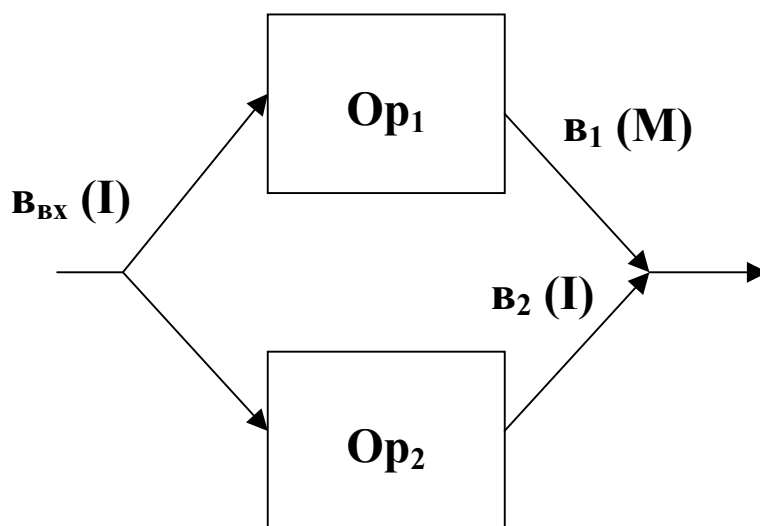


І.В. Севост'янов

# ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Ч. I





## Зміст

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Позначення.....                                                                                                   | 5  |
| Вступ.....                                                                                                        | 6  |
| 1. Історія виникнення та розвитку дисципліни, мета, задачі та структура курсу, зв'язок з іншими дисциплінами..... | 7  |
| 2. Основні поняття.....                                                                                           | 14 |
| 3. Система перетворень та її елементи.....                                                                        | 20 |
| 4. Технічні процеси.....                                                                                          | 23 |
| 4.1. Модель технічного процесу.....                                                                               | 23 |
| 4.2. Елементи технічного процесу.....                                                                             | 26 |
| 4.3. Параметри та ефективність технічного процесу.....                                                            | 29 |
| 4.4. Представлення технічних процесів.....                                                                        | 31 |
| 4.5. Типові задачі, пов'язані із технічними процесами.....                                                        | 31 |
| 4.6. Класифікації технічних процесів.....                                                                         | 34 |
| 5. Технічні об'єкти.....                                                                                          | 35 |
| 5.1. Визначення технічних об'єктів.....                                                                           | 35 |
| 5.2. Загальна модель технічних об'єктів.....                                                                      | 37 |
| 5.3. Моделі конкретних технічних об'єктів.....                                                                    | 39 |
| 5.3.1. Функціональні структури технічних об'єктів.....                                                            | 39 |
| 5.3.2. Принципові схеми технічних об'єктів.....                                                                   | 44 |
| 5.3.3. Конструктивні схеми технічних об'єктів.....                                                                | 47 |
| 5.3.4. Порівняння моделей технічних об'єктів та їх перетворення.....                                              | 49 |
| 5.4. Межа технічних об'єктів.....                                                                                 | 51 |
| 5.5. Зовнішні системи та елементи, навколишнє середовище технічних об'єктів.....                                  | 51 |
| 6. Класифікації технічних об'єктів.....                                                                           | 52 |
| 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.....                                                | 55 |
| 6.5. Класифікація технічних об'єктів за ступенем конструктивної складності.....                                   | 55 |
| 6.6. Класифікація технічних об'єктів за ступенем стандартизації та походженням.....                               | 56 |
| 6.7. Класифікація технічних об'єктів за ступенем оригінальності конструкції.....                                  | 57 |
| 6.8. Класифікація технічних об'єктів за типом виробництва.....                                                    | 58 |
| 6.9. Класифікація технічних об'єктів за типом перетворення.....                                                   | 59 |
| 7. Параметри технічних об'єктів.....                                                                              | 60 |
| 7.1. Класифікації параметрів технічних об'єктів.....                                                              | 61 |
| 7.1.1. Класифікація параметрів технічних об'єктів за способом їх визначення.....                                  | 61 |
| 7.1.2. Класифікація параметрів технічних об'єктів за їх місцем у причинних зв'язках.....                          | 61 |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1.3. Класифікація параметрів технічних об'єктів за можливістю їх кількісного визначення.....      | 62  |
| 7.1.4. Класифікація параметрів технічних об'єктів за ступенем важливості.....                       | 62  |
| 7.1.5. Класифікація параметрів технічних об'єктів за їх фізичною природою.....                      | 62  |
| 7.1.6. Класифікація параметрів технічних об'єктів, пов'язана із їх створенням та використанням..... | 63  |
| 7.2. Зв'язки між параметрами технічних об'єктів.....                                                | 84  |
| 7.3. Визначення параметрів технічних об'єктів та їх взаємозв'язків.....                             | 84  |
| 7.4. Складання переліку параметрів заданих технічних об'єктів.....                                  | 87  |
| 7.5. Реалізація параметрів технічних об'єктів.....                                                  | 89  |
| 8. Оцінювання технічних систем.....                                                                 | 92  |
| 9. Представлення технічних систем.....                                                              | 96  |
| 10. Етапи створення та використання технічних систем.....                                           | 97  |
| 10.1. Стадії створення та використання технічних систем серійного виробництва.....                  | 98  |
| 10.2. Стадії створення та використання технічних систем одиничного виробництва.....                 | 105 |
| 10.3. Стадії створення та використання технічних систем четвертого рівня складності.....            | 106 |
| 10.4. Часова послідовність стадій створення та використання технічних систем.....                   | 107 |
| 10.5. Розподілення стадій і операцій між виконавцями.....                                           | 108 |
| 11. Еволюція технічних систем.....                                                                  | 111 |
| 11.1. Закономірності еволюції технічних систем.....                                                 | 111 |
| 11.1.1. Підвищення технічного рівня систем в часі.....                                              | 111 |
| 11.1.2. Еволюція попиту на технічні системи.....                                                    | 114 |
| 11.1.3. Фактори еволюційного процесу.....                                                           | 114 |
| 11.1.4. Організація і обсяг науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.....               | 116 |
| 11.2. Тенденції технічного розвитку.....                                                            | 117 |
| 11.3. Керування процесом технічного розвитку.....                                                   | 121 |
| 11.4. Мотивація досліджень та розробок.....                                                         | 122 |
| 12. Спеціальні теорії технічних систем.....                                                         | 123 |
| Література.....                                                                                     | 124 |

## 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);  
**ТР** - технічний розв’язок (технічні розв’язки);  
**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

Навчальний посібник відповідає робочій програмі дисципліни “Теорія технічних систем”, що вивчається студентами спеціальностей 7.090202 – “Технологія машинобудування”, 7.090203 – “Металорізальні верстати та системи”, 7.090258 – “Автомобілі та автомобільне господарство”.

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 розвиненого 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 ув'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 пояснює 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 дається системний огляд спеціальної проблематики, завдяки чому легше виявляються пробіли, які необхідно ліквідувати при повторенні навчального матеріалу, а взаємозв'язки між дисциплінами ви-суваються 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 служити: базою знань для розробки нових технічних систем, навчань 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.

В першій частині навчального посібника містяться матеріали лекційного курсу: історія виникнення та розвитку дисципліни, її мета, задачі і структура, розглядаються зв'язки з іншими дисциплінами, система понять, система перетворень, технічні процеси та об'єкти, їх класифікації та параметри, основи оцінювання та представлення технічних систем, етапи їх створення та використання, еволюція систем і спеціальні теорії.

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

Виникнення і розвиток теорії технічних систем (ТТС) мають, в першу чергу, чисто наукові причини, але, разом із тим, обумовлені потребами практики. Розглянемо дані передумови більш детально.

### Наукові основи

Однією з найцінніших якостей людини є здатність у процесі пізнання виділяти головне й істотне, залишаючи при цьому без уваги несуттєві чи випадкові ознаки. Це необхідно для правильного і глибокого розуміння об'єкта пізнання. Метод абстрагування допомагав людству одержувати й упорядковувати знання в будь-якій галузі своєї діяльності і тим самим сприяв виникненню і розвитку окремих наук, в тому числі і ТТС, яка поєднала у собі всі основні загальні положення, що стосуються технічних систем різного призначення.

Проте, і дотепер для рішення тієї чи іншої проблеми не завжди є відповідна теорія. В історії техніки знайдеться чимало прикладів того, як практика випереджала теорію, а розвиток теорії згодом дозволяв поліпшувати досягнуті практичні результати.

Повчально простежити, як у процесі розвитку цивілізації мінялися уявлення людей про машини. У середні віки було прийнято розглядати машину як деякий суцільний пристрій, що складається з тільки йому належних та властивих частин. Так, коли наводився опис млина необхідно було одразу вказати тип досліджуваного зразка (чи водяний то млин, чи вітряк). Для позначення деяких машин не було спеціальних термінів. Наприклад, у Рамеллі в праці, опублікованій в 1588 р. описується пристрій, відомий у теперішній час як поршневий насос, однак сам термін “насос” у праці ще відсутній.

На більш передових позиціях в той час стояв видатний учений та винахідник Леонардо да Вінчі (1452 - 1519 рр.). Нажаль його наукові роботи залишились неопублікованими і впливу на розвиток учення про машини і механізми не зробили. Да Вінчі розглядав елементи і частини машин як загальні для ряду однотипових зразків і займався їх дослідженням. У працях “Мадридський кодекс”, ч. I і II він сформулював два цікавих постулати про машини:

- книгу про суть машин необхідно писати, як книгу про їх застосування;
- механізми суть рай для математичних наук, вони здійснюють на математику плідний вплив.

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 (Монж, Карно, Ашетт, Ланс). Вводяться 10, а пізніше - 21 клас механізмів, призначених для перетворення руху. У Борні в 1818 р. мова йде вже про необхідність розрізняти 6 класів основних

частин машини, що групуються не за принципом перетворення руху, а за їх функціями. Дану ідею запозичають і розробляють Коріоліс і Понселе. Вони розрізняють у машинах три основні частини: рецептор, передавальний механізм і інструмент. У подальшому їх концепція була розвинена засновниками навчання про механізми, в тому числі і А.М. Ампером.

Лише у ХІХ сторіччі 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 та металооброблювальні верстати, друкарські та підйомні машини. Розроблялися нові типи двигунів: парова машина, парова та газова турбіни, гідравлічні та електричний 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 - 1905рр.) бачив основу для виявлення загальних принципів роботи машин у прикладній механіці і, зокрема, у кінематиці.

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. Далі вона розвивається в роботах Р. Вілліса і П.Л. Чебишева, а у ХХ в. – остаточно сформована в роботах І.І. Артоболевського [1]. У наш час теорія механізмів і машин містить три основні частини: синтез механізмів, динаміка машин, теорія автоматів.

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 сфери знань і професій, в яких професійне навчання повинне 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 ХVІІІ – початок ХІХ вв.), 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 (ХХ в.), - усе це вимагало нового підходу і загальної теорії систематизації машин. Створення нових технічних систем (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.

Доводиться тільки дивуватися відсутності протягом такого довгого часу загальної теорії для технічних об'єктів (ТО) - інструментів, приладів,

машин та технічних процесів (**ТП**) – операцій, підпроцесів та процесів створення та експлуатації **ТО**, тоді як в інших сферах 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 Госслінга [2], Рота [3], Хубки [4], Хансена [5], Рополя [6], Йошикави [7].

З цього часу **ТТС** отримала визнання як основа і джерело інформації для декількох суміжних сфер знання. Зокрема, на неї опирається теорія конструювання.

### Практичні основи

Історія розвитку людства це разом зі всім іншим ще і історія створення і удосконалення виробів і технологій. Біля мільйону років тому людина почала виготовляти кам'яні знаряддя праці, 100 тис. років тому з'явилась технологія видобування і використання вогню, 10 тис. років назад – лук і стріли з кремнієвими наконечниками. Пізніше були створені візок на колесах, технологія виплавлення бронзи, водяне колесо, токарний верстат, парова машина, пластмаси, телебачення, обчислювальні машини, космічні апарати, штучне серце, лазерні і біотехнології, а також багато інших **ТО** і **ТП**, що є результатом інженерної творчості (**ІТ**) людства. У наш час у розвинених країнах номенклатура виробів, що випускаються перевищує 20 млн. найменувань.

Якщо говорити в цілому про історію **ІТ**, то перш за все викликають дивування темпи збільшення числа класів **ТО** та підвищення їх складності, які ілюструються табл. 1.1, де під класом розуміються **ТО**, що мають аналогічні або дуже близькі функції (наприклад, клас молотків, напилків, металорізальних верстатів, легкових автомобілів).

Таблиця 1.1

#### Зростання числа і складності **ТО**

| Час            | Наближене число класів <b>ТО</b> | Середнє число різних деталей в найбільш складних <b>ТО</b> |
|----------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 100000 р. тому | 5                                | 1                                                          |
| 10000 р. тому  | 50                               | 10                                                         |
| 1000 р. тому   | 1000                             | 100                                                        |
| Наш час        | 50000                            | 10000                                                      |

Разом з тим, у останні десятиріччя збільшується число фізико-технічних ефектів, що використовуються у **ТС**, розширюється номенклатура матеріалів і комплектуючих, зростають обсяги патентної та науково-технічної інформації, скорочується час, що виділяється на створення нових **ТС**.

Відмічені тенденції привели до того, що починаючи з 50-х рр. ХХ в. середня сумарна трудомісткість робіт **ІТ** збільшується через кожні 10 років у десять разів (при умові збереження якості розробок). По суті даний процес являє собою вибухоподібне зростання обсягів робіт, що не припиняється. Необхідно також зауважити, що темпи нарощування кадрового потенціалу менш значні (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Відносне зростання обсягів робіт та кадрового потенціалу **ІТ**

| Параметри порівняння                | Роки |      |      |      |       |
|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|
|                                     | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990  |
| Зростання обсягів робіт з <b>ІТ</b> | 1    | 10   | 100  | 1000 | 10000 |
| Зростання кадрового потенціалу      | 1    | 3    | 9    | 20   | 20    |

До цього треба додати, що серед всіх інженерів, техніків і робітників, які не вчилися методам **ІТ** спроможні створювати нову ефективну техніку складають лише 20%, тобто абсолютне зростання кадрового потенціалу відповідно із наведеними даними слід помножити на коефіцієнт 0,1 – 0,2.

Невідповідність між збільшенням обсягів робіт та підвищенням кадрового потенціалу фахівців приводить до можливості зниження якості розроблюваних **ТС**. 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 і більш обґрунтовано обрати найкращий варіант. Однак і це цілком не знімає гостроту проблем.

Задачі **ІТ** виявляються ще більш трудомісткими, якщо врахувати їх специфіку у порівнянні із так званими чітко визначеними інженерними задачами (обчислення об'єму тіла складної конфігурації, розрахунок вала на міцність, визначення параметрів редуктора, вибір технологічного обладнання і т.д.). У табл. 1.3. проведено порівняння вказаних задач за рядом показників.

Таблиця 1.3

Відмінності 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         | Є                               | Відсутній                           |
| Результат розв'язання      | Однозначний і відомий викладачу | Багатозначний і невідомий викладачу |

Все вищевикладене дозволяє сформулювати мету і задачі **ТТС**.

## Мета курсу

Метою дисципліни є приведення всіх наявних знань з об'єкта теорії - **ТС** в єдиний комплекс понять, визначень та положень, ґрунтуючись на їх структурі, параметрах, закономірностях створення і використання, а ні на окремих емпіричних даних.

## Задачі курсу

До основних задач **ТТС** можна віднести:

1. Створення доцільної системи понять, яка дозволить зрозуміти їх значення без додаткових пояснень і виводити з них інші поняття.

2. Навчання навичкам постановки і розв'язання на сучасному науково-технічному рівні задач розробки нових, більш ефективних машин, приладів, технологічного обладнання і технологій, задач реконструкції і модернізації існуючих **ТС**, задач з економії трудових ресурсів, сировини, матеріалів і енергії.

3. Підготовка до оволодіння інтенсивною технологією **ІТ**, яка основана на використанні відповідних методів, спеціально підготовленої інформації та комп'ютерної техніки.

## Структура теорії

Структура дисципліни включає основні положення щодо:

- системи понять;
- системи перетворень (**СП**);
- **ТП** як елемента **СП**;
- **ТО** як елемента **СП**;
- призначення **ТС**;
- структури **ТС**;
- параметрів **ТС**;
- оцінювання **ТС**;
- стадій створення і використання **ТС**;
- еволюції **ТС**;
- систематики (типів, класів, видів **ТС**).

## 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**.

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**

Оскільки основне практичне значення дисципліни полягає у методах **ІТ**, доцільним буде одразу ж розглянути їх класифікацію.

В 1977 р. було проведено умовне розділення евристичних методів **ІТ** і комп'ютерних методів пошукового конструювання.

Методи першої групи реалізуються на основі інтелекту та інтуїції людини, яка розв'язує задачу **ІТ**. При цьому людина виконує всю роботу, щодо пошуку можливих розв'язків та вибору серед них найкращого.

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 розв'язку. Від людини ж вимагається грамотно поставити задачу, укласти список вимог до прототипів **ТС** та визначити основні критерії їх оцінювання.

Евристичні методи почали розробляти ще зі стародавніх часів [8] (Сократ, Архімед). Пізніше багато уваги їм приділяли провідні вчені XVII – XVIII вв. Ф. Бекон, Р. Декарт і Г. Лейбниц. Починаючи із 40-х рр. XX в. 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.

Комп'ютерні методи почали створюватись у 60-і рр. минулого століття з появою ефективних та доступних ЕОМ. В наш час їх налічується декілька десятків.

Огляд методів обох груп достатньо широко поданий в літературі [8, 9, 10, 11, 12]. 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). 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**), синтезу фізичних 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).

### **Вимоги, що пред'являються до методів інженерної творчості**

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

2. В документації до евристичних методів повинна бути грамотно передбачена можливість їх реалізації на комп'ютері.

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

- чітко описану методику постановлення та розв'язання задачі, яка має міжгалузевий або проблемно-орієнтований характер;
- необхідне інформаційне забезпечення;
- набори 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.

### **Зв'язок теорії технічних систем 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 і іншими).

Наприклад, при вивченні САПР можуть використовуватись деякі методи або прийоми ТТС і навпаки. В обох курсах широко застосовується загальне програмне забезпечення.

В курсі „Автоматизовані банки даних і банки знань” вивчаються методи підготовки та використання блоків з інформацією щодо ТС різного призначення, які можуть служити вихідними даними при розв'язанні задач ІТ.

Якщо спроектована ТС не має аналогів, то для її засвоєння на виробництві необхідно здійснити такі стадії: математичного моделювання (для визначення робочих параметрів ТС), створення дослідного зразка (для проведення експериментів і перевірки теорії), а також розробки методики проектного розрахунку (для обчислення оптимальних конструктивних параметрів). Вказані стадії проектування ТС розглядаються в курсі дисципліни „Основи науково-дослідної роботи студентів”. В ньому ж вивчається послідовність подання заявки на видачу патенту, дається поняття про світовий сучасний науково-технічний рівень, а також патентно-ліцензійну комерційну діяльність.

## 2. Основні поняття

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 приводить до непорозумінь і втрат важливої інформації. Тому, для основних понять, а також для їх визначень рекомендується використовувати загальну наукову термінологію, що вже склалась протягом останніх трьох сторіч.

В основу теоретичних положень фундаментальних та загальноінженерних дисциплін покладені по-більшості спеціалізовані або вузькоспеціалізовані терміни (наприклад, “профіль повздожнього перерізу”, “станина”, “карданний вал”), однак зустрічаються і слова взяті із мови загального використання, які отримали друге або третє, але вже наукове значення (наприклад, термін “бабка”).

Заради точності треба відмітити, що і в ряді фундаментальних дисциплін між вченими ще не досягнуто єдності з питання вибору термінів та формулювання означень. Це не дозволяє робити посилання на відповідні літературні джерела і змушує повторно розглядати деякі елементарні, але важливі поняття.

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).

У зв'язку із вищевикладеним, при формуванні понятійної основи ТТС були використані 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 літерні символи, що, по-перше відповідає вимогам міжнародних стандартів і, по-друге, дозволяє скороти записи і витрати інженерної праці при розв'язанні задач.

Визначення понять буде здійснюватись в два етапи. Спочатку (в даному розділі) даються визначення найбільш важливих основних понять, що зустрічаються 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 визначень групи.

Наприклад, у визначенні ключового поняття “система” використовується інший ключовий термін “множина”. Отже, спочатку треба розглянути групу понять “множина”.

### **Множина**

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

### **Система**

*Системою* (**С**) 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.

Розрізняють *системи типу “процес”* (елементами є операції) і *системи типу “об’єкт”* (елементами є реальні об’єкти).

*Внутрішні впливи* (**в**) між елементами системи являють собою зв’язки матеріального (**М**), енергетичного (**Ен**) або інформаційного (**І**) характеру. Інші більш складні впливи можуть бути подані комбінаціями трьох вказаних простих.

Елемент і система є відносними поняттями. В залежності 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* (**ТпС**).

Користуючись положеннями **ТТС** можна досліджувати як найпростіші (атоми), так і найскладніші системи (космічні апарати, міжгалузеві підприємства). Залежно від рівня складності систем визначаються профіль та кваліфікація фахівців, яких необхідно залучити для їх розробок та дослідження (фізиків–ядерників, конструкторів металорізальних верстатів або проектувальників заводів).

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 ( $\Phi$ ). *Зовнішню функцію* системи можна подати множиною *внутрішніх функцій* ( $\phi$ ) або функцій елементів, що містяться в її складі:

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

де  $n$  – число елементів системи.

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

$$\Phi = (B; O; Y),$$

де  $B$  – загальний внутрішній вплив, який необхідно реалізувати для виконання заданої функції  $\Phi$ ;  $O$  – об'єкт, на який спрямований вплив  $B$ ;  $Y$  – умови та обмеження, що накладаються на реалізацію впливу  $B$ . Опис функції системи може бути якісним (у словесній формі або у формалізованому вигляді) або кількісним (додатково охарактеризованим кількісними параметрами).

### **Функціонування системи**

*Функціонування* може бути визначено як множина послідовних в часі робочих станів системи (див. нижче) 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.

### **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  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ , тобто,  $\text{Стр} = \{E, B\}$ . Структури деяких систем можна розділити на декілька структур різного типу нижчого рівня складності. Наприклад, структура металорізального верстата містить кінематичну, електричну, електронну, гідравлічну та пневматичну підструктури (підсистеми).

### **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).

### **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). Однак інтерес при вивченні тієї чи іншої системи представляють 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* ( $e_{3.6}$ ) і ( $C_{3.6}$ ).

### **Зовнішні впливи системи**

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

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

*Загальні зовнішні вхідний* ( $B_{3.вх}$ ) *та вихідний* ( $B_{3.вих}$ ) *впливи* являють собою множини відповідно всіх вхідних та вихідних зовнішніх впливів системи.

За наявності або відсутності зовнішніх впливів, системи класифікують на *відкриті* (мають хоча б один вхідний або вихідний зовнішній вплив) та *закриті* (не мають зовнішніх впливів).

Вхідні та вихідні зовнішні впливи можуть мати *передбачуваний і непередбачуваний, позитивний і негативний* характер.

### **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.

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

Кожна система, її елементи, внутрішні та зовнішні впливи характеризуються якісними або кількісними *параметрами* ( $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ ), які визначають дану конкретну систему та її місце серед інших систем. Параметрами, в залежності від призначення системи, можуть бути маса, об'єм, швидкість, робоче зусилля, міцність і т.д. Однак основними для будь якої системи є величини, що характеризують її зовнішню та внутрішні функції – *функціональні (робочі) параметри*.

Розв'язання задачі створення або удосконалення системи можливе у *загальному вигляді* (розробка розрахункових залежностей без підстановки чисельних значень параметрів) або у *повному вигляді* (до отримання кількісних величин параметрів і формулювання на їх основі остаточних висновків).

