсолютними. Якщо вони визначені для так званої «ідеальної» ТС, яка має максимальну можливу загальну ефективність при виконанні заданої функції, то інші ТС аналогічного призначення можна порівнювати з ідеальною шляхом визначення відношення їх критеріїв до відповідних критеріїв ідеальної.

Хоча й більшість критеріїв ТС може бути оцінена кількісно, все ж таки виникають труднощі, пов'язані із тим, що вони виражаються в різних одиницях. Тому для переходу до узагальненого критерію можна скористатись бальним оцінюванням параметрів.

Узагальнений критерій визначається шляхом обчисленням середнього арифметичного, середнього геометричного або векторної суми (радіуса – вектора), складовими якої є окремі критерії ТС. Можливо також використання методу визначення площі багатокутника або об'єму багатогранника.

## Контрольні запитання

1. Які є способи оцінювання технічних систем? Як реалізується кожен зі способів?
2. Які відомі типи задач оцінювання технічних систем, чим вони відрізняються один від одного?
3. В якій послідовності розв'язуються типові задачі оцінювання технічних систем?
4. З врахуванням яких міркувань вибираються критерії оцінювання технічних систем?
5. Які є види узагальнених критеріїв оцінювання технічних систем, які параметри включає в собі кожен з критеріїв?
6. Як визначаються узагальнені критерії та сукупний узагальнений критерій?

## 9 ПОДАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Способи і методика подання ТС детально вивчаються в теорії конструювання. Отримані в результаті використання того чи іншого способу подання моделі самі по собі є системами типу «об'єкт».

Вище вже розглядалися **ФС**, **ПС** та **КС** – типові моделі **ТО**. Окрім них відомо ще багато способів подання, вибір яких залежить від самої ТС, стану, в якому вона знаходиться, а також від мети подання (повідомлення, дослідження, проектний розрахунок, порівняння і т. д.) – (рисунок 9.1) [1, 2].



Рисунок 9.1 – Способи подання зовнішнього вигляду автомобіля: а – проєкції; б – 3Д – контурна модель; в – макет; г – діючий макет

Оскільки створення та вивчення моделей займає багато часу, раціоналізації способів подання приділяється багато уваги.

Останнім часом з появою та удосконаленням комп'ютерів у сфері моделювання ТС відбулись помітні зміни, але й виникли нові проблеми [1, 2, 7].

Вище вже відмічалось (див., наприклад, рисунок 5.3), що інформативність під час моделювання ТС в значній мірі залежить від рівня її складності та ступеня повноти подання. Тут ми знов повертаємось до функціональних, принципівих і конструктивних елементів, на підставі яких і розробляються відповідні моделі. Наприклад, складові конструктивні елементи, які являють собою ТС нижчого рівня складності, можуть мати різні форми і габарити. На традиційних графічних способах їх подання ми зупинятись не будемо – вони детально вивчаються в курсі дисципліни «Деталі машин» та інших. Слід лише акцентувати увагу на сучасних методах САПР для проектування конструктивних елементів, при реалізації яких широко застосовується комп'ютерна техніка. Тут знов необхідно згадати про системний підхід, оскільки з геометричної точки тіло будь-якої конфігурації можна розглядати як систему точок, ліній, поверхонь або елементарних форм. З врахуванням цього, можливі такі моделі [1, 2, 9]:

а) *площинна (лінійна) модель*, яка описує конструктивний елемент за допомогою точок та ліній згідно із вимогами ЄСКД. За відсутності на кресленні необхідного числа проєкцій, видів та розрізів вона не дозволяє задовільно передати форму та ряд розмірів конструктивного елемента, оскільки не забезпечує просторового ефекту і допускає неоднозначності;

б) *просторова (об'ємна) модель* – упорядкована сукупність точок, ліній, поверхонь і елементарних тіл, яка в натуральну величину або в масштабі із задовільною точністю відтворює конфігурацію конструктивного елемента.

Останнім часом, зі все більш широким використанням комп'ютерів отримало розповсюдження графічне проектування елементів шляхом комбінування у просторі та об'єднання елементарних тіл (рисунок 9.2) [1, 2, 5].

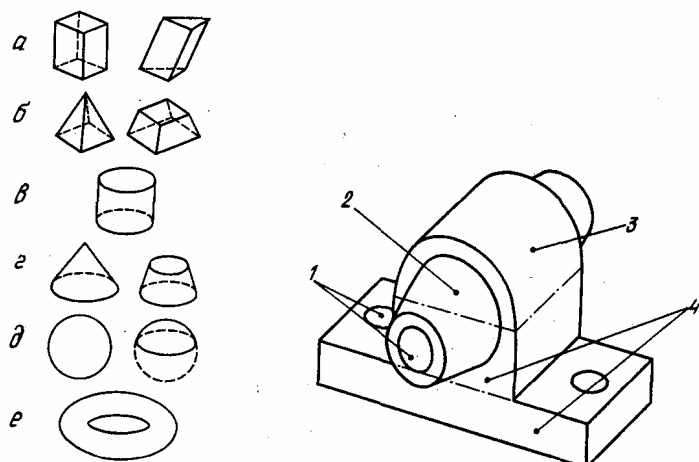


Рисунок 9.2 – Приклад синтезу конструктивного елемента з елементарних тіл: а – прямокутна і похила призми; б – піраміда і зрізана піраміда; в – циліндр; г – конус і зрізаний конус; д – куля і кульовий сегмент; е – тор; 1 – отвори (циліндри); 2 – зрізаний конус; 3 – півциліндр; 4 – призми

### Контрольні запитання

1. Які є способи подання технічних процесів, в яких випадках використовується кожен зі способів, які він має переваги та недоліки?

2. Назвіть основні типи моделей технічних об'єктів, чим вони відрізняються один від одного?

3. Як останнім часом удосконалюються способи подання технічних систем та процес їх розробки?

4. Які є типи графічних моделей технічних систем?

## 10 ЕТАПИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Наскільки складна сама ТС, настільки ж складним є процес її створення та використання. Конструктор повинен брати участь при реалізації всіх етапів «циклу життя» ТС, принаймні як консультант.

Весь «цикл життя» ТС поділяється на чотири основні етапи: створення, переміщення, використання за призначенням та ліквідації. Кожен з вказаних етапів містить складові стадії та операції. Нижче будуть розглянуті їх послідовність та зміст.

При більш детальному обговоренні етапів та стадій ми будемо враховувати рівень складності (див. таблицю 6.1) і кількість виготовлюваних одиниць ТС (серійність випуску). У зв'язку із цим необхідно одразу розділити всі ТС на три категорії, а саме [1]:

1. ТС перших трьох рівнів складності серійного виробництва;
2. ТС перших трьох рівнів складності одиничного виробництва;
3. ТС четвертого рівня складності.

Слід спочатку дати загальну характеристику стадій та операцій, а також установити зв'язки між ними. Більш повне визначення змісту складових елементів «циклу життя» і включення їх до загальної структури на початковій стадії створення ТС досить утруднене і недоцільне.

На стадії підготовки до розробки установлюється принципова можливість та доцільність створення ТС, формується ТЗ для початку процесу проектування. Зміст стадії підготовки значною мірою залежить від функції та складності ТС, а також від вимог, що висуваються до неї.

Найбільш важлива частина процесу підготовки – попередні дослідження. Метою їх є попередня розробка варіантів ТС, оцінювання можливості реалізації, а також збільшений аналіз ефективності кожного з них. Під час досліджень перевіряється виконання ТС заданої функції (наприклад, для металорізального верстата – функція обробки заготовки, для автомобіля – функція транспортування), попередньо визначаються найважливіші параметри (енергоємність, матеріалоємність, займана площа, термін служби), а інколи й узагальнений критерій оцінювання [1, 2, 10].

При проведенні попередніх досліджень застосовуються результати фундаментальних досліджень та практичний досвід експлуатації ТС аналогічного призначення. Важливим елементом досліджень є експеримент. При реалізації даної стадії інколи організується дослідне виробництво варіантів ТС [1, 2, 5].

Результатом підготовчого процесу є постановка задачі, тобто укладання переліку вимог до ТС.

Стадія проектування охоплює всі операції конструкторських робіт, починаючи від розробки попередніх ескізів і до виконання робочих креслень елементів ТС та відпрацювання технічних вимог та умов. Параметри

**ТС**, визначені в результаті виконання стадії проектування слугують вихідними даними для реалізації стадії підготовки виробництва, що включає як технічні, так й організаційні заходи (вибір технології, обладнання, забезпечення матеріально-технічного постачання, планування процесу виробництва в часі, розподілення робіт між виконавцями і т. д.).

На стадії виготовлення матеріали і заготовки піддаються обробці з врахуванням параметрів, визначених на попередніх стадіях і, таким чином, сконструйована **ТС** матеріалізується.

На етапі переміщення змінюється належність **ТС** (від виробника вона переходить до споживача), а також місцеположення **ТС** (місце виробництва – місце використання). Типовими стадіями даного етапу є зберігання на складі, рекламування, пакування, транспортування, монтаж **ТС**.

**ТС** використовується для реалізації необхідних **ПП**, що забезпечують досягнення заданих параметрів об'єкта впливу. Вказане є головною метою всієї діяльності зі створення та використання **ТС**.

В процесі експлуатації **ТС** необхідно тримати у справному стані і модернізувати.

Нарешті, в результаті фізичного або морального зносу в процесі використання, **ТС** перестає відповідати установленим вимогам і ліквідується [1, 2].

## **10.1 Стадії створення та використання технічних систем серійного виробництва**

На рисунку 10.1 подано основні етапи та стадії створення та використання **ТС** серійного виробництва. Перші стадії вже були докладно розглянуті, тому одразу перейдемо до стадії розробки та проектування.

### **Розробка та проектування**

В більшості випадків **ТС** проектується досвідченим інженером - конструктором і його групою. Проект **ТС** повинен включати [1, 2, 9]:

- аналіз варіантів **ФС**, **ПС** і **КС** проектованої **ТС**;
- техніко-економічне обґрунтування обраного варіанта **ТС**;
- проектні та перевірні розрахунки елементів та вузлів **ТС**;
- креслення загального вигляду, складальні креслення, специфікації **ТС** та робочі креслення її деталей, описи до креслень;
- розрахунок економічного ефекту від впровадження **ТС** на виробництві;
- рекомендації щодо модернізації та подальшого удосконалення **ТС**;
- заходи з техніки безпеки та охорони праці під час експлуатації **ТС**.

Виконаний проект повинен бути перевірений і затверджений з врахуванням зауважень спеціальної комісії. Оскільки проект визначає практично всі параметри майбутньої **ТС**, його розробленню, перевірці і оцінюванню слід приділити максимум уваги.



Рисунок 10.1 – Спрощена блок-схема алгоритму виконання етапів та стадій створення та використання ТС серійного виробництва

### **Підготовка дослідного виробництва**

Паралельно із виконанням креслень готується дослідне виробництво. Дослідний зразок повинен бути виготовлений з мінімумом виробничих витрат і з використанням наявного обладнання, оснащення, технологій та інструмента.

### **Виготовлення дослідного зразка**

На стадії виготовлення дослідного зразка необхідно ще раз проаналізувати параметри ТС та дати оцінку її технологічності, а також раціональності конструкції з точки зору зручності та простоти складання. Оскільки конструктор краще, ніж будь-хто знайомий з особливостями конструкції ТС, необхідно, щоб він періодично стежив за ходом процесу виготовлення. Це допоможе вже на даній попередній стадії виявити деякі помилки та прорахунки і внести відповідні корективи у конструкторську документацію [1, 2].

### **Випробовування дослідного зразка**

Результати випробовування є вирішальним фактором при визначенні цінності розробленої ТС. Вони важливі також і з точки зору накопичення досвіду, особливо молодими конструкторами. За результатами випробову-

вань можна порівняти задум ТС із реальністю, набути досвіду, а з ним і впевненість у собі і у своїх силах, навчитись на своїх та чужих помилках.

Програма випробовувань повинна включати перевірку роботоздатності ТС як при нормальних, так і при екстремальних, найбільш важких режимах роботи, в найскладніших граничних умовах експлуатації. Після завершення випробовувань оцінюється функціонування ТС, визначаються найважливіші параметри різних категорій.

Хід та результати випробовувань систематично, повно і послідовно викладаються у звіті, особливо це стосується виявлених недоліків та рекомендацій з удосконалення дослідного зразка. Після випробовувань, за необхідності, слід уточнити інструкції щодо захисту від корозії, пакування, транспортування, монтажу, введення в дію, експлуатації, обслуговування, відкоригувати іншу технічну документацію. На підставі даних, отриманих під час випробовувань та оцінювання дослідного зразка, приймається рішення про серійне виробництво ТС. Звіт за результатами випробовувань, як правило, додатково включає значення ергономічних та естетичних параметрів, параметрів зберігання, транспортування й інших. Дається оцінка відповідності дослідного зразка правовим нормам та інструкціям. Аналіз вказаних параметрів дозволяє із достатньою впевненістю судити про економічну ефективність розробленої ТС [1, 2, 5].

З врахуванням виявлених можливостей збуту робиться висновок про те, чи буде виробництво нового зразка успішним за наявних: технічного рівня підприємства-виготівника та умов ринку. Інколи раціональнішим може виявитись припинення подальшої розробки для уникнення ще більших збитків.

### **Корегування виробничої документації**

Після випробовувань дослідного зразка, на підставі набутого досвіду, з метою удосконалення конструкції та технології виготовлення ТС проводиться корегування конструкторської та технологічної документації для подальшої підготовки його серійного або масового виробництва. Дана робота є досить відповідальною, хоча і малоцікавою. Для того, щоб корегування було максимально ефективним, необхідно проаналізувати всі виявлені в дослідному зразку дефекти, установити їх причини і, за можливості, повністю усунути дефекти шляхом здійснення відповідних удосконалень [1, 2].

### **Підготовка виробництва**

Підготовка серійного виробництва охоплює організацію виробничих ділянок та місць, забезпечення матеріально-технічного постачання, придбання або створення спеціального та спеціалізованого обладнання, інструменту, пристосувань, вирішення питань зберігання, транспортування та збуту продукції, взаємовідносин із суміжниками тощо. Даній стадії слід приділити багато уваги у організаційному відношенні, що особливо суттє-



во для конструкторів допоміжного обладнання, розробка якого, як правило, жорстко обмежена часовими рамками [1, 2, 10].

### **Виготовлення установчої серії**

Виготовлення зразків установчої серії являє собою першу стадію серійного виробництва. По суті це «генеральна репетиція» виробничого процесу. Виготовлення установчої серії здійснюється, головним чином, для того, щоб ще раз оцінити параметри розробленої ТС та перевірити в роботі обладнання для її серійного або масового виробництва.

### **Остаточне корегування виробничої документації**

В процесі корегування, як правило, розв'язується задача раціоналізації серійного або масового виробництва з метою його спрощення та здешевлення, а також підвищення продуктивності праці. Вказано особливо важливе для операцій монтажу та складання, що виконуються в основному вручну. Конструктору повинні бути добре знайомі технологічні процеси складання, а також пристрої та заходи їх механізації та автоматизації. Обов'язковим є також знання стану та технологічних можливостей виробництва [1, 2, 9].

Подальші стадії серійного виробництва, а також етапи переміщення та ліквідації ТС вже були достатньо розглянуті. Слід додати, що лише постійний контроль конструктора за виконанням всіх етапів створення та використання ТС дозволить реалізувати всі можливості, закладені в її конструкцію.

## **10.2 Стадії створення та використання технічних систем одиничного виробництва**

ТС одиничного виробництва часто є великогабаритними або мають унікальні параметри (важке обладнання, глибоководні апарати, автомобілі на замовлення, космічні апарати тощо – рисунок 10.2). Створення подібних ТС висуває підвищені вимоги до конструктора та організації проектних робіт. ФС, ПС і КС майбутньої ТС повинні бути максимально раціональними, а сама ТС, виконана згідно із розробленими моделями, – роботоздатною. Якщо задані параметри ТС не вдається забезпечити одразу, удосконалення повинні бути незначними і не потребувати зміни структур ТС.

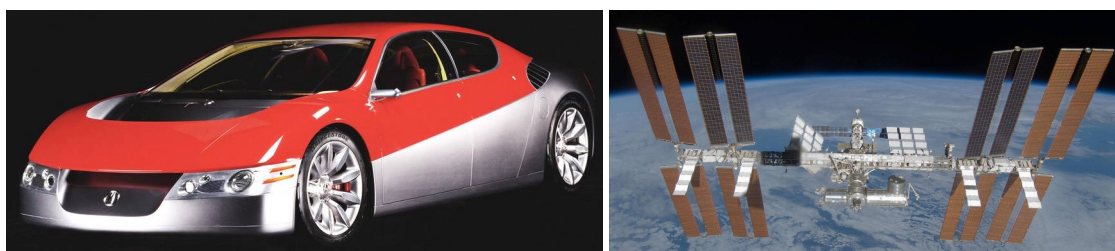


Рисунок 10.2 – Приклади ТС одиничного виробництва

Часто випробовування таких ТС проводиться на місці монтажу у споживача, а у виготовлювача перевіряється функціонування лише окремих підсистем [1, 2].

Особливий клас утворюють ТС, що повинні відповідати спеціальним вимогам замовника. Не дивлячись на певні складності, пов'язані із незначними змінами у конструкції та виробничому процесі, більшість функціональних та інших параметрів доопрацьованих або модернізованих ТС, як правило, залишаються незмінними [1, 5].

Створення ТС одиничного виробництва, у загальному випадку, включає такі стадії: ескізне проектування (розробка принципів та варіантів конструкції або зовнішнього вигляду ТС), технічне проектування (техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки обраного варіанта, виконання для нього проектних розрахунків та конструкторської документації), підготовка виробництва, виробництво, монтаж та налагодження [1, 2, 9].

Під час розробки ТС конструктор повинен співпрацювати із адміністрацією підприємства, економістами та технологами з метою мінімізації виробничих та інших витрат, які у випадку прийняття нераціональних рішень можуть виявитись неприйнятними.

Для забезпечення надійності функціонування необхідно, за можливості, перевірити роботу та ефективність всіх нових та технічно важливих підсистем та елементів ТС. Вся виробнича документація ТС, яка готується за спеціальним замовленням, повинна бути ретельно перевірена та приведена у відповідність із вимогами споживача.

Випробовування ТС здійснюється при узгоджених із замовником умовах і режимах. Хід і досвід розробки, виявлені дефекти, заходи з їх усунення і пропозиції щодо поліпшення характеристик ТС повинні бути відображені у документації з метою використання при повторному виробництві [1, 2, 10].

Під час експлуатації ТС її основні параметри періодично контролюються. При цьому конструктор протягом установленого часу повинен стежити за роботою розробленої ним ТС, оскільки він як ніхто інший знає її переваги та недоліки і зможе надати необхідні максимально повні рекомендації. В процесі експлуатації виявляються і приховані дефекти, такі як передчасний знос окремих елементів. Контакт конструктора та споживача дуже важливий для обох з точки зору набуття необхідного досвіду. Кваліфіковане обслуговування ТС має особливе значення для досягнення максимального економічного ефекту.

Рекомендується для кожної ТС, що постачається, вести відомість обліку дефектів та удосконалень протягом всього періоду її використання. Слід відмітити, що вкрай небажано форсувати створення ТС за рахунок скорочення часу або повного виключення окремих стадій, звичайно це веде лише до уповільнення та дорожчання розробки. Сказане не відноситься до раціональної організації робіт, яка включає запозичення досвіду і паралельне проведення деяких операцій [1, 2, 5].

### 10.3 Стадії створення та використання технічних систем четвертого рівня складності

Особливий випадок порівняно із ТС, розглянутими в двох попередніх розділах, становить, наприклад, створення потокової лінії, цеху або виробничого комплексу – рисунок 10.3. Розробником таких ТС є інженер - проектувальник, при цьому абстрактною моделлю ТС служить проект, виконаний згідно із вимогами замовника. ТС четвертого рівня складності мають в своєму складі готові елементи (ТС нижчих рівнів складності), що, як правило, купуються готовими або виготовляються на замовлення. При цьому процес проектування має свої особливості. Звичайно головною задачею проектувальника є укладання ФС, визначення просторового розташування складових елементів ТС та впливів між ними. Підсистеми, що входять до складу загальної ТС, можуть відноситись до різних галузей промисловості – машинобудівної, електронної, хіміко-технологічної і інших. У зв'язку із цим, інженер-проектувальник повинен працювати у тісному контакті із фахівцями відповідних галузей. Сумісна робота різних фахівців в проектних організаціях ретельно регламентується згідно із відповідними нормами та положеннями [1, 2, 10].

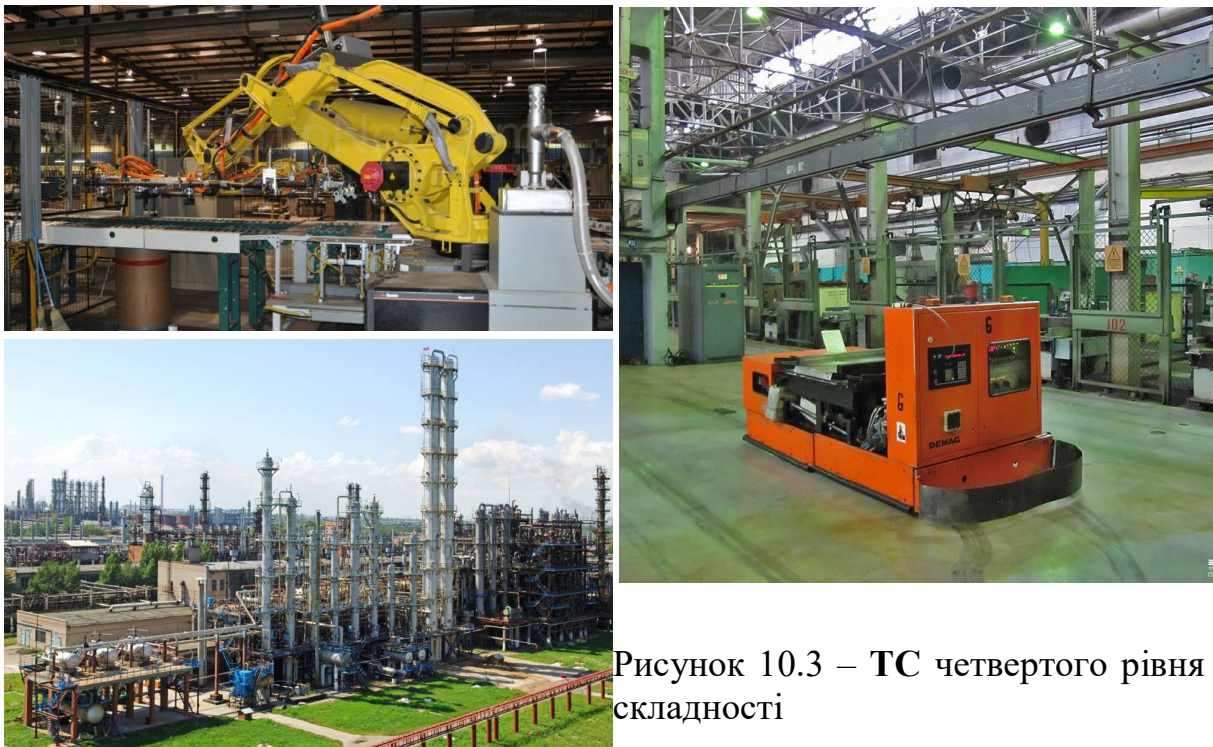


Рисунок 10.3 – ТС четвертого рівня складності

Проектні роботи зі створення ТС четвертого рівня складності повинні проводитись, як мінімум, в дві фази (попереднього проектування та доопрацювання проекту) і періодично контролюватись. Інколи двох фаз недостатньо, оскільки попередні варіанти ФС, ПС і КС проекту можуть розвиватись та деталізуватись. Так, проект виробничого цеху звичайно включає розділи із проектами будівлі, машинного обладнання, електрообладнання, систем зв'язку, водо- і тепlopостачання, каналізації тощо.

Як основні етапи створення і використання ТС четвертого ступеня складності можна назвати: проектування, будівельно-монтажні роботи, пускалагоджувальні роботи, експлуатація [1, 2].

### **Проектування**

Етап проектування звичайно розбивається на декілька стадій.

1. *Передпроектні розробки і техніко-економічне обґрунтування*, під час яких конкретизується постановка задачі, висувуються проектні ідеї, виконуються пояснювальні схеми до них, приймається рішення про реалізацію або відмову від реалізації ТС.

2. Виконання *технічного проекту*, який включає: пояснювальну записку із багатоваріантним аналізом, обґрунтуваннями, описами і розрахунками; **ФС**, **ПС** та **КС** найбільш важливих та нових елементів ТС; специфікацію основного обладнання.

3. Підготовка *робочої документації*, в тому числі конструкторської та технологічної для окремих елементів і ТС в цілому [1, 2, 10].

### **Будівельно-монтажні роботи**

Під час виконання даного етапу на підставі проектної документації, а також діючих норм та правил ведеться постачання обладнання, будівництво приміщень і монтаж машин.

### **Пускалагоджувальні роботи**

На даному етапі, як при і випробовуванні систем перших трьох рівнів складності, повинні бути досягнуті задані параметри ТС.

### **Експлуатація**

Після завершення стадії припрацювання ТС переводиться в режим нормальної експлуатації [1, 2].

## **10.4 Часова послідовність стадій створення та використання технічних систем**

До сих пір стадії та операції етапів створення та використання ТС розглядалися з точки зору їх змісту та взаємозв'язків. В даному розділі аналізується їх часова послідовність з метою виявлення тих факторів, які впливають на тривалість процесів створення та використання ТС. Розпочавши займатись цією задачею, ми одразу знайдемо суттєве протиріччя. Як замовник, так і виготовлювач ТС прагнуть до зменшення часу її створення, оскільки при цьому зменшується вартість розробки та підвищуються показники ефективності підприємства. З іншої сторони, замовник зацікавлений у високій якості виробу, забезпечення якої потребує збільшення витрат часу та коштів (відповідна залежність показана на рисунку 7.13). Аналогічна

ситуація характерна також для процесу підготовки виробництва і самого виробництва [1, 2].

При порівнянні процесів створення ТС серійного (див. рисунок 10.1) і одиничного (рисунок 10.4) виробництва можна відмітити, що в останньому випадку ряд стадій відсутній. Однак процес одиничного виробництва більш тривалий, оскільки деякі стадії не мають стандартизованого забезпечення. Значну частку часу створення таких ТС займають монтаж та пуско-налагоджувальні роботи як найбільш трудомісткі і відповідальні.

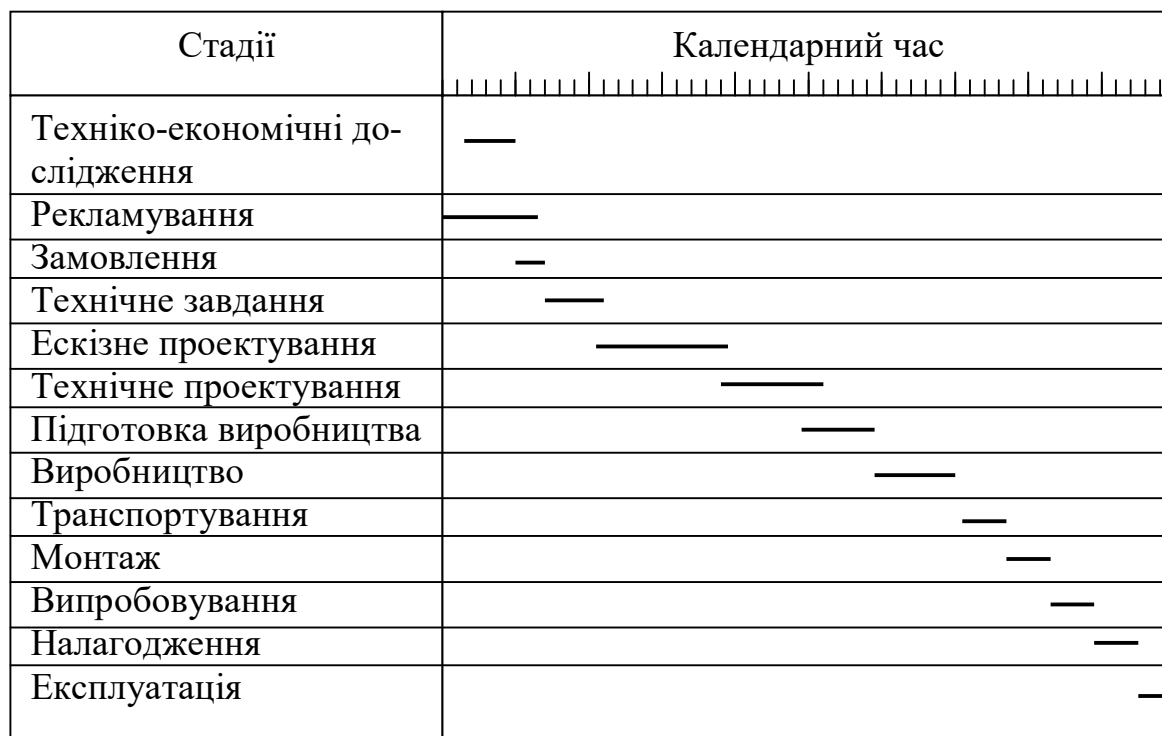


Рисунок 10.4 – Спрощений план-графік стадій створення та використання ТС одиничного виробництва

Зрозуміло, що внаслідок залежності часу початку кожної наступної операції від часу закінчення попередньої збільшується тривалість етапів в цілому. Бажане скорочення часу стадій може бути досягнуте, з одного боку, прискоренням їх виконання, а з іншого – шляхом їх паралельного проведення, тобто суміщенням у часі [1, 2, 5].

Досягти зменшення витрат часу можливо, в першу чергу, для найбільш тривалих стадій, наприклад, під час проектування, підготовки до виробництва, здійснення виробництва. Найбільша економія забезпечується при скороченні однієї зі стадій в цілому (наприклад, у випадку придбання ліцензії, завдяки чому непотрібним стає проектування, або внаслідок закупівлі готових елементів і скорочення, таким чином, стадій підготовки їх виробництва і власне виробництва, а також скорочення стадії проектування). Тривалість проектування залежить, окрім іншого, від обсягу робіт, а також від кваліфікації конструкторів (див. рисунки 7.12, 7.13). Вплив інших факторів на час проектування в загальних рисах вже розглядався [1, 2, 14].

Аналогічні фактори впливають на і тривалість стадії виробництва. При певних технічному рівні підприємства і використовуваній технології фактична тривалість виробничого процесу буде дорівнювати сумі оптимальних витрат часу на виконання операцій за винятком часу, протягом якого одна або декілька операцій виконуються паралельно. Організація виробництва таким чином називається *оптимізацією у часі* (рисунок 10.5). Дійсна тривалість виготовлення ТС звичайно виявляється більшою, ніж розрахункова, внаслідок непередбачених затримок і збоїв при виконанні операцій. Організація процесів виробництва здійснюється на підставі графіків мережного планування. Суміщення операцій в часі можливо лише у випадках, коли це допускають впливи між ними. Паралельні роботи часто виконуються за відсутності всієї необхідної інформації. Останнє може мати негативні наслідки, наприклад, у випадках, коли рішення приймається на підставі ще недосягнутих параметрів і тому часто є неоптимальним [1, 2, 10].

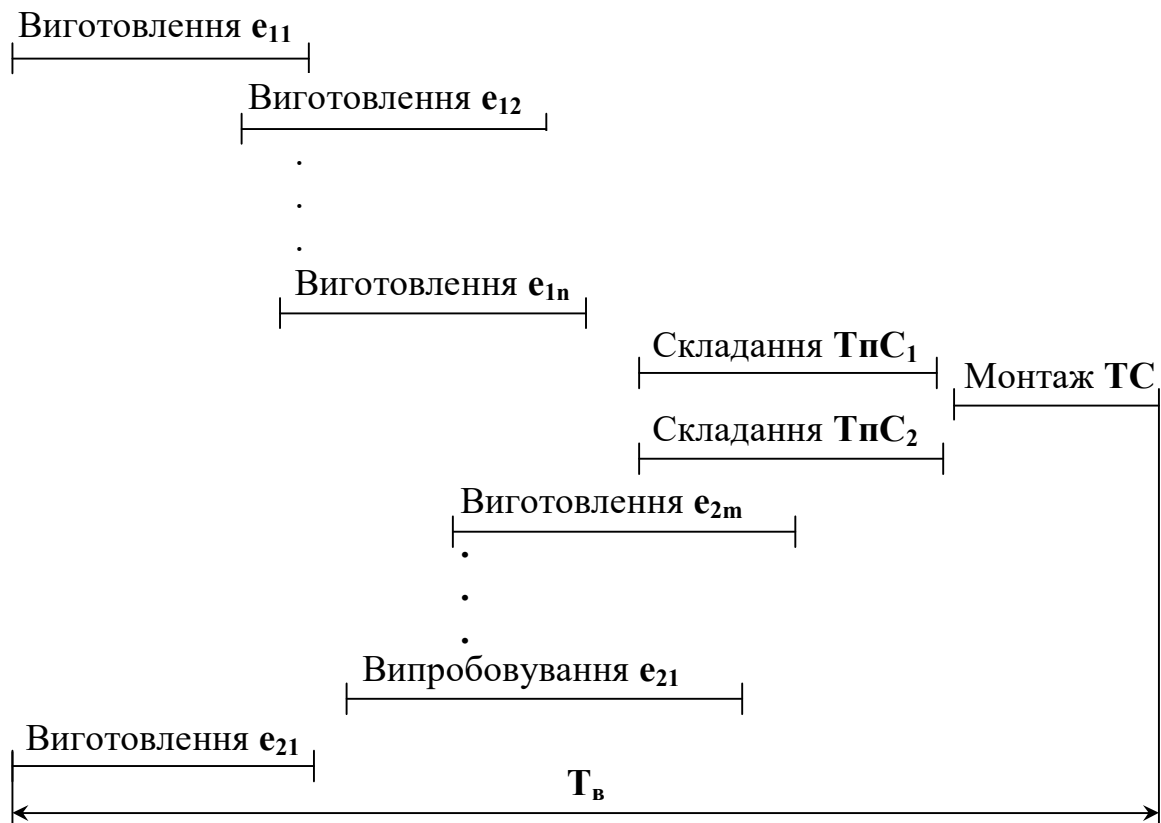


Рисунок 10.5 – Схема обчислення фактичної тривалості виробничого процесу ( $T_v$ ) виготовлення ТС при певній технології

Тривалість експлуатації ТС залежить від інтенсивності її фізичного та морального старіння, а також від динаміки удосконалення та розвитку ТС аналогічного призначення, тобто від темпів технічного прогресу. Тому, не дивлячись на природне бажання споживача використовувати ТС протягом якомога довшого періоду, потреба у більш ефективному зразку є сильнішою [1, 2].

## 10.5 Розподілення стадій і операцій між виконавцями

Описані стадії і операції етапів створення і використання ТС необхідно ретельно контролювати і координувати. На підприємстві вони розподіляються між окремими відділами та виконавцями. Для успішної реалізації виробничого процесу бажано, щоб кожен з виконавців ніс повну відповідальність за виконання дорученої йому стадії або операції. Приклад того, як роботи можуть бути розподілені між різними підрозділами проектно-конструкторської організації наведено в таблиці 10.1 [1, 2].

Таблиця 10.1 – Розподілення робіт зі створення та використання ТС між підрозділами проектно-конструкторської організації

Стадії і операції	Підрозділи організації										
	План.-фі-нанс. відд.	Дослідницький відділ	Відділ гол. конструктор.	Відділ гол. технолога	Відд. менеджменту	Цех дослід. виробництва	Цех випробовув.	Основ. цехи	Відд. матер.-тех. постач.	Цех оснащення	Керівництво
Отриман. ТЗ	+										×
Техн. досл.	×	+									
Економ. досл	×				+						
Рішення про розробку	×	×			×				×		+
Створення ФС, ПС, КС		×	×								
Проектуван.			+								
Підгот. досл. виробництва				×							
Вигот. досл. зразка			×			+					
Випробовув. досл. зразка		×	×			×	+				
Рішення про сер. виробн.	×		×		×		×	×	×		+
Корегув. виробн. докум.			+								
Підготовка сер. виробн.			×	×					×	×	
Вигот. установчої серії	+							+			
Випроб. уст-ановч. сер.			×				+				

## 10.6 Контрольні запитання

1. Які основні етапи та стадії містить «цикл життя» технічних систем перших трьох рівнів складності серійного виробництва?
2. В якій послідовності здійснюється розробка технічних систем перших трьох рівнів складності серійного виробництва?
3. Які основні частини повинен містити проект технічних систем перших трьох рівнів складності серійного виробництва?
4. Як здійснюється виготовлення дослідного зразка та випробовування технічних систем серійного виробництва?
5. Як здійснюється підготовка серійного виробництва технічних систем та остаточне корегування документації, необхідної для їх виготовлення?
6. Назвіть етапи і стадії створення та використання технічних систем перших трьох рівнів складності одиничного виробництва.
7. Що собою являють технічні системи четвертого рівня складності і як організовується їх проектування?
8. Які етапи та стадії містить «цикл життя» технічних систем четвертого рівня складності?
9. Як розробляється часова послідовність етапів та стадій створення й використання технічних систем, як здійснюється оптимізація в часі цих стадій та операцій?
10. Які є способи прискорення реалізації етапів та стадій створення і використання технічних систем, в яких випадках вони використовуються?
11. Якими є основні підрозділи на машинобудівних підприємствах, як між ними розподіляються роботи зі створення технічних систем?



# 11 ЕВОЛЮЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

## 11.1 Закономірності еволюції технічних систем

### Підвищення технічного рівня технічних систем в часі

Порівнюючи між собою ТС аналогічного призначення, але створені в різний час, легко установити основні тенденції змін. Характерним прикладом є легковий автомобіль, еволюція зміни зовнішнього вигляду якого подана на рисунку 11.1.

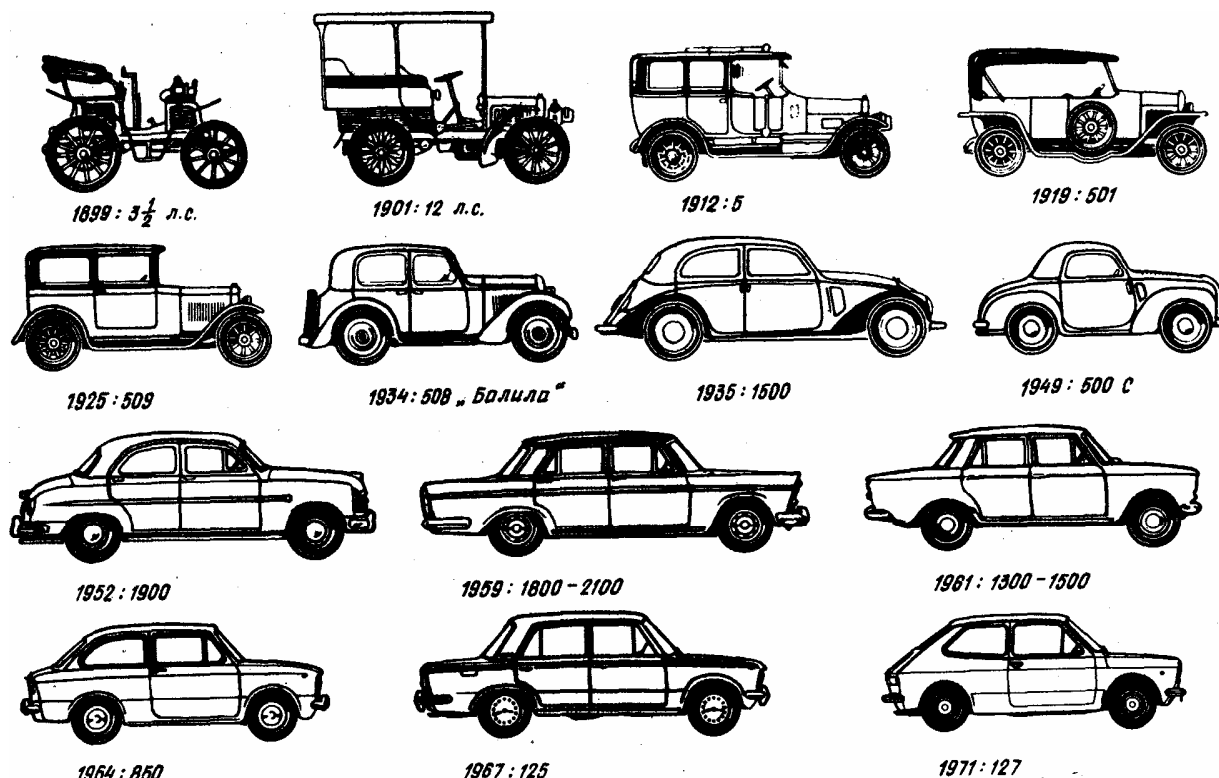


Рисунок 11.1 – Еволюція розвитку автомобілів «Фіат»

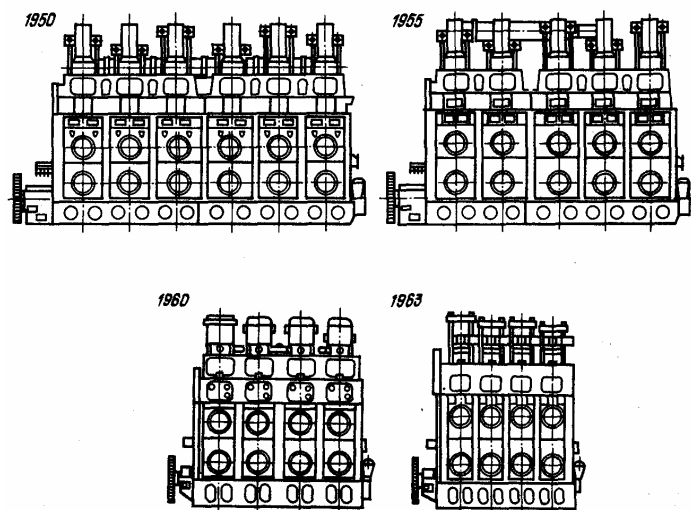


Рисунок 11.2 – Еволюція розвитку дизельних двигунів

Видно, що форми машин і основні конструктивні елементи їх корпусу змінювались для забезпечення більш високої обтічності та зручності експлуатації. В той же час еволюція дизельного двигуна (рисунок 11.2) характеризується більшою мірою зменшенням габаритів, маси і ціни (таблиця 11.1) [1, 2].

Хоча автомобіль залишився автомобілем, а дизель – дизелем, разом із тим, у зв'язку

із підвищенням технічного рівня і зростанням потреб, змінився ряд їх параметрів. Для автомобілів, окрім форми та естетичних параметрів це: швидкість, потужність, надійність, маса тощо.

Таблиця 11.1 – Зміна в часі основних параметрів дизельних двигунів

Рік випуску	1950	1955	1960	1963
Потужність, к.с.	6800	7000	6640	7200
Довжина, м	17,48	15,8	10,18	8,5
Маса, т	404	395	260	240
Ціна, грн/к.с.	430	320,2	220,9	180,7

Все це дозволяє ввести поняття «технічний рівень» ТС для певного інтервалу часу їх існування та удосконалення. Під *технічним рівнем* розуміється множина технічних параметрів, що визначають сукупну цінність (ефективність) технічної системи [1, 2].

На рисунку 11.3 показано діаграми зміни робочого тиску у виробничих і експериментальних технологічних та енергетичних установках за 150 років. З метою підвищення тиску в установках, із їх розвитком, застосовувались все нові способи і принципи [1, 2].

Аналогічним чином, залежно від підвищення максимальної швидкості руху, можна проаналізувати динаміку розвитку різних типів транспортних засобів – автомобілів, літаків з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) та з турбореактивними двигунами (рисунок 11.4).

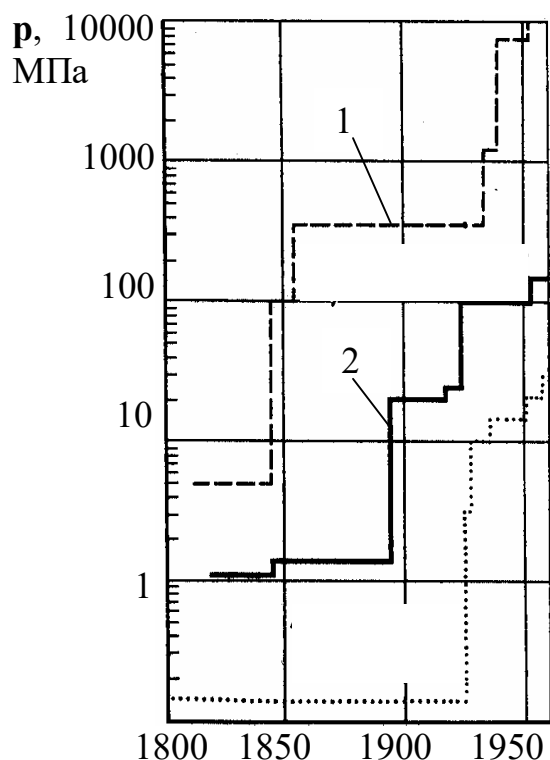


Рисунок 11.3 – Зміна тиску в дослідних (1) та промислових (2) установках в процесі їх еволюції

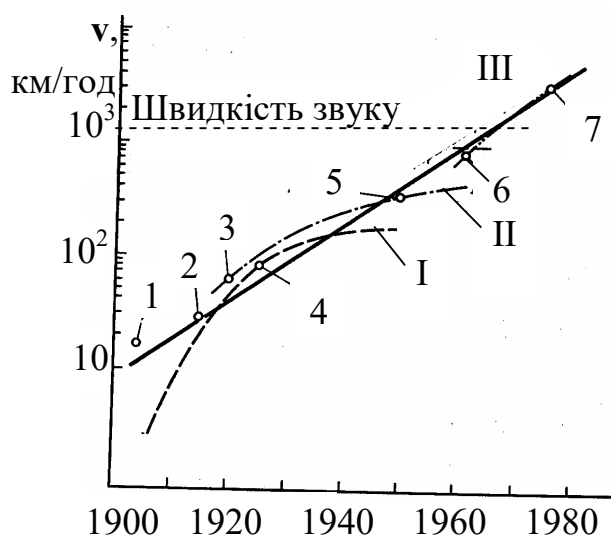


Рисунок 11.4 – Підвищення швидкостей транспортних засобів в процесі їх технічного розвитку: I – автомобілі; II – літаки з поршневіми двигунами; III – реактивні літаки; 1 – пароплави; 2 – перші аероплани; 3 – «Скаут»; 4 – «Фіат-510»; 5 – «Кондор»; 6 – «Каравелла»; 7 – «Конкорд» (2335 км/год.)

Кожен тип засобів характеризується кривою, яка асимптотично наближається до певного граничного значення. Дана межа обумовлена або законом природи (наприклад, для літаків із ДВЗ), або певною областю застосування (для водного транспорту). Особливим випадком є обмеження, що накладаються НС, наприклад, характеристики дороги або планування вулиць для автомобіля. Часто ряд ТС одного технічного рівня називають *поколінням*. Так говорять, наприклад, про множину комп'ютерів з приблизно аналогічними технічними параметрами [1, 2].

### Еволюція попиту на технічні системи

Важливим параметром, який також досить помітно змінюється з часом, є попит на ТС. Для простоти аналізу будемо вважати, що обсяги виробництва ТС завжди відповідають попиту на неї. Дійсне збільшення та зменшення попиту на ТС упродовж часу показано на рисунку 11.5, а. Можливо застосування і спрощеної більш плавної залежності (рисунок 11.5, б). Попит на ТС, навіть і після появи нових більш досконалих зразків, не завжди спадає до нуля, про що свідчить остання ділянка кривих. Морально застарілі ТС інколи продовжують застосовуватись у подальшому, хоча і в менших масштабах. Так, наприклад, спеціалізовані сільськогосподарські машини не витісняють повністю трактори і комбайни.

Незначні коливання попиту (див. рисунок 11.5, а) обумовлюються різними політичними, економічними або соціальними причинами. Вони можуть бути і більш помітними (рисунок 11.6) [1, 2].

Якщо проаналізувати криві попиту на ТС різних поколінь, то можна установити, що їх період з часом скорочується, що пояснюється інтенсифікацією технічного прогресу.

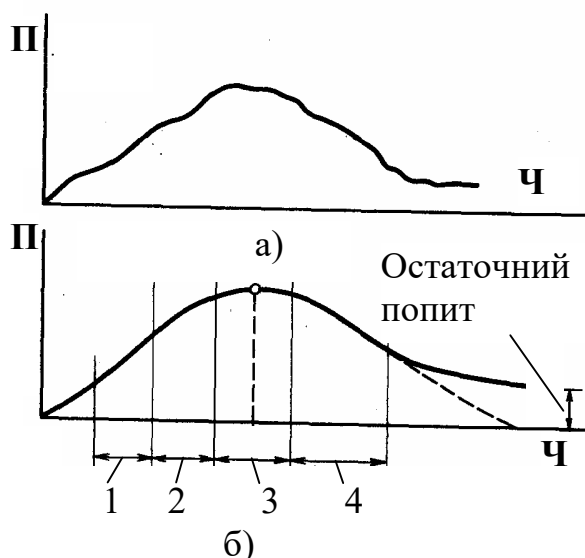


Рисунок 11.5 – Залежності попиту (П) на ТС від часу (Ч): а – реальна; б – ідеальна; 1 – інтенсивне зростання; 2 – уповільнення; 3 – насичення; 4 – спад

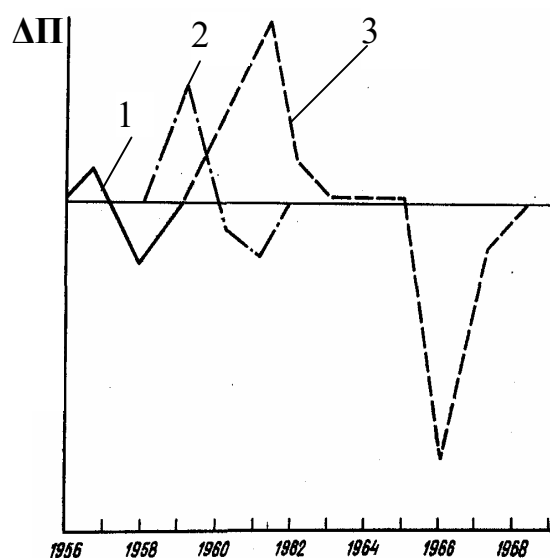


Рисунок 11.6 – Приклад залежностей зміни попиту  $\Delta П$  для трьох моделей автомобілів „Фіат”, що випускались послідовно: 1 – Фіат-1500; 2 – Фіат-1800; 3 – Фіат-2100

Зменшується тривалість використання виробів, що сприяє прискоренню випуску нових ТС та більш динамічному зростанню попиту на них. Звідси випливає необхідність зменшення всіма способами витрат часу на розробку нових ТС. Так, до речі, і було завжди: тривалість періоду створення (від появи ідеї до випуску серійного зразка ТС) для фотоапарата складала 112 років (1727 – 1839 рр.), для радіо – 35 років (1867 – 1902 рр.), для радіолокатора – 15 років (1925 – 1940 рр.), для телевізора – 12 років (1922 – 1934 рр.), для ядерної бомби – 6 років (1939 – 1945 рр.), для транзистора – 5 років (1948 – 1953 рр.). Подібне зниження тривалості періоду створення ТС, обумовлене технічним прогресом, можна передбачити і використовувати у прогнозах.

Інша важлива ознака залежностей зміни попиту, а саме його локалізація на все меншому за тривалістю проміжку часу (див. рисунок 11.6), пов'язана із динамізмом сучасної сфери споживання [1, 2, 3].

### **Фактори еволюційного процесу**

Для поліпшення параметрів існуючих і створення нових ТС з метою задоволення зростаючих потреб людей витрачаються час і кошти. Із розвитком цивілізації дані потреби змінюються. Якщо раніше людей цікавили проблеми підтримання життя, то сьогодні їх потреби часто набагато перевищують життєво необхідні.

Як відомо, при створенні ТС разом із новими матеріалами, інструментами, обладнанням та технологіями, застосовується накопичений у минулому досвід. З розвитком науки і техніки формуються теоретичні основи загально-інженерних та спеціальних дисциплін, що використовуються також і на практиці. Відмічені можливості реалізуються повністю лише при сприятливій економічній ситуації. Крім того, необхідна мотивація для спонукання суспільства до розв'язання тієї чи іншої технічної проблеми. Дана мотивація може впливати з об'єктивних потреб суспільства, зі сфери економіки (прагнення до збільшення прибутку) або з розвитку науки (наприклад, прагнення отримання практичного ефекту від нової теорії). При дослідженні мотивації не слід забувати, що суспільство, наука, техніка і економіка розвиваються взаємозалежно. Комплекс вказаних зв'язків в схематичній формі поданий на рисунку 11.7 [1, 2].

На еволюцію ТС впливають і такі фактори, як формування потреб і наявність сировини. Чи є в країні власні запаси нафти, газу, вугілля, нікелю, титану, урану? В умовах економічного співробітництва різних країн подібні питання відходять на другий план.

Важливу роль також відіграє прийнятний ступінь ризику. Статистичні дослідження показують, що, наприклад, в США зі 100 виконаних розробок реалізується тільки 10, з яких лише 3 виконані на достатньому сучасному рівні і завершуються серійним виробництвом [1, 2].