### **Стан системи**

Множину параметрів системи з їх чисельними значеннями у певний момент часу називають *станом* (**Сн**) системи. В залежності від того, які параметри обрані і в якій кількості, розрізняють стани: *окремий (проміжний, вхідний або вихідний)* – сукупність параметрів системи у момент завершення того чи іншого етапу її функціонування; *узагальнений* – залежності зміни основних параметрів системи протягом всього періоду її функціонування; *сукупний* – чисельні значення параметрів системи в процесі її функціонування через певні проміжки часу. 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*.

### **Модель системи**

Модель, подана на рис. 2.1 наочно ілюструє наведені вище означення та їх взаємозв'язки.

### **Типи задач теорії технічних систем**

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

*Задача синтезу* – задані зовнішня та внутрішні функції системи, необхідно розробити її структуру.

*Задача аналізу* – відома структура системи, установити її функцію та функції складових елементів.



### 3. Система перетворень та її елементи

Коли ми намагаємось сформулювати відповідь на питання 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. Звичайно, на це можна відповісти, що більшість сучасних людських потреб, особливо ті, що пов'язані із новою технікою, не є життєво необхідними. Однак подібні переконання на більшість людей не діють і вони продовжують розглядати свої бажання і мрії як природні потреби. Підвищені домагання викликають проблеми їх задоволення, що обумовлено недостатністю фізичних сил і можливостей органів почуттів людини. Тому вона шукає рішення, що дозволяють усунути ці проблеми.

Для задоволення своїх потреб людина знаходить у природі лише деякі повноцінні засоби. У більшості ж випадків вона змушена змінювати вказані засоби за рахунок організації процесів їх перетворень.

Взагалі говорячи, 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.

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*.

Множина людей  $\Sigma Л = \{Л_1, Л_2, ..., Л_n\}$ , множина технічних систем  $\Sigma ТС = \{ТС_1, ТС_2, ..., ТС_m\}$ , навколишнє середовище  $НС$ , а також об'єкт впливу  $О$ , що пов'язані між собою внутрішніми та зовнішніми (вхідними та вихідними) впливами – потоками матерії, енергії або інформації – називають *елементами системи перетворень (СП)*.

Можна навести безліч прикладів процесів перетворень (ПП), які організовує людина, у машинобудуванні це: зварювання, механічне оброблення; на транспорті: фарбування кузова автомобіля, заміна масла. 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 – нагріву заготовок, пластичного деформування, свердління отворів, а також без допо-

моги штучних технічних об'єктів – вимірювальних приладів, металорізальних верстатів, тракторів, водних суден, космічних апаратів.

Вся множина штучних технічних процесів та об'єктів об'єднується в комплексне поняття “*технічні системи*” (ТС).

*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.

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 і призначені для виконання певної функції з перетворення матерії, енергії або інформації із заданого вхідного у заданий вихідний стан.

Таким чином, загальним призначенням систем типу “*процес*” і систем типу “*об'єкт*” є забезпечення штучних процесів перетворень для реалізації потреб людини.

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.

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

**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 устанавлюється один раз заздалегідь і дійсна упродовж всього перетворення, або змінюється в залежності від результату реалізації його складових частин (упорядкована множина технічних процесів, підпроцесів, операцій, а також внутрішніх та зовнішніх впливів між ними).

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).

*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.

На рис. 3.1. наведена загальна модель **СП**, на якій вказані 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 зміщується в повздовжньому напрямку (змінює місцеположення), зрізає стружку із заготовки, зношується, передає коливання іншим елементам **СП** – перетворення матерії, а також нагрівається – перетворення енергії.

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.

В табл. 3.1. поданий приклад опису **СП** гартування сталюї заготовки.

Таблиця 3.1.

Опис **СП** гартування сталюї заготовки

|                                                                                                                    |                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Найменування <b>ПП</b>                                                                                             | Гартування                                                                                                                                             |
| Об'єкт впливу ( <b>О</b> )                                                                                         | Сталюа заготовка                                                                                                                                       |
| Перетворення стану <b>О</b><br>$C_{нвх} \rightarrow C_{нвих}$                                                      | Зовнішня поверхня: м'яка $\rightarrow$ тверда                                                                                                          |
| Склад і послідовність <b>ПП</b><br>$= \{\Sigma TP, \Sigma TnП, \Sigma Op\}$                                        | Завантаження у піч $\rightarrow$ нагрівання $\rightarrow$ переміщення від печі до ванни $\rightarrow$ охолодження у ванні $\rightarrow$ виїмка з ванни |
| Участь в <b>ПП</b> множин <b><math>\Sigma Л</math></b> , <b><math>\Sigma ТС</math></b> і <b>НС</b> :<br>- робітник | Захват щипцями заготовки і переміщення її у піч, від печі до ванни і з ванни до контейнеру                                                             |
| - 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        |

#### 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**.

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, взагалі говорячи, 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**.

##### 4.1. Модель технічного процесу

Ми установили, що **ТП** є елементом **СП** (див. рис. 3.1). Модель **ТП** розробляється з врахуванням впливів на нього з боку інших елементів. Можливі декілька способів представлення **ТП**. На рис. 4.1. подана загальна модель, в якій враховані і зображені всі можливі елементи **ТП** і впливи між ними.

Послідовність розробки моделей **ТП**:

1) Визначається **ПП**, який необхідно реалізувати для задоволення тієї чи іншої потреби людини.

2) Вказується об'єкт впливу (**О**), його вхідний (**С<sub>нвх</sub>**) та вихідний (**С<sub>вих</sub>**) стани, а також основні параметри, що їх характеризують.

3) Визначаються найбільш раціональні варіанти **ТП**, що дозволяють реалізувати задане перетворення.

4) Для кожного варіанта **ТП** вказуються складові **ΣТпП** та **ΣОр**, визначається вид їх структури - послідовний або паралельний (рис. 4.2), а також характер протікання - диференціальний (лінійний чи нелінійний) або дискретний.

5) Установлюються впливи між **ΣТпП** та **ΣОр**, а також характер впливів (матеріальний - **М**; енергетичний - **Ен** або інформаційний - **І**).

6) Вказується стан об'єкта впливу (**С<sub>н</sub>** = {**п<sub>1н</sub>**, **п<sub>2н</sub>**, ..., **п<sub>м.н</sub>**}) після виконання кожного **ТпП** або **Ор**.

7) В загальному **ТП** виділяються етапи підготовки, проведення та завершення (див. рис. 4.1).

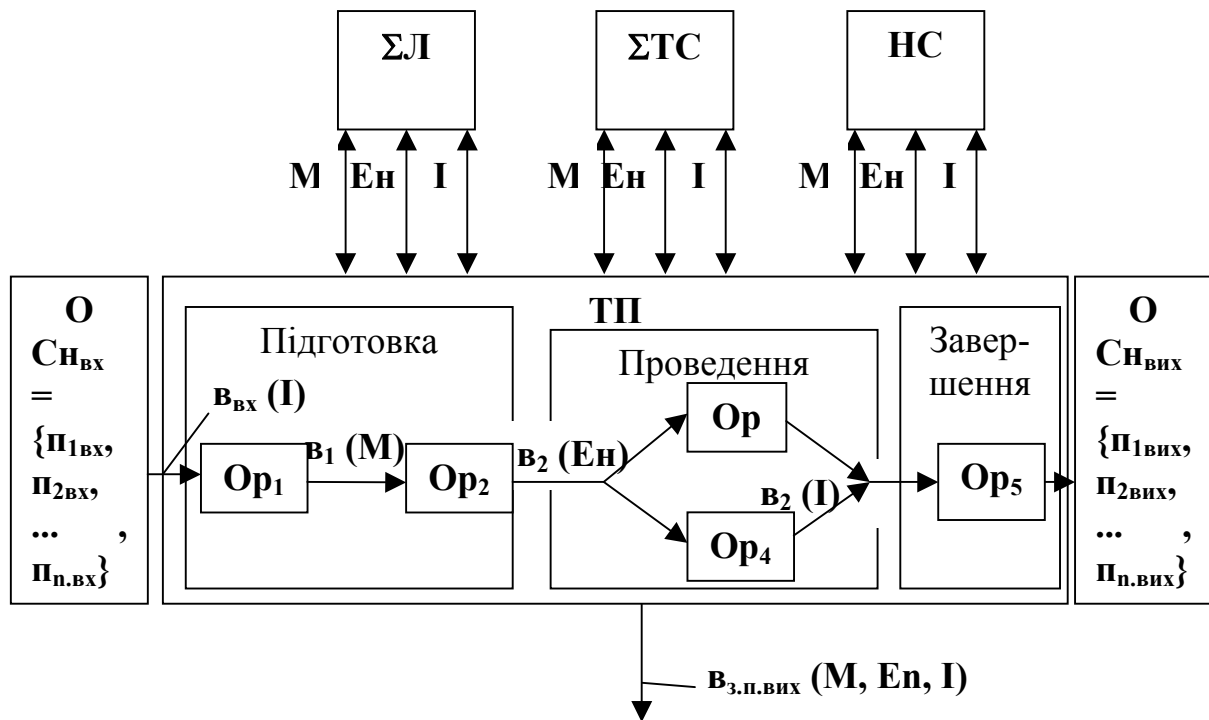


Рис. 4.1. Загальна модель ТП

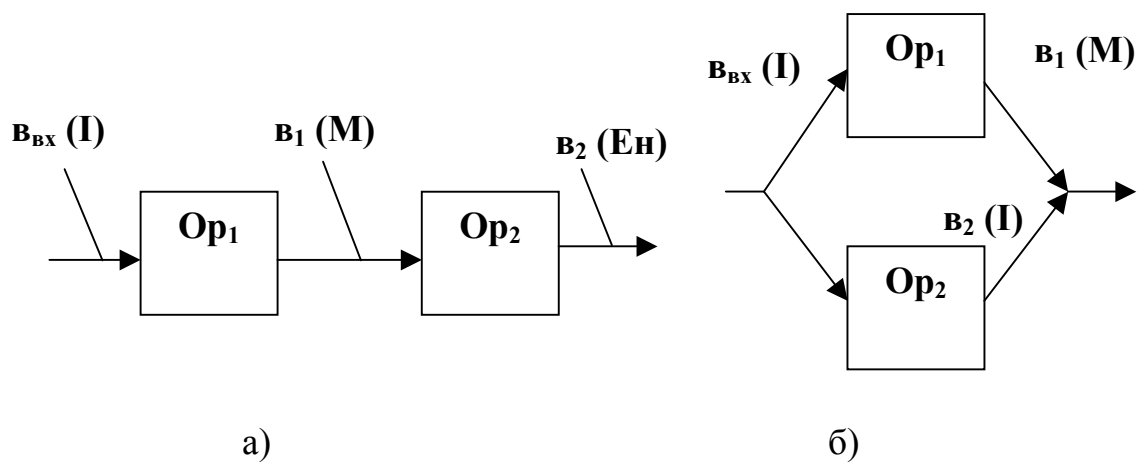


Рис. 4.2. Види структури ΣТпП (ΣOp): а) - послідовна; б) - паралельна

8) Визначаються множини **ΣЛ**, **ΣТС** об'єктів та умов **НС**, які безпосередньо пов'язані впливами з елементами **ТП**.

9) Установлюється характер впливів **ΣЛ**, **ΣТС** та **НС** на **ΣТпП** та **ΣОр**. 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 не-реалізованим. Наприклад, в **ТП** обробки на металорізальному верстаті сталльної заготовки в якості вихідних матеріальних потоків необхідно вказати і деталь і стружку, а не тільки деталь. 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 **ΣТпП** та **ΣОр**, що відносяться до етапу проведення **ТП**, а і для допоміжних **ΣТпП** і **ΣОр** етапів підготовки та завершення. Доцільність такого опису обумовлена тим, що допоміжні **ΣТпП** і **ΣОр** у більшості випадків суттєво впливають на основні перетворення **ТП**.

11) Визначаються процеси керування і (або) регулювання **ТП**.

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) Перетворення в **ТП** описуються в залежності від мети і стадії його розробки в більш або менш повному вигляді (окремий, узагальнений або сукупний опис).

15) Ретельно перевіряється можливість реалізації кожної **Ор**. В сумнівних випадках проводяться додаткові дослідження.

16) В залежності від галузі техніки, в якій реалізується **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 враховувати.

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

- Чи не можна виключити 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?

В табл. 4.1 наведений приклад опису ТП, розробленого згідно із наведеними рекомендаціями

#### 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,  $\Sigma$ ТС, елемент - деталь, матеріал або їх сукупність), енергія або інформація. В ТП змінюється стан об'єкта впливу  $C_{н_{вх}} = \{п_{1_{вх}}, п_{2_{вх}}, \dots, п_{п_{вх}}\} \rightarrow C_{н_{вих}} = \{п_{1_{вих}}, п_{2_{вих}}, \dots, п_{п_{вих}}\}$ . Параметрами стану залежно від об'єкта можуть бути габаритні розміри, форма, температура, тиск, робоче зусилля, електрична напруга, швидкість і т.д.

Таблиця 4.1

Приклад опису ТП токарного оброблення сталльної заготовки

| Об'єкт впливу (О)                        |                                       | $\Sigma$ ТП та $\Sigma$ Ор                        | Впливи на $\Sigma$ ТП і $\Sigma$ Ор<br>людей $\Sigma$ Л, $\Sigma$ ТС, НС       |                  |                |
|------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|
| На-<br>ймену-<br>вання,<br>харак-<br>тер | Стан<br>$C_{н_{вх}}$ $C_{н_{вих}}$    |                                                   | $\downarrow M$                                                                 | $\downarrow E_n$ | $\downarrow I$ |
| Мате-<br>ріал –<br>сталь<br>Ст50         | Заго-<br>тов-<br>ка –<br>роз-<br>міри | Де-<br>таль -<br>роз-<br>міри,<br>шорс-<br>ткості | Підготовка:                                                                    |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>11</sub> – настрою-<br>вання верстата.                                |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>12</sub> – установ-<br>лення та закріплен-<br>ня заготовки.           |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>13</sub> – запуск вер-<br>стата.                                      |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | Проведення:                                                                    |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>21</sub> - обточуван-<br>ня заданих повер-<br>хонь.                   |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>22</sub> – вимикання<br>подачі супорта та<br>обертання шпинде-<br>ля. |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | Завершення:                                                                    |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>31</sub> – звільнення<br>та зняття деталі.                            |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>32</sub> - обмірюван-<br>ня деталі.                                   |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | ТпП <sub>33</sub> – складання<br>деталі в контейнер.                           |                  |                |
|                                          |                                       |                                                   | Л+ТС+<br>НС                                                                    | Л+ТС+<br>НС      | Л+НС           |
|                                          |                                       |                                                   | Л+ТС+<br>НС                                                                    | Л+ТС+<br>НС      | Л+НС           |
|                                          |                                       |                                                   | Л+НС                                                                           | ТС+<br>НС        | Л+ТС+<br>НС    |
|                                          |                                       |                                                   | Л+ТС+<br>НС                                                                    | Л+ТС+<br>НС      | Л+ТС+<br>НС    |
|                                          |                                       |                                                   | Л+НС                                                                           | ТС+<br>НС        | Л+ТС+<br>НС    |
|                                          |                                       |                                                   | Л+ТС+<br>НС                                                                    | Л+ТС+<br>НС      | Л+НС           |
|                                          |                                       |                                                   | Л+НС                                                                           | Л+НС             | Л+ТС+<br>НС    |
|                                          |                                       |                                                   | 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: подача робочої рідини в гідросистемі верстата, теплота, яка виділяється при згорянні палива, переміщення за допомогою стрічкового конвеєра деталей 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* ( $V_{\text{п}}$ ) та *зовнішніми* ( $V_{\text{з.п.вх}}$ ,  $V_{\text{з.п.вих}}$ ) *впливами*. Множини окремих побічних впливів можна представити як *загальні внутрішні та зовнішні вхідний та вихідний побічні впливи* ( $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{з.п.вх}}$ ,  $V_{\text{з.п.вих}}$ ).

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.

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

В множину елементів **ТП** входять всі люди, технічні системи, а також об'єкти **НС**, які безпосередньо впливають на його перетворення. Одне і теж саме перетворення може бути реалізоване на основі різних **ТП**. Від вибору варіанта **ТП** залежать склад його елементів (множин  $\Sigma J$ ,  $\Sigma TC$  і **НС**), а також число та характер впливів, які вони реалізують.

Розглянемо, наприклад, **ПП** гартування сталюї заготовки. Згідно із першим варіантом **ТП** робітник щипцями захоплює заготовку і устанавлює її у піч; після нагрівання заготовки до певної температури робітник за допомогою щипців виймає її та устромлює в масляну 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 скрізь ванну з маслом, після чого скидаються з конвеєра у контейнер-збірник.

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 налаго-

дженням стрічкового конвеєра, запуском його у роботу, періодичним контролем параметрів **ТП**, ремонтом та обслуговуванням обладнання.

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 сталюї заготовки), або дискретним (руйнування металокопструкції). Об'єкти переходять в проміжні стани в результаті впливів матеріального, енергетичного або інформаційного характеру. Наприклад, якщо під впливом  $V_{3.BX1}$  матеріального характеру параметр  $\Pi_1$  об'єкта в двох послідовних проміжних станах мав значення  $\Pi_{11}$  і  $\Pi_{12}$ , то у формалізованому вигляді це можна представити таким чином

$$\Pi_{11} \rightarrow \Pi_{12} = f(V_{3.BX1}(M)).$$

Тоді сукупна зміна стану об'єкта із заданого вхідного  $C_{H.BX}$  у заданий вихідний  $C_{H.BHX}$ , які характеризуються рядом параметрів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ , що є результатом загального  $V_{3.BX}$  впливу, представленого множиною впливів  $V_{3.BX1}, V_{3.BX2}, \dots, V_{3.BX.m}$  записується як

$$C_{H.BX} = \{\Pi_{1.BX}, \Pi_{2.BX}, \dots, \Pi_{m.BX}\} \rightarrow C_{H.BHX} = \{\Pi_{1.BX}, \Pi_{2.BX}, \dots, \Pi_{m.BX}\} = f(V_{3.BX}) = f(V_{3.BX1}, V_{3.BX2}, \dots, V_{3.BX.m}).$$

Зовнішні та внутрішні впливи на об'єкт здійснюються під час виконання **ΣТП** та **ΣОр** в рамках загального **ТП**.

*Операцією (Ор)* ми називаємо елементарний неподільний технічний процес, нерозривну в часі частину процесу перетворень. Власне кажучи, елементарною частиною, наприклад, технічних процесів металообробки є переходи (підрізка торця, фрезерування площини). Однак термін „операція” є більш універсальним, який використовується для позначення даного поняття практично у всіх галузях техніки.

Упорядкована сукупність **ΣОр** утворює **ТП**.

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, **ТП** механічної обробки слід орієнтуватись в першу чергу на типові **ΣТпП** та **ΣОр**.

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

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

Допоміжні операції можна поділити на *операції обслуговування і ремонту* (щоденне змащення верстата, очищення від бруду деталей автомобільного двигуна, ремонт станини), *підготовчі операції* (установка та закріплення заготовки в патроні верстата, регулювання положення ріжучого інструмента), *операції керування та регулювання* (поворот ключа запалювання автомобіля, вмикання обертання шпинделя токарного верстата).

#### 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 отримані задані вихідні параметри об'єкта.

Параметром, що дозволяє порівнювати даний **ТП** з іншими процесами, що здійснюються з аналогічною метою є економічна ефективність (**Е<sub>ек</sub>**). *Економічна ефективність* визначається як відношення прибутку (**Пр**), отриманого в результаті виконання технічного процесу до загальних витрат (**Втр**) на його реалізацію

$$E_{ek} = Pr / Vtr$$

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.

У **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 **ΣТпП** та **ΣОр**, 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.

Всі параметри **ТП** можна поділити на три групи: технічні, економічні та планові. В табл. 4.2 по групах наведені приклади параметрів елементів **ТП**, а в табл. 4.3. - приклад порівняння **ТП** передачі механічної, гідравлічної і електричної енергії за основними параметрами.

Таблиця 4.2

## Параметри елементів ТП

| Елементи<br>ТП              | Параметри                                                              |                                                  |                                                                           |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                             | технічні                                                               | економічні                                       | планові                                                                   |
| <b>О</b> , впли-<br>ви      | Маса, об'єм, швидкість, міцність, електричний опір, тиск               | Ціна, витрати                                    | Обсяги та термін постачання, постачальник                                 |
| <b>ΣТпП</b> ,<br><b>ΣОр</b> | Рациональність структури, застосування типових <b>ТпП і Ор</b>         | Витрати на реалізацію                            | Час початку, тривалість, кількість людей-робітників                       |
| <b>Л (ΣЛ)</b>               | Спеціальні знання, досвід, особисті якості                             | Заробітна платня, відрахування у пенсійний фонд  | Години роботи, кількість людей-робітників, їх кваліфікація                |
| <b>ТО (ΣТО)</b>             | Функціональні, конструктивні, технологічні, експлуатаційні             | Ціна, експлуатаційні витрати                     | Обсяги та термін постачання, постачальник                                 |
| <b>НС</b>                   | Температура, тиск, вологість, шум, вібрації, наявність у повітрі газів | Витрати на забезпечення необхідних умов оточення | Термін та обсяги постачання сировини, енергоносіїв, допоміжних матеріалів |

Таблиця 4.3

## Порівняння ТП передачі механічної, гідравлічної і електричної енергії

| Передача енергії                       | механічної | гідравлічної | електричної |
|----------------------------------------|------------|--------------|-------------|
| Параметри порівняння                   |            |              |             |
| 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 табл. 4.3. I, II, III – відносні ступені оцінювання параметрів ТП, відповідно, низький, середній, високий

#### 4.4. Представлення технічних процесів

Відомо декілька способів представлення **ТП**, до яких відноситься також і загальна модель (див. рис. 4.1). Вибір того чи іншого способу залежить від призначення **ТП**, мети представлення, а також стадії розробки.

*Блок-схема послідовності* містить короткі і чіткі описи **ΣТпП** та **ΣОр**, наведені у послідовності їх виконання. Приклад блок-схеми послідовності **ТП** заміни підшипників на валу коробки швидкостей верстата поданий на рис. 4.3, а.

*Структурна схема* (рис. 4.3, б) є частиною загальної моделі **ТП**, яка визначає послідовність та склад **ΣТпП** та **ΣОр**, їх структуру (послідовну або паралельну), впливи між **ΣТпП** та **ΣОр**, вхідний (**Сн<sub>вх</sub>**) та вихідний (**Сн<sub>вих</sub>**) стани об'єкта впливу, параметри стану.

Різновидом структурної схеми є *ієрархічна схема* (рис. 4.3, в), на якій вказані позначення та найменування складових **ΣТпП** та **ΣОр**, а також їх ієрархічна підпорядкованість. Дана форма представлення є зручною особливо на попередніх стадіях розроблення **ТП**, під час аналізу можливих варіантів.

В ряді задач **ІТ** вимагається провести аналіз залежностей основних робочих параметрів **ТП**, у зв'язку з чим необхідне його представлення *графіками зміни параметрів в часі або по операціях*. Для зручності аналізу та порівняння, залежності для різних параметрів можна подати в одній системі координат. Так, на рис. 4.3, г наведені графіки зміни діаметра отвору (параметр **п<sub>1</sub>**) і температури заготовки (**п<sub>2</sub>**) при реалізації **ТП** її механічного і термічного оброблення в складі трьох підпроцесів: **ТпП<sub>1</sub>** – розточування отвору в заготовці (включає операції чорнового (**Ор<sub>11</sub>**), напівчистового (**Ор<sub>12</sub>**) і чистового (**Ор<sub>13</sub>**) розточування); **ТпП<sub>2</sub>** – транспортування заготовки від верстата до електропечі; **ТпП<sub>3</sub>** – гартування, в складі операцій нагрівання заготовки у печі (**Ор<sub>31</sub>**) і охолодження її у масляній ванні (**Ор<sub>32</sub>**). На графіку вказані граничні значення параметрів **п<sub>1вх</sub> → п<sub>11</sub> → п<sub>12</sub> → п<sub>13</sub> = п<sub>1вих</sub>**; **п<sub>2вх</sub> → п<sub>2вих</sub>**, а також їх зміни **Δп<sub>11</sub>, Δп<sub>12</sub>, Δп<sub>13</sub>, Δп<sub>23</sub>**.