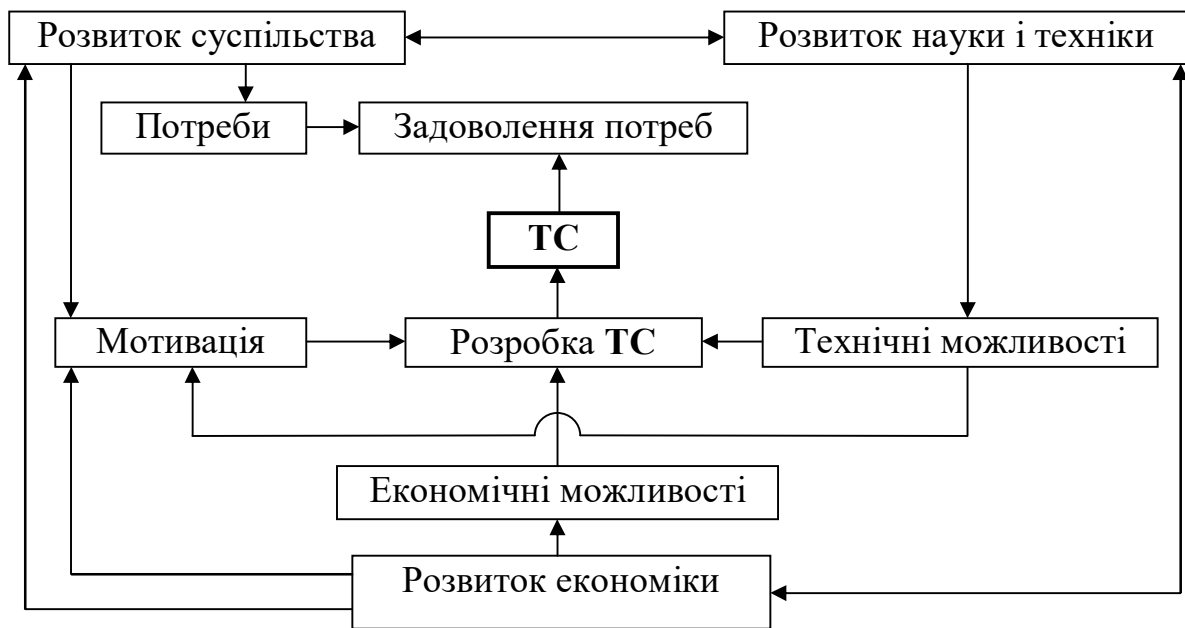


Рисунок 11.7 – Впливи в макросистемі суспільство – економіка – наука і техніка

### Організація і обсяг науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт

Одночасно зі зростаючими вимогами до ТС – збільшенням їх числа і складності – повинен відповідно зростати і обсяг науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР). Посередньо він характеризується кількістю фахівців, зайнятих дослідженнями та розробками. В наш час у даній сфері людської діяльності зайняті понад 7,1 млн. чоловік (2007 р.), що складає понад 0,1% усього населення Землі. Однак в розвинених країнах вказаний відсоток вищий (в США – приблизно 0,48% (2007 р.)) [1, 2].

Іншим показником, що характеризує обсяг НДДКР, є витрати на них матеріальних коштів. У розвинених країнах дані витрати постійно нарощуються і в наш час сягають 2 – 3% бюджету. Важливе також і співвідношення між окремими витратами. Так, частка витрат на фундаментальні дослідження складає 10% загальної суми коштів, що виділяються на НДДКР. Виникає питання: яким чином покривати вказані витрати? Зростаючі вартість розробок та ризик невдачі обмежують можливість виконання НДДКР без підтримки держави. Вища школа, наприклад в ФРН, фінансується як державою, так і за рахунок прямих замовлень промисловості. У зв'язку із цим все більше ВУЗів займається проведенням НДДКР [1, 2, 9].

За рахунок державного фінансування забезпечується також і робота інформаційних центрів та бібліотек, які надають необхідну інформацію зацікавленим особам та організаціям.

Потреба у значних витратах та недостатня кількість висококваліфікованого персоналу змушують підвищувати ефективність НДДКР. З цією метою необхідно всілякими способами нарощувати співробітництво в галузі науки і техніки, в тому числі і міжнародне, оскільки жодна з держав самотужки не в змозі проводити значні за обсягом дослідження по всіх напрям-

ках. Сьогодні розв'язання задач НДДКР потребує високого ступеня спеціалізації. При цьому важливо не лише вести власні розробки, а й стежити за аналогічними НДДКР в інших країнах, використовувати зарубіжні досягнення шляхом придбання ліцензій та зразків нових унікальних ТС [1, 2].

## 11.2 Тенденції технічного розвитку

Для визначення тенденцій розвитку науки і техніки слід виходити з мети суспільства.

Філософія і соціологія, які займаються дослідженням мети суспільства, є звичайно досить абстрактними дисциплінами для людей, пов'язаних із технікою. Однак в наш час відповідальність інженерів за розвиток суспільства не менша, ніж відповідальність лікарів за здоров'я людей.

Існує ряд незаперечних складових мети суспільства, очевидних для більшості людей. Наведемо найбільш важливі з цих складових: ліквідація голоду, припинення війн, позбавлення людей від хвороб і збільшення тривалості їх активного життя, боротьба зі злочинністю, підвищення добробуту суспільства, підвищення рівня освіти громадян, скорочення частки фізичної праці, скорочення робочого дня [1, 2, 10].

Інше питання полягає в тому, наскільки досягнення мети суспільства сприятиме щастю і благополуччю людей. Думки про те, яку роль в цьому повинна відігравати техніка, розділились. Деякі пропонують повністю відмовитись від техніки, інші виступають за її безконтрольний розвиток. Але незалежно від наведених крайніх думок, техніка буде змінюватись та удосконалюватись. Головне, щоб вона служила на благо людей. Для того, щоб можна було керувати розвитком техніки, необхідно знати, в якому напрямку він повинен відбуватись і яким чином регулюватись.

Тенденції розвитку техніки часто формулюються на рівні певних параметрів ТС. Визнаними тенденціями є механізація, автоматизація, комп'ютеризація, електрифікація, уніфікація, стандартизація, використання нових високоефективних технологій, методів та прийомів роботи, а також прогресивних способів виробництва, що дозволяють підвищити продуктивність виробництва та якість готової продукції [1, 2].

*Механізацію* можна визначити як передачу виконання фізичних операцій від людини машині. Аналогічно цьому, *автоматизація* – це передача машині функцій керування і контролю, а *комп'ютеризація* – перехід до виконання розумових операцій за допомогою комп'ютера. *Електрифікація* означає розширення сфери використання електричної енергії та електричних машин під час реалізації технічних процесів. *Уніфікація* та *стандартизація* – це розробка різних технічних систем на основі типових та стандартизованих елементів [1, 2].

Аналіз названих тенденцій показує, що вони безпосередньо впливають лише на зменшення частки фізичної та розумової праці людини, тоді як зв'язок з іншими складовими мети суспільства проявляється посередньо.

Зв'язок основних тенденцій із метою суспільства стане більш зрозумілим, якщо ми розглянемо розвиток найважливіших галузей техніки. Технічний рівень держави визначають: інформатика, електроніка і комп'ютерна техніка; ракетно-космічна техніка; ядерна енергетика; машинобудування; транспорт і зв'язок; забезпечення охорони НС; медична техніка тощо.

Досягнення у вказаних галузях повинні сприяти підвищенню добробуту, збереженню та поліпшенню здоров'я людей, задовольняти їх потреби і робити життя повнішим.

Прогрес техніки відповідає покращенню параметрів ТС. Розглянемо тепер тенденції розвитку у зв'язку із різними категоріями параметрів.

### **Функціональні параметри технічних систем**

Основні робочі функції ТС змінюються найбільш інтенсивно, саме в результаті їх виконання реалізується технічний прогрес [1, 2].

Функції керування і регулювання змінюються разом із розвитком автоматизації, електроніки, кібернетики і комп'ютерної техніки, а також електричних, гідравлічних і пневматичних приводів, що забезпечують їх виконання (приводи у найближчий час кардинально не будуть змінюватись, оскільки удосконалюються досить повільно).

Кількісні функціональні параметри є основними характеристиками ТС. З метою досягнення максимальної економічної ефективності техніки активно використовуються і продовжують розроблятися все більші функціональні одиниці – турбіни, судна, літаки, основні робочі параметри яких (тиск, температура, зусилля, швидкість і інші) постійно підвищуються.

### **Експлуатаційні параметри технічних систем**

Дані параметри також суттєво змінюються з удосконаленням техніки, але не завжди в напрямку збільшення. Наприклад, у зв'язку із підвищенням вимог надійності доводиться миритись з більш коротким терміном служби ТС. Дедалі помітнішою стає тенденція зменшення розмірів та маси (мініатюризація) ТС. Все ширше застосування знаходить модульний принцип створення та виготовлення ТС (див. пункт 5.3.3), який спрощує та полегшує її експлуатацію та обслуговування [1, 2].

### **Естетичні параметри технічних систем**

Важливість даної категорії параметрів підвищується. На даний момент лише для невеличкої множини класів ТС естетичні параметри не мають значення. Привабливий зовнішній вигляд виробу, як відмічалось вище (див. пункт 7.1.6), не лише сприяє кращому сприйняттю його споживачем, але і забезпечує підвищення продуктивності праці [1, 2].

### **Ергономічні параметри технічних систем**

Потреба враховувати параметри даної категорії виникла відносно нещодавно. Через це слід відрізнити вимоги, що впливають з психології та

фізіології людини, від перебільшених претензій на оригінальність. Тому вважається, що ергономіка повинна займатись задачами розробки ТС з врахуванням можливостей людини, а також проблемами охорони її здоров'я [1, 2].

### **Параметри зберігання та транспортування технічних систем**

Потреби у підйомно-транспортних засобах для переміщення ТС постійно зростають, так само, як і витрати на зберігання та монтаж виробів. Підвищуються також і вимоги до пакування, причому обумовлюється це не тільки необхідністю збереження ТС під час перевезень та зберігання, але і з метою реклами: упаковка повинна створювати сприятливе естетичне враження [1, 2].

### **Параметри постачання та планування технічних систем**

З врахуванням даних параметрів здійснюється організація виробництва та доставка продукції споживачеві. Параметри категорії є особливо важливими в умовах конкуренції і підвищення вимог споживача до обслуговування [1, 2].

### **Параметри відповідності технічних систем правовим нормам**

Економічні зв'язки і співробітництво постійно нарощуються, що ускладнює задачу забезпечення відповідності ТС всім правовим нормам (в тому числі і міжнародним), а також вимогам патентної чистоти. Все більше зростає відповідальність виготовлювачів за якість своєї продукції.

### **Економічні параметри технічних систем**

Для забезпечення конкурентоздатності ТС виготовлювач повинен підтримувати її собівартість на мінімальному рівні. До засобів підвищення ефективності виробництва відносяться раціоналізація операцій, стандартизація та уніфікація деталей і вузлів, застосування високопродуктивного обладнання, підвищення кваліфікації персоналу, стимулювання продуктивної та високоякісної праці [1, 2, 5].

### **Якість виготовлення технічних систем**

Оскільки ТС постійно ускладнюються та удосконалюються, до якості їх виготовлення висуваються все більш жорсткі вимоги [1, 2].

### **Конструктивні параметри технічних систем**

Конструктивні параметри визначають зовнішні, а разом з ними і економічні параметри ТС. У зв'язку із цим структура, впливи, форма, розміри, марка матеріалів, з яких виготовлені елементи, їх точність та шорсткість поверхонь постійно змінюються таким чином, щоб забезпечити підвищення ефективності ТС [1, 2].



*Структура та впливи.* Структура – це упорядкована множина елементів та впливів між ними. Не дивлячись на уніфікацію та стандартизацію, асортимент конструктивних елементів постійно зростає, а впливи між ними – ускладнюються. Основними тенденціями в конструюванні є спеціалізація функцій елементів ТС та агрегування – виділення окремих функцій. Останнім часом для підвищення гнучкості ТС – забезпечення можливості зміни в широких межах заданих впливів між елементами, в тому числі і просторових, при умові збереження або потрібної зміни виконуваної функції – широко реалізується вже неодноразово згадуваний модульний принцип структури ТС.

Основною тенденцією щодо *форми* ТС є її спрощення та уніфікація, оскільки раціональність конфігурації значною мірою визначає вартість ТС. Відмічена тенденція інколи суперечить естетичним концепціям, в зв'язку з чим доводиться шукати компромісне рішення.

*Компактність та мінімальна маса* звичайно є бажаними конструктивними параметрами, якщо це не суперечить іншим вимогам. Поліпшення параметрів транспортування, економія матеріалів і виробничих площ – найбільш очевидні переваги, які реалізуються при мінімальних габаритах і масі ТС.

У зв'язку із появою нових перспективних *матеріалів* можливості для удосконалення існуючих ТС і створення принципово нових високоефективних зразків безперервно зростають. При цьому як тенденції слід відмітити: розширення номенклатури металевих матеріалів; збільшення числа елементів ТС, виготовлених з неметалевих матеріалів; підвищення якісних параметрів матеріалів (так, міцність сталі підвищена з 300 Н/мм<sup>2</sup> до 700 – 800 Н/мм<sup>2</sup>); використання композитних матеріалів із заздалегідь заданими властивостями.

*Точність обробки* при виготовленні елементів ТС підвищується, а *шорсткість оброблених поверхонь* знижується завдяки застосуванню нових технологічних методів, високоточного обладнання та інструментів із кращими характеристиками.

### 11.3 Керування процесом технічного розвитку

Викладене вище дозволяє зробити висновок, що еволюція ТС є тривалим і дорогим процесом. Взаємозв'язки даного процесу у спрощеній формі наведені на рисунку 11.7. Розвиток складних ТС значною мірою визначається удосконаленням їх складових елементів. Крім того, темпи еволюційного розвитку залежать від техніко-економічного рівня підприємства, країни в цілому, а також фактичної економічної ситуації. У зв'язку із цим процес розвитку не повинен протікати стихійно, тим паче, що суспільство зацікавлено в його високих темпах та стабільності.

Під керуванням процесом розвитку ТС ми розуміємо організацію робіт в навчальних, науково-дослідних та дослідно-конструкторських установах

з використанням прямих і посередніх механізмів та стимулів для досягнення найкращих технічних результатів. В принципі, проблема керування може бути розділена на дві основні частини: забезпечення правильної і своєчасної постановки задач досліджень та розробок; контроль за їх розв'язанням [1, 2, 10].

Вибір методів керування дослідженнями та розробками залежить від рівня, на якому воно здійснюється. Розглянемо спочатку методи, які застосовуються на рівні уряду. В більшості країн підхід до керування НДДКР однаковий; різниця полягає лише у деталях. Спочатку з'ясовуються потреби і можливості розвитку найважливіших галузей економіки, таких як промисловість, сільське господарство, охорона здоров'я, оборона, будівництво, транспорт і інші, потім устанавлюється загальний напрямок політики розвитку і конкретизуються задачі. Керування здійснюється законодавчими, виконавчими і дорадчими урядовими органами. Часто поряд із названими органами існують самостійні міністерства і відомства, що координують розвиток науки і техніки. В країнах з плановим господарством такі міністерства і відомства відіграють важливу роль [17].

Технічна політика, яка включає постановку задач досліджень та розробок, визначення їх пріоритетності і вибір найбільш ефективних методів розв'язання, є найважливішим фактором технічного розвитку.

Ми вже відмічали два аспекти керування. Розв'язання першої частини проблеми – постановка задачі – повинна здійснюватись на основі довгострокових прогнозів розвитку. Це означає, що перед постановкою задачі необхідно розробити план робіт на найближчі 5 – 10 років. Проблематику керування важко викласти коротко, тому ми обмежимося лише деякими зауваженнями стосовно його методології [1, 2].

Рішення, що приймаються в процесі керування, повинні опиратись на об'єктивні факти та достовірні закономірності. Жоден прогноз не може ґрунтуватись тільки на інтуїції. Додамо також, що збирання і обробка необхідної для прийняття рішення інформації є досить складною проблемою, особливо у зв'язку із задачами перспективного планування. Для її вирішення доцільно застосовувати математичні методи і комп'ютерну техніку із великими можливостями для збереження значних обсягів даних та їх обробки. Це дозволяє детально аналізувати можливі варіанти рішення і обирати найкраще з них більш обґрунтовано і об'єктивно.

При розв'язанні задач НДДКР бажано отримати оптимальний результат з мінімальними витратами часу і коштів. Не завжди все доцільно розробляти самостійно – інколи проблема може бути вирішена більш ефективно шляхом придбання конструкторської документації або ліцензії.

Таким чином, керування технічним розвитком – це, з одної сторони, планування, при якому визначаються тенденції розвитку, намічається мета і формулюються задачі, а з іншої сторони – це координація і контроль досліджень та розробок з метою підвищення їх ефективності [1, 2].

## 11.4 Мотивація досліджень та розробок

Для ефективного розвитку ТС недостатньо відповідних технічних і економічних можливостей, необхідна також наявність стимулів, що діють як рушійна сила розвитку.

Без зацікавленості в результаті не може бути розв'язана жодна із задач. Можна сказати також, що тільки у випадку забезпечення гармонійної комбінації трьох факторів – достатніх технічного рівня, економічних можливостей і зацікавленості – приводиться в рух механізм досліджень та розробок. Тільки переконлива мотивація впливає на техніко-економічну ситуацію, і навпаки – значний техніко-економічний потенціал полегшує мотивацію НДДКР.

Переконливу мотивацію створює, наприклад, економічне і технічне змагання. Так були винайдені парова машина, двигун внутрішнього згоряння, радіо, електрична лампа, реактивний двигун, комп'ютер, атомний реактор. Важливо лише, щоб таке змагання мало на меті благо людей [1, 2].

## 11.5 Контрольні запитання

1. Які основні етапи та стадії містить «цикл життя» технічних систем перших трьох рівнів складності серійного виробництва?
2. В якій послідовності здійснюється розробка технічних систем перших трьох рівнів складності серійного виробництва?
3. Які основні частини повинен містити проект технічних систем перших трьох рівнів складності серійного виробництва?
4. Як здійснюється виготовлення дослідного зразка та випробовування технічних систем серійного виробництва?
5. Як здійснюється підготовка серійного виробництва технічних систем та остаточне корегування документації, необхідної для їх виготовлення?
6. Назвіть етапи і стадії створення та використання технічних систем перших трьох рівнів складності одиничного виробництва.
7. Що собою являють технічні системи четвертого рівня складності і як організовується їх проектування?
8. Які етапи та стадії містить «цикл життя» технічних систем четвертого рівня складності?
9. Як розробляється часова послідовність етапів та стадій створення й використання технічних систем, як здійснюється оптимізація в часі цих стадій та операцій?
10. Які є способи прискорення реалізації етапів та стадій створення і використання технічних систем, в яких випадках вони використовуються?
11. Якими є основні підрозділи на машинобудівних підприємствах, як між ними розподіляються роботи зі створення технічних систем?

## 12 СПЕЦІАЛЬНІ ТЕОРІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Під час розгляду видів ТТС (див. підрозділ 1.3) з точки зору їх застосування було введено розділення на загальну та спеціальні теорії. До сих пір розглядалась загальна ТТС [1, 2].

Спеціальні ТТС мають справу з окремими категоріями систем. Вони можуть розроблятися за класифікаціями, розглянутими у розділі 6.

Звичайно інженери і наукові робітники спеціалізуються з ТС певних типів, класів або видів (наприклад, фахівці з гідравлічних приводів, двигунів внутрішнього згоряння, газових турбін, компресорів і т. д.).

Аналогічно, ознаки розглянуті у розділі 6 можуть слугувати і для класифікації спеціальних ТТС, наприклад, за ієрархічним підпорядкуванням: теорія гідромашин → теорія гідродвигунів → теорія насосів → теорія об'ємних насосів і т. д. Подібних прикладів можна навести багато [14].

До задач спеціальної ТТС входять отримання і систематизація знань щодо ТС відповідного типу або виду, а також побудова на їх підставі теорій і методів розрахунку [1, 2].

Виявлення взаємозв'язків між загальною та спеціальними ТТС дозволяє створити логічну та упорядковану єдину структуру науково-технічних знань. Корисність такої структури очевидна.

Спеціальні ТТС повинні охоплювати такий комплекс питань [1, 2]:

- дослідження СП, аналіз її елементів (впливи, об'єкти впливів, ТП, ТО);
- структури ТС певних категорій, в тому числі ФС, ПС, КС, їх варіанти і модифікації;
- принципи дії, які використовуються і можуть знайти застосування;
- типові виконавчі елементи та їх впливи;
- основні параметри ТС, методи їх контролю, експертного оцінювання та порівняння ТС;
- вивчення закономірностей створення і використання ТС;
- узагальнення досвіду і виявлення тенденцій розвитку ТС.

Спеціальні ТТС, що включають розгляд всіх наведених вище питань, можуть відрізнятися від відповідних спеціальних інженерних теорій, не дивлячись на те, що ґрунтуються вони на тій же самій вихідній інформації.

### Контрольні запитання

1. В чому різниця між загальною та спеціальними теоріями технічних систем? Якими є задачі спеціальної теорії технічних систем?
2. Який перелік питань повинен розглядатись в кожній спеціальній теорії технічних систем?
3. Як в наш час удосконалюються спеціальні теорії технічних систем, яким чином вони використовуються на практиці?

## МАТЕРІАЛИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

### 13 ПОСТАНОВКА І АНАЛІЗ ЗАДАЧ ІНЖЕНЕРНОЇ ТВОРЧОСТІ

В підрозділі 1.2 вже говорилося про специфіку задач інженерної творчості (ІТ), про їх складність та відміни від так званих чітко визначених інженерних задач. Вказувалося 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 [6, 13].

В даному розділі дається методика попередньої постановки і аналізу найбільш поширеного типу задач ІТ, пов'язаних із удосконаленням вже відомих ТС, так званих прототипів, шляхом внесення в них необхідних змін. В задачах ІТ інших типів визначаються можливі додаткові функції технічних об'єктів (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 оптимального розв'язку на підставі аналізу попередньо отриманих результатів. Наприклад, під час удосконалення певного ТО з метою підвищення його надійності конструктор пробує змінити структуру ТО (додає додаткові елементи для підсилення) або підсилює наявні елементи (збільшує площу їх поперечного перерізу, застосовує складніші профілі, вибирає міцніші матеріали), після чого визначає, як при цьому змінились основні показники надійності ТО – безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережність. Якщо ці показники належним чином поліпшились, задача вважається розв'язаною, якщо ні – конструктор повертається до попередньої стадії розв'язання, відмінює внесені у ТО зміни і пробує змінити щось інше [6, 13].

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. Нижче подано методику виконання попередньої постановки [6, 13].

Постановка задачі – це нелегка робота. Однак при правильному її виконанні можна вже на першому етапі розв'язання знайти достатньо ефективний варіант ТО, що дозволить усунути проблемну ситуацію. Недарма

говориться, що правильна постановка задачі – це половина її розв’язку. Тому, не слід економити на неї час та кошти.

### **Операція 1. Опис проблемної ситуації**

При виконанні даної операції у формі відповідей на типові запитання дається попереднє формулювання задачі (проблемної ситуації). Запитання такі [6]:

1. В чому полягає проблемна ситуація, яка її передісторія?
2. Що потрібно зробити для усунення проблеми?
3. Що заважає усуненню проблеми?
4. Що дає розв’язання поставленої задачі людині, підприємству, економіці країни?

### **Операція 2. Опис зовнішньої функції технічного об’єкта**

В розділі 2 дається означення та формула для опису зовнішньої функції **ТО** [2, 6]

$$\Phi = (\mathbf{B}; \mathbf{O}; \mathbf{Y}), \quad (13.1)$$

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

Опис функції здійснюється згідно із формулою (13.1) 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 подаються у таблиці (див. таблицю 13.1 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 [6, 13].

### **Операція 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. На рисунку 13.1 як приклад показано прототипи токарно-гвинторізного верстата.

Прототип, що розглядається в описі проблемної ситуації (який використовувався до виникнення проблеми), називається вихідним. Окрім нього необхідно обрати 1 – 2 додаткові прототипи, що мають порівняно 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, що використовуються у передових галу-

зях – авіації, комп’ютерній техніці, ракетно-космічній галузі, військовій техніці [6, 13].

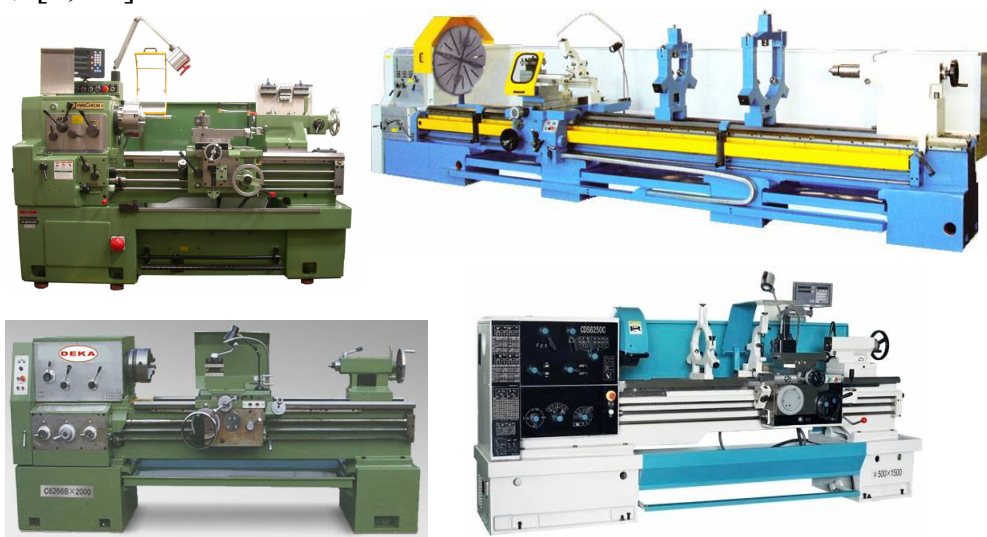
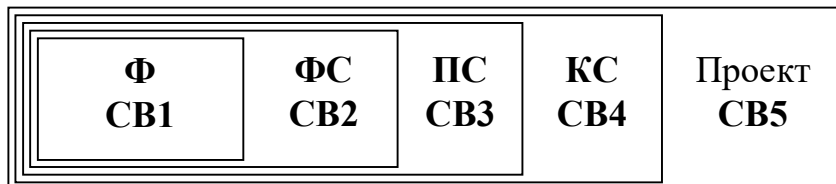


Рисунок 13.1 – Прототипи **ТО** «токарно-гвинторізний верстат»

При виборі додаткових прототипів використовують описи до патентів за останні 5 – 10 років (як по класу **ТО**, що удосконалюється, так і по функціонально близьких класах), каталоги виставок тощо.

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** (рисунок 13.2): визначення зовнішньої функції **Ф**,



створення функціональної структури (**ФС**), принципової схеми (**ПС**) та конструктивної схеми (**КС**), виконання та оформлення проекту. На кожній стадії

Рисунок 13.2 – Схема укладання списків вимог до прототипів **ТО**

укладається свій список вимог (**СВ1, СВ2, ..., СВ5**).

Кількісний опис функції **Ф** разом з об’єднаним списком вимог до всіх прототипів являють собою технічне завдання (**ТЗ**) на створення **ТО** нового покоління [6, 13].

Інколи один з прототипів цілком або частково відповідає поставленим вимогам, а його реалізація і використання дозволяють зняти проблемну 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, за наявності можливості, рекомендується продовжити удосконалення прототипів, оскільки будь-який, навіть найсучасніший і найефективніший **ТО**, з часом морально старіє і потребує заміни, через що максимальне поліпшення його характеристик дозволяє відсунути термін виникнення нової проблемної ситуації.

#### **Операція 4. Укладання списків недоліків прототипів**

Для удосконалення прототипів потрібно скласти детальний перелік їх недоліків і максимально повно їх усунути. 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. До таких відносяться: матеріалоемність, вартість, експлуатаційні витрати, продуктивність, точність, енергоемність, надійність, термін служби **ТО** [6, 13].

Під час розв'язання задачі в описі кожного недоліку того чи іншого прототипу потрібно вказати чисельне значення відповідного параметра, якого бажано досягти в результаті усунення недоліку. В процесі розробки списків недоліків доцільно також вивчити досвід удосконалення **ТО** даного призначення і установити, які 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.

#### **Операція 5. Попередня постановка задачі**

Коротко узагальнюються результати виконання операцій 1 – 4. При цьому постановка задачі традиційно складається з двох частин: «дано» і «вимагається» [6].

##### **Дано**

1. Якісний та кількісний опис функції **ТО**.
2. Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них.
3. Списки недоліків прототипів.

##### **Вимагається**

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

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

#### **Приклад попередньої постановки задачі інженерної творчості з усунення конкретної проблемної ситуації**

##### **Умова задачі**

В механообробному цеху машинобудівного підприємства для транспортування з 1-го на 2-й ярус контейнерів з алюмінієвими деталями використовується електричний підйомник (рисунок 13.3), який містить вертикальну ферму 1 з напрямними, платформу 2, що переміщується по напрямних, а також шків 3, трос 4, барабан 5 та електродвигун 6 для приведення в рух



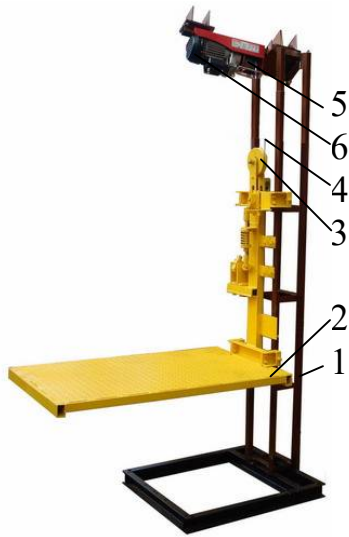


Рисунок 13.3 – Підйомник: 1 – ферма; 2 – платформа; 3 – шків; 4 – трос; 5 – барабан; 6 – електродвигун

платформи з контейнером. З переведенням цеху на випуск нової продукції виникла потреба забезпечити вертикальне транспортування з незмінною продуктивністю деталей аналогічних конфігурації та габаритів, але виготовлених зі сталі [13].

### Розв’язування задачі

#### Операція 1. Опис проблемної ситуації

1. 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 підйому деталей того ж самого типорозміру, але з більшою одиничною масою.

2. Необхідно збільшити вантажопідйомність існуючого **ТО** для механічного вертикального транспортування деталей в цеху.

3. Недостатність потужності електродвигуна привода наявного підйомника, а також міцності його ферми, платформи і тросів.

4. Розв’язання задачі дозволить виконати замовлення на виготовлення нової продукції, в результаті чого підприємство отримує прибуток.

#### Операція 2. Опис зовнішньої функції технічного об’єкта

Таблиця 13.1 – Опис зовнішньої функції електропідйомника

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

#### Операція 3. Вибір прототипів і укладання списків вимог до них

Вихідним прототипом є удосконалений електропідйомник з підсиленою фермою та платформою, міцнішими тросами та потужнішим електродвигуном. Як додаткові прототипи оберемо цеховий мостовий кран (рисунок 13.4, а) та стрічковий конвеєр (рисунок 13.4, б). Перший складається з мосту 1 і візка 2 з гаком 3 на тросах, що переміщується по мосту. Сам

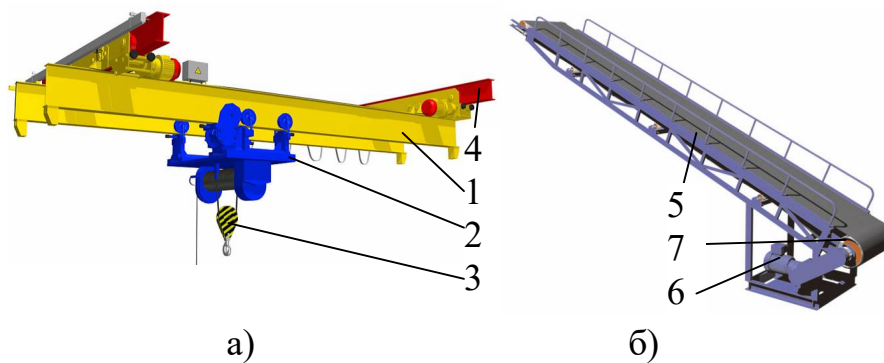


Рисунок 13.4 – Прототипи електropідйомника: а – мостовий кран; б – стрічковий конвеєр; 1 – міст; 2 – візок; 3 – гак; 4 – колії; 5 – стрічка; 6 – електродвигун; 7 – тяговий барабан

міст рухається по коліях 4, змонтованих на повздовжніх перекриттях цеху. Конвеєр містить гумотканинну стрічку 5, установлену під кутом до горизонталі, який усуває ковзання заготовок під час транспортування. Стрічка приво-

дяться в рух тяговим барабаном 7, що обертається електродвигуном 6.

Функціональною вимогою (СВ1) до всіх трьох прототипів є виконання ними заданої зовнішньої функції (див. таблицю 13.1): 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 електropідйомника функцією електродвигуна 6 є приведення в обертання барабана 5, який, в свою чергу, забезпечує натяг та вибирання троса 4, шків 3 забезпечують необхідний напрямок намотування троса, а сам трос – вертикальне переміщення платформи 2, що слугує опорою і приводним елементом для контейнера 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 мосту 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, вимоги забезпечення достатнього обертального 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 щодо заданих міцності, зносостійкості, довговічності, номінальних зусиль та обертальних моментів на виконавчих та передавальних 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 де-

талей (наприклад, вал тягового барабана 7 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**, 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), зберіганням та транспортуванням прототипу (наприклад, вимога консервування 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 осьового 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**, 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 4. Укладання списків недоліків прототипів*

Список недоліків підйомника [13]:

1. Необхідність проведення перевірних розрахунків, підсилення або заміни електродвигуна, ферми, тросу, шківа, барабана, платформи;
2. Пов'язані із модернізацією існуючого підйомника витрати на матеріали, вузли та комплектуючі, реалізацію технологічних процесів обробки та складання;
3. Пов'язані із установленням потужнішого електродвигуна підвищення енерговитрат, рівнів шуму та вібрацій, загальних витрат на експлуатацію, обслуговування та амортизацію;
4. Необхідність завантаження транспортованих 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 5. Попередня постановка задачі*

##### **Дано**

1. Якісний та кількісний опис функції **ТО** – див. операцію 2;
2. Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них – див. операцію 3;
3. Списки недоліків прототипів – див. операцію 4.

##### **Вимагається**

Обрати найбільш ефективний з описаних прототипів і удосконалити його таким чином, щоб за умови 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 придатного за технічними характеристиками і не перевантаженого іншими роботами мостового крана або конвеєра, у зв'язку з тим, що в подібній ситуації один з додаткових прототипів необхідно закуповувати і крім цього провести його установаження та підготувати обслуговуючий персонал [13].

#### **Контрольні запитання**

1. В чому специфіка задач інженерної творчості порівняно із чітко визначеними інженерними задачами?
2. Які є основні типи творчих інженерних задач?
3. Які операції містить попередня постановка задач інженерної творчості?
4. Яку інформацію повинен містити опис проблемної ситуації, що здійснюється під час розв'язання творчих задач?
5. За якою формулою описується зовнішня функція технічної системи, що удосконалюється?

6. Що таке прототип, скільки прототипів потрібно розглянути під час розв'язання творчих інженерних задач?

7. Які списки вимог потрібно скласти для прототипів під час розв'язання творчих інженерних задач?

8. Чим обумовлена потреба у складанні списків вимог для прототипів під час розв'язання творчих інженерних задач?

9. Які частини та яку інформацію повинна містити попередня постановка задачі інженерної творчості?

### **Контрольні завдання**

1. В цеху заводу використовується промисловий робот, функціонуючий в циліндричній системі координат з максимальним кутом повороту відносно вертикальної осі  $270^\circ$ . 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 затискання заготовки в 1000 Н. Виникла потреба збільшити це зусилля в 2 рази.

8. Максимальна швидкість переміщення захвата 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. Електропідігрів 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 с. 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 штоку гідروциліндра 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 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 підшипника вала циліндричного косозубого редуктора працюють з еквівалентним навантаженням в 3000 Н, яке є для них розрахунковим. Необхідно забезпечити можливість викорис-

тання 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 мастила в корпусі черв'ячного редуктора на 10 °С нижча допустимої. Потужність на швидкохідному валу редуктора збільшилась в 1,3 раза. Як запобігти при цьому недопустимому підвищенню температури мастила?

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. Як запобігти перевищенню допустимого навантаження на покриття?

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 10 кН. Виникла необхідність збільшити вказане навантаження у 1,5 раза без зміни габаритних розмірів ферми.

32. Підвищити довговічність опорних поверхонь напрямних столу фрезерного верстата.

33. Збільшити пропускну спроможність фермового металевого мосту 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 уведення додаткової операції механічної обробки виникла потреба у переміщенні тих же самих заготовок у зворотному напрямку.

38. Захватний пристрій промислового робота призначений для захоплення заготовок довжиною до 500 мм. Необхідно забезпечити автоматизоване завантаження-розвантаження заготовок довжиною 1000 мм.

39. Передача повздовжнього руху на супорт токарно-гвинторізного верстата здійснюється за допомогою рейкової передачі. Підвищити точність повздовжньої подачі супорта.

40. Підвищити максимально допустимий обертальний момент, що передається плоско пасовою передачею від електродвигуна до вхідного вала коробки швидкостей верстата.

41. На одному заводі виконується ювелірна за точністю операція – за допомогою мініатюрного алмазного круга на оправці здійснюється тонке шліфування внутрішньої циліндричної поверхні заготовки діаметром 0,5 мм, але оскільки немає змоги точно визначити момент початку обробки та спостерігати за її ходом, багато деталей виявляються бракованими. Керівництво підприємства розглядає можливість створення або придбання для виконання описаної операції складного і дорогого верстата-автомата. Чи немає можливості якось простіше вирішити дану проблему?

42. Запропонуйте спосіб ефективного відведення з робочої зони частинок фарби під час фарбування розпилюванням значних за висотою виробів.

43. Запропонуйте простий та ефективний захист робітників ливарних та ковальських цехів від теплового та яскравого світлового випромінювання, що передається від розплавленого металу.

44. Яким чином під час роботи шнекового дозатора сипких матеріалів можна забезпечити ефективне регулювання продуктивності?

45. Як забезпечити мікронні лінійні переміщення виконавчого елемента електропристрою за попередньо заданою програмою?

46. Для випробовування фільтра автомобільного двигуна потрібно пропустити через нього ряд певних компонентів (пил, пісок, частинки глини тощо – до 24 компонентів), у різних кількостях (від 0,01 до 0,03 кг) та з різною продуктивністю. Сумарна тривалість випробування 10 хв. Запропонуйте достатньо прості та ефективні спосіб і обладнання для здійснення випробування.

47. На металургійному комбінаті для відведення золи, шлаку та вугільних відходів застосовуються системи гідротранспортування. Труби для видалення золи та шлаку швидко забиваються, тоді як труби для відведення вугільних відходів швидко зношуються. Чи не можна удосконалити наявні системи?

48. На овочеперероблювальному підприємстві для підйому свіжих помідорів з першого на другий поверх під кутом 30° застосовується пневмотранспортний пристрій в складі насоса та системи труб. Але при підйомі безперервним потоком плоди б'ються та псуються. Потрібно забезпечити їх ефективне та швидке переміщення з приблизно однаковими інтервалами і незалежно від розмірів плодів. Цілком замінювати наявну пневмотранспортну систему вкрай небажано.

49. Для підвищення коефіцієнта використання однолінійного нафтопроводу по ньому у безперервному режимі часто перекачують різні нафтопродукти (сиру нафту, мазут, дизельне паливо, бензин). Як мінімізувати при цьому змішування різних продуктів і обумовлене цим відбракування палива?



50. На плівку з полістиролу напилено тонкий шар алюмінію. Визначити силу адгезії між двома вказаними шарами.

51. Запропонуйте раціональний спосіб розвантаження у зимовий час із залізничних цистерн вантажів, що застигають при низьких температурах (наприклад, мазуту). Звичайно в таких випадках доводиться установлювати цистерни в опалюваних приміщеннях і чекати інколи декілька днів доти, доки вантаж не можна бути злити.

52. Як запобігти затвердінню розплавленого металу, що транспортується у ковші в ливарному цеху?

53. Запропонуйте спосіб запобігання випаровування нафтопродуктів з резервуарів для їх стаціонарного зберігання?

54. Запропонувати ефективний спосіб розвальцьовування сталевих труб при забезпеченні мінімальної кінцевої шорсткості поверхонь, що піддаються обробці.

55. Після піскоструминної обробки внутрішніх складнофасонних поверхонь виробів в них, навіть й у випадку подальшого ретельного промивання, залишається багато піску. Як запобігти цьому?

56. При виготовленні абразивного інструмента потрібно забезпечити розташування алмазних частинок матеріалу, що мають форму пірамідок, вершинами вгору. Яким чином цього домогтись?

57. Під час остаточного калібрування тонкостінних металевих виробів (наприклад, посуду) звичайно застосовується пуансон відповідної форми, діаметр якого повинен бути лише на частки міліметра більшим внутрішнього діаметра заготовки. Як забезпечити достатню легкість вилучення пуансона з виробу після калібрування?

58. Запропонувати ефективний захватний пристрій для транспортування деталей з несиметричними наскрізними отворами.

59. Як зменшити або цілком усунути зношування гвинтової пари (передачі гвинт-гайка ковзання)?

60. Для очищення дренажних труб від мулу та інших непотрібних на шаровувань часто застосовують уламки цегли, які вводять разом із потоком води у труби. Проблемою є підбір оптимальних розмірів уламків, оскільки якщо вони занадто малі, то погано очищують внутрішні поверхні труб, а якщо занадто великі – заклинюються в них. Що робити для усунення описаної проблеми?

## 14 НАЙПРОСТІШІ ПРИЙОМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТВОРЧИХ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ

У розділі 13 було розглянуто методику попередньої постановки та аналізу творчих інженерних задач, для розв'язання яких ефективно використовуються різноманітні прийоми, методи, принципи, правила [2, 6, 20]. Нижче подано найпростіші прийоми розв'язання творчих задач, що також є достатньо корисними в ряді ситуацій. Розглянемо деякі найбільш відомі з них [20, 21].

*Прийом аналогії* полягає у запозиченні схеми, ідеї, принципу, ефекту, що використовувались в одній галузі техніки і перенесення їх в іншу галузь для усунення тієї чи іншої проблемної ситуації. При цьому можуть також використовувати ефекти і явища природи. Наприклад, відома морська тварина кальмар переміщується відкидаючи від себе порції води. Аналогічний принцип покладений в основу водометного рушія кораблів та дрібних суден – захоплення лопатями робочого колеса (крильчатки) заборотної води і її викидання зі значною швидкістю через трубку на кормі, що розташовується нижче ватерлінії (рисунок 14.1) [20, 21].

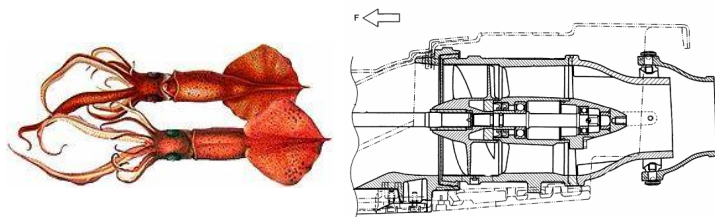


Рисунок 14.1 – Кальмар та його «аналог» – водометний рушій

Ще один приклад – використання принципу конвеєрного виробництва у суднобудуванні. На початку Другої світової війни німецькі підводні човни потопили значну частину британських та американських вантажних кораблів, вкрай необхідних для перевезення військових вантажів. Тоді для будівництва великого вантажного судна було потрібно 2 – 3 роки, але в результаті запозичення з автомобільної промисловості технології конвеєрного складання продуктивність виробництва збільшилась до 3-х суден за день. Таким чином, довоєнний тоннаж флоту союзників був швидко відновлений і багаторазово перевершений [21].

Але необхідно грамотно використовувати прийом аналогії. Так, деякі фірми просто сліпо копіюють схеми та принципи конкурентів, витрачаючи на це багато коштів і втрачаючи час, тоді як фірми-власники розробок йдуть весь час попереду. Тому, для підвищення ефективності аналогії необхідно спочатку вивчити прототип, взятий за основу. Далі перевірити, чи не використовується такий самий пристрій або процес у передових галузях (в авіації, ракетно-космічній або військовій техніці). У випадку наявності такого перейти до його розгляду і спробувати удосконалити даний зразок. Тоді у випадку його впровадження фірма-позичальник забезпечить собі певний резерв часу на перспективу і не буде відставати.

Але не завжди аналог береться з передової галузі. Наприклад, під час створення машин для розмелювання компонентів, з яких пресувались плати мікропроцесорів ЕОМ, були застосовані борошномельні дробарки – обладнання нібито традиційно відсталого галузі [21].

Інколи використовується й фантастична аналогія – реалізація бажаного, того, що здається людині найбільш ефективним та зручним у розглядуваній ситуації. Наприклад, досить раціональним і простим вважається керування ТС за допомогою голосових команд. Нещодавно на французькій фірмі «Рено» був створений автомобіль, що реагує на такі команди, в тому числі на запуск або зупинку двигуна, перемикання швидкостей, піднімання та опускання бокових стекол, вмикання фар та склоочисників тощо (система керування сприймає близько 22 команд, причому реагує тільки на голос господаря автомобіля) [21, 22].

Під час реалізації *прийому інверсії* використовується принцип або ефект, що є протилежним за своєю суттю відомому принципу або ефекту. Наприклад, під час заготовки сіна траву в більшості випадків спочатку косять, а потім сушать. Нещодавно в Голландії було створено машину, при використанні якої трава, навпаки, спочатку підсушується парою температурою 300 °С, після чого одразу скошується. Це забезпечує вищий загальний ефект. Продуктивність даної машини 40 т сіна за годину.

Ще один приклад на застосування інверсії. Під час тренування на стадіоні бігуни переміщуються відносно нерухомої доріжки. Але є доріжки, що здатні, навпаки, рухатись відносно нерухомого бігуна. Це дозволяє тренуватись в невеличкому спортзалі або вдома, при цьому можна в широких межах варіювати навантаження на спортсмена за рахунок зміни кута нахилу доріжки та зусилля її прокручування. Є також невеличкі плавальні басейни з циркуляцією води, що дозволяють тренуватись у невеличких приміщеннях (рисунок 14.2) [20, 21].



Рисунок 14.2 – Плавальний басейн, в якому застосований прийом інверсії

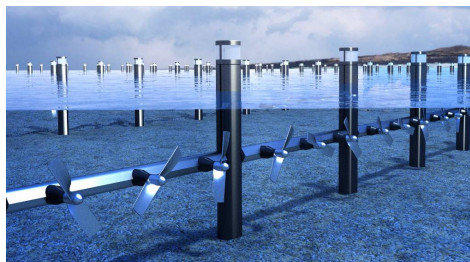


Рисунок 14.3 – Припливна електростанція

Різновидом інверсії є прийом перетворення негативного фактора у позитивний. Наприклад, механічна енергія морських хвиль (негативний фактор) може використовуватись для виробництва електроенергії (позитивний фактор) – (рисунок 14.3) [20, 21].

Суть *прийому емпатії* полягає в тому, що людина, яка розв'язує творчу задачу, пробує уявити себе на місці пристрою або процесу, що удосконалюється (ототожнити себе з ним) [23]. Наприклад, використання відомих способів розколювання грецьких горіхів за допомогою молотка або щипців часто призводить до роздавлювання їх ядра,

оскільки прикладене в цих випадках і завжди правильно розраховане нава-

нтаження спрямоване до нього (рисунок 14.4, а). Але безпечнішим для ядра (що стає очевидним при уявленні винахідника себе на його місці) був би спосіб, під час реалізації якого зусилля розколювання спрямоване від ядра назовні (рисунок 14.4, б). На практиці це може бути здійснено таким чином. Партія горіхів завантажується у герметичний резервуар, в який потім під тиском накачується повітря (рисунок 14.4, в). Через деякий час це повітря проходить і в середину горіхів, де тиск також підвищується. Далі повітря з резервуара різко спускається, тиск зовні горіхів стає меншим тиску всередині. В результаті, під дією цієї різниці тисків горіхи розколюються (рисунок 14.4, г).

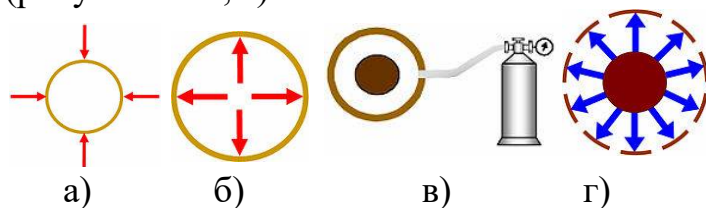


Рисунок 14.4 – Схеми реалізації способів розколювання горіхів: а – традиційного; б – одержаного за допомогою прийому емпатії

Під час використання прийому універсальності намагаються забезпечити виконання одним елементом пристрою, що удосконалюється, декількох важливих функцій [24]. Даний прийом був реалізований у штурмовику Іл-2 (рисунок 14.5), що випускав-

ся у період Великої Вітчизняної війни і мав зварений з броньованих плит фюзеляж. Останній виконував функцію несучого елемента (основи) для решти деталей, а також забезпечував захист пілота і відповідальних вузлів машини від ворожих куль і осколків. Це дозволило суттєво зменшити масу літака порівняно із іншими машинами того часу, фюзеляж яких складався з несучого каркасу, обшитого листами металу. Ще один приклад – установлення в українському літаку Ан-124 (рисунок 14.5) стрілового крану, що під час знаходження машини на землі використовується для завантаження. Але під час польоту стріла цього крану повертається і стає елементом фюзеляжу, що забезпечує його жорсткість, тобто виконується ще одна функцію [20, 21].



Рисунок 14.5 – Літаки Іл-2 та Ан-124

*Прийоми розділення і об'єднання* принципів, ефектів, схем, операцій, елементів ТС. Наприклад, гайка, різьба і корпус якої виконані у вигляді окремих деталей, може бути знятою з болта без згвинчування, а об'єднання в автомобільному колесі двох шин дозволяє набагато підвищити його надійність [20, 21].

*Прийом винесення* полягає у відокремленні (усуненні) частини, що заважає, або у виділенні (підсиленні) частини, яка є єдино потрібною. Так, під час флюорографії для захисту від рентгенівських променів більшості



органів на шляху випромінювання ставлять захисні бар'єри, залишаючи доступними для нього тільки ті частини грудної клітки, які необхідно перевірити [20, 21].

Під *ідеальним кінцевим результатом (ІКР)* розуміють уявну абстрактну ТС, яка виконує задану функцію, але її розміри і маса наближаються до нуля (ТС як така відсутня), її ККД дорівнює одиниці, система не здійснює негативного впливу на людину і навколишнє середовище, працює у повністю автоматизованому режимі, не потребує технічного обслуговування та ремонту і т. д. Конкретизація **ІКР** під час розв'язання тієї чи іншої творчої задачі і орієнтування на нього при виборі та удосконаленні прототипів (див. розділ 13), дозволяють одержувати кращі результати. Звичайно, описаний вище **ІКР** на практиці є недосяжним, але відомо багато прикладів наближення до нього. Так, перші телевізори, що з'явилися наприкінці 1930-х рр. при загальних габаритах порядку 1000×500×500 мм мали екрани розміром 150×250 мм (рисунок 14.6). При цьому дані екрани давали тільки чорно-біле і дуже неякісне зображення, а сам тодішній телевізор, побудований на радіолампах, споживав багато енергії, сильно нагрівався під час роботи і був досить ненадійним. Сучасні плазмові, рідкокристалічні (LCD) та світлодіодні (LED) телевізори можуть мати екрани практично будь-яких розмірів. До того ж, їх загальні розміри майже не відрізняються від розмірів екрану (товщина сучасних теле-



Рисунок 2.6 – Телевізори 1930-х і 2000-х рр.

візорів становить приблизно 100 – 150 мм). Вони дають дуже якісну, яскраву кольорову картинку, споживають порівняно мало енергії і мають значний термін служби [6].

Ще один приклад наближення до **ІКР** – використання самозмащувальних матеріалів для виготовлення зубчастих коліс, поршнів циліндрів, золотників гідроапаратури і інших деталей, що працюють в умовах інтенсивного тертя (дане рішення запропоновано польськими вченими). До складу самозмащувального матеріалу входить 0,3% свинцю, що дозволяє відмовитись від застосування змащувально-охолоджувальних рідин під час роботи механізмів і машин без втрати ними роботоздатності і зниження надійності [21].

## Контрольні запитання

1. Які ви знаєте основні найпростіші прийоми розв'язання задач інженерної творчості?

2. В чому суть прийому аналогії, як його правильно застосовувати на практиці?
3. Розкажіть про прийом інверсії та його різновиди.
4. Як реалізовується на практиці прийом емпатії?
5. В чому суть прийомів розділення та об'єднання, наведіть приклади їх практичного застосування?
6. Яка суть прийому універсальності?
7. Дайте означення ідеального кінцевого результату? Як поняття про ІКР використовується при розв'язанні творчих задач?
8. В чому суть прийому винесення?

### **Контрольні завдання**

Використовуючи розглянуті на практичному занятті найпростіші прийоми розв'язання творчих інженерних задач, запропонуйте один або декілька способів усунення описаних нижче проблемних ситуацій

1. Як зменшити витрати часу на будівництво великих кораблів?
2. Як забезпечити надійне підтискання коліс невеличких шахтних локомотивів до залізничних колій?
3. Чи можливо забезпечити охолодження абразивного круга і заготовки під час її обробки на шліфувальному верстаті без застосування змащувально-охолоджувальної рідини?
4. Як підвищити надійність спрацьовування свічки запалювання автомобільного двигуна?
5. Що є природним аналогом перистальтичного насоса?
6. За рахунок чого були зменшені габарити напівпровідникової апаратури?
7. Для зменшення тертя корпусів кораблів і літаків під час руху їх поверхні роблять максимально гладкими, але на них все одно залишаються шорсткості, розташовані в різних напрямках, що заважає зменшенню опору. Яким може бути спосіб його зменшення?
8. Як розрізати ножом металеву або пластмасову трубку без її сплюснення та зминання країв?
9. Як запобігти окисленню металів під час їх гарячої обробки тиском?
10. В яких технічних пристроях використовується спіраль Архімеда. Чим обумовлений такий вибір?
11. Якими можуть бути пристрої для швидкого і максимально зручного вмикання і вимикання світла у приміщенні?
12. Як можна максимально підвищити зручність взуття (підігнати його під конкретного покупця)?
13. Якими можуть бути пристрої для швидкого і максимально зручного включення і виключення водопровідного крана?
14. Як зменшити зношування покриттів шасі сучасних важких реактивних літаків під час приземлення та гальмування?

15. Як зменшити довжину черг й тривалість очікування важливими клієнтами, наприклад, під час замовлення ними квитків на довгі автобусні рейси або у випадку придбання товарів?

16. Як запобігти потраплянню на мікропроцесори та інтегральні схеми пилинок з одягу, обличчя та рук людини-робітника під час їх виготовлення та складання?