**ТП** може бути також представленим у *математичній* або *словесній формі*. Математичний опис в ряді випадків є найбільш точним та компактным, тому часто використовується на стадіях попередніх досліджень **ТП**. Словесний опис може містити найбільш детальну інформацію стосовно розглядуваного **ТП**, але є громіздким і не досить точним.

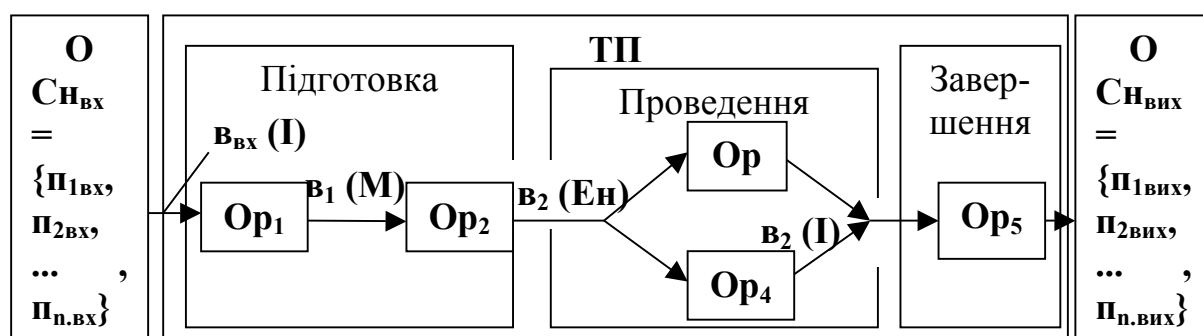
#### 4.5. Типові задачі, пов'язані із технічними процесами

Залежно від того, які параметри **ТП** є заданими, а які потрібно знайти, всі задачі **ІТ**, пов'язані з їх удосконаленням можна розділити на декілька основних типів, описаних у табл. 4.4. Таке ділення дозволяє систематизувати задачі **ІТ**, а отже й економити час при їх розв'язанні, шляхом засто-

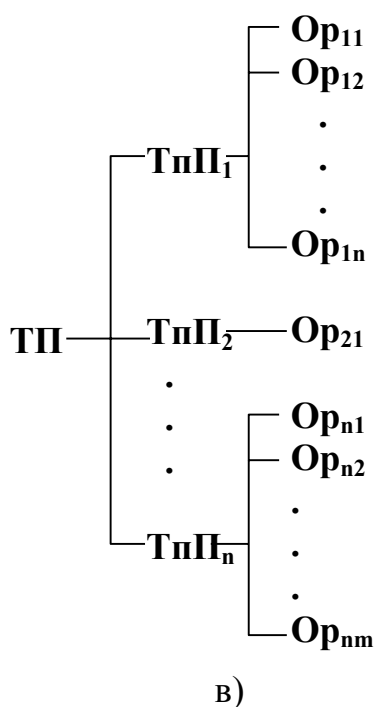
сування спеціально обраних і відпрацьованих методів, а також типового програмного забезпечення.



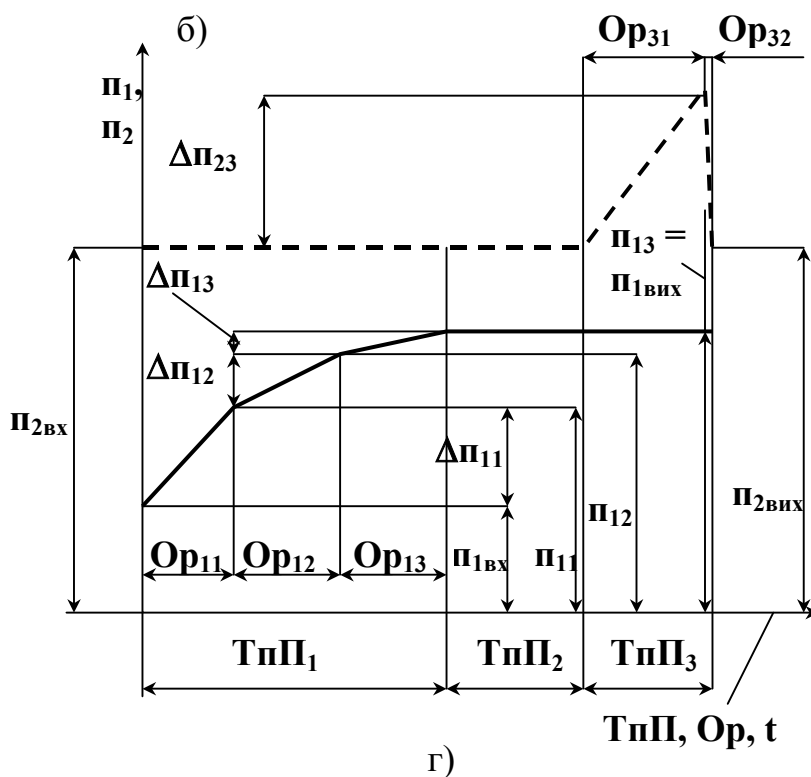
а)



б)



в)

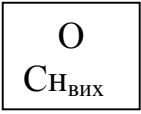
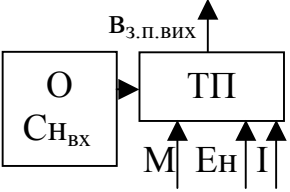
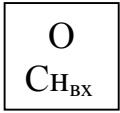
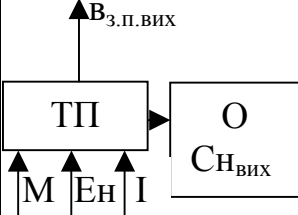
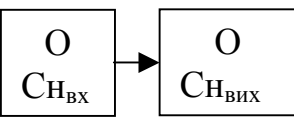
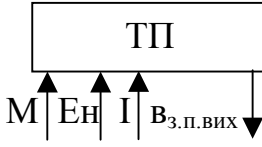
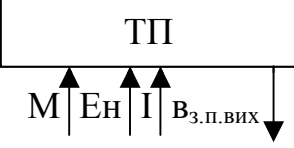
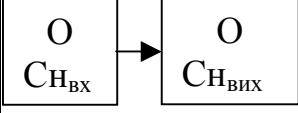
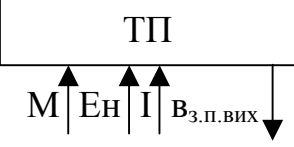
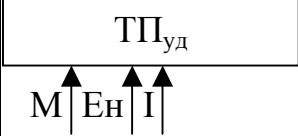
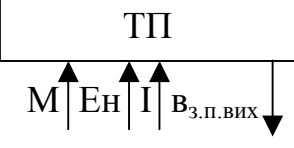
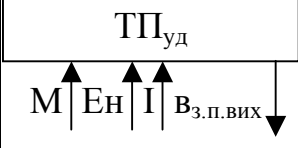
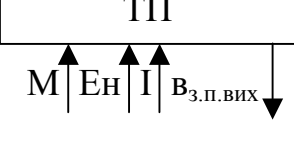
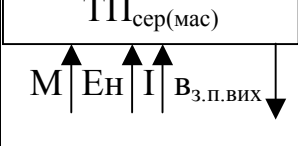


г)

Рис. 4.3. Способи представлення ТП: а – блок-схема послідовності; б – структурна схема; в – ієрархічна схема; г – графіки основних робочих параметрів ТП

Таблиця 4.4

Типові інженерні задачі, пов'язані із **ТП**

| Проблемна ситуація                                                                  | Дано                                                                                | Вимагається                                                                          | Тип задачі                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Для задоволення потреби необхідно забезпечити заданий $С_{н\text{вих}}$          |    |    | Проектування <b>ТП</b> із визначенням $С_{н\text{вх}}$ і зовнішніх впливів              |
| 2. Для нового матеріалу, енергоносія або інформаційних даних шукається застосування |    |    | Проектування <b>ТП</b> перетворення нових матеріалів, енергії або інформації            |
| 3. Необхідно здійснити задане перетворення об'єкта впливу                           |    |    | Проектування <b>ТП</b> для реалізації заданого перетворення                             |
| 4. Для спроектованого <b>ТП</b> шукається застосування                              |   |   | Реалізація нових перетворень, або підвищення ефективності існуючих                      |
| 5. Один з $В_{з.п.вих}$ спроектованого <b>ТП</b> є шкідливим                        |  |  | Удосконалення <b>ТП</b> для нейтралізації шкідливого $В_{з.п.вих}$                      |
| 6. Необхідно підвищити ефективність існуючого <b>ТП</b>                             |  |  | Рационалізація <b>ТП</b>                                                                |
| 7. Потрібно збільшити обсяги існуючого виробництва                                  |  |  | Удосконалення існуючого <b>ТП</b> з метою здійснення серійного або масового виробництва |

|                                                                             |                                                         |                                                                       |                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 8. На існуючому виробництві необхідно виготовити дослідний зразок <b>ТО</b> | <div style="text-align: center;"> <b>ТП</b><br/> </div> | <div style="text-align: center;"> <b>ТП<sub>дос</sub></b><br/> </div> | Удосконалення існуючого <b>ТП</b> з метою випуску нового дослідного зразка <b>ТО</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|

#### 4.6. Класифікації технічних процесів

Основні класифікації **ТП** за рядом ознак подані у табл. 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.

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

## 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.

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 не розв'язана.

### 5.1. Визначення технічних об'єктів

Сам **ТО** і його місце в класифікаціях визначаються його призначенням, функціонуванням та структурою.

Під час функціонування **ТО** підпорядковується принципу причинності: будь який **ТП**, що реалізується в **ТО** обумовлений одною або декількома причинами і одночасно є причиною здійснення інших **ТП**. Без причини нічого не відбувається. Для технічного об'єкта *причину* можна визначити, як сукупність умов та параметрів його функціонування.

Ми вже відмічали, що людям властиво прагнути до здійснення бажаних перетворень і задоволення своїх потреб. З точки зору причинності кожне перетворення намагаються реалізувати саме там і тоді, коли потрібно. Окрім причинності слід згадати і цілеспрямованість, наявність якої допомагає людині певним чином формувати своє життя. Людина використовує з цією метою в рамках існуючих умов механічні, гідравлічні, електричні і інші **ТП**. Виходячи з принципу причинності, людина створює причинні системи – ланцюги **ТП**, здійснення яких за допомогою **ТО** повинно забезпечити задане перетворення у потрібний момент часу.

### Призначення технічних об'єктів

Розглядаючи питання про призначення **ТО**, слід повернутись до загальної моделі **СП** (рис. 3.1). Як видно з моделі, **ТО** повинні реалізовувати заплановані цілеспрямовані впливи на об'єкти впливу **ТП**. **ТО** виконують численні функції, що служать для задоволення потреб людини. Раніше всі функції системи вже були поділені на зовнішні (**Φ**) та внутрішні (**φ**). Дана класифікація справедлива і для **ТО**. Ряд авторів зовнішню функцію називають цільовою [5] або телеологічною [14], внутрішню - відповідно технічною або дескриптивною.

Зовнішня функція знаходиться із внутрішньою функцією у відношенні мета – засіб. Важливо ще на початкових стадіях конструювання **ТО** правильно виділити дані відношення.

*Призначенням технічного об'єкта* є виконання ним заданої зовнішньої функції – досягнення певної мети, - яка реалізується при здійсненні елементами внутрішніх функцій (засіб).

### Функціонування технічних об'єктів

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, під час роботи зубчастої передачі змінюється частота і напрямок обертання, величина обертового моменту, температура елементів. В якості іншого прикладу можна розглянути функціонування люмінесцентної лампи: електричний струм при протіканні по нитці накаливання викликає її нагрівання, підвищення температури в оточуючому шарі окислів обумовлює утворення потоку електронів, що є причиною ультрафіолетового випромінювання ртуті, яке трансформується у люмінесцентному шарі у світлове випромінювання, завдяки чому реалізується заданий **ТП** – освітлення. 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*.

Розглянуті відношення мета – засіб та причина – наслідок є найважливішими загальними ознаками **ТО**.

### Структура технічних об'єктів

Створення **ТО**, а також виконання ним заданого призначення можливі лише при умові дотримання певних вимог виготовлення та складання всіх необхідних елементів **ТО** із забезпеченням заданих впливів як під час бездіяльності **ТО** так і при його функціонуванні. Аналіз структури **ТО** приводить до сукупності елементів різного рівня складності, пов'язаних впливами матеріального, енергетичного або інформаційного характеру. Подібний метод аналізу зрозумілий більшості людей, оскільки практично кожен колись намагався самостійно виконати ремонт водопровідного крана або електричного вимикача і був вимушений розібрати ремонтований **ТО**. За аналогією зі структурою системи *структуру (Стр) технічного об'єкта* можна визначити як об'єднання множини елементів  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  та множини впливів між ними  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ :  $Стр = \{E, V\}$ . Залежно від стадії створення **ТО** його структура може бути представлена функціональними, принциповими або конструктивними елементами різного рівня складності (див. даний розділ нижче). Наприклад, на етапі конструювання вона описується складальним кресленням та специфікацією.

### Стани технічних об'єктів

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 табл. 5.1. дані назви та характеристики основних станів **ТО**.

Таблиця 5.1

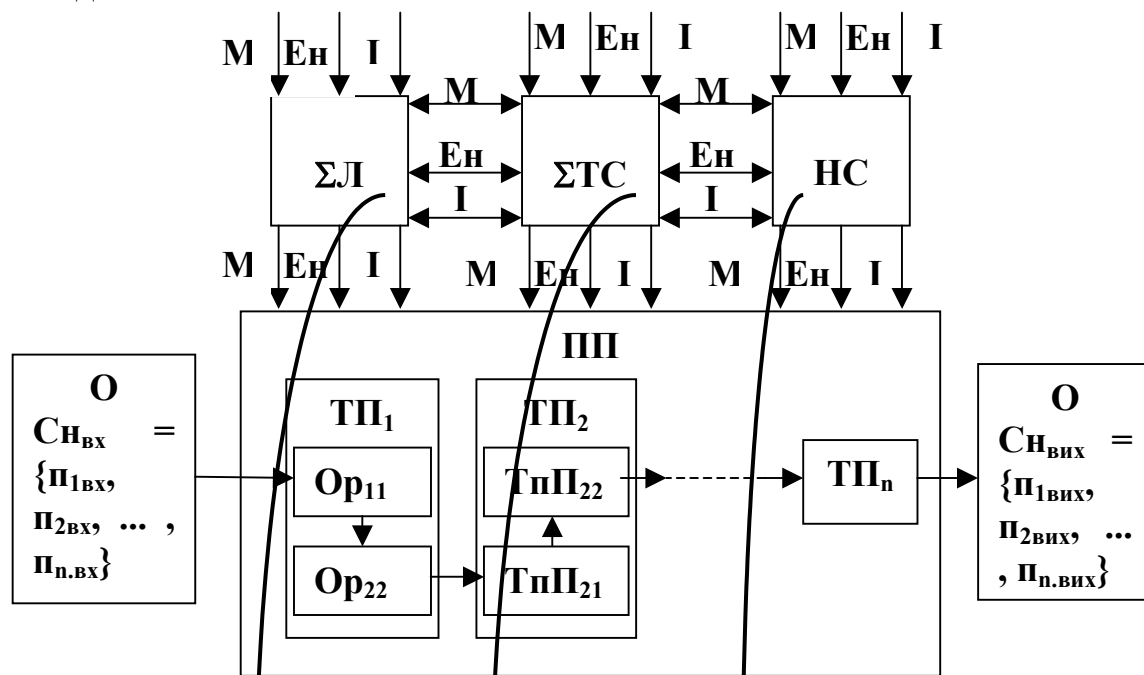
Стани **ТО**

| 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 робочих та граничних режимах, визначення фактичних 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> в якості макету або виставочного експонату; розділення у брухт                                                                                            |

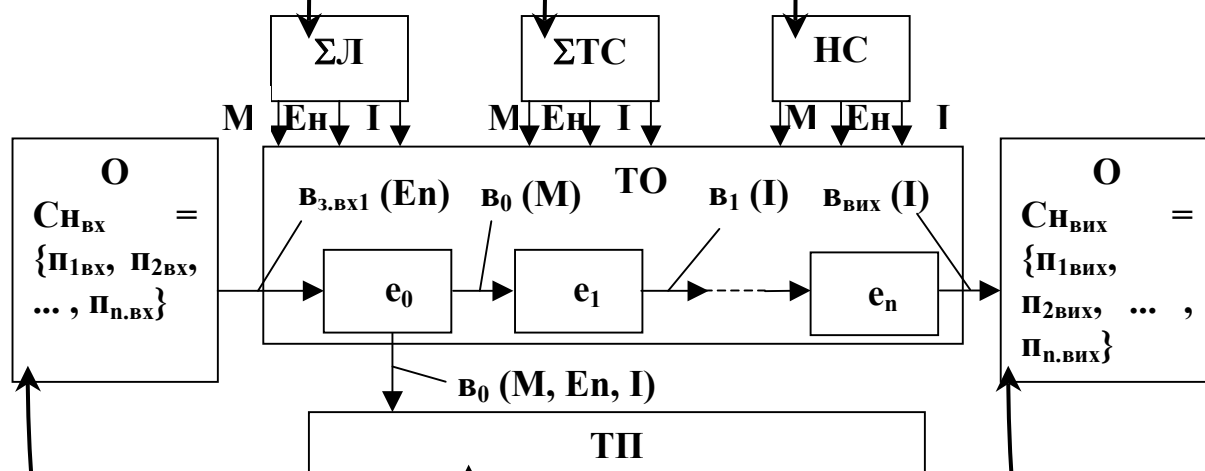
## 5.2. Загальна модель технічних об'єктів

Загальна модель **ТО** (рис. 5.1) може бути створена на основі моделі **СП** (див. рис. 3.1) та моделі **ТП** (див. рис. 4.1). 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 ( $C_{н_{вх}} \rightarrow C_{н_{вих}}$ ); із людьми (у виробничому процесі до множини ( $\Sigma L$  можуть відноситись робітники, наладчики, майстри); із технічними процесами та іншими технічними об'єктами; із навколишнім середовищем. Впливи між елементами **ТО** являють собою потоки матерії (**М**), енергії (**Ен**) або інформації (**І**) і можуть мати бажаний або небажаний характер (побічні впливи -  $B_{з.п.вих}$ ).

# Модель СП



## Модель ТО



## Модель ТП

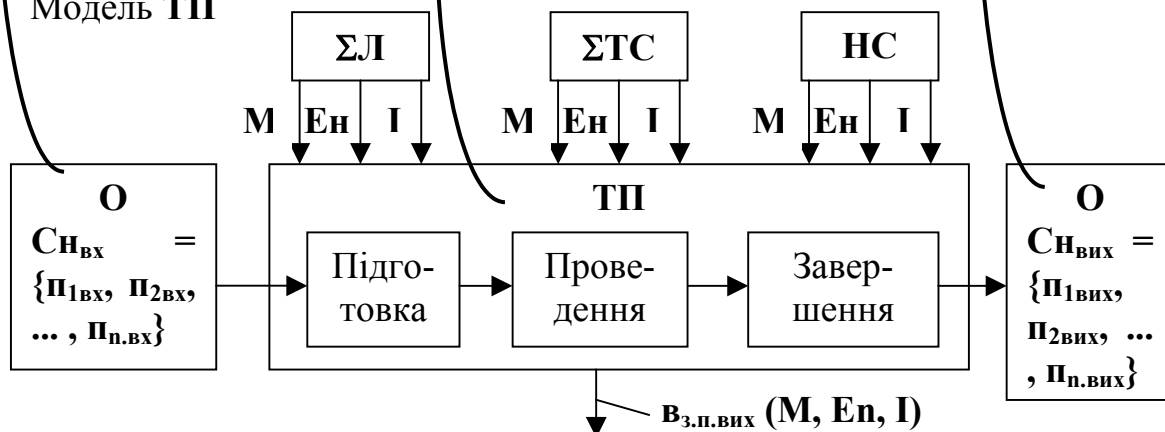


Рис. 5.1. Розробка моделі ТО на основі моделей СП та ТП

### 5.3. Моделі конкретних технічних об'єктів

В залежності від ступеня абстрактності (повноти) – числа ознак та параметрів, що враховуються – модель того чи іншого **ТО** може бути представлена у вигляді функціональної структури (**ФС**), принципової (**ПС**) або конструктивної (**КС**) схем. Дані моделі розробляються на відповідних стадіях створення **ТО** (див. розд. 10.1) і в загальному випадку визначають його призначення, функціонування структуру та стан.

Слід одразу сказати, що можливості символічного представлення **ТО** не вичерпуються трьома названими видами моделей. Теоретично їх може бути нескінченне число, однак саме ці три види використовуються для розв'язання конкретних інженерних задач з розробки та удосконалення **ТО**, для них визначені свої норми і стандарти. Моделі ієрархічно пов'язані між собою, що дозволяє чітко організувати процес проектування **ТО**, підвищити його продуктивність та результативність.

На рис. 5.2. наведений приклад трьох видів моделей слюсарних лещат.

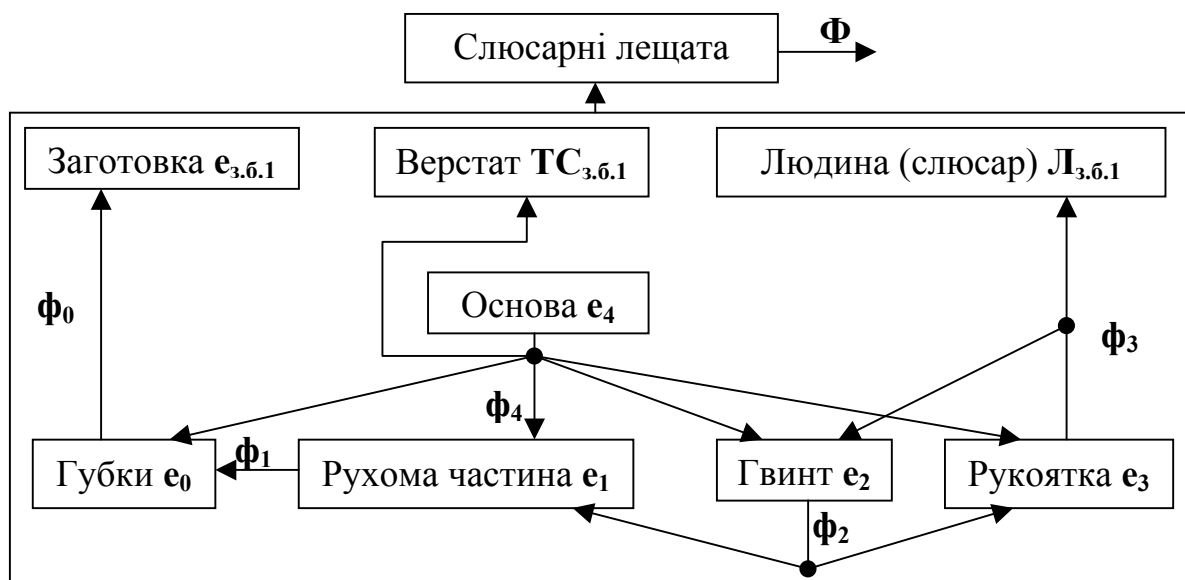
Взаємозв'язок між моделями різних видів одного **ТО** можна легко установити, використовуючи відношення мета – засіб. З даної точки зору призначення **ТО** (як мета) забезпечується певною функціональною структурою (як засобом); дана функціональна структура (як мета) є основою множини принципових схем (засіб); кожна з принципових схем (мета) дозволяє розробити деяке число конструктивних схем (засіб), які, в свою чергу, служать робочим документом при підготовці проекту **ТО**.