17. Як привернути увагу потенційних клієнтів на виставці автомобілів, якщо дана конкретна фірма – виробник не в змозі взяти у виставці безпосередню участь?

18. Як в умовах сильних морозів забезпечити роботоздатність системи для гасіння пожеж на відкритому повітрі, якщо дана система складається із системи труб з дрібними отворами для виливання води на джерело пожежі?

19. Для визначення площі контакту двох поверхонь під час притирання одну з них необхідно покрити тонким (десяті частки мікрметра) шаром фарби і щільно притиснути до іншої, однак після рознімання поверхонь на них досить важко помітити відбитки. Як бути?

20. Трубопровід проклали по дну річки, але в сильний мороз в місцях входу його під рівень річки та виходу з неї вода у трубі замерзла і постачання її припинилось. Як запобігти цьому?

21. Як ефективно видалити мул з дренажних труб, не розбираючи їх?

22. Після складання та заправки холодильних агрегатів необхідно перевірити герметичність трубок системи холодоагенту. Як це зробити?

23. В корпус вимірювального приладу під кришку необхідно покласти стиснену пружину, яка у вільному стані має довжину 100 мм і діаметр 10 мм. Як це зробити?

24. Під час транспортування цементу по пневмопроводах спостерігається інтенсивне зношування внутрішніх поверхонь труб. Як запобігти цьому?

25. У ванну з розплавом металу через отвір у днищі вводять інертний газ з порошковими немагнітними домішками, але частина домішок виходить разом із газом в атмосферу. Як запобігти цьому?

26. Які раніше отримані досягнення у військовій техніці були згодом використані в інших галузях?

## 15 МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ТЕХНІЧНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ

### 15.1 Морфологічна комбінаторика

Метод морфологічного аналізу та синтезу відноситься до евристичних методів ІТ (див. підрозділ 1.3). Розроблений він був у 30-х рр. ХХ ст. 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 повторили або випередили найновіші розробки німецьких ракет ФАУ-1 і ФАУ-3 [6].

Розглядуваний метод оснований на морфологічній комбінаториці. Суть його полягає в тому, що в ТО, який удосконалюється, виділяються функціональні, принципові 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 становлять практичний інтерес [6, 13].

Для прикладу в таблиці 15.1 наведено конструктивні ознаки та альтернативні варіанти їх реалізації для ТО «слюсарний напилек» (схеми для деяких з альтернативних варіантів напилка зображені на рисунках 15.1, 15.2). Якщо з кожного рядка 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, 4.4, 5.3, 6.2) позначений ТР, що являє собою напилек з крупною точковою насічкою, із загартованою робочою частиною прямокутного поперечного перерізу, з призматичною заокругленою рукояткою [6, 13].

Таблиця 15.1 – Морфологічна таблиця ТО «слюсарний напилек»

№ рядка	Конструктивні ознаки	Альтернативні варіанти (№ стовпця)			
		1	2	3	4
1	Частота насічки (рисунок 15.1, а)	Дрібна (І)	Середня (ІІ)	Крупна (ІІІ)	
2	Форма поперечного перерізу робочої частини (рисунок 15.1, б)	Прямокутна (а)	Напівкругла (б)	Квадратна (в)	Кругла (г)



Продовження таблиці 15.1

№ рядка	Конструктивні ознаки	Альтернативні варіанти (№ стовпця)			
		1	2	3	4
3	Форма насічки (рисунок 15.1, в)	Одинарна (I)	Подвійна (II)	Дугова (III)	Точкова (IV)
4	Форма рукоятки (рисунок 15.2)	Фігурна (а)	Сферична (б)	Призматична із закругленими гранями (в)	Дві рукоятки
5	Матеріал рукоятки	Дерево	Пластмаса	Кістка	Метал
6	Наявність зносостійкого та корозійностійкого покриття	Без покриття	Загартована поверхня	Наявність металевого зносостійкого наплення	Зносостійке покриття закріплюється механічним способом

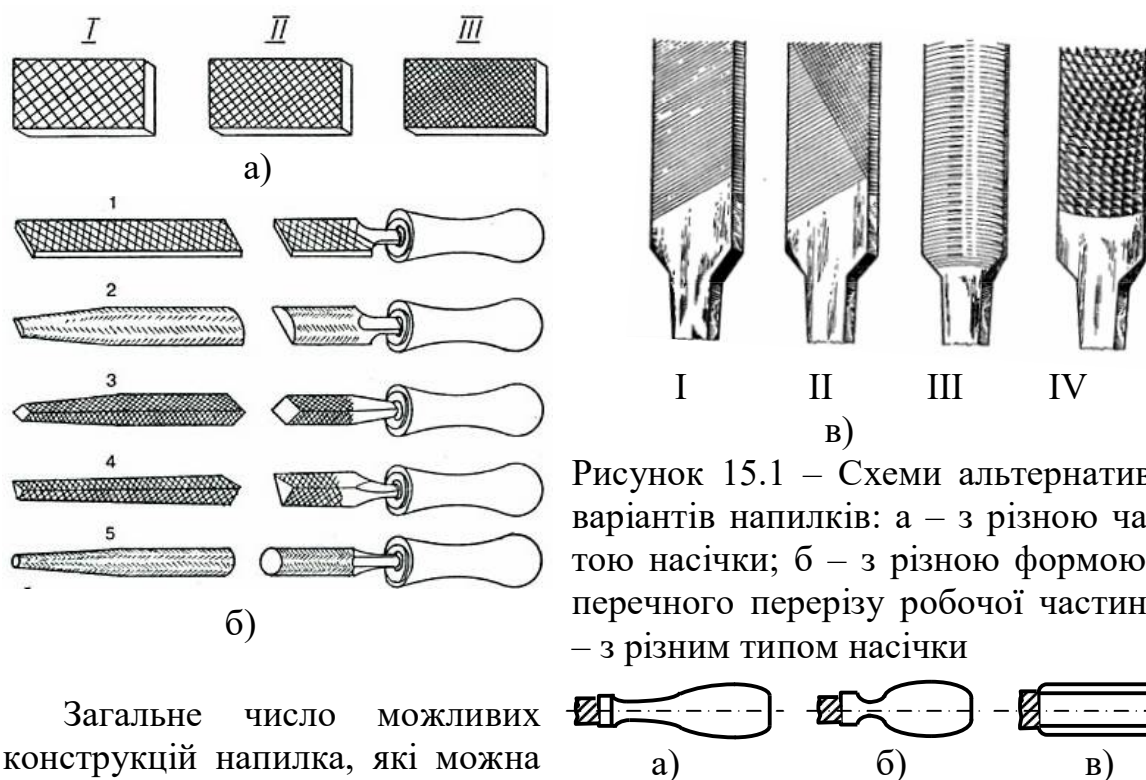


Рисунок 15.1 – Схеми альтернативних варіантів напилків: а – з різною частотою насічки; б – з різною формою поперечного перерізу робочої частини; в – з різним типом насічки

Загальне число можливих конструкцій напилка, які можна синтезувати за допомогою таблиці 15.1, підраховується як добуток чисел альтернативних варіантів в рядках:  $3 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 = 3072$ .

Рисунок 15.2 – Схеми альтернативних варіантів форми рукоятки напилка: а – фігурна; б – сферична; в – призматична

Морфологічні методи отримали широке розповсюдження в 50-60-х рр. ХХ ст. 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 (методів та способів) обробки металів, яка містить понад 3 млн. варіантів комбінацій [6, 13].

За допомогою морфологічних методів можна удосконалювати не лише **ТО**, а і технічні процеси (**ТП**). В останньому випадку до таблиці включаються альтернативні варіанти методів чи способів реалізації операцій **ТП**. Наприклад, операція «утворення нероз'ємного сполучення деталей станини машини» може бути виконана при використанні болтів і гайок, заклепок, зварювання або склеювання.

Загальна послідовність реалізації методу морфологічного аналізу та синтезу включає етапи підготовки форми морфологічної таблиці, заповнення її альтернативними варіантами реалізації функціональних, принципів або конструктивних ознак **ТО** і вибору серед всієї множини можливих комбінацій найбільш ефективних **ТР**.

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

## **15.2 Послідовність реалізації методу морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків**

Метод морфологічного аналізу та синтезу **ТР** реалізується в чотири етапи, що розглянуті нижче [6, 13].

### **Етап 1. Постановка задачі**

Методика постановки задачі інженерної творчості розглядалась у розділі 13.

### **Етап 2. Розділення **ТО** на складові елементи та опис функцій елементів**

Послідовність функціонального аналізу **ТО** докладно описана в підрозділі 5.3 [6, 13]. Результати даного аналізу зводяться до таблиці (див. таблицю 5.2).

### **Етап 3. Укладання морфологічної таблиці**

Морфологічну таблицю розробляють на підставі таблиці функціонального аналізу, складеної на попередньому етапі. Число її стовпців відповідає числу функціональних елементів – внутрішніх функцій **ТО**. В заголовках стовпців вказуються позначення та описи функцій [6, 13].

Вже на етапі створення формуляра морфологічної таблиці оцінюється доцільність включення до неї того чи іншого стовпця. Справа в тому, що

для деяких функцій запропонувати альтернативні варіанти їх виконання не є можливим. Стовпці з описами таких функцій до таблиці не включаються, оскільки це призведе до збільшення варіантів **ТР**.

Для того, щоб таблиця містила більше число патентоспроможних **ТР**, рекомендується розробляти її на підставі декількох ефективних прототипів **ТО** в результаті виділення в них характерних функціональних елементів і формулювання узагальнених описів функцій, які стають заголовками стовпців таблиці [6, 13].

Далі починають заповнення морфологічної таблиці альтернативними варіантами реалізації відповідних функцій. При цьому кожен з альтернативних варіантів 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 до морфологічної таблиці 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, описи до патентів за останні 5 – 10 років, каталоги виставок тощо [6, 13].

Після заповнення морфологічної таблиці практично в кожному її стовпці можна знайти альтернативні варіанти, при об'єднанні яких в комбінацію вони підсилюють один одного або мають менше число недоліків. Подібні ефективні комбінації записуються у нижній частині кожного стовпця як додаткові альтернативні варіанти.

Якщо описи до альтернативних варіантів в таблиці не достатньо зрозумілі, їх доповнюють схемами, графіками або коментарями на окремому аркуші [6, 13].

#### **Етап 4. Вибір найефективніших технічних розв'язків**

Загальне число варіантів **ТР**, синтезованих за допомогою деяких морфологічних таблиць, може сягати сотень тисяч. Їх детальний аналіз та вибір найкращих **ТР** потребує 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 [6, 13]

$$N = n_1 \cdot n_2 \times, \dots, \times n_m, \quad (15.1)$$

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

Зі всієї множини **ТР** найперспективніші можуть бути обрані шляхом послідовного скорочення найменш ефективних варіантів. Перше скорочення проводять до виконання умови [6]

$$N \leq N_{or}, \quad (15.2)$$

в якій  $N_{or}$  – оглядове число можливих варіантів **ТР**, що для відносно простих **ТО** (для яких час порівняння будь-яких двох прототипів і вибору з них найкращого не перевищує 10 с) становить  $N_{or} = 10000$ ; для складніших зразків  $N_{or} = 1000$  [6].

Якщо нерівність (15.2) 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 за кількістю основних недоліків. Визначені таким чином найгірші альтернативні варіанти скорочуються.

Інший, більш радикальний, спосіб зменшення  $N$  полягає у скороченні окремих стовпців морфологічної таблиці зі всіма альтернативними варіантами, що в них містяться. При цьому серед всіх стовпців (функціональних елементів) виділяють основні, від яких в першу чергу залежить ефективність **ТО**, а також другорядні елементи, що практично не впливають на виконувану зовнішню функцію і тому підлягають скороченню [6, 13].

У випадку виконання умови (15.2) можна починати синтез можливих **ТР** 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 **ТР**.

При її реалізації скорочення здійснюється шляхом викреслювання найгірших комбінацій з мінімального числа альтернативних варіантів, які аналізуються значно швидше, ніж повністю синтезовані **ТР**. До найгірших відносять комбінації, що важко реалізуються або не реалізуються взагалі, найдорожчі комбінації, комбінації, які мають найбільше число недоліків, а також ті, що найменшою мірою відповідають вимогам до прототипів. Опишемо дану методику, використовуючи абстрактну морфологічну таблицю 15.2 [6, 13].

Таблиця 15.2 – Абстрактна морфологічна таблиця

$\Phi_0$	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$
$A_0^1$	$A_1^1$	$A_2^1$	$A_3^1$	$A_4^1$
$A_0^2$	$A_1^2$	$A_2^2$		$A_4^2$
$A_0^3$	$A_1^3$	$A_2^3$		
$A_0^4$		$A_2^4$		
		$A_2^5$		

У даній таблиці обираємо два стовпці з найменшим числом альтернативних варіантів – стовпці  $\Phi_3$  і  $\Phi_4$  – і утворюємо з їх елементів всі можливі подвійні комбінації (таблиця 15.3) [6, 13]. 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 15.3 – Утворення комбінацій з двох елементів

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

Обираємо з таблиці 15.2 серед стовпців, що залишилися незадіяними в таблиці 15.3, наступний стовпець з найменшим числом альтернатив – стовпець  $\Phi_1$  – і утворюємо між його елементами та подвійними комбінаціями таблиці 15.3 всі можливі потрійні комбінації – таблиця 15.4 [6, 13]. Припустимо, що результати порівняльного аналізу даних комбінацій дозволили три з них (виділені фоном сірого кольору) віднести до найгірших і скоротити.

Таблиця 15.4 – Утворення та скорочення комбінацій з трьох елементів

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

Обираємо з таблиці 15.2 наступний стовпець з найменшим числом альтернатив – стовпець  $\Phi_0$  – і утворюємо між ними та потрійними комбінаціями, що залишилися в таблиці 15.4, всі можливі комбінації з чотирьох елементів – таблиця 15.5. Оскільки комбінації легко утворюються та аналізуються подумки, їх позначення не обов’язково вписувати в клітинки таблиці. В таблиці 15.5 на підставі порівняльного аналізу також визначаються найгірші комбінації (відповідні клітинки виділені сірим кольором) [6, 13].

Таблиця 15.5 – 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 (загальною масою, надійністю, витратами електроенергії та дорогих матеріалів, трудомісткістю виготовлення і т. д.) [6, 13].

Ефективність тільки що описаної методики обумовлена тим, що сполучення елементів **ТО** (подвійні та потрійні комбінації альтернативних варіантів) аналізуються швидше, ніж весь **ТО**.

Перелік варіантів, отриманий після скорочення найгірших комбінацій, упорядковується за параметрами порівняння від кращих до гірших. При рівних або близьких значеннях параметрів порівняння у двох або більшому числі 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 (таблиця 15.6) [6, 13], в яких дається оглядова розрахунково-експертна оцінка **ТР**.

Таблиця 15.6 – Порівняльна оцінка варіантів **ТР** «Електроустановка»

Параметри порівняння	Варіанти <b>ТР</b>		
	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**.

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

Після цього проводиться більш детальне конструкторське опрацювання обраних **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 опрацьовані з використанням методу морфологічного аналізу та синтезу.

### 15.3 Приклад виконання індивідуального практичного завдання з морфологічного аналізу та синтезу технічних розв'язків

В даному підрозділі наведено приклад розв'язання задачі **ІТ** з використанням методу морфологічного аналізу та синтезу [6, 13].

#### Умова задачі

Індивідуальні побутові електроплитки мають порівняно 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

#### Операція 1. Опис проблемної ситуації

1. Індивідуальні побутові електроплитки мають порівняно 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.

2. Необхідно створити електроплитку з ККД 60 – 80% і часом  $t_k$  не більшим, ніж у газової плити.

3. 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.

4. 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 2. Опис зовнішньої функції технічного об'єкта

Таблиця 15.7 – Опис зовнішньої функції побутової електроплитки

Найменування <b>ТО</b>	Опис функції		
	Вплив – <b>В</b>	Об'єкт впливу – <b>О</b>	Умови та обмеження – <b>У</b>
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 3. Вибір прототипів і укладання списків вимог до них

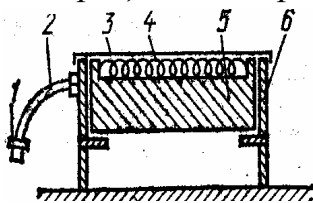


Рисунок 15.3 – Вихідний прототип електроплитки: 1 – роз'єм; 2 – провід; 3 – захисний екран; 4 – спіраль; 5 – теплоізолювальний вогнетривкий блок; 6 – корпус

Вихідним прототипом в даній задачі є побутова електроплитка (рисунок 15.3), що складається з нагрівної 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 3. Нагрівна спіраль накрита зверху суцільним захисним екраном 3 з тугоплавкого металу.

Як перший додатковий прототип візьмемо електроплитку, яка є майже повним аналогом вихідного прототипу, але її захисний екран 3

виконаний у вигляді грубої металевої решітки. Остання порівняно із екраном вихідного прототипу затримує значно менше тепла, що сприяє прискоренню нагрівання води та підвищенню ККД електроплитки.

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 установлюється мінімальна температура, достатня для підтримання кипіння при мінімальних витратах електроенергії.

Функціональною вимогою (**СВ1**) для всіх трьох прототипів є виконання ними заданої зовнішньої функції (див. таблицю 15.7): забезпечення нагрівання води в ємності об'ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв.

**СВ3.** Внутрішніми функціями вихідного прототипу є: у роз'єму 1 – під'єднання і роз'єднання електромережі та проводу 2; у проводу 2 – передача електроенергії, отриманої через роз'єм 1, до спіралі 4, в якій вона перетворюється у теплову енергію; у спіралі 4 – нагрівання захисного екрана 3; у екрана 3 – нагрівання ємності з водою та захист спіралі від пошкодження; у теплоізолювального вогнетривкого блока 5 – запобігання недопустимо інтенсивному нагріванню корпусу 6 та столу, на якому установлений **ТО**, а також підтримання спіралі у певному положенні і забезпечення її електроізоляції; у корпусу 6 – фіксація решти елементів електроплитки у певних положеннях в просторі один відносно одного.

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 блока 5, жаростійкості, довговічності і високої теплопровідності спіралі 4 та захисного екрана 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 високо-



ефективних інструментів та технологій), виготовлення та випробовування (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 роботоздатності); 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 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 блока і, певною мірою, – основи електроплитки та НС, що не є корисною роботою і призводить до зниження ККД.

2. З першим недоліком пов'язаний також і значний (порівняно 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 високоінтенсивного 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 потребує проведення проектних та перевірних розрахунків, розробки конструкторської документації (складальних та робочих креслень, специфікацій), 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), навчання робітників і наладчиків, установа взаємовідносин із суміжниками, підготовки серійного виробництва, випуску серійних зразків (витрат часу, електроенергії та коштів на зарплатню робітникам при виготовленні та складанні елементів).

5. Прототипи **ТО** під час експлуатації становлять 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 5. Попередня постановка задачі*

##### **Дано**

1. Якісний та кількісний опис функції **ТО** (див. операцію 2).
2. Перелік прототипів **ТО** з описами та списками вимог до них (див. операцію 3).
3. Списки недоліків прототипів (див. операцію 4).

##### **Вимагається**

Так удосконалити прототипи, щоб за умови 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 якомога менше виявлених недоліків або не мали їх зовсім.

#### **Етап 2. Розділення **ТО** на складові елементи та опис функцій елементів**

Розділення електроплитки на неподільні елементи і визначення їх найменувань та функцій було проведено в 1-й операції постановки задачі (див. також рисунок 15.3).

Зі всієї множини людей, **ТС** та впливів **НС** з розглядуваним **ТО** безпосередньо пов’язані: **ТС** «ємність з водою об’ємом 3 – 6 л» (**ТС<sub>3.61</sub>**), яку він нагріває до заданої температури протягом установленого допустимого часу; **ТС** «стіл» (**ТС<sub>3.62</sub>**), на якому **ТО** установлений; **ТС** «електромережа» (**ТС<sub>3.63</sub>**) – забезпечує подачу до **ТО** електроенергії.

Виконавчим елементом **ТО** є захисний екран (**e<sub>0</sub>**), одна з функцій якого (**Ф<sub>01</sub>**) 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** – таблицю 15.8 [6, 13].

Таблиця 15.8 – Аналіз функцій **ТО** «електроплитка»

Елемент		Функція	
По-знач.	Найменування	По-знач.	Опис
<b>e<sub>0</sub></b>	Захисний екран	<b>Ф<sub>01</sub></b>	Забезпечення нагрівання води в ємності ( <b>ТС<sub>3.61</sub></b> ) об’ємом 3 – 6 л від початкової температури 10 °С до 100 °С за 10 – 20 хв
<< >>	<< >>	<b>Ф<sub>02</sub></b>	Забезпечення захисту спіралі ( <b>e<sub>1</sub></b> ) від пошкодження

Продовження таблиці 15.8

Елемент		Функція	
По-знач.	Найменування	По-знач.	Опис
$e_1$	Спіраль	$\Phi_1$	Забезпечення нагрівання захисного екрана ( $e_0$ )
$e_2$	Провід	$\Phi_2$	Передача електроенергії від роз'єму ( $e_3$ ) до спіралі ( $e_1$ )
$e_3$	Роз'єм	$\Phi_3$	Забезпечення з'єднання і роз'єднання електромережі (ТС <sub>3.62</sub> ) та проводу ( $e_2$ )
$e_4$	Теплоіз. вогнетр. блок	$\Phi_{41}$	Зменшення теплового впливу спіралі ( $e_1$ ) на корпус ( $e_5$ ) та стіл (ТС <sub>3.63</sub> )
<< >>	<< >>	$\Phi_{42}$	Підтримання спіралі ( $e_1$ ) у певному положенні
<< >>	<< >>	$\Phi_{43}$	Забезпечення електроізоляції спіралі ( $e_1$ )
$e_5$	Корпус	$\Phi_5$	Забезпечення фіксації захисного екрана ( $e_0$ ), спіралі ( $e_1$ ), проводу ( $e_2$ ) та теплоізолювального вогнетривкого блока ( $e_4$ ) у певних положеннях в просторі один відносно одного та відносно столу (ТС <sub>3.63</sub> )

### Етап 3. Складання морфологічної таблиці

Морфологічну таблицю розробляємо на підставі таблиці аналізу функцій **ТО** (див. таблицю 15.8). Її аналіз показує, що комбінування альтернативними варіантами для функцій  $\Phi_3$ ,  $\Phi_4$ ,  $\Phi_5$  мало впливає на усунення недоліків прототипів та поліпшення параметрів порівняння (часу нагрівання  $t_k$  і ККД, див. операцію 1, етапу 1). Тому стовпці з формулюваннями даних функцій і альтернативними варіантами **ТР** з їх реалізації до морфологічної таблиці включати недоцільно.

Заповнюємо стовпці відпрацьованого формуляра альтернативними варіантами (таблиця 15.9). В нижній частині 3-го і 4-го стовпців таблиці 15.9 наведено можливі ефективні комбінації альтернативних варіантів реалізації відповідних функцій [6, 13]: дзеркальний циліндричний кожух навколо ємності і плитки, що забезпечує конвекційний обмін нагрітого повітря зі стінками ємності і той самий дзеркальний кожух із зовнішньою тепловою ізоляцією.

### Етап 4. Вибір найефективніших технічних розв'язків

За формулою (15.1) число можливих комбінацій **ТР**, які можуть бути синтезовані на підставі таблиці 15.11 підраховується як  $N = 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 = 300$ .

Оскільки за умовою (15.2)  $N < 10^4$ , скорочення альтернатив в стовпцях морфологічної таблиці проводити не потрібно.

Таблиця 15.9 – Морфологічна таблиця варіантів ТР «електроплитка»

$\Phi_0$ – нагрівання води в ємності до кипіння	$\Phi_2$ – підтримання нагрівного елемента у певному положенні	$\Phi_6$ – підвищення кількості теплоти, що передається від нагрівного елемента до ємності з водою	$\Phi_1$ – зниження втрат теплоти від нагрівного елемента у навколишнє середовище
$A_1^1$ – груба металева решітка	$A_2^1$ – теплоізолювальний вогнетривкий матеріал	$A_3^1$ – криволінійне дзеркало, що відбиває тепловий потік на днище 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 нагрівний елемент, від якого теплота передається стінкам ємності через матеріал з високою теплопровідністю	$A_4^2$ – дзеркало у вигляді легкого циліндричного вертикального кожуха 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 нагрівним елементом та днищем ємності для направлення тепла	$A_4^3$ – те ж саме з кришкою над ємністю
	$A_2^4$ – підвіска на ізольованих металевих гачках	$A_3^4$ – дзеркальний циліндричний кожух навколо ємності і плитки, що забезпечує конвекційний обмін нагрітого повітря зі стінками ємності $A_3^5 = (A_3^1, A_3^3)$	$A_4^4$ – те ж саме із зовнішньою тепловою ізоляцією дзеркального кожуха $A_4^5 = (A_4^1, A_4^3)$

Згідно із вказівками наведеної вище методики (див. підрозділ 15.2) складається таблиця 15.10 утворення комбінацій з двох елементів, з якої усуваються всі найгірші комбінації – відповідні графі зачорнені.

Далі складається таблиця 15.11, з якої викреслюються найгірші комбінації з трьох елементів. Оскільки число допустимих комбінацій, що залишились в таблиці 15.11, все ще занадто велике, для них проводиться дода-

ткове порівняльне оцінювання. Малоефективні варіанти скорочуються (графи відмічені сірим кольором).

Будується остаточна таблиця 15.12, в якій спочатку викреслюються явно гірші комбінації (зачорнені). Варіанти, що залишились, порівнюються між собою за додатковими параметрами (надійність, трудомісткість виготовлення, вартість). Усунені при цьому варіанти відмічені сірим фоном.

Таблиця 15.10 – Утворення та скорочення комбінацій з двох елементів

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

Таблиця 15.11 – 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 15.12 – Утворення та скорочення комбінацій з чотирьох елементів

№ рядка		$A_4^1$	$A_4^2$	$A_4^3$	$A_4^4$	$A_4^5$
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 взято до уваги, що відбивний кожух  $A_4^2$  може одночасно виконувати функцію конвекційного кожуха  $A_3^4$  (див. таблицю 15.9).

Формально в трьох рядках таблиці 15.12 залишилось десять варіантів ТР. Якщо у варіанті  $A_4^3$  зробити легку знімну кришку, для того щоб користувач міг його перетворювати на варіант  $A_4^2$  (див. таблицю 15.9), то по суті розв'язок  $A_4^5$  одночасно реалізує можливості  $A_4^2$  і  $A_4^3$  в рядках 1, 5 і 7 таблиці 15.12. Таким чином, для детальнішого опрацювання пропонується три варіанти (див. таблицю 15.12) [6]:

$$\text{ТР1} = (A_1^1, A_2^2, A_3^1, A_4^5),$$

$$\text{ТР2} = (A_1^1, A_2^3, A_3^1, A_4^5), \quad (15.3)$$

$$\text{ТР3} = (A_2^2, A_2^4, A_3^1, A_4^5).$$

Схема отриманого ТР1 зображена на рисунку 15.4 [6]. В даному варіанті ємність з водою 3 встановлюється на несучому каркасі 4.

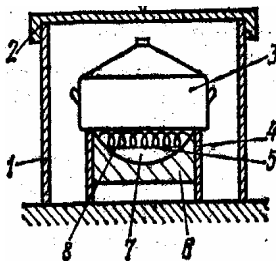


Рисунок 15.4 – Поліпшений ТР електроплитки: 1 – дзеркальний циліндр; 2 – кришка; 3 – ємність; 4 – каркас; 5 – решітка

Нагрівання здійснюється спіраллю 8, яка кріпиться на тонкій непровідній решітці 5. Частина теплоти, що випромінюється і йде від спіралі до низу, відбивається сферичним дзеркалом 7 і додатково затримується шаром з теплоізоляційного матеріалу 6. На додаток, для обмеження потоків теплоти, що йдуть від ємності в сторони і вгору, електроплитка оснащується легким металевим порожнім циліндром 1 із дзеркальною внутрішньою поверхнею. Зверху на циліндр вдягається кришка 3.

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, ізольовано закріпленими на стінках каркасу 4.

#### 15.4 Контрольні запитання

1. В чому суть морфологічної комбінаторики?
2. Ким, коли і з якою метою був розроблений метод морфологічного аналізу та синтезу?
3. Як за допомогою методу морфологічного аналізу та синтезу удосконалюються технологічні процеси?

4. Які етапи містить послідовність реалізації методу морфологічного аналізу та синтезу?

5. Як визначити загальне число варіантів технічних розв'язків, що може бути синтезоване за допомогою тієї чи іншої морфологічної таблиці?

6. Як готується формуляр морфологічної таблиці і здійснюється його заповнення альтернативними варіантами реалізації технічних розв'язків?

7. Як визначити допустиме число альтернативних варіантів у попередньо складеній морфологічній таблиці?

8. Як найраціональніше скоротити число допустимих варіантів технічних розв'язків, що можуть бути синтезовані за допомогою морфологічної таблиці?

9. Як здійснюється порівняння варіантів технічних розв'язків, синтезованих за допомогою остаточної морфологічної таблиці?

### 15.5 Контрольні завдання

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

1. Токарно-гвинторізний верстат.
2. Баштовий кран.
3. Екスカлятор.
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.

Скласти морфологічну таблицю для технічного об'єкта.

1. Викрутка.
2. Колесо транспортного засобу.
3. Двері.
4. Авторучка.
5. Болт.
6. Підшипник.
7. Слюсарна ножівка.
8. Токарний різець.
9. Сидіння водія автомобіля.
10. Гайковий ключ.
11. Гідроциліндр.
12. Свердло.

## 16 АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ТЕХНІЧНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ

### 16.1 Багаторівневі морфологічні таблиці

Розглядуваний метод автоматизованого синтезу відноситься до комп'ютерної групи методів ІТ (див. підрозділ 1.3) і призначений для розв'язання задач, пов'язаних із вибором найраціональніших варіантів ТР. В своїй основі він являє собою подальший розвиток методу морфологічного аналізу та синтезу (див. розділ 15) [6, 13].

Суть методу полягає в тому, що інформацію про елементи прототипів або відомих ТО певного призначення, а також їх конструктивні ознаки подають 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 до задач 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 [6, 13].

Порівняно із методом морфологічного аналізу та синтезу метод автоматизованого синтезу має такі основні переваги [6, 13]:

- 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 певної і досить обмеженої множини ТО, які повинні відповідати таким вимогам [6, 13]:

- мати значне, важко оглядове навіть для фахівців число прототипів, яке, до того 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 пов'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 підрозділах розглядаються етапи реалізації методу автоматизованого синтезу [6, 13].



## 16.2 Послідовність реалізації методу автоматизованого синтезу варіантів технічних розв'язків

Метод автоматизованого синтезу реалізується в чотири етапи.

### Етап1. Побудова І-АБО-дерева технічних розв'язків

На початку даного етапу здійснюється розділення прототипів **ТО**, що удосконалюється, на елементи, визначення їх найменувань та конструктивних ознак. Останні можуть бути поділені на 6 груп [6, 13]:

- ознаки, що визначають розташування елементів в просторі і один відносно одного;
- ознаки, що характеризують впливи між елементами при виконанні ними внутрішніх функцій та зовнішньої функції **ТО** (наприклад, впливами можуть бути: шарнірні, різьбові та зварні з'єднання; зубчасті, пасові та ланцюгові передачі; гідролінії, електричні сигнали тощо);
- ознаки геометричної форми елементів;
- ознаки матеріалу, що визначають його марку, основні властивості або параметри;
- ознаки решти експлуатаційних, технологічних, конструктивних, ергономічних, естетичних, економічних параметрів, параметрів зберігання та транспортування, планування та постачання, параметри відповідності правовим нормам та якості виготовлення **ТО** (див. пункт 7.1.6), а також співвідношень між ними;
- інші ознаки, до яких відносяться фізичний принцип дії (п'єзоелектричний датчик), вид енергоносія (електроенергія, теплота згоряння рідкого палива), технологічний спосіб виготовлення (литий корпус) тощо.

Далі для кожного з прототипів будується ієрархічне дерево. При цьому на першому зверху рівні дерева розташовують вершину з найменуванням прототипу, 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 зображають на четвертому, п'ятому і наступних, якщо це потрібно, рівнях.

Для прикладу на рисунку 16.1 наведено загальні види прототипів легкового автомобіля, який удосконалюється, а на рисунках 16.2 – 16.5 подано ієрархічні дерева цих прототипів [13].

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 точками). Це означає, що всі елементи та ознаки ієрархічного дерева (яке називають також І-деревом) є обов'язковими (безальтернативними) для даного прототипу **ТО**.

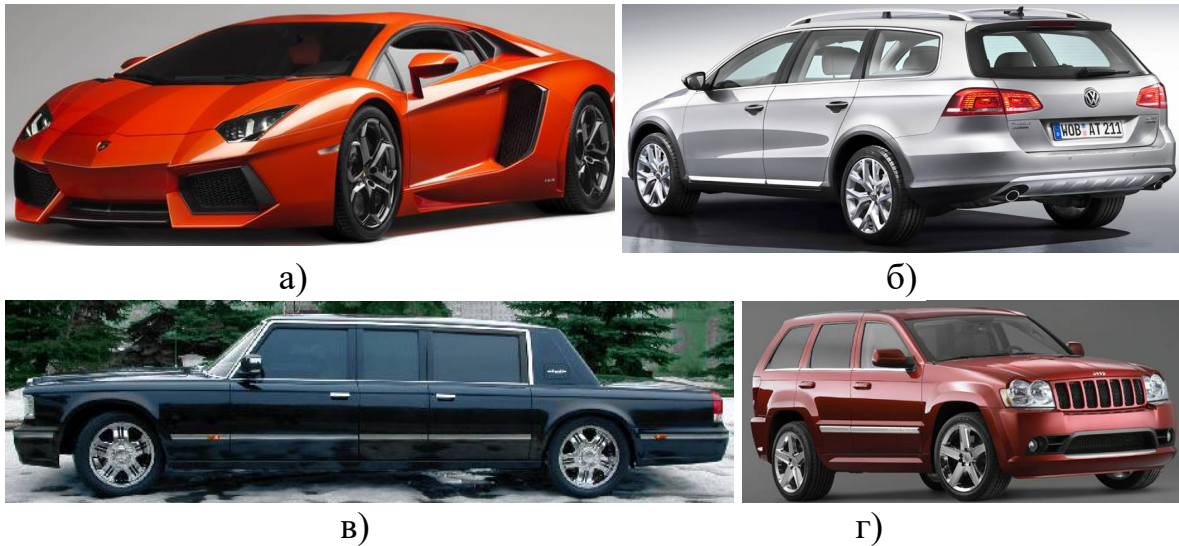


Рисунок 16.1 – Прототипи легкового автомобіля: а – спортивного; б – масового; в – представницького класу (лімузин); г – позашляховика

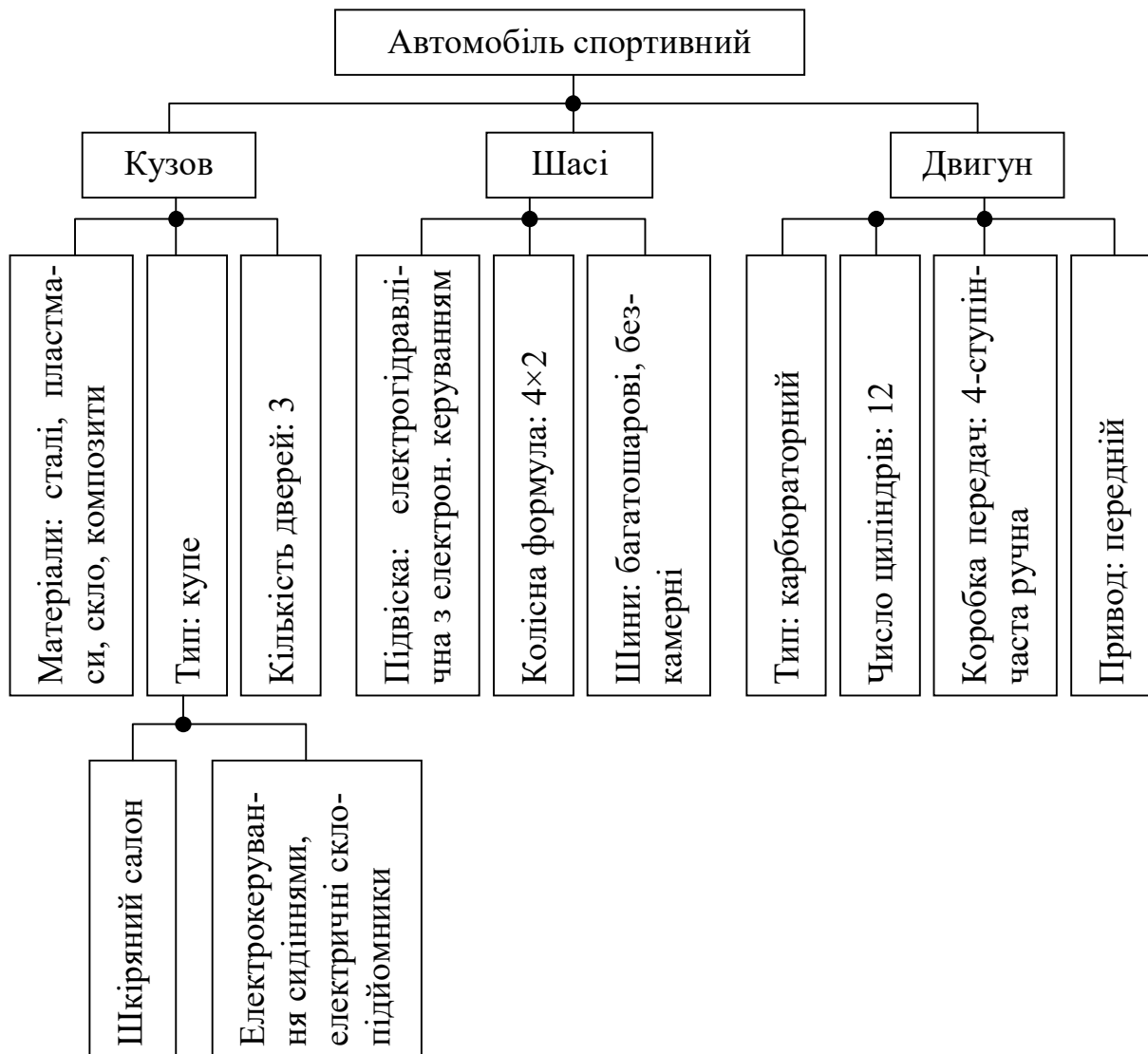


Рисунок 16.2 – Ієрархічне дерево спортивного автомобіля

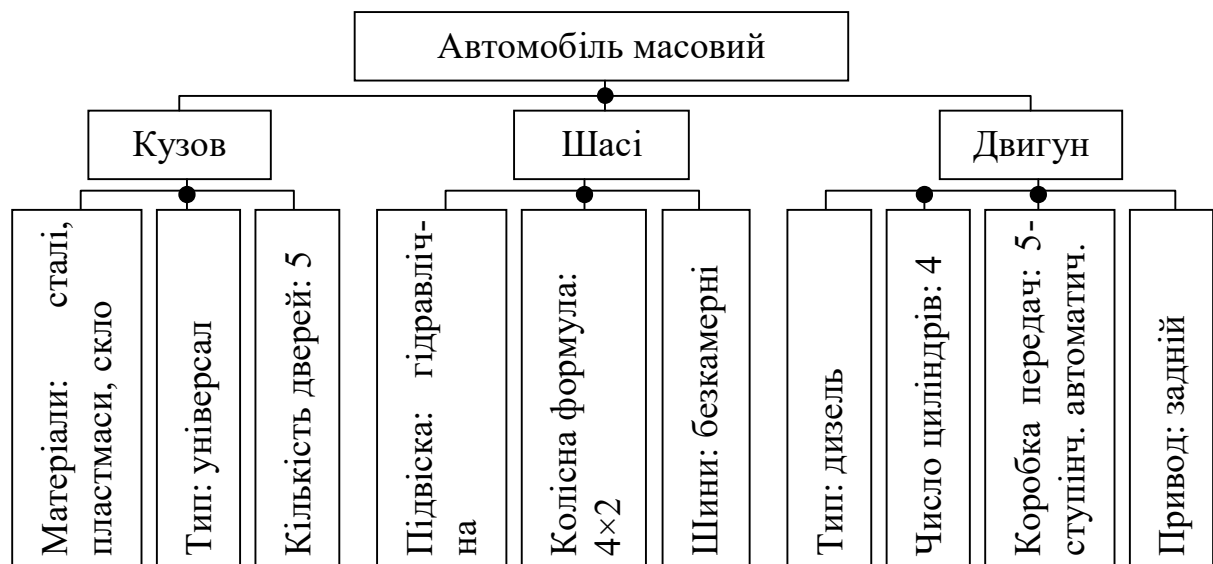


Рисунок 16.3 – Ієрархічне дерево масового легкового автомобіля

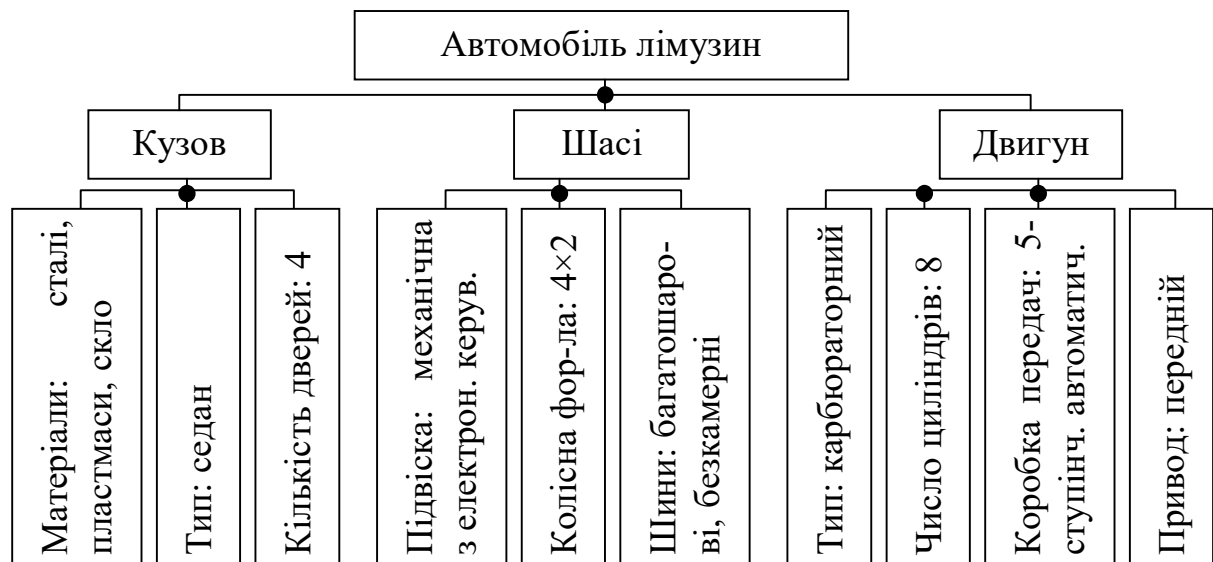


Рисунок 16.4 – Ієрархічне дерево автомобіля лімузин

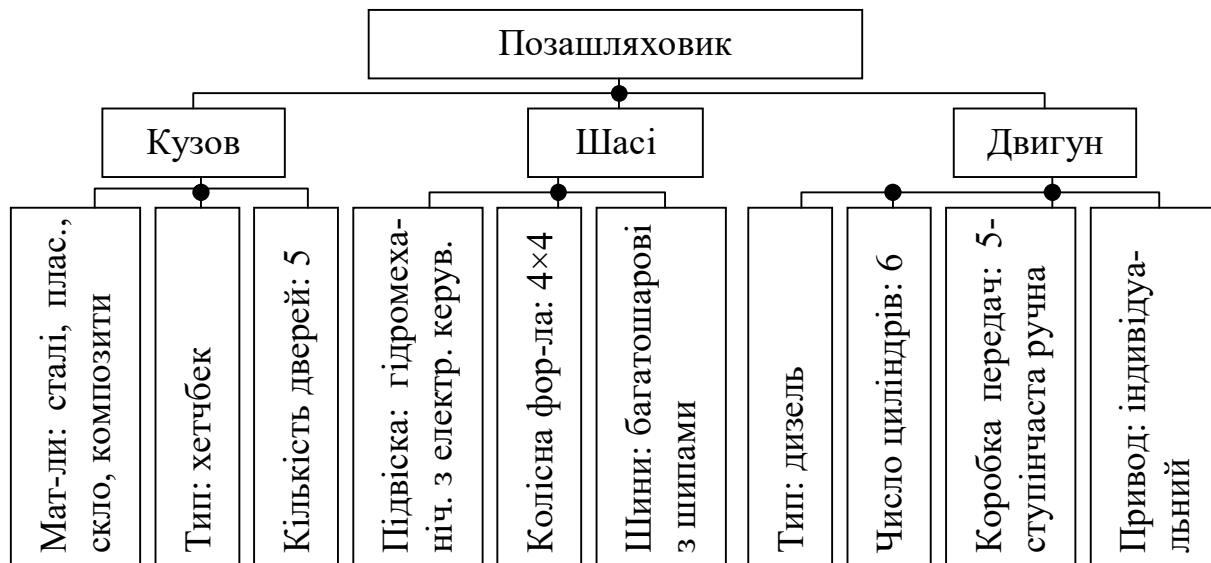


Рисунок 16.5 – Ієрархічне дерево позашляховика

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 [6].

1. На першому зверху рівні показують вершину із загальним найменуванням всіх прототипів **ТО**.

2. Далі на другому зверху рівні розташовують вершини з найменуваннями елементів всіх прототипів. При цьому вершини аналогічних або близьких за призначенням та конструкцією елементів різних **ТО** зображаються 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 незафарбованими точками.

3. Під рівнем з вершинами елементів розташовуються вершини з описами їх ознак, які також можуть сходитись у І-вузлах (якщо вони є обов'язковими для всіх прототипів) або в АБО-вузлах (у випадку, якщо вони являють собою альтернативні варіанти однієї і тієї самої ознаки). При цьому слід звертати увагу на недопустимість повторного зображення вершин з описами аналогічних ознак, які лише незначно відрізняються за формою. В таких випадках, знов-таки, підбирається один загальний опис.

4. Отримане І-АБО-дерево доповнюють додатковими елементами та конструктивними ознаками, оскільки, як показує досвід, дерево, побудоване лише на підставі відомих прототипів **ТО**, містить мало патентоспроможних **ТР**. Таке доповнення здійснюється після вивчення патентів на **ТО** аналогічного призначення, а також з використанням евристичних методів **ІТ** (див. підрозділ 1.2 та розділи 14, 15).

На рисунку 16.6 подано фрагмент загального І-АБО-дерева легкового автомобіля, група альтернативних варіантів якого, що пов'язана із матеріалами для виготовлення кузова, доповнена вершиною «титанові сплави» (можливо також введення вершини «алюмінієві сплави»). Крім цього, додатково введено варіанти: «надувні подушки безпеки», «бортовий комп'ютер», «регулювання положення керма». Множину конструктивних ознак двигуна можна доповнити варіантами «інжекторний», «електричний», «двигун Стірлінга», «газотурбінний». Доцільно додати і альтернативи щодо типу кузова: «кабриолет», «пікап», «родстер» (рисунок 16.7) [13].

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 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.

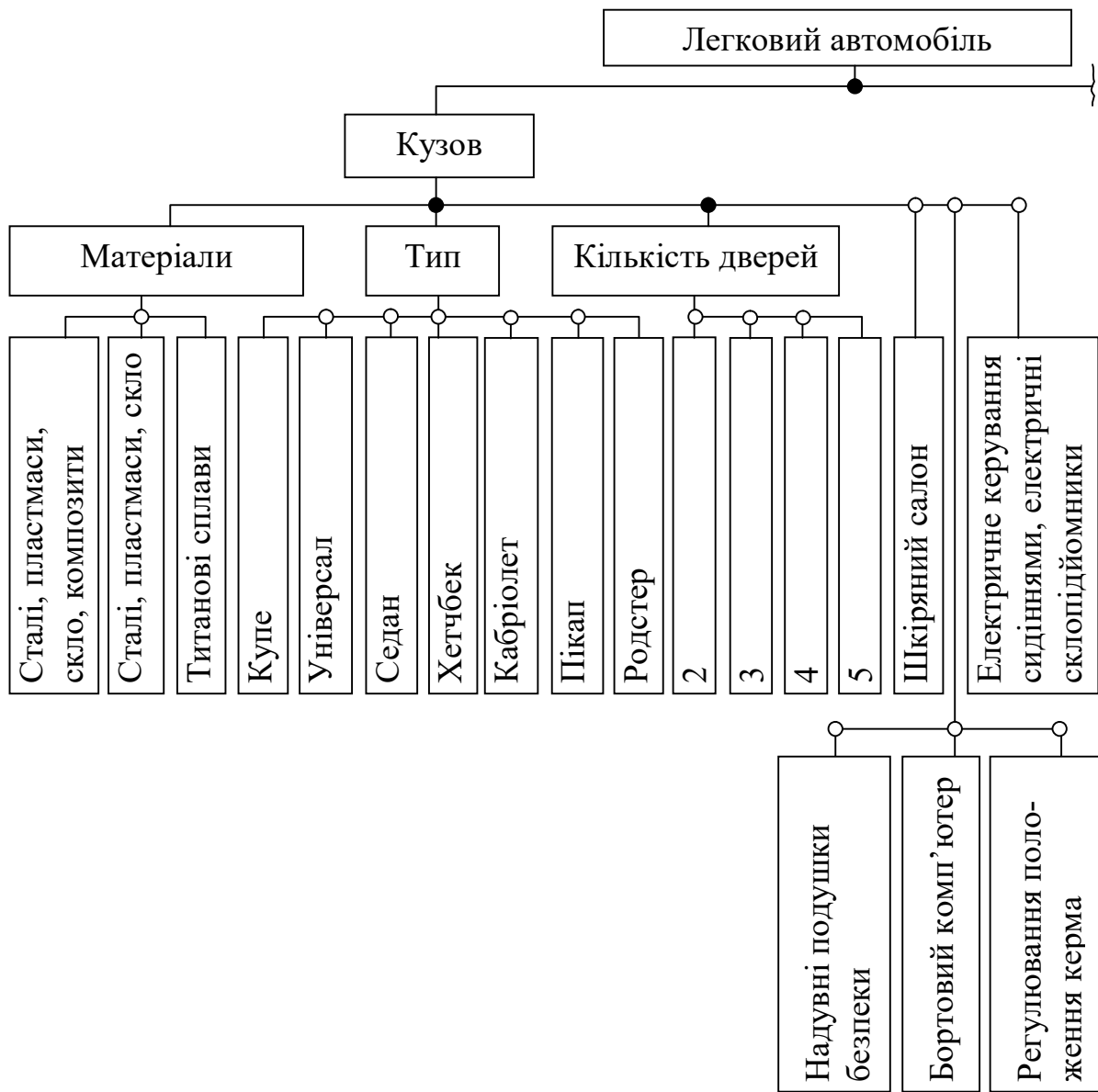


Рисунок 16.6 – Фрагмент доповненого загального I-АБО-дерева легкового автомобіля



а)



б)



в)

Рисунок 16.7 – Додаткові прототипи легкового автомобіля: а – кабриолет; б – пікап; в – родстер

## Етап 2. Укладання списку вимог до синтезованих ТР

Список вимог повинен відповідати всій множині **ТО**, поданих 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 (див. пункт 7.1.6). Всі вимоги доцільно розділити на дві групи [6, 13]:

- 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 за різних умов використання **ТО** може відноситись як до перших, так і до других.

Загальний список вимог оформлюється у вигляді таблиці 16.1 (в таблиці представлені вимоги для легкових автомобілів) [6, 13].

Таблиця 16.1 – Список вимог для прототипів **ТО** «Легковий автомобіль»

Вимоги	Параметри вимог
Максимальна швидкість	120 км/год 180 км/год 220 км/год 320 км/год
Загальна маса	1,5 т 1,8 т 2 т 2,5 т
Потужність двигуна	80 к. с. 100 к. с. 200 к. с. 300 к. с.
Витрати пального на 100 км шляху (міський цикл)	5 7 10 15
Число пасажирських місць	3 4 5 7
Колір кузова	Білий Синій Червоний Зелений

Таблиця 16. 1 містить стовпці з 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 укладанні списку вимог рекомендується користуватись державними стандартами, технічними умовами, технічними завданнями на розробку, актами випробовувань та експлуатації, патентами на **ТО**, що мають аналогічне або близьке призначення.

Оскільки трудомісткість виконання наступного етапу значною мірою залежить від числа вимог у загальному списку, рекомендується обмежити їх число і не включати до списку ті додаткові вимоги, що не здійснюють суттєвого впливу на вибір найкращих **ТР** і можуть бути легко забезпечені при подальшому конструктивному опрацюванні.

### **Етап 3. Розробка моделі оцінювання технічних розв'язків**

На третьому етапі на підставі 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 [6, 13].

До моделі оцінювання входять значення параметрів І-вузлів загального 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 однією з п'яти згорток (формул) [6].

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

$$\text{СУМА } \Pi_1 = \sum \pi_i, i = 1, 2, \dots, n, \quad (16.1)$$

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

$$\text{МАКСИМУМ } \Pi_1 = \max: \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n. \quad (16.2)$$

$$\text{МІНІМУМ } \Pi_1 = \min: \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n. \quad (16.3)$$

За формулою (16.2) визначається, наприклад, ймовірність відмови вузла машини (як максимальне значення серед значень ймовірностей відмов всіх деталей, з яких складається даний вузол). Формулою (16.3) 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).

4. Згортка **СРЗВ** – 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

$$\text{СРЗВ } \Pi_i = \frac{\sum k_{в.і} \Pi_i}{\sum k_{в.і}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (16.4)$$

де  $k_{в.1}, k_{в.2}, \dots, k_{в.n}$  – вагові коефіцієнти параметрів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$  об'єднаних вершин.