Необхідно також додати, що при створенні тих чи інших **ТО** не завжди доцільно розробляти моделі всіх трьох видів. Вибір виду моделі здійснюється в кожному конкретному випадку виходячи із практичних міркувань, галузі, в якій буде використовуватись розроблюваний **ТО** та умов задачі

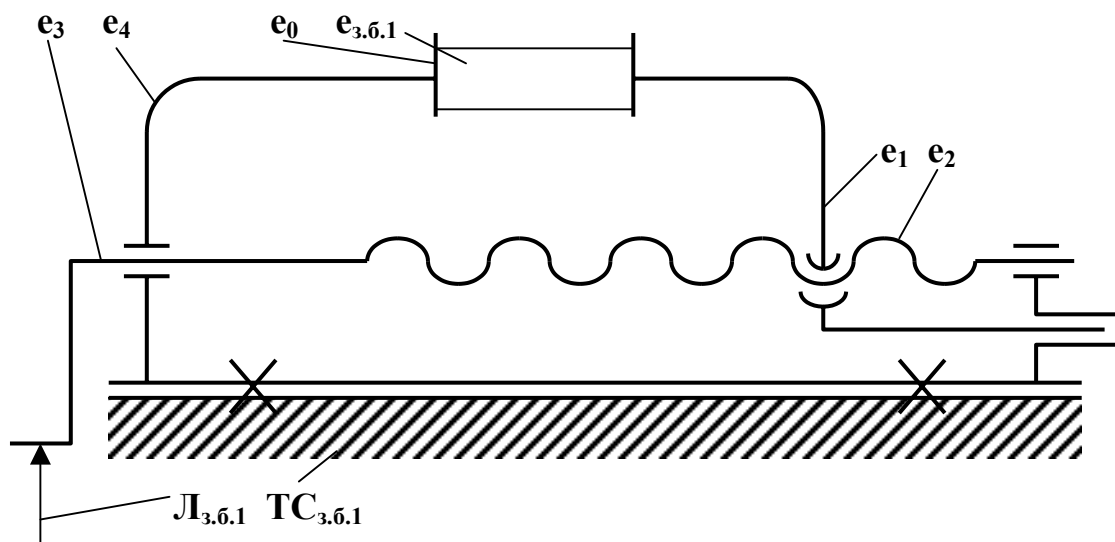
#### 5.3.1. Функціональні структури технічних об'єктів

*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**. Зображується **ФС** у вигляді орієнтованого графа, вершинами якого є найменування елементів **ТО**, а ребрами – функції елементів (див. рис. 5.2, а). Послідовність побудови **ФС** розглянута в даному розділі нижче.

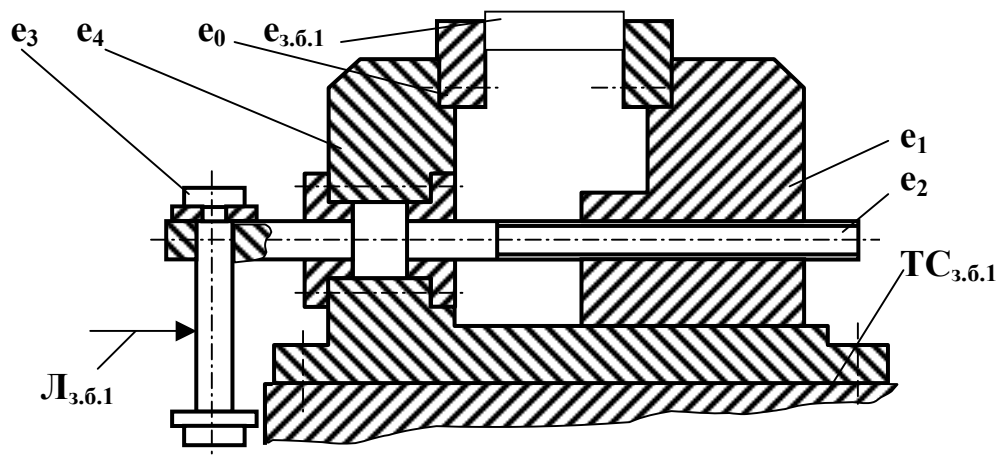
У розд. 2 було встановлено, що при виконанні внутрішніх функцій **ТО** у випадку відповідності фактичних умов навколишнього середовища та параметрів **ТО** заданим, буде реалізована і його зовнішня функція (**Ф**). Результатом цього є перехід об'єкта впливу із вхідного стану ( $C_{нвх} = \{п_{1вх}, п_{2вх}, \dots, п_{п.вх}\}$ ) у вихідний ( $C_{нвих} = \{п_{1вих}, п_{2вих}, \dots, п_{п.вих}\}$ ) із забезпеченням чітких співвідношень залежних вихідних величин від незалежних вхідних.



а)



б)



в)

Рис. 5.2. Види моделей слюсарних лещат: а –  $\Phi$ С; б – ПС; в – КС

## 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 затисканні заготовки в слюсарних лещатах (див. рис. 5.2, а) фізична енергія руки людини – слюсаря ( $L_{3.6.1}$ ) перетворюється у енергію обертального руху рукоятки ( $e_3$ ); разом з рукояткою обертається гвинт ( $e_2$ ), в результаті чого енергія обертального руху переходить у поступальну енергію переміщення рухомої частини лещат ( $e_1$ ) і губок ( $e_0$ ). Останні передають зусилля фіксації заготовки ( $e_{3.6.1}$ ) – перетворення кінетичної енергії руху у потенціальну 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. Найменш складною є *елементарна функція* – залежність одного параметра від іншого.

2. Класифікація за *ступенем абстрактності або ступенем повноти*: залежно від числа умов та обмежень, що накладаються на реалізацію функції вона може бути більш або менш абстрактною (повною). Зі ступенем абстрактності зворотною залежністю пов'язаний рівень складності функції (більш абстрактна функція описується простішою математичною залежністю) однак це не прямопротилежні величини. Необхідність у розкладанні функції на підфункції (функції нижчого рівня складності) з'являється при переході до меншого ступеня абстрактності, коли аналізується все більше число умов.

3. Залежно від *типу перетворення*, що реалізується, розрізняють функції перетворення матерії, енергії або інформації.

4. За аналогією із класифікацією операцій **ТП** серед внутрішніх функцій **ТО** можна виділити *робочі*, які відповідають його зовнішній функції та *допоміжні* – решта внутрішніх функцій, що забезпечують виконання зовнішньої функції.

## Розробка функціональної структури

**ФС** можна розробляти двома основними способами.

В першому випадку при заданих зовнішній функції **ТО** та моделі його функціонування (відомому принципу дії) визначається елементний склад **ТО** та внутрішні функції елементів, що забезпечують реалізацію його призначення.

Другий спосіб оснований на використанні **ПС** або **КС**. В результаті абстрагування від конструктивних та принципових якісних та кількісних параметрів (параметрів, що характеризують елементи **ТО**, зображені на **ПС** і **КС**) поступово переходять до **ФС**.

Розглянемо більш детально методику першого способу.

Для побудови **ФС** необхідно зрозуміти і уточнити таке:

- які функції виконує кожен елемент **ТО** і як елементи функціонально пов'язані між собою;
- які перетворення реалізуються за допомогою кожного елемента і як дані перетворення пов'язані між собою;
- які фізико-технічні ефекти лежать в основі функціонування кожного елемента і як вони між собою пов'язані.

Після з'ясування даних питань з'являється чітке уявлення про будову **ТО**, що удосконалюється з функціональної та фізичної точок зору. Побудова **ФС** основана на *законі відповідності між функцією та структурою **ТО***. Даний закон формулюється таким чином: в правильно спроектованому технічному об'єкті кожен елемент виконує задану внутрішню функцію, узгоджену із зовнішньою функцією об'єкта. При вилученні будь-якого з елементів зі складу технічного об'єкта останній або взагалі не буде функціонувати або суттєво погіршить показники своєї роботи. Таким чином, в правильно спроектованому технічному об'єкті зайвих елементів немає.

Методика побудови **ФС** містить такі основні етапи: розділення **ТО** на елементи, визначення головних елементів, виявлення множин людей, технічних систем, а також об'єктів та умов навколишнього середовища, які впливають на елементи **ТО**, визначення характеру даних впливів, опис функцій елементів, побудова **ФС**.

*Перший етап* виконується згідно із ієрархічним принципом, коли зі складу **ТО** виділяються елементи все більш низького рівня складності, для яких підбираються короткі найменування із застосуванням по можливості стандартної термінології. Далі виділені елементи зображуються у вигляді вершин ієрархічного дерева на відповідних рівнях. Для полегшення даної роботи можна використовувати **ПС** та **КС** прототипів розроблюваного **ТО**, що допоможе установити його елементний склад.

Якщо, наприклад, проектується токарно-револьверний верстат ми беремо за основу конструкції верстатів аналогічного типу і виділяємо як елементи вищого рівня складності (перший ієрархічний рівень) станину, коробки швидкостей та подач, револьверну головку, супорт, патрон. На другому рівні будуть розташовуватись складові елементи станини, коробки швидкостей (вали, зубчасті колеса, муфти) і т.д.

Процес аналізу продовжується до отримання *неподільних елементів* – об'єктів з мінімальним числом функцій (але не меншим одної), при діленні яких утворюються елементи, що взагалі не виконують ніякої функції або їх функція аналогічна функції поділеного елемента. Неподільними елементами, наприклад, в кульковому підшипнику будуть кульки, в гідросистемі верстата – робоча рідина, в автомобілі – важіль перемикавання швидкостей коробки передач.

На другому етапі визначаються множини  $\Sigma$ ,  $\Sigma$ ТС,  $\Pi$ С що включають елементи пов'язані потоками матерії, енергії або інформації з елементами розроблюваного **ТО**.

Третій етап пов'язаний із визначенням *головних елементів* технічного об'єкта – елементів, що безпосередньо взаємодіють із об'єктом впливу і виконують функцію, яка збігається із зовнішньою функцією технічного об'єкта. Наприклад, головним елементом кулькового підшипника є кульки. На цьому ж етапі всім елементам **ТО**, а також елементам множин  $\Sigma$ ,  $\Sigma$ ТС і  $\Pi$ С присвоюються позначення. Головний елемент (елементи) позначається як  $e_0$  ( $e_{01}, e_{02}, \dots$ ).

На четвертому етапі визначаються та описуються функції елементів **ТО**. В описах, які повинні бути короткими, чіткими і зрозумілими, застосовується стандартна термінологія, в дужках вказуються позначення згадуваних елементів. Кожна функція отримує позначення. Функція головного елемента (елементів) позначається  $\phi_0$  ( $\phi_{01}, \phi_{02}, \dots$ ). Результати виконання четвертого етапу подаються у таблиці аналізу функцій. Приклад такої таблиці для **ТО** „кульковий підшипник” наводиться нижче.

Таблиця 5.2

Аналіз функцій **ТО** „кульковий підшипник”.  
Зовнішня функція **ТО** ( $\Phi$ ) – зменшення моменту  
обертання між втулкою та валом

| Елемент    |                  | Функція    |                                                                                     |
|------------|------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Позначення | Найменування     | Позначення | Опис                                                                                |
| $e_0$      | Кульки           | $\phi_0$   | Зменшення моменту обертання між втулкою ( $e_{3.6.1}$ ) і валом ( $e_{3.6.2}$ )     |
| $e_1$      | Зовнішнє кільце  | $\phi_1$   | Забезпечення відносного обертального руху втулки ( $e_{3.6.1}$ ) і кульок ( $e_0$ ) |
| $e_2$      | Внутрішнє кільце | $\phi_2$   | Забезпечення відносного обертального руху вала ( $e_{3.6.2}$ ) і кульок ( $e_0$ )   |
| $e_3$      | Сепаратор        | $\phi_3$   | Забезпечення рівних відстаней між кульками ( $e_0$ )                                |

На *n*'ятому етапі виконується побудова  $\Phi$ С, для чого спочатку зображуються її вершини. На першому зверху рівні розташовується вершина з найменуванням розроблюваного **ТО**, на другому рівні - вершини  $\Sigma$ ,  $\Sigma$ ТС і  $\Pi$ С, пов'язані із елементами **ТО**, на третьому, четвертому і при необхідності на наступних нижніх рівнях (у випадку аналізу складного **ТО**) – вершини його складових неподільних елементів. Вершини зображуються у вигляді прямокутників або овалів зі вписаними в них найменуваннями та позначеннями елементів **ТО**. Далі будуються направлені ребра графа. Ребра виходять з вершин елементів, функції яких вони описують і закінчуються у вершинах елементів, роботу яких вони забезпечують. З кожної верши-

ни виходить стільки ребер, скільки функцій виконує елемент. Позначення елементів, у вершинах яких закінчуються ребра вказуються у описах відповідних функцій в дужках (див. табл. 5.2). Розрізняють два основні типи ребер. Ребра першого типу виходять з одної вершини і закінчуються в іншій одній вершині. Ребра другого типу починаються в одній вершині, далі розділюються на декілька (за числом залежних елементів) векторів, що закінчуються у відповідних вершинах. Всім ребрам присвоюються позначення, аналогічні позначенням зображуваних ними функцій. Вершини графа рекомендується розташовувати таким чином, щоб забезпечити мінімальне число перехрещень ребер. Вершини функціонально пов'язаних елементів необхідно зображувати поруч. На рис. 5.3 подана **ФС** кульково-го підшипника, описаного в табл. 5.2.

### 5.3.2. Принципові схеми технічних об'єктів

На *принциповій схемі* стандартними символами (позначеннями) зображуються 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**.

На рис. 5.4 наведений приклад принципової пневматичної схеми – схеми дросельного регулювання швидкості поршня пневмоциліндра.

При перемиканні пневморозподільника 7 в ліву позицію за схемою робоче тіло – стиснене повітря - надходить через регульований дросель 2 в поршневу порожнину 3 пневмоциліндра, а з штокової порожнини 4 через зворотний клапан 6 витісняється у атмосферу. Якщо пневморозподільник знаходиться у правій позиції стиснене повітря подається через регульований дросель 5 в порожнину 4, а з поршневої порожнини 3 через зворотний клапан 1 витісняється в атмосферу. Таким чином, функцією пневморозподільника 7 є керування повітряними потоками, функцією регульованих дроселів – зміна витрат повітря, що надходять до порожнин пневмоциліндра, зворотні клапани 1 і 6 пропускають стиснене повітря лише в одному напрямку і, нарешті, сам пневмоциліндр служить для приведення в зворотно-поступальний рух виконавчої ланки робочої машини (на схемі не показана).

### 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 представлення 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, комп-

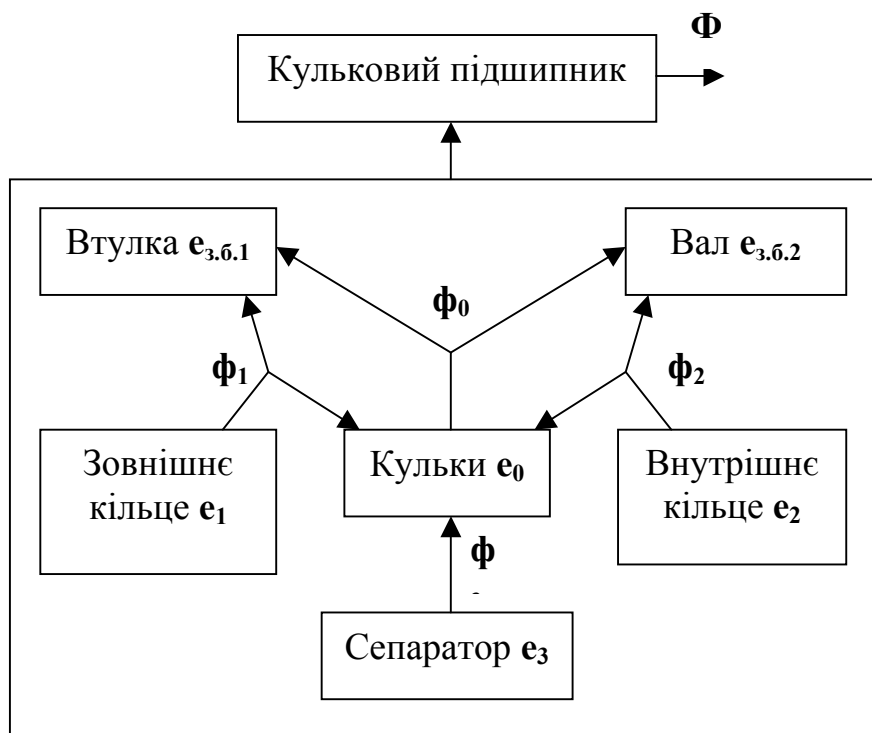


Рис. 5.3. ФС кулькового підшипника

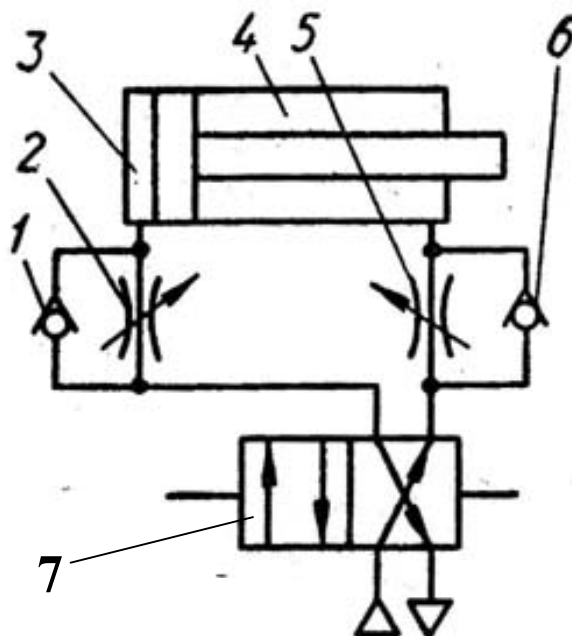


Рис. 5.4. Принципова пневматична схема дросельного регулювання швидкості поршня пневмоциліндра: 1, 6 – зворотні клапани; 2, 5 – регульовані дроселі; 3, 4 – поршнева і штокова порожнини пневмоциліндра; 7 - пневморозподільник

ресори, розподільники, фільтри, запобіжні клапани, дроселі, регулятори витрат, трубопроводи; в електросхемах це - електродвигуни, магнітні пускачі, резистори, реостати, конденсатори, реле часу, котушки індуктивності.

### **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.

### **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**.

2. Залежно від кількості врахованих параметрів неподільних елементів **ТО**, з яких складається принципів елемент він має більший або менший *ступінь абстрактності (повноти)*. Класифікація за даною ознакою дозволяє визначити наскільки точно аналог моделює оригінал.

3. За наявністю зв'язків із множинами **ΣЛ** та **ΣТС** принципів елементи **ТО** діляться на *зовнішні* (з'єднані хоча б одним матеріальним, енергетичним або інформаційним впливом із **ΣЛ** або **ΣТС**) та *внутрішні* (не мають зовнішніх впливів).

4. Залежно від виконуваних функцій принципів елементи можуть бути поділеними на *робочі* (безпосередньо реалізують зовнішню функцію) **ТО** та *допоміжні*, що створюють умови для виконання зовнішньої функції.

### **Види принципів схем**

Вище вже вказувалось, що в деяких галузях техніки для створення **ПС** розроблені спеціальна символічна мова, відповідні стандарти та норми. Залежно від типу зображуваних елементів або підсистем **ТО** виділяють такі види **ПС**:

- кінематичні схеми;
- гідравлічні та пневматичні схеми;
- електричні схеми;
- напівпровідникові схеми;
- мікропроцесорні схеми;
- схеми автоматизації;
- монтажні схеми;

- схеми теплоенергетичних установок та теплосхеми.

### **Розробка принципів схем**

Розробка **ПС** може викликати певні труднощі у проектувальників, які звикли мати справу з більш конкретними конструктивними схемами, на яких **ТО** представлений спрощеними зображеннями неподільних елементів, що за виглядом наближаються до ескізів 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 поділений. Далі згідно із діючими стандартами та нормами визначається, як принципові елементи повинні зображуватись на схемі.

**ПС** може бути створена на основі **ФС** або **КС**. В першому випадку визначають основні принципові ознаки та параметри **ТО** і його елементів, в другому – абстрагуються від конструктивних ознак та параметрів.

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

На *конструктивній схемі* технічний об'єкт зображується згідно із основними вимогами стандартів та норм до оформлення конструкторської документації (складальних креслень, специфікацій). Допускаються лише незначні спрощення (пропуск дрібних елементів, другорядних розрізів і видів), якщо це не затемнює розуміння функцій **ТО** та його елементів, принципу їх дії та конструкції. 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.

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** у порівнянні із **ФС** і **ПС** значно зростає.

**КС** розробляються для станів експлуатації і монтажу (складальне креслення), а також демонтажу **ТО** (деталювання).

### **Конструктивні елементи**

Залежно від умов задачі, мети дослідження, а також складності **ТО**, що розглядається, останній може бути поділений на конструктивні елементи різного рівня складності (вузли, агрегати, машини, роботизовані технологічні комплекси). В свою чергу, конструктивні елементи вищих рівнів складності, якщо потрібно, ділять на елементи нижчих рівнів до отримання неподільних елементів.

### **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.

### **Класифікації конструктивних елементів**

Конструктивні елементи класифікуються за тими ж самими ознаками що і принципів 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* для основних рівнів.

2. *Ступінь абстрактності* конструктивного елемента визначається числом врахованих якісних і кількісних конструктивних параметрів, таких як: структура, впливи між елементами, форма, розміри, точність, марка матеріалу, шорсткість поверхні, наявність термообробки або покриття, а також числом похідних параметрів - твердості, міцності, довговічності і т.д.

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

4. Серед конструктивних елементів можуть бути виділені *робочі* (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 розглянуті у наступному розділі.

### **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).

Зображення **КС** ще в більшій мірі ніж для **ПС** регламентовано відповідними стандартами і нормами (в Україні - ДСТУ, ГОСТ, ЄСКД, ЄСТПВ). Розробка **КС** проводиться, як правило, на основі **ФС** або **ПС** шляхом визначення та зображення конструктивних параметрів **ТО**. Часто робиться декілька послідовних наближень до оптимального варіанта **КС** (ітераційне проектування). При реалізації ітераційного методу, на основі розрахунків або експериментів на дослідному зразку, визначаються робочі параметри **ТО**, що характеризують його ефективність. Після порівняння їх із задани-

ми, 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 заключній стадії проектування на основі остаточно відпрацьованих спрощених **КС** виконується складальне креслення **ТО** і деталювання його неподільних конструктивних елементів.

#### 5.3.4. Порівняння моделей технічних об'єктів і їх перетворення

Розглянуті в розд. 5.3.1 – 5.3.3 види моделей **ТО** можна порівняти між собою за детальністю представлення його реального зразка в системі координат ступінь абстрактності (**СА**) – число врахованих параметрів (**ЧП**) (рис. 5.5). Дана діаграма ілюструє співвідношення між видами моделей.

**ТО** може бути повністю визначений на стадії конкретного конструювання – створення **КС** – під час виявлення всіх якісних і кількісних конструктивних параметрів.

Наведена на рис. 5.5 діаграма дає лише загальну орієнтацію в процесі конструювання, оскільки визначення кількісної міри для такої величини, як ступінь абстрактності представляє певні труднощі. Перехід від моделі одного виду до іншого здійснюється шляхом абстрагування від ряду принципів або конструктивних параметрів **ТО** або навпаки – шляхом їх визначення. Оскільки кожен з таких параметрів може бути реалізований при різних варіантах **ФС**, **ПС** і **КС**, під час перетворень моделей можна отримати декілька прототипів.

Саме перетворення моделей **ТО** і є метою розв'язання більшості задач **ІТ**, у зв'язку з чим **ТТС** має особливо важливе значення для раціональної організації і підвищення ефективності конструювання.

#### Відношення мета – засіб

Ми вже розглядали вище дане відношення (див. розд. 5.3), яке відображує методику синтезу **ТО**, коли виходячи із формулювання поставленої мети шукають засоби її досягнення. На кожному етапі проектування **ТО** розглядається той чи інший пункт мети (яка, по суті, являє собою **ТЗ**), після чого ставиться питання про засіб (засоби): „Яким чином?”. В результаті, процес розробки можна представити сукупністю „кроків” мета – засіб, на кожному з яких засіб стає метою (для виконання тої чи іншої вимоги **ТЗ** задаються відповідні параметри **ТО** і проробляється відповідний вид його моделі - **ФС**, **ПС** або **КС**).

Основними „кроками” в процесі створення **ТО** є:

| Мета                                                                    | Засіб                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Зміна стану об'єкта впливу -----                                        | <b>ПП</b> ( $\Sigma TP$ , $\Sigma TP_{II}$ , $\Sigma Op$ )               |
| <b>ПП</b> ( $\Sigma TP$ , $\Sigma TP_{II}$ , $\Sigma Op$ ) -----        | Впливи ( <b>В</b> , <b>В<sub>з.вх</sub></b> , <b>В<sub>з.вих</sub></b> ) |
| ( <b>В</b> , <b>В<sub>з.вх</sub></b> , <b>В<sub>з.вих</sub></b> ) ----- | Зовнішня функція ( <b>Ф</b> )                                            |

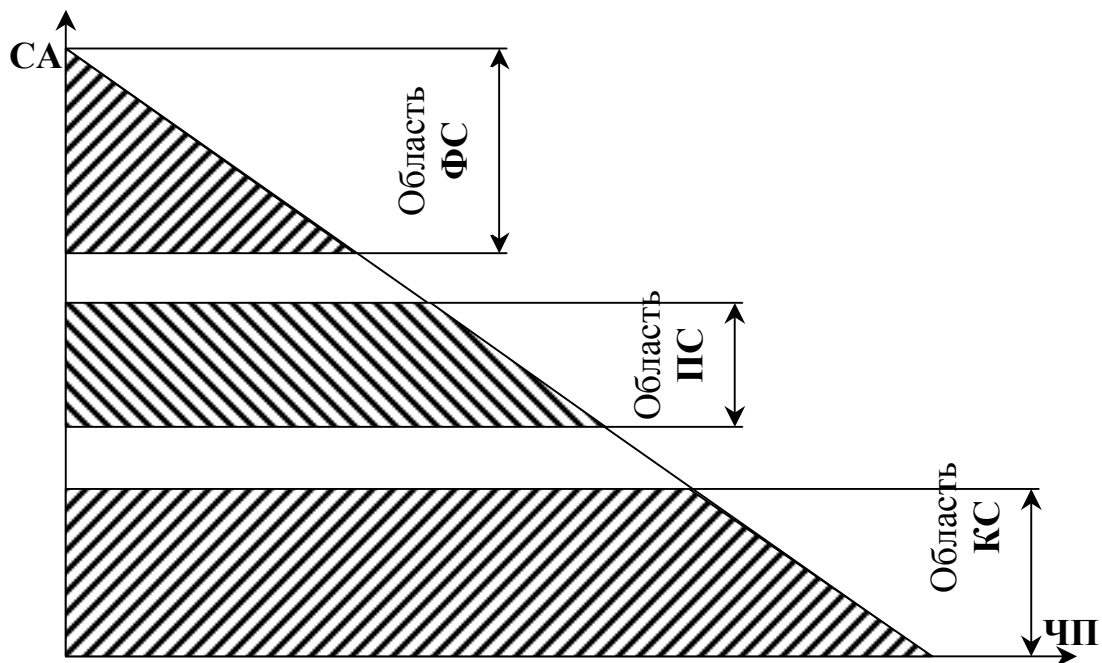


Рис. 5.5. Діаграма порівняння видів моделей **ТО** в координатах ступінь абстракції (**СА**) - число врахованих параметрів (**ЧП**)

| Ступінь складності |     |    |   |
|--------------------|-----|----|---|
| IV                 | III | II | I |

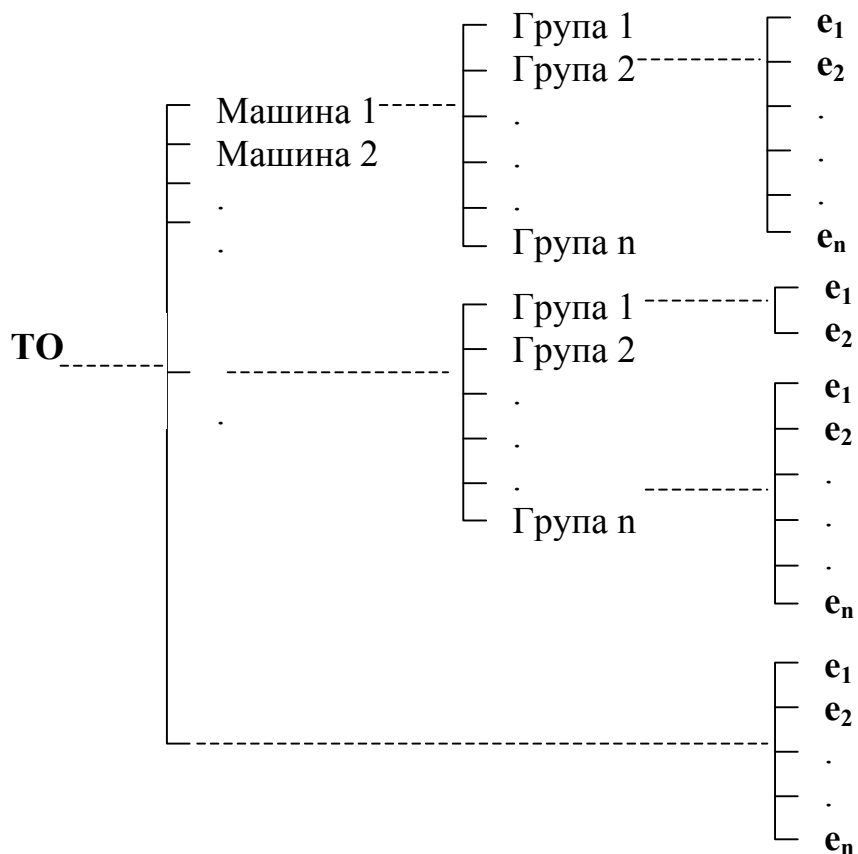


Рис. 6.1. Узагальнена структурна схема **ТО**

|                                           |                                                       |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Ф</b> -----                            | Внутрішні функції $\{\Phi_1, \Phi_1, \dots, \Phi_n\}$ |
| $\{\Phi_1, \Phi_1, \dots, \Phi_n\}$ ----- | <b>ФС</b>                                             |
| <b>ФС</b> -----                           | Принципові елементи                                   |
| Принципові елементи-----                  | <b>ПС</b>                                             |
| <b>ПС</b> -----                           | Конструктивні елементи                                |
| Конструктивні елементи -----              | <b>КС.</b>                                            |

#### 5.4. Межа технічних об'єктів

Межа **ТО** визначає його як функціональну, принципову і конструктивну одиницю. На межі **ТО** або поблизу неї розташовуються зовнішні принципові та конструктивні елементи, пов'язані із внутрішніми елементами **ТО**, а також з **ΣЛ**, **ΣТС** і **НС**.

#### 5.5. Зовнішні системи та елементи, навколишнє середовище технічних об'єктів

З рис. 5.1 слідує, що **ТО** може бути безпосередньо пов'язаним матеріальними, енергетичними або інформаційними потоками з множиною людей (**ΣЛ**) - робітників, операторів, наладчиків, слюсарів-ремонтників, електриків і т.д., які використовують, обслуговують або ремонтують даний **ТО**; множиною технічних систем (**ΣТС**), з якими **ТО** має загальні впливи бажаного (**В**, **В<sub>з.вх</sub>**, **В<sub>з.вих</sub>**) або небажаного (**В<sub>п</sub>**, **В<sub>з.п.вх</sub>**, **В<sub>з.п.вих</sub>**) характеру; навколишнім середовищем (**НС**) - впливи температури, вологості, тиску, агресивних газів, вібрацій, шумів як з боку **НС** на **ТО**, так і навпаки.

Загальну множину впливів на **ТО** слід визначати на основі детального аналізу моделі відповідної **СП** з врахуванням реальних умов, в яких знаходиться **ТО**, а також його поточного стану. Необхідно також взяти до уваги і те, що один і той самий **ТО** може в різні моменти часу взаємодіяти з кількома **СП** як незалежно від результатів реалізації **ТП**, так і з врахуванням даних результатів (множина впливів може змінюватись під час функціонування **ТО**).

## 6. Класифікації технічних об'єктів

Термін „технічний об'єкт” обраний нами в якості загального терміну для всіх підприємств, виробничих ділянок, машин, пристроїв, апаратів, приладів, вузлів, деталей. 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.

**ТО** можна класифікувати за такими основними ознаками:

- за виконуваною зовнішньою функцією: **ТО** для механічної обробки, термічної обробки, нанесення покриттів, транспортування, фіксації тощо;
- за типом перетворення: **ТО** для перетворення матерії, енергії, інформації, одної або декількох комбінацій даних потоків;
- за принципом дії: механічні, гідравлічні, пневматичні, теплові, електромагнітні, електронні, хімічні, біологічні, оптичні, акустичні **ТО**;
- за найменуванням основного робочого параметра: **ТО** зі зміною швидкості, прискорення, потужності, температури, тиску, зусилля;
- за рівнем складності: підприємство, виробничий комплекс, машина, апарат, вузол, агрегат, деталь;
- за переважним способом виготовлення елементів: **ТО**, що складається з елементів виготовлених різанням, литтям, ковкою, штампуванням, вібропресуванням;
- за ступенем конструктивної складності (див. розд. 6.5);
- за матеріалом, з якого виготовлені елементи **ТО**: **ТО** з елементами, виготовленими з конструкційних, вуглецевих або легированих сталей, з сірого, ковкого або високоміцного чавуну, з кольорових металів, з пластмас;
- за ступенем оригінальності конструкції: відомі, доопрацьовані, модернізовані або нові **ТО**;
- за типом виробництва: **ТО**, виготовлені в умовах масового, великосерійного, середньосерійного, дрібносерійного або одиничного виробництва;
- за назвою фірми – виготовлювача: наприклад, **ТО** виробництва ВО „Антонов”, „ЗАЗ – Daewoo”, „ЛАЗ”, „Boeing”, „General Motors”;
- за ступенем стандартизації: стандартизовані, нормалізовані, уніфіковані, оригінальні **ТО**;
- за походженням: **ТО** власних розробки та виробництва; **ТО**, що виготовляються за ліцензією; **ТО**, які складаються з придбаних деталей і комплектуючих; покупні **ТО**;
- залежно від галузі техніки, де використовується: **ТО**, що функціонують в промисловості (додатково можна ввести групи **ТО**, що експлуатуються у важкому, енергетичному і транспортному машинобудуванні,

електротехнічній промисловості, хімічному і нафтовому машинобудуванні і т.д.), металургії, сільському господарстві, на транспорті, у військовій і гірничій справі, в побуті тощо;

- за вартістю: декілька основних і проміжних рівнів.

Розглянемо більш детально деякі з найважливіших класифікацій.

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

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

Функцію вказують і в тих випадках, коли необхідно допомогти потенційному споживачу знайти потрібний йому **ТО**. З цією метою видаються торговельні і промислові каталоги, оглядові таблиці і т.д.

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 дозволяє 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 неоглядовою.

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, в якості назви 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.

## 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** „промислові печі” за принципом дії діляться на електричні печі, печі, що працюють на твердому, рідкому або газоподібному паливі. Електричні печі, в свою чергу, за фізичним принципом дії класифікуються на печі опору (з прямим або посереднім нагрівом) і індукційні печі. За характером зміни основного робочого параметра (температури) розрізняють печі безперервної і дискретної робочої дії (наприклад, камерні печі). Печі безперервної дії далі діляться за способом подачі виробів: роликові, полозкові, підвізні, печі з крокуючим подом.

Подібні ознаки **ТО** відносяться до групи класифікацій за принципом дії, які є досить важливими для методичної роботи конструктора.

## 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. Табл. 6.1. дає загальне уявлення про класифікацію **ТО** за рівнем складності, а наведена на рис. 6.1 узагальнена структурна схема показує складність структури **ТО** і його елементний склад за рівнями.

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, дріт                                                     |
| 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 в залежності від складності **ТО** може бути різним. При цьому слід пам'ятати про відносність ієрархічної підпорядкованості того чи іншого елемента **ТО** і самого **ТО** (див. розд. 2.1.). Наприклад, одна і та ж сама коробка передач, або шпindel в одному **ТО** розглядаються як елементи, а в іншому - нижчого рівня складності – як підгрупи або машини.

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

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 створенням 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 по відношенню до 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.

#### 6.4. Класифікація технічних об'єктів за способом виготовлення

Для виготовлення певних груп **ТО**, як правило, використовується типове технологічне обладнання. Наприклад, на одному і тому ж самому обладнанні можна виготовити парові котли і хімічні резервуари, на іншому – токарні, фрезерні і свердлильні верстати. Деталі машин можна також звести у групи за конфігурацією, яка визначає технологічний спосіб їх виготовлення (маршрут механічної обробки).

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. Класифікація за способом виготовлення є складовою частиною так званої групової технології обробки.

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

**ТО** можна класифікувати і за ступенем конструктивної складності. В якості прикладу в табл. 6.2 **ТО** четвертого рівня складності розділені на шість ступенів конструктивної складності. 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 табл. 6.2. можна додатково ввести

проміжні ступені залежно від числа регламентованих розмірів, їх точності, а також шорсткості оброблених поверхонь.

Таблиця 6.2

Класифікація деталей машин за ступнем 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, шків, 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          |

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 виконуваних 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.

#### 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.

За ступенем стандартизації **ТО** діляться на стандартизовані, нормалізовані, уніфіковані і оригінальні. Відносна кількість елементів кожного класу в більш складних **ТО** визначає технологічність їх конструкції. *Ста-*

ндалтизованими технїчними об'єктами називають деталї і машини, якї за конфїгурацією, розмірами та конструкцією цілком відповїдають вимогами ДСТУ, ГОСТ і ЄСКД. Конфїгурація, розміри і конструкція *нормалїзованих* технїчних об'єктів відповїдають стандартам заводу–виготовлювача. *Унїфікованими* технїчними об'єктами є однакові за формою, розмірами та конструкцією деталї і машини, що повторюються в конструкції об'єкта вищого рівня складності. *Оригінальні* технїчні об'єкти не мають аналогів за конфїгурацією, розмірами і конструкцією.

Стандартизовані, а часто і нормалїзовані **ТО** мають літерно-цифрові позначення, якї 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.

Зрозуміло, що конструктору, під час розробки **ТО** слід орієнтуватись, в першу чергу, на стандартизовані і нормалїзовані деталї, вузли та комплектуючі матеріали, і при цьому максимально підвищувати ступінь їх унїфікації. Нехтування стандартизацією, нормалїзацією та унїфікацією може призвести до різкого підвищення вартості машини, збільшення термінів її виготовлення та окупності.

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

Рішення про розробку або закупку **ТО** приймають виходячи із квалїфікаційного рівня конструкторів та робїтників 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 реалїзації 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 прїоритету у різних сферах на міждержавному рівні.

#### 6.7. Класифїкація технїчних 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 такі категорії.

*Відомі технїчні 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, 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 при умові 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 пред'являються 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.

*Технічні об'єкти одиничного виробництва.* При одиничному виробництві суттєво збільшується частка витрат на розробку у загальній собівартості **ТО**, яка також зростає у порівнянні 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 неви-

сокими. До професіоналізму і досвіду конструкторів, що залучаються до їх створення пред'являються особливо жорсткі вимоги.

*Технічні об'єкти серійного і масового виробництва.* Дані **ТО** значно краще ніж **ТО** одиничного виробництва пророблені з точки зору технологічності, раціональності конструкції та оптимальності значень функціональних, експлуатаційних та інших параметрів. Внаслідок великих об'ємів випуску, частка витрат на розробку у загальному об'ємі витрат невелика. 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-виготовлювачі.

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 служать для виготовлення у великих кількостях дешевих уніфікованих **ТО**, а також для ефективного та тривалого їх використання.

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

#### 6.9. Класифікація технічних об'єктів за типом перетворення

За даною ознакою **ТО** діляться на об'єкти, призначені для перетворення матерії, енергії, інформації або комбінацій вказаних потоків. Така класифікація може бути корисною, наприклад, при визначенні множини **ТО**, пов'язаних потоками різних типів з тим чи іншим **ТП**, а також для упорядкування **ТО** конкретного цеху або підприємства. Однак вона може привести до плутанини і помилок, якщо один і той самий **ТО** на різних етапах робочого циклу забезпечує перетворення різного типу або різні комбінації перетворень.

## 7. Параметри технічних об'єктів

У випадках, коли необхідно дати характеристику **ТО**, часто задаються питання, що починаються зі слів „який”, „яка”, „які” і т.д. Наприклад: „Яка максимальна швидкість даного автомобіля?”, „Які у нього витрати пального?”, „Яка його надійність?”, „Якого він кольору?”, „Який він ззовні?”. Відповіді на деякі з вказаних запитань можуть бути досить однозначними. Наприклад: „Максимальна швидкість даного автомобіля 220км/год.”, „Витрати пального в автомобілі 10 л на 100 км”. Однак є і такі варіанти відповідей: „У даного автомобіля висока швидкість”, „Витрати пального низькі”. Подібні характеристики неоднозначні, оскільки невідомо, яку швидкість слід вважати високою і що значить „низькі витрати палива”. Для уточнення інформації задаються додаткові запитання: „Скільки кілометрів за годину проїжджає автомобіль?”, „Скільки літрів пального витрачається на кожні 100 км шляху?”. Питання, що починається зі слова „скільки” дуже важливо, оскільки, у відповіді на нього вказується кількісна величина, яка характеризує даний параметр.

Важче відповісти на питання про надійність автомобіля. Можливі такі варіанти: він надійний або ненадійний. Це, звичайно, відносна характеристика, - вона залежить від того, якими міркуваннями керувався той, хто визначає надійність. Зрозуміло, що людина, у якій автомобіль відмовляє не частіше ніж раз на рік буде вважати його швидше надійним, ніж навпаки. Людина ж, яка ремонтує свій автомобіль кожного тижня, скаже, що він ненадійний. Отже, і тут нам допомогла кількісна оцінка параметра.

Ще важче дати зовнішню оцінку автомобілю. У відповідь ми можемо почути: „він гарний” або „негарний”, „елегантний”, „сучасний” і т.д. Така оцінка є дуже невизначеною; хоча і треба одразу ж додати, що не так просто кількісно визначити якісний по суті параметр, який, до цього ж, змінюється в часі і звичайно устанавлюється суб'єктивно. Подібна оцінка була б більш точною, якщо б вона давалась на основі порівняння даного конкретного автомобіля з іншим автомобілем, дизайн якого загальноновизнаний зразковим або досконалим.

Певну складність представляє собою вибір параметрів для характеристики того чи іншого **ТО**. Про той ж самий автомобіль можна спитати: „Який у нього ступінь стиску?”, „Яка швидкість обертання вихідного вала двигуна?”, „Який привод автомобіля: передній чи задній?”. Очевидно, подібні питання можуть виникнути швидше у розмові фахівців, оскільки лише вони зможуть оцінити, чи достатньо високими є ступінь стиску рівний 10 : 1 і швидкість обертання 7000 об/хв., а також які переваги має передній і задній привод.

Все вказане лише в загальних рисах характеризує проблематику визначення параметрів **ТО**.

Термін „параметр” ми застосовуємо як для кількісних, так і для якісних характеристик **ТО** (технологічність виготовлення, зручність обслуговування, транспортабельність) хоча, вищенаведені приклади показали ва-

жливість і необхідність переходу нехай навіть і до абстрактної, але кількісної оцінки.

Задані параметри з їх чисельними значеннями, а також функція **ТО** являють собою **ТЗ** на його розробку, яке є необхідним елементом коректної постановки задачі **ІТ**. Важливим є також взаємозв'язок окремих кількісних і якісних параметрів **ТО**.

### 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 ділять 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. 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.). Відповідно, внутрішні параметри ззовні ніяк не проявляються і визначаються за допомогою спеціальних контрольних пристосувань, приладів, засобів (калібрів, шаблонів, тензометричних датчиків, лакмусового паперу). 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 технічним об'єктом, людьми, іншими технічними системами та навколишнім середовищем, а *внутрішніми* – ті, що характеризують впливи між елементами самого **ТО**.

При розв'язанні кожної конкретної задачі **ІТ** необхідно з'ясувати впливи, якого рівня доцільно аналізувати в даному **ТО**. Наприклад, при удосконаленні зубчастого редуктора не має потреби враховувати міжмолекулярні впливи в матеріалах, з яких виготовляються його деталі. Користувача ж **ТО**, як правило, цікавлять лише зовнішні параметри.

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

Вторинні параметри, що вказуються в технічному завданні і, виходячи з яких визначаються інші - первинні параметри технічних об'єктів, 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 стиску в робочому циліндрі дизельного двигуна обумовлює необхідне збільшення температури повітря, що, в свою чергу приводить до за-

палення палива; недостатня жорсткість супорта токарно-гвинторізного верстата є причиною зниження точності обробки заготовки.

#### 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 і його чисельне значення 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 характеристики, що дозволяє оцінити **ТО** у відповідності із даним параметром і визначити місце **ТО** серед інших зразків. Такий метод, безумовно, є більш точним, ніж якась суб'єктивна оцінка, що більшою частиною оснований 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 (див. розд. 8).

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

Практично в будь-якому технічному об'єкті 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 *інші параметри*, що не мають безпосереднього відношення до об'єкта впливу або головного елемента технічного об'єкта (наприклад, колір кузова автомобіля ззовні, марка матеріалу, з якого виготовлені елементи салону автомобіля).

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 інших параметрів. Наприклад, маса верстата, яка є несуттєвим 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 (рівнодіюча сила, маса, сила тертя, сила натягу);
- параметри міцності (твердість, межа міцності на розтягання, розподілене навантаження);
- теплові (температура нагріву, теплопровідність, теплоємність, теплоізоляція);
- електричні і магнітні (сила струму, напруга, електропровідність, магнітна проникність);
- оптичні (кут падіння, фокусна відстань, поляризація);
- акустичні (рівень шуму, поглинаюча спроможність, частота звуку);
- хімічні (хімічна активність, концентрація, валентність).

Дана класифікація, в основному, збігається із розділенням фундаментальних дисциплін за напрямками.

#### 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. розд. 10).

В табл. 7.1. наведений перелік категорій параметрів **ТО** даної класифікації, дана їх характеристика і приклади параметрів. Нижче окремі категорії будуть розглянуті більш детально.

Таблиця 7.1

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

| Категорії параметрів     | Характеристика категорій                                                                          | Приклади параметрів                                                                                                   |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                        | 2                                                                                                 | 3                                                                                                                     |
| Функціональні параметри  | Параметри безпосередньо пов'язані із виконанням зовнішньої і внутрішніх функцій <b>ТО</b>         | Зовнішня функція <b>ТО</b> , внутрішні функції елементів <b>ТО</b> , швидкість, номінальне зусилля, тиск, температура |
| 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                                                                              |

Продовження таблиці 7.1

| 1                                       | 2                                                                                                           | 3                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 <b>ТО</b> , що виготовляється, отримання патенту на винахід, закупка готової продукції                            |
| 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 на виробництві технологій, матеріалів, основного та допоміжного обладнання, інструментів, пристосувань |
| Економічні параметри                    | Параметри, що визначають грошові витрати на розробку, створення і реалізацію                                | Виробничі витрати, собівартість, ціна <b>ТО</b>                                                                                         |
| Якість виготовлення                     | Параметри, що визначають можливість якісного виготовлення <b>ТО</b>                                         | Якість конструкторської документації, кваліфікація робітників, наладчиків, майстрів, клас точності обладнання                           |

### 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 в якості виставочного експоната або макета, навіть і при відповідності значень параметрів інших категорій заданим значенням.

Вище вже говорилося (див. розд. 5.3.1) про залежність ступеня абстрактності функції від числа умов та обмежень, що накладаються на її реалізацію.