Згортка **СРЗВ** застосовується, наприклад, для розрахунку довговічності кузова автомобіля, як різною мірою 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:

$$\text{КЛАС } \Pi_i = \Pi_i: \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n. \quad (16.5)$$

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 шліцьові пази), за розмірами (недостатньо широкий шпонковий паз для уста-



новлення в ньому шпонки певної ширини), за типами та марками матеріалів (в ряді випадків для попередження прискороеного 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'єднувані вершини всіх можливих пар АБО-вузлів. Результати аналізу подаються у вигляді таблиці 16.2 [6, 13], в якій  $P_{АБО11}, P_{АБО12}, \dots, P_{АБОm,n}$  – параметри сумісності вершин пари АБО-вузлів, позначених **A** і **B**; **m** і **n** – число об'єднаних вершин відповідно вузла **A** і **B**. Значення  $P_{АБОi,j}$  визначається за формулою [6]

$$P_{АБОi,j} = \{ 1, \text{якщо } A_i \text{ і } B_j \text{ сумісні; } 0, \text{якщо } A_i \text{ і } B_j \text{ несумісні} \}. \quad (16.6)$$

Таблиця 16.2 – Таблиця сумісності

Об'єднувані вершини вузла <b>A</b>	Об'єднувані вершини вузла <b>B</b>			
	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	...	<b>B<sub>n</sub></b>
<b>A<sub>1</sub></b>	$P_{АБО11}$	$P_{АБО12}$	$P_{АБО1j}$	$P_{АБО1n}$
<b>A<sub>2</sub></b>	$P_{АБО21}$	$P_{АБО22}$	$P_{АБО2j}$	$P_{АБО2n}$
...	$P_{АБО.i1}$	$P_{АБО.i2}$	$P_{АБО.i,j}$	$P_{АБО.i,n}$
<b>A<sub>m</sub></b>	$P_{АБО.m1}$	$P_{АБО.m2}$	$P_{АБО.m,j}$	$P_{АБО.m,n}$

Значення параметрів сумісності для деяких вершин вузлів «тип кузова» та «кількість дверей» І-АБО-дерева легкового автомобіля наведено в таблиці 16.3.

Таблиця 16.3 – Фрагмент таблиці сумісності вершин пари АБО-вузлів загального дерева **ТР** легкового автомобіля

Тип кузова	Кількість дверей			
	2	3	4	5
Купе	0	1	0	1
Універсал	0	1	0	1
Седан	1	0	1	0
Кабріолет	1	0	1	0
Пікап	1	0	1	0
Родстер	1	0	0	0

#### Етап 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 [6, 13].

### **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 доопрацюванню 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. За 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. У випадку відповідності фактичних параметрів заданим 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 та з параметрами першого варіанту **ТР**. Якщо за результатами порівняння другий варіант виявиться кращим, ніж перший, він займає його місце 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**

Найефективніші варіанти **ТР** вибираються, виходячи з номера у списку допустимих **ТР** (наприклад, для остаточного порівняння допускаються три перші варіанти зі списку), а також з врахуванням значень основних параметрів прототипів. Для остаточного обраних найкращих варіантів подається автоматизований опис у словесній формі та роздруковується конструкторська документація (складальні та робочі креслення, специфікації).

## **16.3 Послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу ефективних технічних розв'язків**

Загальна послідовність розв'язання задач автоматизованого синтезу **ТР** показана на рисунку 16.8 [6, 13].

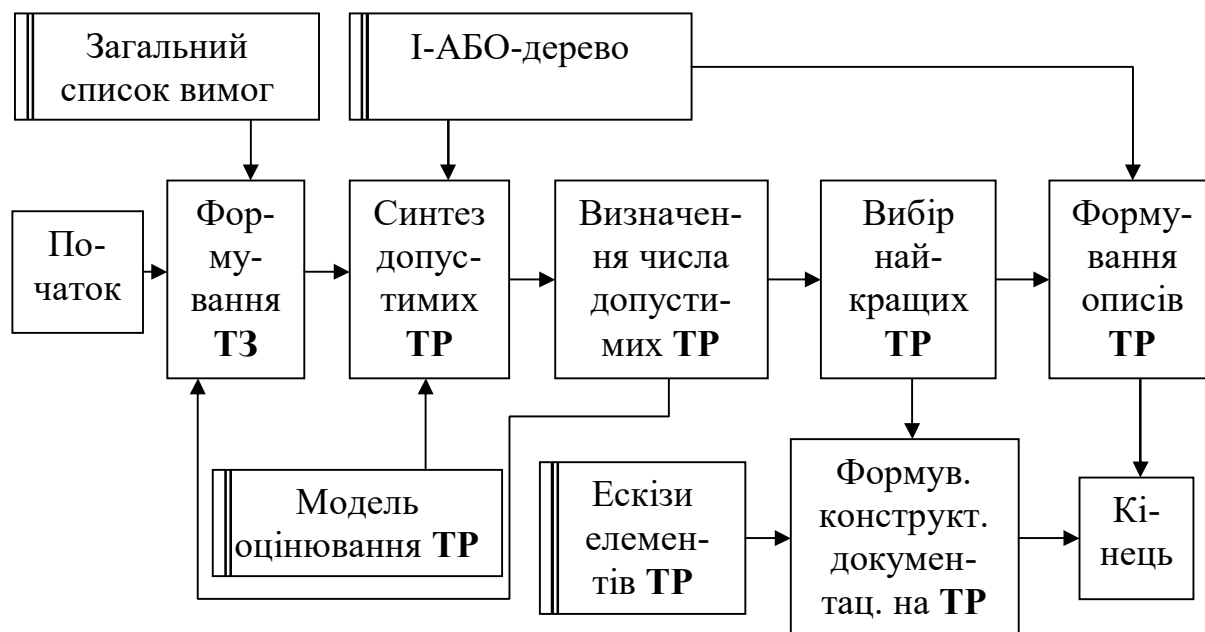


Рисунок 16.8 – Загальна послідовність розв’язання задач автоматизованого синтезу ТР

Користувач за допомогою загального списку вимог, виведеного на дисплей монітора, формує **ТЗ**: список вимог до шуканого ефективного **ТР** з формулюваннями та відповідними параметрами.

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 видалити їх з **ТЗ**.

В результаті виконання декількох описаних циклів отримують оптимальне (оглядове) число допустимих **ТР**, серед яких за значеннями основних параметрів обирають найкращі варіанти.

#### 16.4 Контрольні запитання

1. В чому суть методу автоматизованого синтезу технічних розв’язків?
2. Які переваги та недоліки має метод автоматизованого синтезу технічних розв’язків?
3. В яких випадках ефективно застосовувати метод автоматизованого синтезу технічних розв’язків?
4. Які етапи містить послідовність реалізації методу автоматизованого синтезу технічних розв’язків?
5. На які групи поділяються конструктивні ознаки елементів пристрою, що удосконалюється за допомогою методу автоматизованого синтезу?
6. Як розробляється загальне ієрархічне дерево варіантів технічних розв’язків?

7. Для чого і як здійснюють доповнення загального ієрархічного дерева варіантів технічних розв'язків?

8. Як розробляється список вимог до варіантів технічних розв'язків, які групи вимог в ньому необхідно виділити?

9. Які складові містить модель оцінювання варіантів технічних розв'язків?

10. Які типи згорток застосовуються для визначення параметрів І-вузлів загального ієрархічного дерева варіантів технічних розв'язків?

11. Як розробляються таблиці сумісності вершин у АБО-вузлах загального ієрархічного дерева варіантів технічних розв'язків?

12. Які блоки містить алгоритм автоматизованого аналізу та синтезу варіантів технічних розв'язків?

### **16.5 Контрольні завдання**

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.

## 17 АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ВІНАХІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧ (АРВЗ)

### 17.1 Переваги АРВЗ перед іншими методами інженерної творчості

Алгоритм розв'язання винахідницьких задач (АРВЗ) відноситься до евристичних методів ІТ (див. підрозділ 1.3). АРВЗ є елементом теорії розв'язання винахідницьких задач (ТРВЗ), розробленої у ХХ ст. радянським вченим та винахідником Г. С. Альтшуллером. Як вказувалось вище (див. підрозділи 1.3, 13.1, 14.1), практично всі методи інженерної творчості (мозкової атаки, евристичних прийомів, морфологічного аналізу та синтезу, синектики) ґрунтовані на суцільному неупорядкованому переборі можливих варіантів розв'язку задачі (методі «спроб та помилок»). На даний перебір витрачається багато часу або для його здійснення залучається велика кількість спеціалістів, при цьому аналіз варіантів є дуже поверхневим і не завжди коректним. Таким чином, можна навіть пропустити найбільш ефективний варіант розв'язання задачі. При застосуванні АРВЗ людина, що розв'язує задачу, відразу, без зайвих втрат часу, виходить в область ефективних розв'язків [6, 13, 20].

За ступенем оригінальності конструкції (див. пункт 7.1.6) всі винаходи можна поділити на п'ять рівнів. Винаходи 1-го рівня – це, по суті, повторення відомих ТС без вибору або майже без вибору. Винаходи 2-го отримані після вибору ТС з кількох її варіантів. Винаходи 3-го рівня з'явилися після здійснення часткових змін у відомій ТС. Винаходи 4-го рівня являють собою принципово нову ТС або докорінно перероблений відомий зразок. Винаходи 5-го рівня – це комплекс принципово нових ТС. Таким чином, для отримання винаходу 1-го рівня потрібно зробити декілька спроб; для отримання винаходу 2-го рівня – десятки спроб; для отримання винаходу 3-го рівня – сотні спроб; для отримання винаходу 4-го рівня – тисячі і десятки тисяч спроб; для отримання винаходу 5-го рівня – сотні тисяч спроб. Як показали результати аналізу світової патентної інформації, 77% всіх винаходів відносяться до 1-го – 2-го рівнів [20].

Отже методи, ґрунтовані на суцільному переборі варіантів ТР за помірних витрат часу і коштів дозволяють отримувати винаходи 1-го – 2-го рівнів, тоді як АРВЗ – винаходи 3-го – 5-го рівнів. АРВЗ забезпечує перетворення, наприклад, задачі 4-го рівня, що потребує 100 000 спроб, у задачу 2-го рівня «ціною» 10 спроб [20].

АРВЗ являє собою послідовність з виявлення, уточнення та усунення протиріччя, яке й призводить до виникнення проблемної ситуації. Для усунення протиріччя використовуються спеціальні прийоми та орієнтація на ідеальний кінцевий результат (ІКР) (див. розділ 14) [6, 13, 20], що дозволяє максимально удосконалити створювану ТС. Крім цього, інструментами АРВЗ є прийоми для подолання психологічної інерції винахідника (його

звички до стандартних відомих схем), закони розвитку ТС і інформаційна база, що містить дані про ТС відповідного призначення. Мета АРВЗ – наукова організація творчої праці [20, 21].

## 17.2 Основні поняття АРВЗ

Для ефективного використання АРВЗ потрібно оволодіти системою його основних понять [11, 15].

Одним з найважливіших понять АРВЗ є поняття про *протиріччя*. Останнє виникає, як правило, в тих випадках, коли відома ТС вже не відповідає новим більш жорстким вимогам до неї. Конструктори пробують удосконалювати ТС, поліпшують деякі її основні параметри, але при цьому погіршуються інші параметри. Це і є протиріччя. Під час використання АРВЗ для розв’язання творчої задачі протиріччя виявляється та поступово уточнюється, при цьому здійснюється перехід від поверхневого до технічного протиріччя, а потім від технічного до фізичного протиріччя.

*Поверхнєве протиріччя (ПП)* – це протиріччя між потребою та можливостями для її реалізації. Найчастіше ПП формулюється адміністрацією підприємства (тому інколи це протиріччя називають адміністративним – АП [11, 15]), що ставить задачу перед конструктором або винахідником. ПП являє собою попереднє неточне формулювання задачі у вигляді: «Потрібно зробити то й то, а як це зробити – невідомо» або «Виявлено брак на виробництві, але причина його невідома» і т. д. Наприклад, на наявній у цеху рамі (металоконструкції потрібно установити додаткове важке обладнання і як це можна зробити?

*Технічне протиріччя (ТП)* – це протиріччя між окремими параметрами або частинами ТС, що удосконалюється, коли при покращенні одного параметра або удосконаленні частини ТС інші параметри погіршуються або інші частини втрачають роботоздатність. Наприклад, підвищення міцності і жорсткості наявної металоконструкції за рахунок збільшення площі прохідного перерізу її складових елементів призводить до зростання маси і вартості ТС.

*Фізичне протиріччя (ФП)* – це висування до одного і того ж самого параметра або частини ТС, що удосконалюється, діаметрально протилежних вимог. Наприклад, площа поперечного перерізу металоконструкції має бути водночас великою для забезпечення вищої міцності та жорсткості при установленні на ній додаткового важкого обладнання і в той же час малою – для мінімізації вартості. В подібних ситуаціях, якщо не усунути протиріччя, доводиться шукати компромісний варіант, який певною мірою задовольняє принаймні більшість вимог.

Наведемо ще кілька прикладів виявлення, уточнення та усунення протиріч.

**III:** В середині 1950-х років перед конструкторським бюро академіка А. Н. Туполева була поставлена задача створення нового пасажирського літака на 170 місць з великою дальністю польоту. Для забезпечення останньої на літаку потрібно було встановлювати більш економічні турбореактивні двигуни (ТГД) (рисунок 17.1) з сумарною потужністю 50 000 к. с. У найпотужнішого на той час в СРСР ТГД потужність складала всього 6000 к. с. [11, 15].

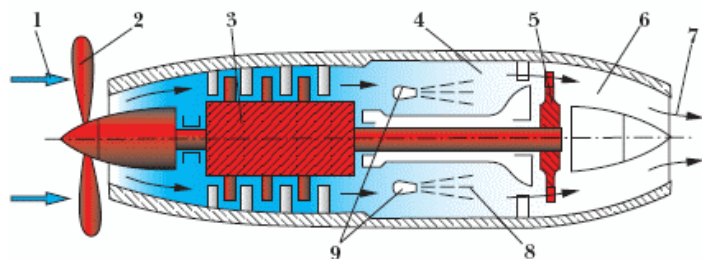


Рисунок 17.1 – Схема ТГД: 1 – повітря; 2 – повітряний гвинт; 3 – компресор; 4 – камера згоряння; 5 – газова турбіна; 6 – сопло; 7 – гарячі гази; 8 – рідке паливо; 9 – форсунки (інжектори)

(зростає їх маса, знижується жорсткість). Другий варіант – об'єднати двигуни у блоки, по два у кожному. Тоді виходить по 2 блоки на крило, довжина останнього вже допустима, але для забезпечення необхідної тяги на валу кожного блока потрібно закріпити гвинт діаметром 9 м. Для того, щоб ці гвинти могли обертатись, коли літак ще стоїть на аеродромі, необхідно підняти його фюзеляж над землею на 5 м, а це призводить до проблем із забезпеченням жорсткості шасі та стійкості літака під час зльоту і посадки.

**ФП:** У випадку реалізації варіанта з вісьмома двигунами до крил літака висувуються прямо протилежні вимоги – вони повинні бути довгими для забезпечення обертання гвинтів і, в той же час, короткими – для одержання прийнятних маси і жорсткості крил. Якщо розглядати другий варіант з двигунами, об'єднаними в чотири блоки, то прямо протилежні вимоги висувуються до діаметра гвинтів літака – він повинен бути великим для досягнення необхідної тяги і одночасно малим – для забезпечення жорсткості шасі та стійкості літака під час зльоту та посадки.

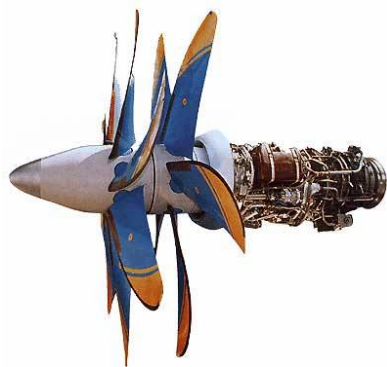


Рисунок 17.2 – ТГД із співвісним розташуванням гвинтів

Дане **ФП** було усунене таким чином. Для літака розробили ТГД НК-12МВ потужністю кожен 16 000 к.с. При цьому на осі кожного двигуна знаходилось по два гвинти, з діаметром в кожного 5,2 м (рисунок 17.2). В результаті крила літака мали прийнятну довжину (помірну масу та достатню жорсткість), а фюзеляж зна-

ходився на порівняно невеликій висоті від землі (забезпечення жорсткості шасі та стійкості літака під час зльоту та посадки). Так з'явився літак Ту-114 із заданими пасажиромісністю, дальністю і швидкістю польоту (рисунок 17.3).



Рисунок 17.3 – Радянський літак Ту-114: пасажиромісність – 170 – 220; довжина – 54,1 м; розмах крила - 51,1 м; висота – 15,5 м; потужність двигунів –  $4 \times 15000$ ; макс. швидкість – 880 км/год; дальність польоту – 9720 км

**III:** Потрібно максимально збільшити швидкість руху спортивного судна (яхти) [11, 15].

**II:** Швидкість судна залежить, в основному, від ширини його корпусу – чим менша ширина, тим менший опір створює корпус під час руху і тим вища швидкість останнього.

Але при зменшенні ширини корпусу знижується і стійкість судна, зростає ймовірність його перекидання.

**ФП:** Ширина корпусу повинна бути меншою для збільшення швидкості судна і в той же час більшою – для забезпечення його стійкості.

Дане протиріччя усунене в судні типу «катамаран» (рисунок 17.4), що



Рисунок 17.4 – Судно типу «катамаран»

містить два вузькі корпуси, об'єднані поперечинами в одне ціле. Таким чином, корпуси створюють мінімальний опір (досягається висока швидкість руху), в той же час загальна ширина судна достатня для забезпечення його стійкості. Також можливими варіантами швидкісного судна є кораблі на підводних крилах, на повітряній подушці та екраноплани (рисунок 17.5).



а)



б)



в)

Рисунок 17.5 – Швидкісні судна: а – на підводних крилах; б – на повітряній подушці ; в – екраноплан

Ще одним важливим поняттям **АРВЗ** є поняття про *ідеальний кінцевий результат (ІКР)*, яке розглядалось у розділі 14 [6, 13].



Наступне поняття **АРВЗ** – *винахідницька ситуація* [11, 15].

Розв'язок задачі багато в чому залежить від її початкового формулювання. Іноді задачу ставлять досить коротко, викладаючи суть **ТС**, чітко виділяючи її переваги та недоліки або небажаний ефект, наприклад, у вигляді поверхневого протиріччя: потрібно усунути шкідливий вплив (властивість) або одержати корисну дію (властивість), якої не вистачає. Але інколи під час постановки задачі додатково дається вказівка на напрямок її розв'язку, що збиває конструктора або винахідника, відволікає їх від більш оригінального та ефективного варіанта розв'язку. Така попередня постановка задачі, як її розуміє замовник, в **ТРВЗ** одержала назву винахідницької ситуації. Наведемо її приклад [11, 15].

У паливних баках літаків знаходиться не тільки гас, але й атмосферне повітря, що містить вологу. На великих висотах при від'ємній температурі за бортом ця волога конденсується на стінках баків і стікає в гас. Оскільки вода важча, ніж гас, вона опускається вниз і накопичується. Сама по собі вода великої небезпеки для польотів не становить, але небезпечна від'ємна температура при польоті на великих висотах. Проходячи разом з гасом по охолоджених фільтрах паливної систем, вода застигає. Фільтри, забиті льодом, не пропускають гас, двигуни без надходження палива, як відомо, зупиняються, з усіма негативними наслідками, що звіти впливають. У зв'язку із вищевикладеним, воду, що накопичується у паливних баках, потрібно періодично зливати. Якщо це робити часто, то води в баках практично не буде, але обслуговування літаків подовжиться в часі і стане значно дорожчим (сучасні літаки мають десятки баків). Якщо ж зливати воду нечасто, то можна довести справу до зупинки двигунів у польоті. Отже, *необхідно знайти спосіб швидкого і зручного зливання води з паливних баків літака* – саме так задача була попередньо сформульована замовником – одним з авіаційних підприємств.

Але якщо переформулювати задачу до вигляду: *запобігти застиганню води у фільтрах паливної системи літака*, то можна отримати ряд більш ефективних розв'язків. Наприклад, здійснюючи помірне нагрівання баків з паливом або фільтрів паливної системи (для цього може використовуватись енергія розігрітих двигунів літака або енергія аеродинамічного нагрівання його поверхні), можна практично усунути застигання води. Можливо також періодично перемішувати паливо у баках для рівномірного розподілення в ньому конденсату. Як результат, вміст води у паливі, що проходить через фільтри, буде достатньо малим і забивання фільтрів так само буде усунене.

Отже попередня постановка творчої задачі (формулювання винахідницької ситуації) повинна бути максимально простою і чіткою, без натяків на можливі способи розв'язку.

Допомогти з коректним формулюванням проблемної ситуації можуть поняття про міні- і максі-задачу [11, 15].

В *міні-задачі* потрібно удосконалити відому ТС для забезпечення її відповідності новим вимогам (наприклад, потрібно усунути якийсь недолік або поліпшити певний параметр). Під час розв'язання *максі-задачі* для усунення проблеми створюється принципово нова ТС. Назва «міні-задача» не означає, що її легше розв'язати, ніж максі-задачу. В більшості випадків навпаки – простіше розробити нову ТС, ніж удосконалювати відому. Але на практиці як раз, в основному, поширені міні-задачі, оскільки споживачі, особливо виробничники, намагаються економити кошти і використовують в першу чергу наявні в них обладнання та технології.

Оперуючи цими поняттями можна будь-яку складну винахідницьку ситуацію подати сукупністю міні- і максі-задач.

В процесі розв'язання цих задач інколи використовуються поняття конфліктуюча пара, виконавчий елемент та об'єкт впливу (див. також підрозділ 1.1 та розділ 2) [1, 2, 11].

*Конфліктуюча пара* – це два або більше число елементів ТС, що удосконалюється або створюється, між якими є протиріччя. Наприклад, при покращенні параметрів одного елемента такої пари, параметри іншого елемента погіршуються і навпаки. Або під час використання ТС між елементами конфліктуючої пари виникає небажаний вплив чи ефект.

Сучасні складні ТС під час їх створення або удосконалення можуть містити велике число конфліктуючих пар, але бажано, щоб протиріччя залишилось тільки в головній парі, яка обов'язково включає виконавчий елемент та об'єкт впливу ТС. Тоді ТС буде максимально досконалою. Розглянемо конкретний приклад виявлення в ТС конфліктуючих пар та усунення в них протиріч.

Одним з видів випробовувань нових матеріалів є пробний вплив на них різноманітних кислот. При цьому зразок матеріалу опускається в резервуар заповнений тією чи іншою кислотою, деякий час витримується в ньому, далі витягається та вивчається для визначення наслідків агресивного впливу. Проблема в тому, що даному впливу піддаються і стінки резервуара, тому доводиться покривати їх шаром благородних металів, що значно збільшує витрати на випробовування. Чи не можна якось обійти дане протиріччя? [11, 15]

Для розв'язання задачі визначимо головну конфліктуючу пару в ТС, що містить резервуар, кислоту та зразок нового матеріалу. Можливі пари даної ТС:

- 1) резервуар – кислота;
- 2) резервуар – зразок матеріалу;
- 3) зразок матеріалу – кислота.

Між елементами другої з наведених вище пар конфлікту (протиріччя) немає, тому її можна не розглядати. Залишаються перша і третя пари, в яких є конфлікти. Згадаємо, що протиріччя допускається тільки в головній конфліктуючій парі, якою в даній задачі є третя пара, оскільки вона містить виконавчий елемент – кислоту та об'єкт впливу ТС – зразок матеріалу.

лу. Отже і цю пару можна відкинути. Залишається пара резервуар – кислота, тому можна поставити запитання: «Як не допустити конфлікту між елементами цієї пари?» або «Як обмежити протиріччя головною конфліктуючою парою?» [23].

Для цього необхідно якось утримати кислоту на зразку матеріалу. Це можна зробити за допомогою електромагнітного поля: згустити кислоту, перетворивши її на гель, додати до неї металеві частинки і утримувати гель з частинками за допомогою електромагніту на поверхні зразка матеріалу. Але краще за все застосувати гравітаційне поле – силу тяжіння: виконати у зразку матеріалу порожнину, налити туди кислоту і провести в такий спосіб випробовування. Тоді потреба у резервуарі відпадає і в нас залишається тільки протиріччя в головній конфліктуючій парі.

Ще одна група понять **АРВЗ**, які допомагають у розв’язанні творчих інженерних задач, – це оперативний час та оперативний простір [11, 15].

*Оперативний час* – це момент часу, в який між елементами розглядуваної ТС виникає протиріччя. Проблема полягає в тому, що точне визначення даного часу часто утруднене. Бажано усунути протиріччя в системі ще до його виникнення, в крайньому випадку – на початку виникнення, що дозволяє уникнути зайвих втрат. Неприпустимим є виявлення протиріччя після його виникнення, ось чому важливо максимально точно визначити оперативний час.

Наприклад, остаточна обробка поршня циліндра автомобільного двигуна внутрішнього згорання здійснюється на круглошліфувальному верстаті. Для досягнення заданих точності і якості поверхні поршня з тим, щоб під час його переміщення в циліндрі не виникало заклинювання (протиріччя), потрібно під час обробки забезпечити автоматизований контроль і керування верстатом. З цією метою використовується пристрій, показаний на рисунку 17.6 [25]. При цьому ще до початку обробки підвіска 3 з датчиком

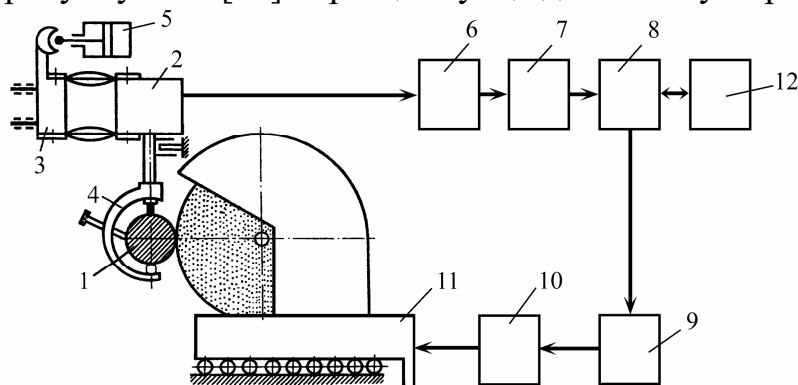


Рисунок 17.6 – Схема пристрою автоматизованого контролю заготовки під час обробки: 1 – заготовка; 2 – датчик; 3 – підвіска; 4 – скоба; 5 – гідроциліндр переміщення підвіски; 6 – перетворювач; 7 – підсилювач; 8 – блок порівняння; 9 – пристрій керування; 10 – привод подачі; 11 – шліфувальна бабка; 12 – пристрій задання

2 і скобою 4 за допомогою гідроциліндра 5 підводяться до заготовки поршня 1 і встановлюються відносно нього так, як показано на схемі. Далі починається процес обробки, під час якого датчик 2 постійно контролює діаметр заготовки. Отримані від датчика дані підсилюються та перетворюються у блоках 6 і 7. Фактичне значення діаметра порівнюється у

блоці 8 із заданим значенням, що надходить від пристрою задання 12. У випадку, якщо фактичний розмір починає виходити за допустимі межі, пристрій порівняння 8 подає сигнал на вхід пристрою керування 9, що викликає привод подачі 10 шліфувальної бабки 11. В результаті обробка заготовки 1 припиняється. Таким чином, за допомогою даного пристрою можна досить точно визначити оптимальний оперативний час.