лізацію. 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; легкові автомобілі - безрейкового транспортування пасажирів по суші; спортивні автомобілі - безрейкового транспортування пасажирів по суші з максимальною швидкістю. Таким чином, опис функції ускладнюється разом зі збільшенням числа врахованих умов. Вказане наочно ілюструє схема ієрархії функцій „транспортування” залежно від ступеня абстрактності, наведена на рис. 7.1. Кожний конкретний **ТО** може бути досить точно визначений через описану виконувану ним функцію.

Функції **ТО** можуть відрізнитись різноманітністю і складністю. Розглянемо деякі функції, що виконуються при виробництві автомобілів: виготовлення колінчатого вала, випробовування двигуна, загальне складання. Число умов в наведених функціях збільшується від першої до третьої, відповідно зменшується ступінь абстрактності і зростає 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).

Практично будь-яка задана функція може бути виконана різними **ТО** (див. розд. 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 обертального руху у поступальний або служить для зміни зазору між двома деталями. Конструюючи **ТО**, звичайно прагнуть, щоб він виконував максимальне число функцій. Такий зв'язок між множиною функцій і множиною **ТО** схематично показаний на рис. 7.2. Можливості для більш широкого застосування **ТО** зменшуються з ускладненням функції, для виконання якої він призначений.

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

Вище наведений приклад зміни ступеня абстрактності функції залежно від числа врахованих умов (див. рис. 7.1). Однак умови транспортування по суші і по дорозі допускають ряд додаткових множин варіантів

| $\Phi$           | $\Phi^1$               | $\Phi^2$                | $\Phi^n$              | ТО                                                  |
|------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| Функція без умов | Функція з одною умовою | Функція з двома умовами | Функція з n - умовами | Приклади <b>ТО</b> , що реалізують функції $\Phi^n$ |

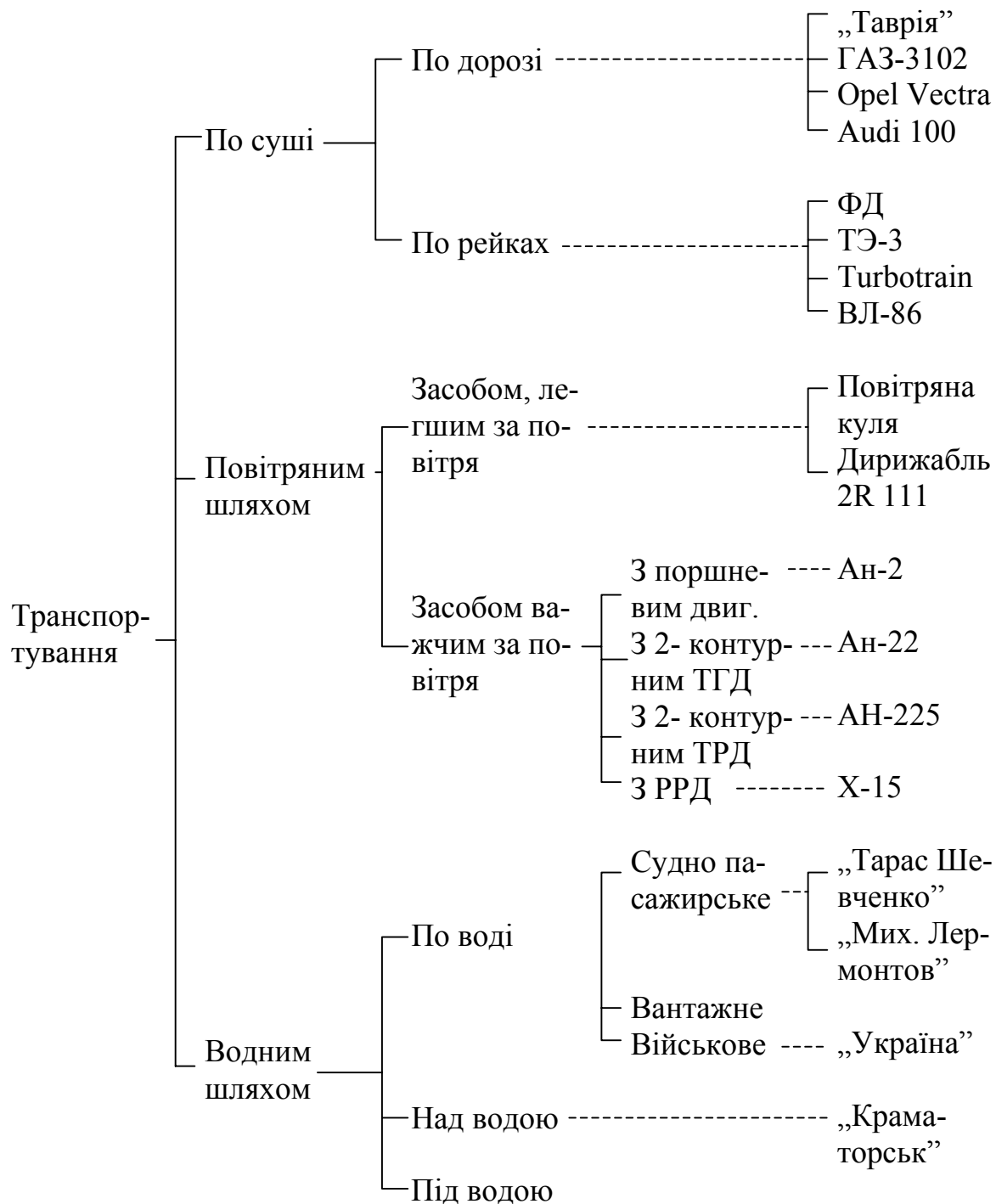


Рис. 7.1. Ієрархія функцій „транспортування” залежно від ступеня абстрактності

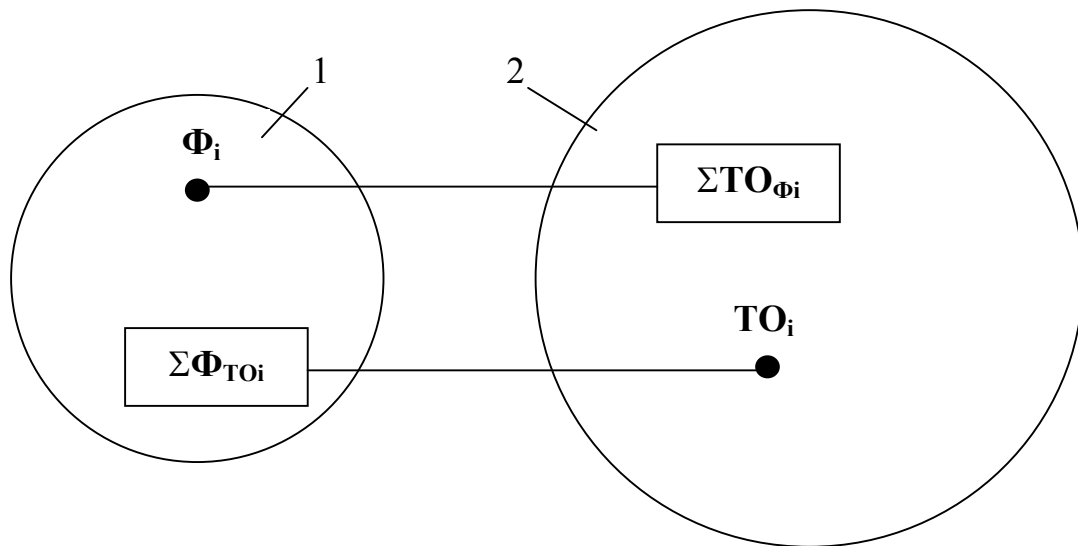


Рис. 7.2. Зв'язки між функціями  $\Phi$  і технічними об'єктами  $TO$ : 1 - множина функцій  $\Sigma\Phi$ , що виконуються технічними об'єктами  $\Sigma TO$ ; 2 - множина технічних об'єктів  $\Sigma TO$ , спроможних виконувати функції  $\Sigma\Phi$ ;  $\Phi_i$  - функція, що виконується технічними об'єктами  $\Sigma TO_{\Phi i}$ ;  $TO_i$  - технічний об'єкт спроможний виконувати функції  $\Sigma\Phi_{TO i}$

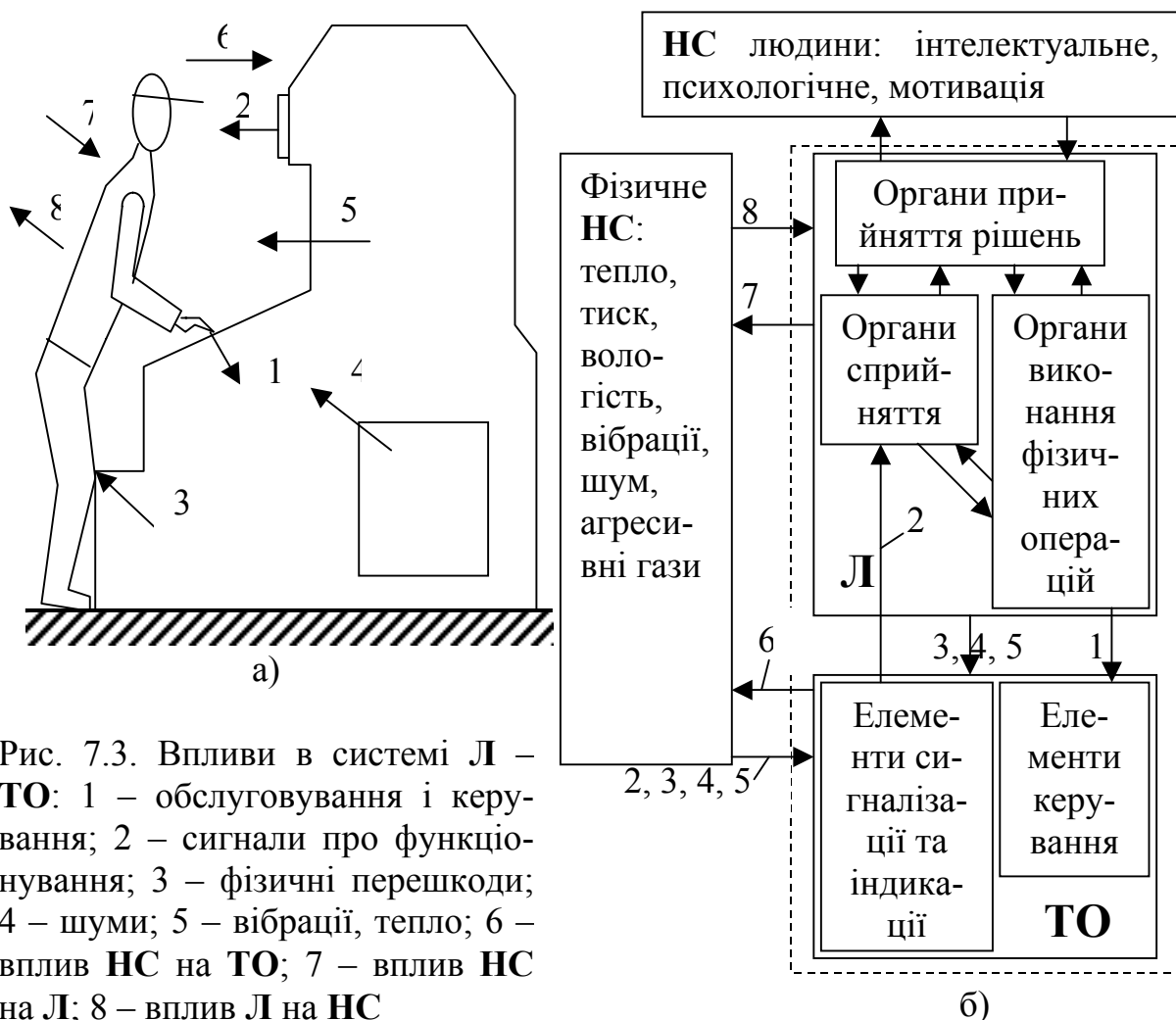


Рис. 7.3. Впливи в системі  $Л - TO$ : 1 - обслуговування і керування; 2 - сигнали про функціонування; 3 - фізичні перешкоди; 4 - шуми; 5 - вібрації, тепло; 6 - вплив  $НС$  на  $TO$ ; 7 - вплив  $НС$  на  $Л$ ; 8 - вплив  $Л$  на  $НС$

**ТО**, що реалізують дану функцію (наприклад, автобуси і велосипеди). У зв'язку із цим, необхідно вказати додаткові умови, що конкретизують і функцію і **ТО**. В нашому прикладі це може бути максимальні відстань і кількість пасажирів, якість дороги і т.д. Таким чином, користуючись методом аналізу, ми можемо констатувати, що дані про перетворення, його умови, об'єкт впливу являють собою функціональні параметри. Вони дозволяють обрати серед усього різноманітності **ТО** саме той, що потрібний 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 функція **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 призначення, у продовж часу змінюється. Якщо в **ТП**, що реалізується 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 неактуальною є вимога, стосовно того, що деталі повинні мати як можна 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 пред'являються вже не лише до літальних апаратів та автомобілів, як це було раніше, а й до металорізальних верстатів, промислових роботів, телевізорів.

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.

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. Че-

рез 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 в значній мірі 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, спроможності 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), адекватності реакцій, адаптацію тощо.

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.

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 представлені в табл. 7.2. Впливи в системі **Л–ТО** схематично показані на рис. 7.3.

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**.

## Характеристика елементів системи Л - ТО

| Л                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ТО                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <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. Можливість зміни точності визначення параметрів.</li> <li>3. Постійна продуктивність і точність в часі.</li> <li>4. Можливість роботи в некомфортних умовах при змінах в широких межах параметрів <b>НС</b>.</li> <li>5. 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 (допустимих температури, вологості, тиску, шуму і т.д.).</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 при наявності команди.</li> <li>2. Можливість відмови у непередбачених ситуаціях.</li> <li>3. Обмежена кількість виконуваних операцій.</li> <li>4. Трудомісткість зміни програми функціонування.</li> </ol>                                                                                                                                                          |

**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” [13] 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 вважаються оптимальними ні з естетичної, ні з експлуатаційної, ні з ергономічної точок зору (рис. 7.4).

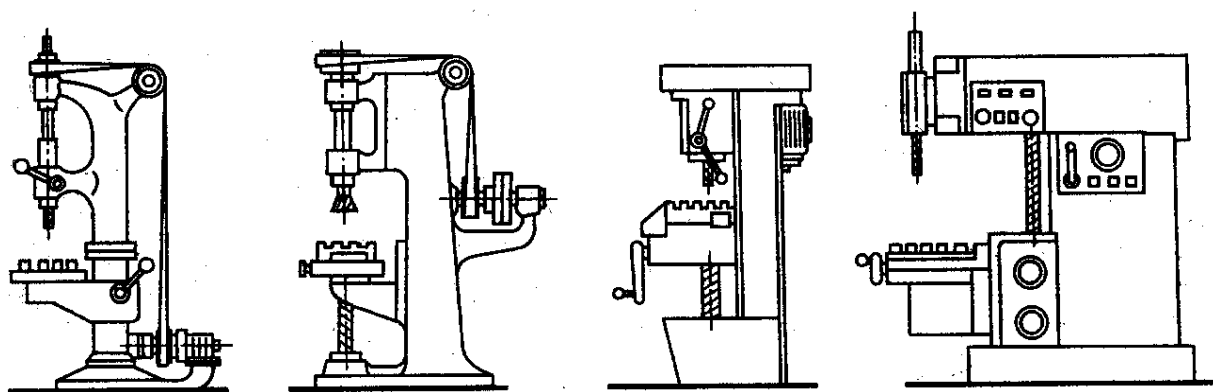


Рис. 7.4. Еволюція форм вертикально-свердильного верстата

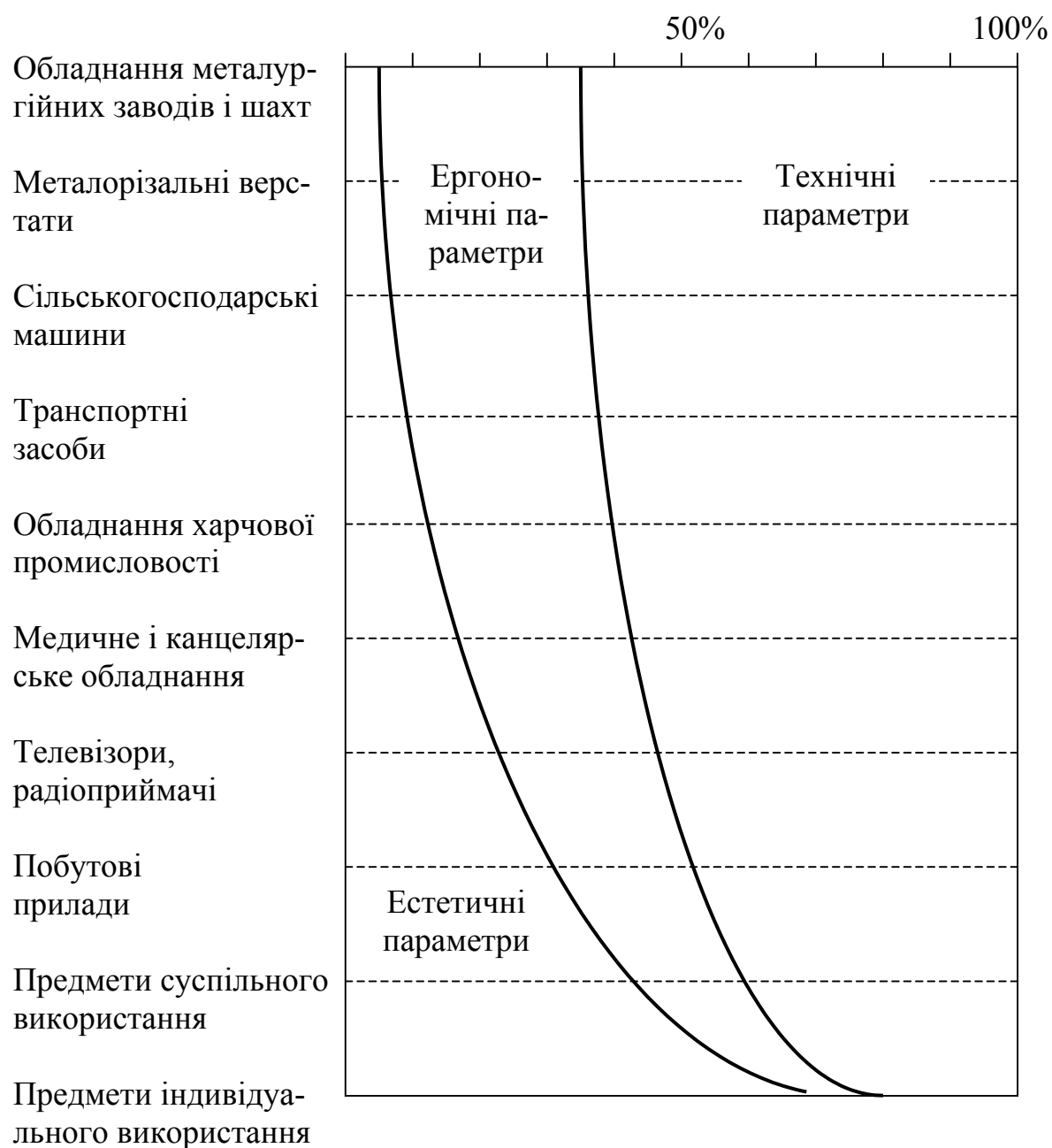


Рис. 7.5. Діаграма оптимальних співвідношень між естетичними, ергономічними і технічними параметри **ТО** різного призначення

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 в. 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 по 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 по відношенню до 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 (рис. 7.5).

**ТО** останнім часом стають все більш складними і для забезпечення оптимальних значень їх параметрів, в тому числі і естетичних, потрібно докладати все більше зусиль та часу. У зв'язку із цим, проблемами зовніш-

нього вигляду сучасних **ТО** займаються спеціально підготовлені фахівці з технічної естетики – дизайнери. Дизайнер має справу не лише з естетичними, але і з взаємопов'язаними з ними ергономічними та іншими параметрами **ТО**.

Важливий правильний вибір моменту часу, коли дизайнер залучається для сумісної із конструктором роботи зі створення **ТО**. Часто (що є цілком невиправданим), конструктор передає дизайнеру вже практично готовий проект із визначеним розташуванням функціональних, принципових 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 саме пізніше – під час створення **ПС**.

### **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, при необхідності, він може у законсервованому стані зберігатись на складі протягом певного терміну. Після установки на місці експлуатації та розконсервації 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 наведені ще деякі основні параметри категорії, а також дані рекомендації щодо вибору їх оптимальних значень.

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 рис. 7.6. При 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 такелажні

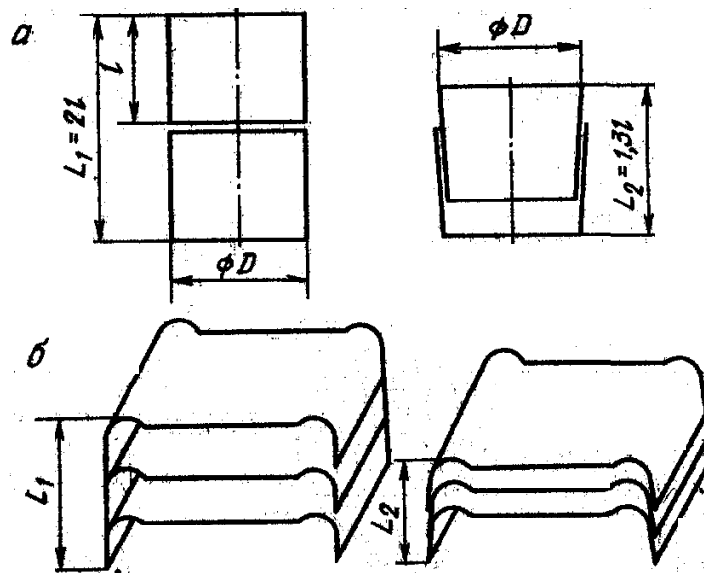


Рис. 7.6. Схеми, що ілюструють способи зменшення об'єму, займаного ТО при його комплектному зберіганні і транспортуванні: а – кільцевих виробів; б – штампованих панелей

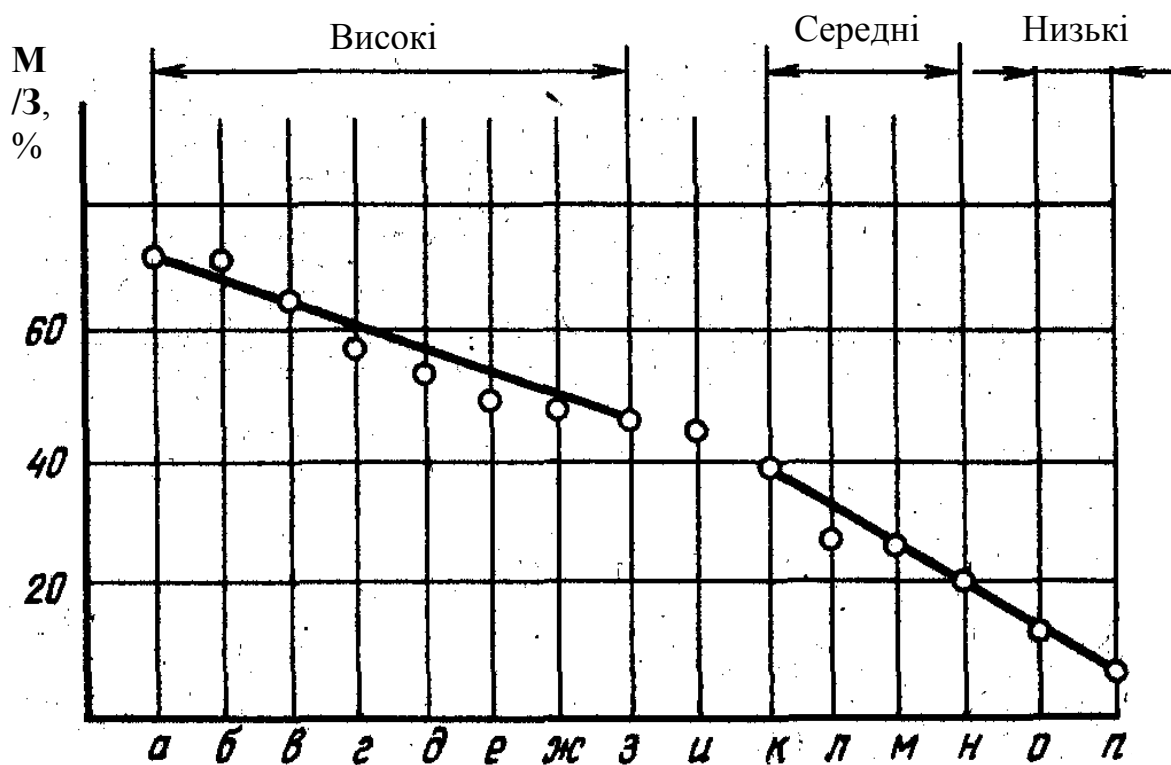


Рис. 7.7. Відношення витрат на матеріали (М) до загальних витрат (З) при створенні ТО різного призначення: а – будівельних конструкцій; б - цистерн і резервуарів; в – залізничних вагонів; г – вантажних автомобілів; д - підйомно-транспортного обладнання; е – дизельних двигунів; ж – металорізальних верстатів; з – легкових автомобілів; и – підсилювачів та трансформаторів; к - вимірювальних приладів; л – готовалень; м – годинників; н – скляних приладів; о – електронних приладів; п – мікропроцесорів

гаки, кільця, петлі, серги, отвори, що також вносить певні корективи в їх форму.

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 виключення 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 працездатності. 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–виготовлювача, а також підприємств, що забезпечують доставку **ТО**. При необхідності та доцільності проводиться нарощування виробничих потужностей та модернізація виробництва (закупка 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, час 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.

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

Практично в кожній державі розроблені 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 приводить до різного роду конфліктних ситуацій. В більш складних випадках можна звернутись за консультацією до юриста.

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 конструктору.

### **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 обладнання, обладнання широкого призначення, спеціалізованого або спеціального, 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.

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 недопустимо 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, що дозволило, в ряді випадків, відмовитись від відливання елементів корпусів і башт танків і виготовляти їх зварюван-

ням 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.

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

Звичайний користувач експлуатує **ТО** в певний мірі як „чорний ящик”. Застосовуючи інструкції і власний досвід він визначає закономірності між натисканням на кнопки керування і регулювання (вхідними впливами) та виконуваними внутрішніми та зовнішніми функціями **ТО** (вихідними впливами). Користувач знає також, що **ТО** після певного часу експлуатації потребує технічного обслуговування (чищення, змащення, заміни елементів, що швидкозношуються), а також проведення планових та непланових (виконуваних за потребою) ремонтів, які, як правило, виконуються фахівцями–ремонтниками. В цьому випадку користувача не цікавлять внутрішні перетворення, технічні процеси та внутрішні функції, що реалізуються під час експлуатації **ТО**, - головним є надійне виконання останнім свого основного призначення.

Однак в той момент, коли користувач захоче самостійно виконати ремонт **ТО** або розібратись із принципом його дії і зніме, наприклад, кришку передньої бабки токарного верстата, - він побачить складові елементи **ТО** (вали, шестерні, пружини, болти, муфти), параметри яких, такі, як форма, габарити, точність виготовлення, шорсткість, марка матеріалу і є конструктивними параметрами **ТО**. До них відносяться також і структура **ТО**, яка разом із функціонуванням є одною з найважливіших його ознак (див. розд. 2.1), а також впливи між елементами. Перелічені конструктивні 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.

Розглянемо більш детально взаємозв'язок основних первинних конструктивних параметрів із вторинними параметрами **ТО**, а також із параметрами інших категорій класифікації.

*Структура.* Як вказувалось вище, (див. розд. 2.1) функціонування **ТО** однозначно визначається його структурою. Нагадаємо, що структура системи (і **ТО**, в тому числі) – це упорядкована множина елементів та впливів між ними. Елементи **ТО** групуються за підсистемами. Поки ми знаходимось на найнижчому рівні ієрархії, **ТО** постає перед нами у вигляді множини деталей та вузлів, які є елементами підсистем більш високих рівнів. З точки зору механіки структуру машини можна описати як упорядковану сукупність пар елементів, об'єднаних у кінематичні ланцюги. **ТО**, та-

ким чином, складається з кінематичних ланцюгів і ділиться на підсистеми (механізми, вузли, деталі), які у передбачених комбінаціях виконують внутрішні, і в тому числі, елементарні функції.

Реалізація заданої структури підсистем та елементів **ТО** являє собою важливу умову забезпечення необхідних величин параметрів **ТО**, що відносяться до інших категорій. Якщо, наприклад, в двох автомобілях одної марки і модифікації установлені однакові двигуни, але в першій машині двигун знаходиться попереду, а в другій – позаду, то відрізнятись будуть також і ходові характеристики обох зразків і ряд експлуатаційних параметрів (рівень шуму в салоні).

*Впливи.* Впливи між елементами **ТО** можуть мати матеріальний, енергетичний або інформаційний характер. Більш складні механічні, електромагнітні, теплові, оптичні, акустичні, хімічні впливи представляють собою комбінації трьох названих простих.

Для ряду **ТО**, наприклад, може бути суттєвим розділення впливів на однокоординатні (діють відносно одної координатної осі), дво- і три координатні.

В деяких **ТО** для збереження заданих робочих параметрів дуже важливим є зворотний зв'язок елементів, що також входить в множину його впливів.

*Форма.* Форму **ТО** можуть визначати:

- функція (переріз крила літака, різьби, фрези);
- ергономічні параметри (форма рукоятки інструмента, важеля, сидіння в автомобілі);
- естетичні параметри (форма корпусу праски, станини верстата);
- параметри зберігання та транспортування (простота та раціональність форми, наявність такелажних гаків, петель, отворів);
- технологічні параметри (форма, яка визначається технологічним способом виготовлення – різними видами лиття, кування, штампування, обробки різанням);
- економічні параметри (максимально проста форма, що може бути забезпечена з мінімальними витратами);
- міцність (наявність припливів, стовщень, фасок, галтелей, що забезпечують необхідну міцність);
- зносостійкість (реалізації легкої змінності елементів, що швидко зношуються – накладки на робочих поверхнях напрямних верстатів, шарніри, підшипники ковзання);
- марка матеріалу (застосування стандартизованих, нормалізованих або уніфікованих заготовок та напівфабрикатів з матеріалу певної марки).

*Розміри.* Розміри складових елементів і **ТО** в цілому пов'язані, практично, зі всіма іншими його параметрами:

- функцією (діаметр поршня і довжина штока гідроциліндра, діаметр шківів пасової передачі визначають їх функціональні параметри);

- експлуатаційними параметрами (забезпечення заданої надійності і довговічності **ТО**, шляхом вибору оптимальних розмірів для його елементів, збільшення або зменшення габаритів елементів з метою підвищення зручності технічного обслуговування і ремонту **ТО**);

- ергономічними параметрами (оптимальні відстані між кнопками та рукоятками на пульті керування);

- естетичними параметрами (естетично ідеальні співвідношення розмірів в різних площинах та перерізах – „золотий переріз”);

- параметрами зберігання та транспортування (габарити, що забезпечують можливість маніпуляцій та перевезень окремо або в комплекті з використанням стандартизованих, нормалізованих та уніфікованих підйомно-транспортних засобів і оснащення – упаковки, такелажу);

- технологічними параметрами (допустима товщина стінки відливки або поковки, оптимальний радіус згину);

- економічними параметрами (мінімізація габаритних розмірів з метою зменшення витрат матеріалу);

- точністю роботи **ТО** (посадочні діаметри підшипників, цапф, муфт, модуль та діаметр ділильного кола шестерень);

- жорсткістю (габарити станини верстата);

- зносостійкістю (величина припуску на знос поверхонь тертя, що впливає на розміри елементів **ТО**);

- маркою матеріалу (матеріал наявних на підприємстві заготовок та напівфабрикатів, певних розмірів).

*Марка матеріалу.* Вибір матеріалу, з якого виготовляються деталі машин, також залежить від ряду заданих параметрів **ТО**:

- функції (вибір певного матеріалу для забезпечення таких функціональних параметрів як тепло- або електроізоляція, хімічна або вібраційна стійкість);

- експлуатаційних параметрів (термін служби деталей та вузлів машин залежить від марки матеріалу, з якого вони виготовлені);

- ергономічних параметрів (виконання стінок кабіни оператора зі скла, м'які сидіння в автомобілі);

- естетичних параметрів (дерев'яні облицювання панелей пультів керування, латунні ручки, емальовані покриття);

- параметрів зберігання та транспортування (застосування покриттів з антикорозійних матеріалів, виготовлення частини елементів з матеріалів стійких до ударів під час транспортування);

- технологічних параметрів (вибір марки матеріалу з міркувань обробки різанням або штампуванням);

- економічні параметри (вибір найбільш дешевих матеріалів, що відповідають іншим вимогам);

- міцності (широке використання високоміцних сталей в конструкціях, що працюють під значними навантаженнями, виготовлення лопаток турбін з жаростійких матеріалів);

- зносостійкості (установлення на ділянках, що піддаються прискореному зносу швидкозмінних пластин зі зносостійких матеріалів);
- твердості (використання твердих сплавів для виготовлення робочих частин інструментів);
- точності (вибір матеріалу, при обробці якого можливо досягнення заданої точності);
- корозійної стійкості (використання хромових, нікелевих, цинкових або пластикових покриттів).

*Шорсткість поверхні.* Шорсткість поверхонь елементів **ТО** повинна відповідати:

- функції (шорсткість поверхонь напрямних верстатів і посадочних поверхонь підшипників);
- експлуатаційним параметрам (при зменшенні параметрів шорсткості поверхонь підвищується термін служби **ТО**);
- ергономічним параметрам (відсутність задирок на зовнішніх поверхнях машини, нанесення рифлень на поверхні рукояток інструмента для підвищення зручності та продуктивності роботи);
- естетичним параметрам (гладкі поверхні мають більш привабливий зовнішній вигляд);
- економічним параметрам (зменшення кількості і площі оброблюваних поверхонь);
- міцності (елементи з більш гладкими поверхнями мають підвищену міцність);
- корозійній стійкості (поверхні з малими параметрами шорсткості більш стійкі до корозії);
- зносостійкості (поверхні з меншою шорсткістю є більш зносостійкими);

*Точність.* Точність виготовлення деталей та складання вузлів машин впливає на ряд найважливіших параметрів:

- функцію (допуск на виготовлення елементів підшипника, дотримання якого забезпечує виконання **ТО** заданої функції);
- експлуатаційні параметри (дотримання заданої точності стандартизованих, нормалізованих або уніфікованих елементів забезпечує можливість їх заміни);
- ергономічні параметри (виготовлення деталей з більшими допусками на розміри приводить до підвищення рівнів шуму та вібрацій при роботі машини);
- технологічні параметри (задана точність елементів **ТО** визначає потрібне число переходів механічної обробки при їх виготовленні, а також вибір методу забезпечення точності замикаючої ланки в розмірних ланцюгах);
- зносостійкість (підвищені допуски на розміри приводять до прискореного зносу елементів **ТО**);

- спосіб виготовлення (задана точність впливає на вибір способу виготовлення деталей машин);
- розміри (існує залежність між розмірами і допусками на них при тому ж самому якості).

*Спосіб виготовлення.* Технологічний спосіб виготовлення елементів **ТО** пов'язаний із рядом інших параметрів:

- міцністю (деталі отримані куванням, в ряді випадків є міцнішими ніж аналогічні деталі, виготовлені різанням);
- твердістю (введення в технологічний процес виготовлення елемента **ТО** операції термообробки дозволяє підвищити його параметри міцності та зносостійкості);
- формою (конфігурація деталі впливає на вибір способу її виготовлення – литтям, куванням, штампуванням, різанням);
- маркою матеріалу (виготовлення деталей з деяких матеріалів можливо тільки одним способом);
- шорсткістю поверхні (вибір способу виготовлення залежить від заданої допустимої шорсткості поверхонь елементів **ТО**);
- розмірами (габарити деталі визначають технологічний спосіб її виготовлення).

### **Економічні параметри технічних об'єктів**

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

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

В якості прибутку розглядається загальний економічний ефект отриманий в результаті реалізації або використання **ТО**.

Табл. 7.3 містить алгоритм визначення виробничих витрат, собівартості та ціни **ТО**.

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

Попереднє оцінювання собівартості здійснюється за наближеними формулами за всіма статтями витрат. Основою 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 досить сильно відрізнятись від розрахункової).

На загальну вартість **ТО** впливають величина партії та обрана технологія виготовлення (рис. 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 (рис. 7.9).

Таблиця 7.3

Алгоритм визначення виробничих витрат, собівартості та ціни **ТО**

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

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, основні та допоміжні 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 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 підтриманням працездатності **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 протиставиться досягнутий за цей же самий період економічний або соціальний ефект. *Економічна ефективність* визначається як відношення отриманого у грошовому вираженні прибутку до експлуатаційних витрат. Інший комплексний економічний параметр -

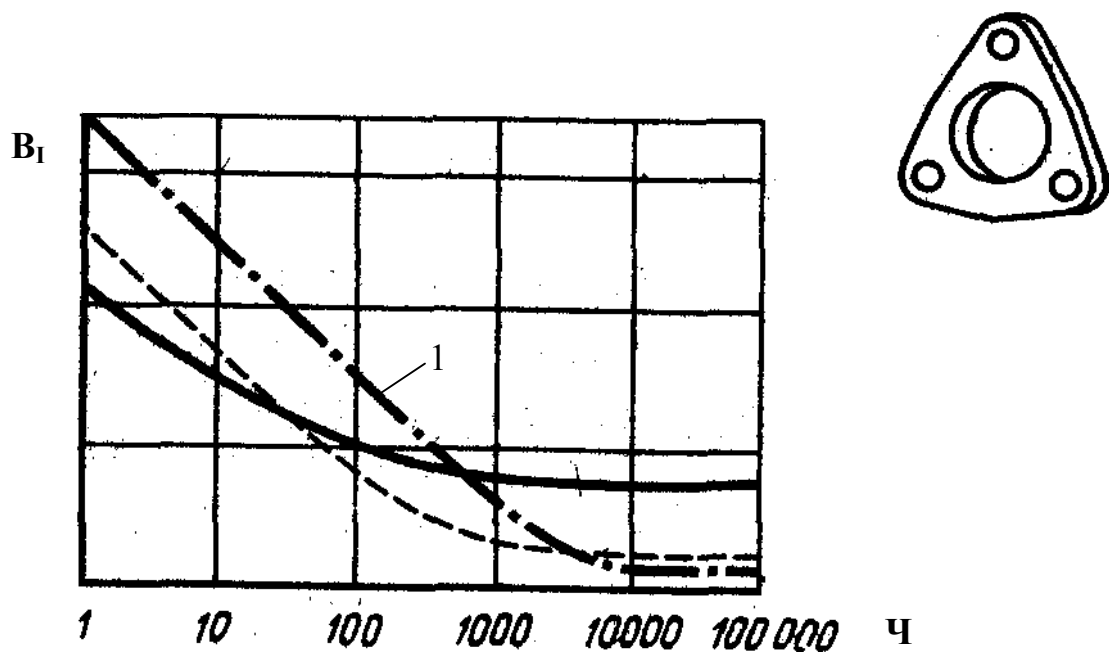


Рис. 7.8. Залежність вартості виготовлення ( $B_I$ ) зразка **ТО** типу „прокладка” від варіанта технології його виготовлення та числа зразків в партії ( $\mathcal{C}$ ): 1- технологія, орієнтована на масове виробництво

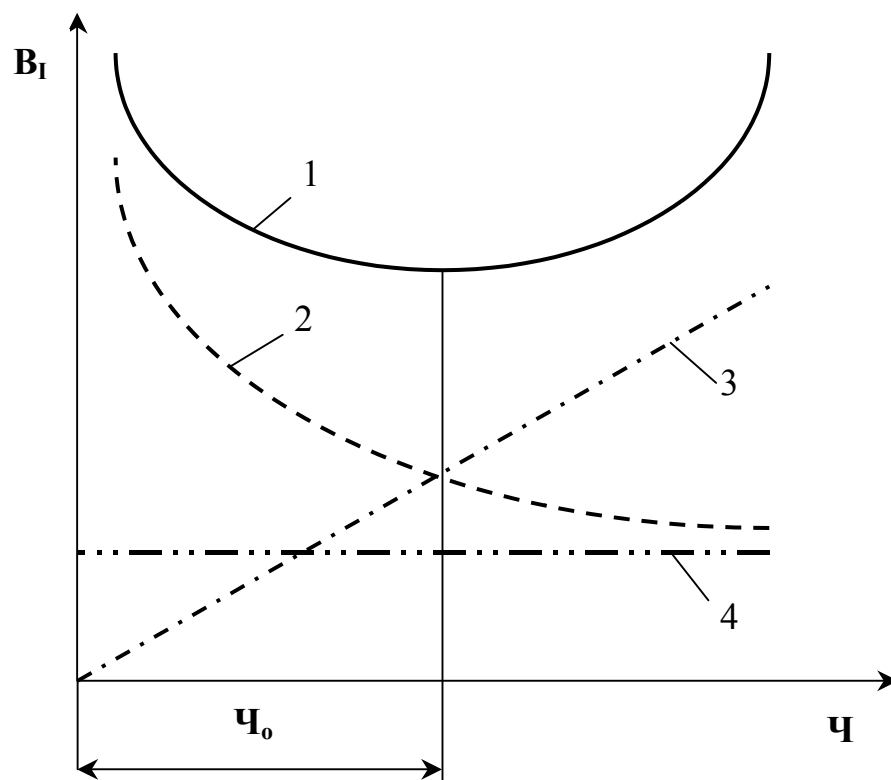


Рис. 7.9. Залежність для орієнтовного визначення оптимального числа **ТО** в партії ( $\mathcal{C}_0$ ) виходячи із витрат на один зразок ( $B_I$ ): 1 – загальних; 2 – на виготовлення; 3 – на зберігання та транспортування; 4 – на матеріали

*рентабельність* – відношення прибутку до капіталовкладень за аналогічний період часу.

Оскільки розрахунок економічної ефективності є достатньо трудомістким і не входить у коло задач розв’язуваних конструктором, ним на попередніх стадіях проектування часто нехтують, що часто приводить до додаткових витрат часу і коштів на створення **ТО**, а також вибору менш раціонального варіанта.

### **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 випустити якісну продукцію. Певною мірою, гарантом якості може служити ім’я фірми–виготовлювача, якщо вона добре зарекомендувала себе серед споживачів у певній галузі.

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**.

### **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. Математичні 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 рис. 7.10 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**

Для порівняння фактичних і заданих значень параметрів **ТО**, а також зіставлення між собою різних **ТО** і їх детального аналізу, необхідно визначити параметри та установити взаємозв’язки між ними.

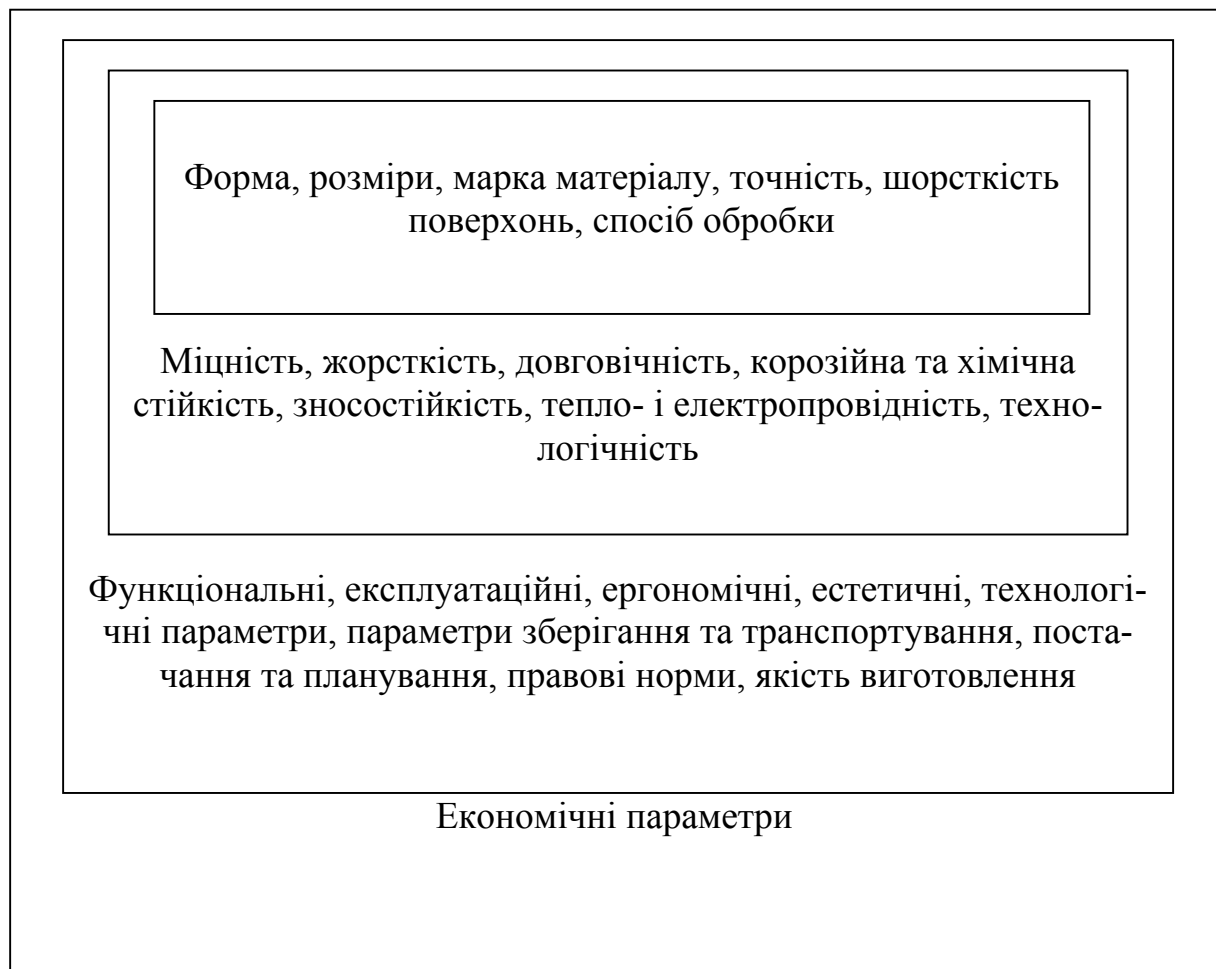


Рис. 7.10. Схема взаємозв'язків між параметрами **ТО**

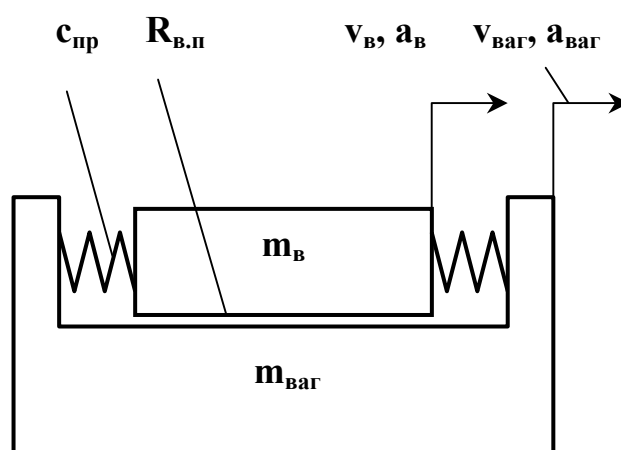


Рис. 7.11. Динамічна модель товарного вагону з вантажем

Метод визначення параметрів обирається залежно від стадії розробки **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.

### **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 основі таких характеристик, як легкість, зручність і простота визначення причини несправностей, демонтажу та монтажу елементів, проведення операцій технічного обслуговування 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.