*Оперативний простір* – це множина елементів ТС, що створюється або удосконалюється, і між якими виникає протиріччя. Необхідно вибрати оптимальний оперативний простір, оскільки у випадку, коли розглядувана множина елементів ТС занадто широка, пошук конфліктуючої пари утруднений. Навпаки, у випадку вибору занадто вузької множини елементів, ми можемо взагалі пропустити конфліктуючу пару, якщо вона залишилась за межами оперативного простору.

Так, досить складним і трудомістким є процес виявлення несправного елемента в мікропроцесорних системах, в тому числі в пристроях ЧПК верстатів (рисунок 17.7). Для зменшення витрат часу (звуження оперативного простору) у випадках, коли елементи блока системи, що перевіряється, сполучаються послідовно, може ефективно застосовуватись метод половинного розбиття (рисунок 17.8) [25]. Під час його реалізації блок системи ділиться першою перевіркою Пр1 навпіл. При цьому на виході елемента 5 контролюється ряд робочих параметрів (їх відповідність заданим параметрам). У випадку одержання негативних результатів робиться висновок про



Рисунок 17.7 – Мікропроцесорна система: 1, 2 – системні блоки

те, що несправний елемент знаходиться між елементами 1 і 5. Другу перевірку Пр2 здійснюють на виході елемента 3 і, якщо результати знову негативні, то несправність мітиться між елементами 1 і 3. Перевірка Пр3 здійснюється на виході елемента 2. У випадку одержання негативного результату, установлюють, що несправними є елемент 1 або 2. Тоді для остаточного уточнення місця несправності здійснюється перевірка Пр4. Перевага розглянутого методу в тому, що число перевірок (оперативний простір) під час його використання скорочується до мінімуму.

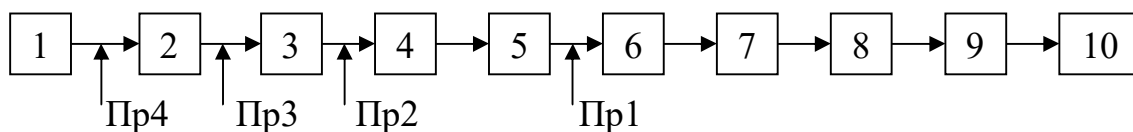


Рисунок 17.8 – Схема виявлення несправного елемента з використанням методу половинного розбиття: Пр1, Пр2, Пр3, Пр4 – перевірки; 1 – 10 – елементи ТС або ТпС, що перевіряється

Ще два поняття **АРВЗ** – це навчальна задача і контрольна відповідь [11, 15].

*Навчальна задача* – це творча задача, що колись стояла перед інженерами або вченими і була розв’язана. Навчальна задача має бути сформульована максимально чітко, просто і містити всю необхідну для розв’язання інформацію.

*Контрольна відповідь* – найкращий розв’язок навчальної задачі, що відомий на даний момент часу.

Приклад навчальної задачі [11, 15]. Звичайно пружини виготовляють на токарному верстаті методом навивання дроту на оправку (металевий стержень). Для того, щоб пружина була якісною (витки однакового діаметра), потрібно збільшувати щільність навивання, але після цього пружину важко зняти з оправки. Звичайно для знімання оправку вибивають або послабляють пружину, або навивають її нещільно. При цьому витрачається багато часу, використовується спеціальний інструмент, оправка швидко зношується або пружина виявляється неякісною. Як бути?

Контрольна відповідь 1. Оправка може складатись з двох клиноподібних елементів (циліндр, розрізаний по діагоналі). Коли потрібно знімати пружину, ці елементи розтягуються в сторони, діаметр оправки зменшується і пружина легко знімається.

Контрольна відповідь 2. Можна намотувати пружину на попередньо нагріту оправку. Коли остання вистигне, пружина зніметься.

Контрольна відповідь 3. Досить легко зробити навпаки – нагрівати пружину, наприклад, приєднати її до зварювального трансформатора.

Контрольна відповідь 4. Оправку попередньо обмотують паперовою стрічкою і зверху навивають пружину. Далі кладуть пружину з оправкою у піч з температурою 400 °С, папір згоряє і пружина легко знімається.

### 17.3 Послідовність розв’язання творчих задач за допомогою АРВЗ

Загальна послідовність реалізації **АРВЗ** має вигляд [11, 15]:

**ПП** → анти-А, анти-Б;  
↓  
**ТП** → А, анти-Б або Б, анти-А;  
↓  
**ІКР** → А, Б;  
↓  
**ФП** → С – А, анти-Б або анти-С – Б, анти-А;  
↓  
**Розв’язок** → С | анти-С.

Згідно із цією послідовністю на першій стадії розв’язання творчої задачі за **АРВЗ** формулюється поверхневе протиріччя (**ПП**) (див. підрозділ

17.2). При цьому, як правило з'ясовується, що деякі параметри розглядуваної ТС (наприклад, параметри **А** і **Б**) не відповідають новим умовам, таким чином, для їх дотримання ТС необхідно удосконалити або замінювати.

На другій стадії визначають технічне протиріччя (ТП) (див. підрозділ 17.2) і приходять до висновку, що у випадку забезпечення заданого значення параметра **А** системи, параметр **Б** є невідповідним ТЗ (**анти-Б**). Якщо ж, навпаки, дотримано **Б**, то **А** не відповідає вимогам (**анти-А**).

Третя стадія пов'язана з розглядом ідеального кінцевого результату (ІКР) (див. розділ 14), конкретизацією його з врахуванням умов даної задачі. Установлюється, що обидва параметри **А** і **Б** у ІКР є задовільними ТЗ. Орієнтація на ІКР у подальшому, під час розв'язання задачі дозволить знайти більш досконалий варіант.

На четвертій стадії переходять до фізичного протиріччя (ФП) (див. підрозділ 17.2) із визначенням параметра **С**, пов'язаного з **А** і **Б**, до якого висувуються прямо протилежні вимоги: **С**, **анти-С**. У випадку забезпечення **С** (одного граничного значення даного параметра) **А** буде задовольняти умови, а **Б** – не буде (**анти-Б**). Якщо, навпаки, забезпечуємо інше граничне значення **С** (**анти-С**), то **Б** відповідає ТЗ, тоді як **А** – не відповідає (**анти-А**).

На стадії розв'язання задачі для усунення протиріччя і дотримання заданих значень параметрів **А** і **Б** необхідно розділити **С** і **анти-С** (**С** | **анти-С**). Розділення параметрів можливе в часі, в просторі або структурне.

Розглянемо на прикладі використання даної послідовності **АРВЗ**.

**Умова.** Нанесення металевого антикорозійного або декоративного покриття (хрому, міді, нікелю тощо) на поверхні виробів здійснюється шляхом опускання їх у ванну, заповнену гарячим розчином солі відповідного металу (рисунок 17.9) [11, 15]. Відбувається реакція відновлення, і на поверхні виробів осідає метал з розчину (таку реакцію достатньо просто реалізувати самостійно, якщо опустити в розчин мідного купоросу металевий предмет, який через деякий час покриється шаром міді). Процес йде тим швидше, чим вища температура розчину. Але при високій температурі останній розкладається, метал осідає на стінки ванни, розчин швидко втрачає робочі властивості і за 2-3 години його доводиться замінювати. До 75% хімікатів йдуть у відходи, в результаті збільшується вартість процесу нанесення покриття. Необхідно усунути вказані протиріччя, причому суть процесу нанесення покриття (реакції відновлення) має залишитись незмінною.

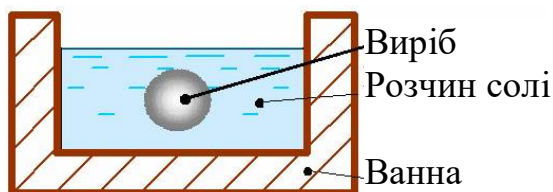


Рисунок 17.9 – Нанесення металевого покриття на поверхні виробу

ється шаром міді). Процес йде тим швидше, чим вища температура розчину. Але при високій температурі

останній розкладається, метал осідає на стінки ванни, розчин швидко втрачає робочі властивості і за 2-3 години його доводиться замінювати. До 75% хімікатів йдуть у відходи, в результаті збільшується вартість процесу нанесення покриття. Необхідно усунути вказані протиріччя, причому суть процесу нанесення покриття (реакції відновлення) має залишитись незмінною.

**ІІІ.** Потрібно зменшити витрати розчину солі металу (вимога **А**) та забезпечити швидкий (продуктивний) процес покриття виробу металом (вимога **Б**).



**ТП.** У випадку реалізації процесу нанесення покриття на виріб у холодному розчині його витрачається порівняно мало (**А**), але сам робочий процес відбувається занадто повільно (**анти-Б**). Якщо процес нанесення покриття на виріб здійснювати в гарячому розчині, то він відбувається швидко (**Б**), але при цьому витрачається багато розчину (**анти-А**).

**ІКР.** Швидке покриття деталі (**Б**) при малих витратах розчину (**А**).

**ФП.** Розчин повинен бути гарячим (вимога **С**), щоб забезпечити швидке покриття виробу (**Б**), і, в той же час, холодним (**анти-С**) для зменшення витрат солі (**А**).

**Розв'язання.** Для забезпечення граничних значень **С** та **анти-С** необхідно спробувати розділити їх у просторі, у часі або структурно.

Розділення граничних значень **С**, **анти-С** в просторі і в часі можна забезпечити, нагріваючи не весь розчин, а тільки той його шар, що безпосередньо контактує з поверхнею виробу і тільки тоді, коли це потрібно. Останнє реалізується при попередньому нагріванні самого виробу, який після опускання його у ванну передає тепло прилеглому шару розчину, тоді як основна маса останнього залишається холодною, зберігаючи свої робочі властивості (рисунок 17.10).

Гарячий розчин солі

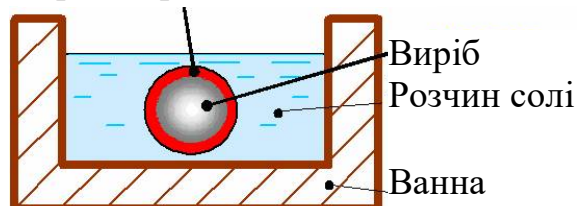


Рисунок 17.10 – Місцеве нагрівання виробу або ж розчину на поверхні виробу

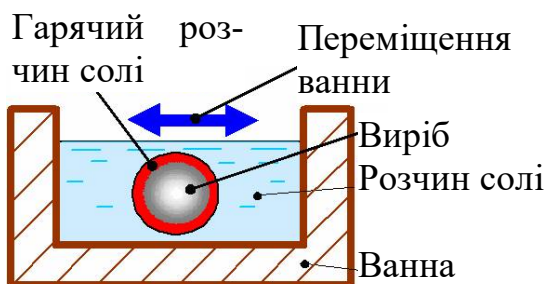


Рисунок 17.11 – Переміщення виробу

Також для додаткового підвищення інтенсивності робочого процесу можна реалізувати короткоходові зворотно-поступальні переміщення ванни з розчином (рисунок 17.11) або зворотно-поступальні переміщення ванни з одночасною циркуляцією розчину (рисунок 17.12) [11, 15].

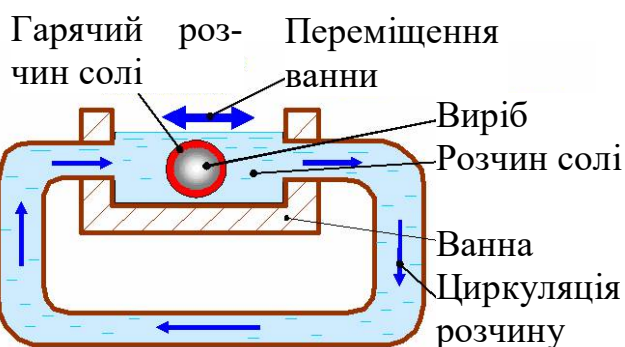


Рисунок 17.12 – Переміщення виробу і розчину

#### 17.4 Контрольні запитання

1. В чому полягають переваги АРВЗ порівняно із іншими евристичними методами інженерної творчості, за рахунок чого забезпечуються ці переваги?

2. В чому суть АРВЗ, якими є його основні інструменти?
3. Якою є роль протиріч у створенні техніки, які є види протиріч?
4. Що називають поверхневим протиріччям? Наведіть його приклади.
5. Дайте означення технічного протиріччя. Наведіть його приклади.
6. Що собою являє фізичне протиріччя? Наведіть його приклади.
7. Що називають винахідницькою ситуацією, як правильно здійснити попередню постановку творчої задачі?
8. В чому різниця між міні- і максі-задачами, як ці поняття використовуються під час розв'язання творчих задач?
9. Що собою являє конфліктуюча пара, як визначити головну конфліктуючу пару системи, що удосконалюється?
10. Наведіть приклади творчих задач, при розв'язанні яких застосовується поняття конфліктуючої пари.
11. Що називають оперативним часом та оперативним простором, як дані поняття застосовуються під час розв'язання творчих задач?
12. Що собою являють навчальна задача та контрольна відповідь до неї?
13. Якою є загальна послідовність реалізації АРВЗ?

### 17.5 Контрольні завдання

З використанням АРВЗ розв'язати наведені нижче творчі задачі.

1. Для створення нормальних умов життєдіяльності екіпажа літака його кабіна є герметичною. На випадок її розгерметизації літак забезпечується запасом кисню, що під тиском накачується у сталеві балони. Таких балонів потрібно кілька десятків, літак при цьому стає важчим. Як бути?
2. На фармацевтичному заводі для запаювання ампул з ліками їх попередньо установлюють в касету по 25 ампул в кожній. Касету подають до газового пальника з відповідним числом сопел так, щоб кожна ампула опинилось під язиком полум'я. Але через забивання сопел довжина язиків може відрізнятись. В результаті частина ампул залишається незапаяною. Якщо ж збільшити довжину язиків (подачу газу), то в деяких ампулах, внаслідок контакту з полум'ям, ліки будуть зіпсовані. Що робити?
3. Колісні пари залізничних вагонів та локомотивів під час експлуатації поступово зношуються. Для відновлення колісних пар їх знімають і обточують на спеціальних токарних верстатах, на що витрачається багато часу. Як більш продуктивно і з меншими витратами обточувати колісні пари?
4. В результаті аварій танкерів для перевезення нафти остання часто витікає у море, забруднюючи його. Як у випадку аварії уникнути витікання нафти з танків?
5. У великих сучасних танкерів гальмовий шлях складає кілька кілометрів. У зв'язку з цим зростає імовірність аварії даних кораблів. Відомі способи гальмування: реверс гвинта, поворот керма на 90°, гальмові парашути є малоефективними. Як скоротити гальмовий шлях танкерів?



6. На хімічному комбінаті за довгі роки у великих баках рідких палих матеріалів накопичився відстій – желеподібна суміш пального матеріалу з брудом. Таких баків є декілька десятків штук і в кожному – тонни відстою. Відстій необхідно перекачати у автоцистерну за територією складу й вивезти, при цьому слід врахувати, що проведення зварювальних робіт та вмикання електроприладів поблизу баків категорично забороняється.

7. На металургійному комбінаті виникла проблема терміново зняти з висоти 45 м приводний барабан масою 2 т з метою його ремонту. На підприємстві є в наявності кран зі стрілою довжиною 35 м та декілька бульдозерів. Крани з довшою стрілою знаходяться на значній відстані від комбінату або завантажені іншою роботою. Як вийти з цієї ситуації?

8. На підприємстві використовується відстійник для осаджування в ньому дрібних частинок, що містяться в робочій рідині. Внаслідок підвищення продуктивності роботи підприємства основна маса частинок у відстійнику вже не встигає осідати й відноситься потоком далі. Як усунути описану проблему, якщо збільшувати розміри відстійника не є можливим?

9. На підприємстві експлуатується змішувач з горизонтальним шнеком діаметром вдвічі меншим внутрішнього діаметра бака змішувача. Внаслідок зміни технології виробництва виникла потреба у змішуванні двох компонентів з різною густиною. Як забезпечити ефективне перемішування?

10. На підприємстві з виготовлення руберойду товщина шару бітуму, який наноситься на стрічку основи під час її руху по горизонтальних роликках, регулюється вручну робітником при повороті спеціального важеля, що не забезпечує достатньо високої якості готової продукції. Що робити?

11. Як очистити від пористого осаду внутрішні поверхні порожньої спіралі з кварцового скла з внутрішнім діаметром 5 мм, яка містить 20 витків? Дріт або трос забезпечує очищення тільки перших п'яти витків.

12. На підшипниковому заводі потрібно забезпечити безперервну подачу кульок по лотку, однак в результаті постійного тертя робоча поверхня лотка швидко зношується. Як зменшити або запобігти зношуванню?

13. У морському торговому порту для розвантаження суден застосовується 5 кранів, кожен з яких оснащений комп'ютером. Для прискорення роботи доводиться під час розвантаження суден задіяти всі крани, але при цьому, не дивлячись на наявність пристроїв, що керуються від комп'ютерів і забезпечують зупинку руху стріли у випадку наближення до неї стріли іншого крана, часто трапляються зіткнення стріл. Як цьому запобігти?

14. Як ефективно очистити від бруду та іржі декілька сотень кілометрів сталевого дроту за зміну, якщо дріт перемотується з одного барабана на інший зі швидкістю 5 – 10 м/с?

15. Як запобігти руйнуванню у сильні морози великих вертикальних колон, включених у систему гарячого водопостачання підприємства, якщо вони знаходяться на відкритому повітрі, а на трансформаторній підстанції, що забезпечує нагрівання води, час від часу трапляються аварії?

16. Для запобігання випаровуванню нафти з резервуарів під час зберігання та транспортування її поверхню закривають спеціальними жорсткими плавучими екранами. Якщо зазор між стінкою бака та екраном недостатньо великий, то у випадку деформацій та при поворотах останнього можливе його заклинення; якщо ж зазор значний – відбувається інтенсивне випаровування нафти. Що робити?

17. Для тимчасового перекидання труби всередину її через спеціальний радіальний отвір у стінці вводять полімерний розчин, що швидко твердне. Однак до повного затвердіння він встигає розповсюдитись по трубі й пробка виявляється досить товстою, пізніше її важко видалити.

18. При гарячій прокатці необхідно подавати мастило між металом, що прокатується, та валками, однак при реалізації відомих способів подачі мастила (наприклад, самопливом по валках, за допомогою щіток, розбрикуванням під тиском) не забезпечується змащення по всій поверхні металу, втрачається багато мастила, забруднюється повітря у цеху. Що робити?

19. Як відомо, вміст сажі у димі, що виходить з труби котельні у повітря визначає повноту згоряння палива. Яким чином оператору котельні, не залишаючи свого робочого місця за пультом її керування, дізнатись про вміст сажі у димі?

20. При проведенні вибухових робіт під водою на річках та озерах, наприклад, у випадку руйнування старої греблі, часто гине багато риби. Чи не можна запобігти цьому?

21. Як швидко й ефективно зібрати розливу на поверхні води нафту або нафтопродукт з тим, щоб їх можна було у подальшому використовувати. Відомий спосіб – розсипання на поверхню плями легких пористих матеріалів (деревної стружки, прядива, губки), які всмоктують нафту, а потім разом з нею збираються – є складним і дорогим в реалізації.

22. Під час перекачування по пневмопроводу пульпи (суміші води з піском) спостерігається прискорене зношування труб системи по їх внутрішніх поверхнях. Чи не можна мінімізувати або усунути дане явище?

23. Заводу з виготовлення термопластичних виробів було дано замовлення на випуск килимків з пластиковим «ворсом» висотою 10 мм. Запропонуйте простий та відносно дешевий спосіб їх виготовлення (застосування способів лиття та штампування призводять до значної кількості браку).

24. Як відомо, по магістральних трубопроводах нафта або газ транспортуються під дією високого тиску, тому під час аварій (прорив труби) велика частина транспортованого продукту виходить у навколишнє середовище, забруднюючи його. Крім цього, є висока ймовірність вибуху зі значно тяжчими наслідками. Як запобігти виходу продукту?

25. Для зняття окалини та задирок з поверхонь зварних виробів застосовуються піскоструминні установки, але у випадках, коли деталь має складну конфігурацію, пісок набивається у її отвори та порожнини і якщо його не видалити ймовірно пошкодження механізму, до складу якого входить деталь. Як легко та ефективно видалити пісок?

## ПІСЛЯМОВА

У зв'язку із постійною інтенсифікацією технічного прогресу, ускладненням технічних процесів та об'єктів, необхідністю їх практично безупинного удосконалення, створенням принципово нових пристроїв та технологій особливої важливості набуває теорія технічних систем, що розглядає закономірності їх структури, створення та використання. Застосування цих закономірностей на практиці дозволяє проводити важливі аналогії і поширювати передовий досвід (ідеї, схеми, принципи), одержаний в одній галузі, на інші галузі техніки. Основна практична цінність ТТС полягає у методах інженерної творчості, за допомогою яких ефективно ставляться і розв'язуються складні сучасні задачі з усунення різноманітних проблемних ситуацій. Таким чином, знання і навички, отримані при вивченні даної дисципліни, є неодмінним елементом підготовки сучасного висококваліфікованого інженера-механіка.

Знання, отримані студентами із даного підручника при вивченні курсу ТТС, знадобляться їм пізніше під час оволодіння такими дисциплінами, як «Основи науково-дослідної роботи», «САПР УАВ», «Деталі машин», «Обладнання та транспорт механообробних цехів», «Металорізальні верстати, промислові роботи та обладнання автоматизованого виробництва», «Технологічне обладнання підприємств та устаткування», «Обладнання автоматизованого виробництва та системи його комп'ютерного забезпечення» та інших.

У підручнику містяться матеріали лекційного курсу ТТС: історія виникнення та розвитку дисципліни, розглядаються її мета, задачі і структура, зв'язки з іншими дисциплінами, вивчаються система понять, система перетворень, технічні процеси та об'єкти як елементи системи перетворень, їх класифікації та параметри, основи оцінювання та подання технічних систем, етапи їх створення та використання, еволюція систем і спеціальні теорії.

В матеріалах практичних занять дається поняття про послідовність постановки та попереднього аналізу задач інженерної творчості, про найпростіші прийоми та найбільш поширені методи розв'язання задач, в тому числі: метод морфологічного аналізу та синтезу варіантів технічних розв'язків, метод автоматизованого синтезу, алгоритм розв'язання винахідницьких задач. При цьому в матеріалах кожного практичного заняття наводяться приклади використання відповідного методу для усунення конкретних проблемних ситуацій, крім цього, дається перелік аналогічних типових завдань, які студентам необхідно виконати самостійно, в тому числі вдома, для одержання практичних навичок інженерної творчості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хубка В. Теория технических систем / Хубка В. – М. : Мир, 1987. – 208 с.
2. Севост'янов І.В. Теорія технічних систем. Ч. І. : навчальний посібник / Севост'янов І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 125 с.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д. Історія інженерної діяльності. Ч. ІІІ. : навчальний посібник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севост'янов. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 121 с.
4. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И. И. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
5. Чернов Л. Б. Основы методологии проектирования машин : учебное пособие для вузов / Чернов Л. Б. – М. : Машиностроение, 1978. – 148 с.
6. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : учебное пособие для студентов вузов / Половинкин А. И. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
7. Половинкин А. И. Автоматизация поискового конструирования / Половинкин А. И. – М. : Радио и связь, 1981. – 344 с.
8. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках / Мюллер И. ; пер. с нем. – М. : Радио и связь, 1984. – 144 с.
9. Джонс Дж. К. Методы проектирования / Джонс Дж. К. ; пер. с англ. – [2-е изд.] – М. : Мир, 1986. – 326 с.
10. Борисов В. И. Общая методология конструирования машин / Борисов В. И. – М. : Машиностроение, 1978. – 120 с.
11. Алгоритм решения изобретательских задач : [Електронний ресурс]. – Режим доступу :  
[http://ru.wikibooks.org/wiki/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0\\_%D0%90%D0%A0%D0%98%D0%97](http://ru.wikibooks.org/wiki/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0_%D0%90%D0%A0%D0%98%D0%97) .
12. Буш Г. Я. Методы технического творчества / Буш Г. Я. – Рига : Лиесма, 1974. – 94 с.
13. Севост'янов І. В. Теорія технічних систем. Ч. ІІ : навчальний посібник / Севост'янов І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 72 с.
14. Кузнецов Ю. М. Теорія технічних систем / Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Дубиняк С. А. – К. – Тернопіль, 1997 – 310 с.
15. Петров В. Алгоритм решения изобретательских задач [Електронний ресурс] : учебное пособие / Петров В. – Тель-Авив, 1999. – 256 с. – Режим доступу:  
<http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/ariz.pdf>.
16. Ковришкін М. О. Теорія технічних систем. Конспект лекцій з елементами кредитно-модульної системи організації навчального процесу з курсу «Теорія технічних систем» для студентів спец. 6.090202 «Технологія машинобудування», 6.090203 «Металорізальні верстати та системи», 6.090205 «Обладнання ливарного виробництва», 6.090206 «Обладнання

для обробки металів тиском» / Ковришкін М. О. – Кіровоград : КНТУ, 2006. – 72 с.

17. Кузнецов Ю. Н. Теория технических систем / Кузнецов Ю. Н., Новоселов Ю. К., Луцив И. В. – Севастополь, 2010. – 210 с.

18. Саламатов Ю. П. Система законов развития техники : сборник «Шанс на приключение» / Саламатов Ю. П. – Петрозаводск : Карелия, 1991. – 365 с.

19. Придальний Б. І. Електронний посібник з дисципліни : «Теорія технічних систем» [Електронний ресурс] / Придальний Б. І. – Луцьк, 2011. – Режим доступу:

[http://lib.lntu.info/books/tf/kpv\\_ta\\_tm/2011/11-84/](http://lib.lntu.info/books/tf/kpv_ta_tm/2011/11-84/).

20. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения / Альтшуллер Г. С. – М. : Моск. Рабочий, 1974. – 296 с.

21. Петров В. М. Основы теории решения изобретательских задач [Електронний ресурс] / Петров В. М. – Тель-Авив, 2002. – Режим доступу:

<http://www.natm.ru/triz/articles/petrov/000.htm>.

22. Основы ТРИЗ – Викиучебник [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[http://ru.wikibooks.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B\\_%D0%A2%D0%A0%D0%98%D0%97](http://ru.wikibooks.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B_%D0%A2%D0%A0%D0%98%D0%97) .

23. Очнев А. В. Курс ТРИЗ для оружейников [Електронний ресурс] / Очнев А. В. – Тула, 2004. – 99 с. – Режим доступу:

[http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/weapons\\_ochnev.pdf](http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/weapons_ochnev.pdf).

24. Вірич С. О. Методичні вказівки до самостійної роботи з нормативної навчальної дисципліни професійної та практичної підготовки «Теорія технічних систем» (для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» / С. О. Вірич, М. О. Бабенко – Красноармійськ : Видавництво Красноармійського індустріального інституту, 2012. – 25 с.

25. Севостьянов І. В. Експлуатація верстатних комплексів. Ч. І. : навчальний посібник / І. В. Севостьянов. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 125 с.

*Навчальне видання*

**Севостьянов Іван Вячеславович**

## **ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Підручник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено І. Севостьяновим

Підписано до друку 07.11.2014 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 11,6  
Наклад 500 (1-й запуск 100) прим. Зам. № 2014-082

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.