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

Параметри **ТО** можна отримати і проаналізувати на основі 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 в залежності від інших параметрів. Останнє найбільш зручно реалізується за допомогою графіків.

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

*Модель* – це представлення 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.

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 подоба 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 відображує лише деякі з них: функціональні, принципові або конструктивні. Відповідно розробляються **ФС**, **ПС** або **КС** технічного об'єкта.

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

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 представляються і розглядаються як інерційні, пружні, дисипативні елементи, а також елементи сухого тертя, пов'язані між собою механічними передаточними структурами. Параметри елементів моделі і впливів між ними визначаються як приведені.

На рис. 7.11 наведений приклад динамічної моделі залізничного товарного вагона, що перевозить ламкий вантаж, для захисту якого від пошкоджень застосовуються пружні елементи. На моделі позначені: приведені маси вантажу  $m_v$  і вагона  $m_{\text{ваг}}$ ; їх швидкості  $v_v$ ,  $v_{\text{ваг}}$  і прискорення  $a_v$ ,  $a_{\text{ваг}}$ ; жорсткість пружних елементів  $c_{\text{пр}}$  і коефіцієнт сухого тертя  $R_{v,п}$  між нижньою поверхнею вантажу і поверхнею підлоги у вагоні. 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 зчіпки і в інших ситуаціях.

### **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 забезпечува-

тись під час експлуатації – визначити задані параметри. Інколи не повне врахування основних робочих та конструктивних параметрів **ТО** приводить 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. Сказане підтверджується відомим положенням про те, що правильна постановка задачі - це вже половина її розв'язування.

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

- 1) складністю виконуваної **ТО** функції;
- 2) конструктивною складністю **ТО**;
- 3) конкретними умовами експлуатації **ТО** (наприклад, його використання при підвищеному рівні запилення повітря або високих середніх температур);
- 4) додатковими вимогами замовника **ТО**.

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

Перший варіант - закупка готового виробу. Якщо один або декілька пропонувань різними фірмами зразків **ТО** певного призначення задовольняє замовника за всіма найважливішим функціональним та конструктивним параметрами і до його експлуатаційних параметрів не пред'являється підвищених або додаткових вимог, він може купити один зі зразків, при необхідності доопрацювати або модернізувати його і використовувати для розв'язання своєї технічної задачі.

Якщо ж існуючі зразки **ТО** не задовольняють замовника за одним або декількома найважливішими параметрами, можливий другий варіант - розробка нового спеціального **ТО**. Зразок створений згідно із вимогами замовника звичайно 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.

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 табл. 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) 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 використовуватись (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) 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 використовуватись **ТО**.

Одночасне 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 розділі 7.1.4 розглядалась класифікація параметрів за ступенем важливості, причому в якості класифікаційної ознаки був обраний їх зв'язок із зовнішньою або однією 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 при сприятливих обставинах.

### 7.5. Реалізація параметрів технічних об'єктів

В даному розділі ми розглянемо питання забезпечення параметрів спроектованого **ТО**, оскільки якщо в реальному зразку основні параметри не дотримані зовнішня функція може залишитись і не виконаною не дивлячись на високу якість проекту і здавалося б всебічну обґрунтованість прийнятих рішень. Зрозуміло, що працездатність реального зразка **ТО** в

значній мірі 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.

В роботі [14] була наведена залежність якості виконання проекту (як міри реалізації заданих параметрів) від кваліфікації конструкторів (рис.7.12). Однак терміни „класифікація” та „якість проекту” не мають точного означення і тому не отримали кількісного вираження.

Залежність якості проекту від тривалості конструювання і від кількості розробників показана на рис. 7.13. Чисельність конструкторського персоналу можна виразити також у грошових витратах на оплату їх праці в одиницю часу. З графіку 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 рис. 7.13 відповідає кваліфікації злагодженого і високопрофесійного конструкторського колективу. Професійним якостям колективу нижчої кваліфікації відповідав би графік з менш крутим нахилом кривої і значно більшим значенням відстані між нею та асимптотою ідеального розв'язку.

Будь-яке удосконалення існуючого **ТО** повинно забезпечувати поліпшення заданих параметрів. Даний процес відображує S-діаграма, представлена на рис. 8.2. Однак можливості удосконалення існуючих **ТО** обмежені (див. рис. 11.4, 11.6).

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 в певній мірі лише для масового і серійного виробництва. Наближене ж розподілення витрат при одиничному виробництві **ТО** високої складності представлено на діаграмі (рис. 7.14).

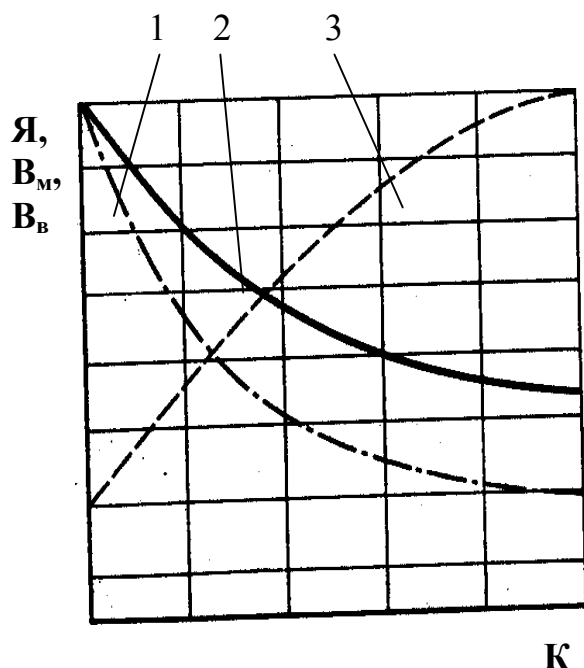


Рис. 7.12. Залежності: 1 - якості розробки (Я) ТО; 2 - витрат на матеріали ( $B_m$ ); 3 - виробничих витрат ( $B_v$ ) - від кваліфікації конструктора (К)

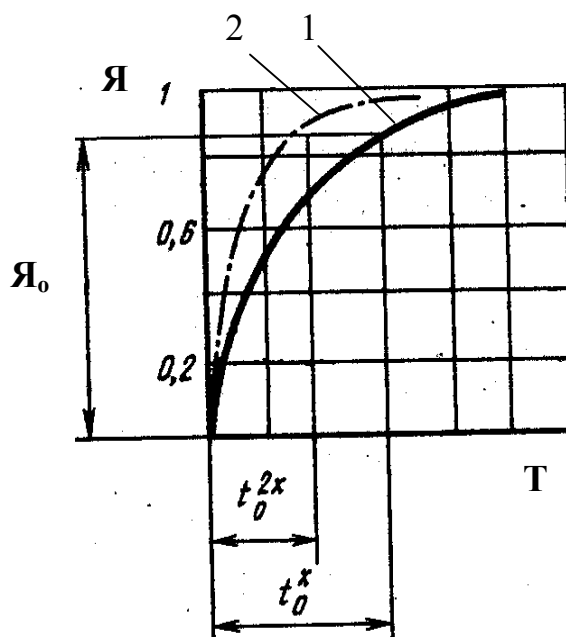


Рис. 7.13. Залежності якості розробки (Я) ТО від тривалості розробки (Т): 1 - при кількості конструкторів  $x$ ; 2 - при кількості конструкторів  $2x$ ;  $Я_0$  - оптимальна якість



Рис. 7.14. Приблизне розподілення витрат при одиничному виробництві складних ТО

## 8. Оцінювання технічних систем

В попередньому розділі були сформульовані питання щодо основних параметрів автомобіля – швидкості, витрат пального, надійності, кольору і т.д. Однак бажано було б не лише дати на запитання відповіді, але й об'єднати окремі параметри, що їх кількісно характеризують в одному комплексному узагальненому параметрі (критерії) оцінювання. Зрозуміло, що це не проста задача, оскільки розмірності ряду параметрів відрізняються, однак рішення задачі і визначення узагальненого параметра дозволило б однозначно оцінювати **ТС** і порівнювати її з іншими.

В загальному випадку оцінювання може проводитись двома способами: інтуїтивно і на основі *критеріїв* - якісних або кількісних параметрів технічної системи, що зіставляються із оптимальними їх значеннями.

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. Вона особливо важлива для початку процесу конструювання при відсутності повної інформації про **ТС**.

Залежно від умов задачі, оцінки **ТС** бувають трьох основних типів (табл. 8.1. і рис. 8.1)

Таблиця 8.1

Типи задач оцінювання технічних систем

| Тип задачі і алгоритму її розв'язання | Вихідні дані                                    | Мета розв'язання задачі                    |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| I                                     | Дана <b>ТС</b> із визначеними параметрами       | Дати загальну оцінку <b>ТС</b>             |
| II                                    | Дана <b>ТС</b> та перелік вимог до неї          | Установити відповідність <b>ТС</b> вимогам |
| III                                   | Дана множина <b>ТС</b> аналогічного призначення | Обрати найкращу (найефективнішу) <b>ТС</b> |

В алгоритмах розв'язання задач оцінювання (див. рис. 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 визначати **ТС**. Од-

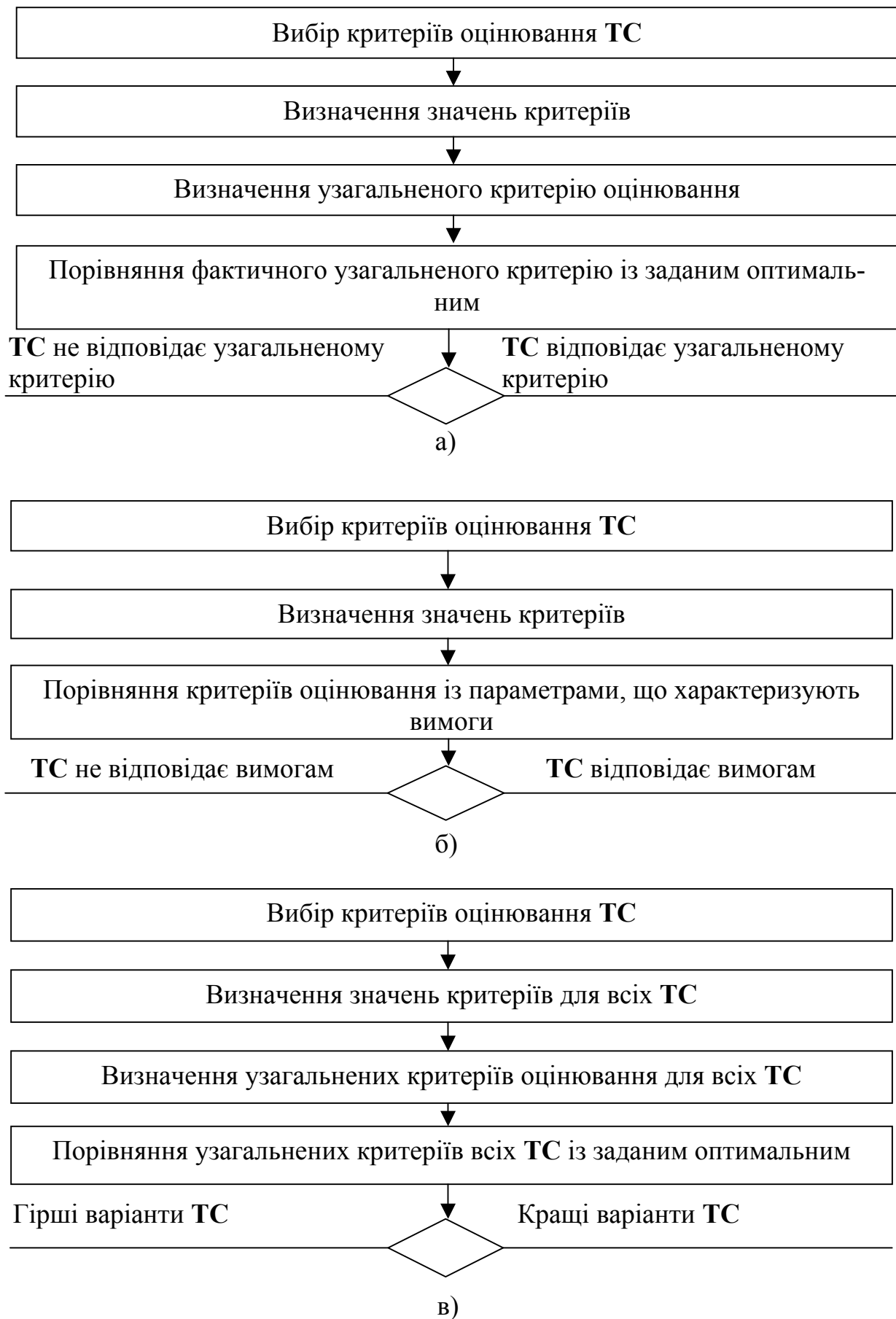


Рис. 8.1. Алгоритми задач оцінювання: а – типу І; б – типу ІІ; в – типу ІІІ

нак 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. 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. рис. 8.1) більш широкі, ніж в задачах другого типу, в яких вони визначаються вимогами, що пред'являються до ТС.

### **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.

*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.

Технічний та економічний критерії оцінювання пов'язані S-подібною залежністю (рис. 8.2) [15].

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. Слід зауважити, що для основних параметрів ТС оцінка типу „задовільно” або „незадовільно” є не досить точною.

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.

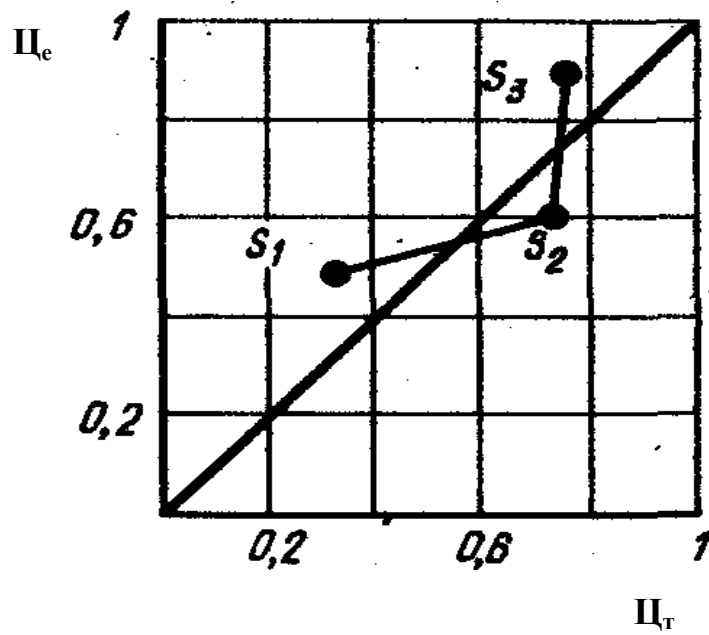


Рис. 8.2. S – діаграма технічної ( $\Pi_T$ ) та економічної ( $\Pi_e$ ) цінності варіантів ТС

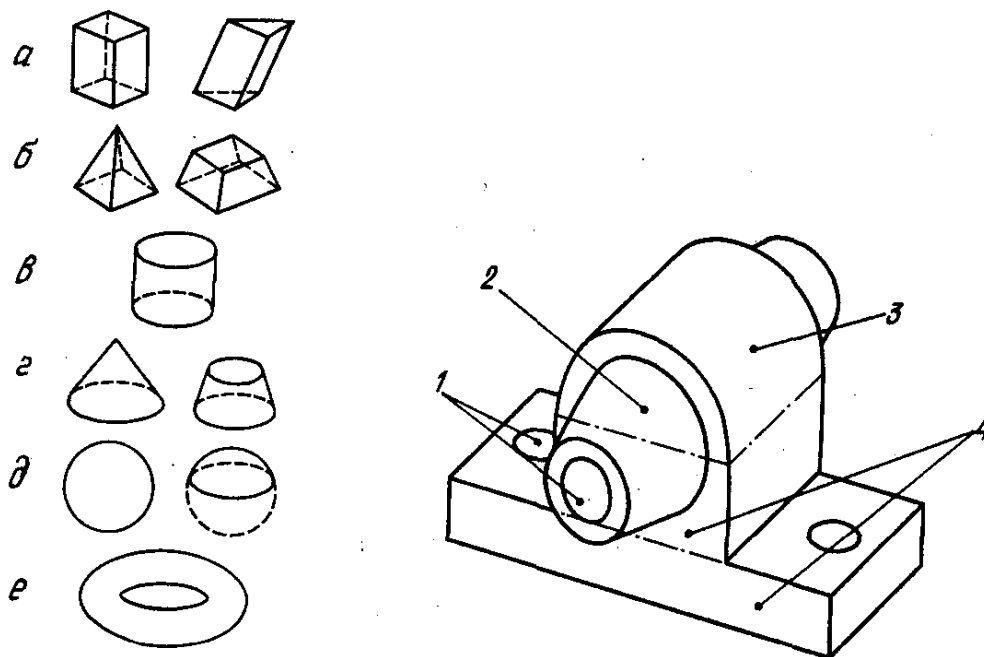


Рис. 9.1. Приклад синтезу конструктивного елемента з елементарних тіл: а – прямокутна і похила призми; б – піраміда і зрізана піраміда; в – циліндр; г – конус і зрізаний конус; д – куля і кульовий сегмент; е – тор; 1 – отвори (циліндри); 2 – зрізаний конус; 3 – напівциліндр; 4 - призми

## 9. Представлення технічних систем

Способи і методика представлення **ТС** детально вивчаються в теорії конструювання [16]. Отримані в результаті використання того чи іншого способу представлення моделі самі по собі є системами типу „об’єкт” [17].

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

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

Останнім часом з появою та удосконаленням комп’ютерів у сфері моделювання **ТС** відбулись помітні зміни, але й виникли нові проблеми.

Вище вже відмічалось (див., наприклад, рис. 5.5), що інформативність під час моделювання **ТС** в значній мірі залежить від ступеня абстрактності або ступеня повноти представлення. Тут ми знов повертаємось до функціональних, принципівих і конструктивних елементів, на основі 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 представлення 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:

а) *площинна (лінійна) модель*, яка описує конструктивний елемент за допомогою точок та ліній згідно із вимогами ЄСКД та ЄСТПВ. При відсутності на кресленні необхідного числа проекцій, 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 (рис. 9.1).

## 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, в якості консультанта.

Весь „цикл життя” **ТС** ділиться 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. табл. 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. **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 у загальну структуру 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 в значній мірі залежить від функції та складності **ТС**, а також від вимог, що пред'являються 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.

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 організовується дослідне виробництво варіантів **ТС**.

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 деталювання елементів **ТС** та відпрацьовування технічних вимог та умов. Параметри **ТС**, визначені в результаті виконання стадії проектування служать вихідними параметрами стадії підготовки виробництва, що включає як технічні, так й організаційні заходи (вибір технології, обладнання, забезпечення ма-

теріально-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.

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

В табл. 10.1 наведена структура та основна характеристика етапів створення та використання **ТС** серійного виробництва. Ці ж етапи можна представити у вигляді алгоритму (рис. 10.1). Перші стадії вже були докладно розглянуті, тому одразу перейдемо до стадії розробки та проектування.

Таблиця 10.1

Зміст етапів створення та використання **ТС** серійного виробництва

| Стадії                     | Основні процеси стадії                                                                                | Основні вхідні дані                            | Результати                                                       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Фундаментальні дослідження | Збір і аналіз наукової інформації, формулювання ідей, побудова моделей, укладання звітів              | Наукова інформація, технічна потреба           | Звіт про результати дослідження, наукові статті                  |
| Технічні дослідження       | Обробка науково-технічної інформації, аналіз <b>ТЗ</b> , моделювання, обробка експериментальних даних | Науково-технічна інформація, <b>ТЗ</b>         | Звіти про результати теоретичних та експериментальних досліджень |
| Економічні дослідження     | Вивчення попиту, оцінювання конкурентноздатності, економічної кон'юнктури                             | Статистичні дослідження, проспекти фірм, звіти | Звіт з оцінювання економічної ситуації і можливостей збуту       |

Продовження таблиці 10.1

| Стадії                                       | Основні процеси стадії                                                                                                     | Основні вхідні дані                                                                                   | Результати                                                               |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Рішення про розробку                         | Оцінювання можливості реалізації, обробка інформації, оцінювання можливостей, прийняття рішення                            | Звіт про виробничі можливості, патентний огляд                                                        | Звіт з обґрунтуванням прийнятого рішення                                 |
| Розробка <b>ФС</b> та <b>ПС</b>              | Уточнення технічних вимог, формулювання задачі, розробка <b>ФС</b> та <b>ПС</b> , попередні розрахунки та оцінювання       | Постановка задачі, технічні вимоги, аналіз патентної інформації                                       | <b>ФС</b> та <b>ПС</b> , розрахунки, звіт                                |
| Ескізне проектування                         | Розробка компонування та <b>КС</b> , попередні розрахунки, визначення обмежень, термінів                                   | <b>ФС</b> та <b>ПС</b> , креслення аналогічних <b>ТС</b> , наукова та технічна інформація             | Розрахунки, <b>КС</b> , ескізи, звіт                                     |
| Технічне проектування                        | Розрахунки, розробка вузлів, вибір матеріалів і методів виготовлення                                                       | Проектні креслення, перелік матеріалів, список наявного виробничого обладнання, технічні умови        | Комплект креслень та інструкцій                                          |
| Підготовка до виготовлення дослідного зразка | Розробка технології, вибір та забезпечення обладнанням, матеріалами, інструментом та пристосуваннями                       | Комплект креслень та інструкцій, технічні умови на матеріали і операції                               | Технологічні карти, інструкції з виготовлення, складання і випробовувань |
| Виготовлення дослідного зразка               | Підготовка матеріалів і заготовок, виготовлення деталей, складання, контроль                                               | Комплект креслень, технологічні та операційні карти, інструкції                                       | Дослідний зразок, звіт щодо підготовки виробництва                       |
| Випробовування дослідного зразка             | Підготовка стенда і зразка до випробовування, забезпечення безпеки випробовування, оцінювання результатів, укладання звіту | Інструкції з проведення випробовувань, обробки і оцінювання результатів; інструкції з техніки безпеки | Звіт про результати випробовувань                                        |

Продовження таблиці 10.1

| Стадії                                        | Основні процеси стадії                                                                                                                                                | Основні вхідні дані                                                                                 | Результати                                                                    |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Рішення про серійне виробництво               | Аналіз наявної технічної, економічної та виробничої інформації                                                                                                        | Всі дані                                                                                            | Рішення                                                                       |
| Корегування виробничої документації           | Обґрунтування корегування, зміна креслень та інструкцій                                                                                                               | Дані про виготовлення та випробовування дослідного зразка                                           | Креслення, технологія та інструкції для серійного виробництва                 |
| Підготовка серійного виробництва              | Організація виробництва і матеріально-технічного постачання, підготовка та перевірка обладнання, технологічної документації, планування, зберігання і збуту продукції | Технологічні і виробничі дані                                                                       | Звіти, рекомендації і організаційні заходи з підготовки серійного виробництва |
| Виготовлення зразків установочної серії       | Підготовка матеріалів і заготовок, виготовлення деталей, складання, контроль                                                                                          | Технологія і інструкції для серійного виробництва                                                   | Зразки установочної серії, виробничий звіт                                    |
| Випробовування зразків установочної серії     | Підготовка стендів та зразків до випробовувань, забезпечення безпеки, випробовування, оцінювання результатів, укладання звіту                                         | Звіт про випробовування дослідного зразка, інструкції до проведення випробовувань і техніки безпеки | Звіт про результати випробовувань та оцінювання                               |
| Остаточне корегування виробничої документації | Корегування креслень, інструкцій, документації, організація виробництва, перевірка готовності засобів виробництва і матеріально-технічного постачання                 | Виробничі звіти і звіти про випробовування                                                          | Остаточний відкоригований комплект виробничої документації                    |

Продовження таблиці 10.1

| Стадії              | Основні процеси стадії                                                                            | Основні вхідні дані                         | Результати                                                                    |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Серійне виробництво | Підготовка матеріалів та заготовок, виготовлення деталей, складання, контроль                     | Відкоригована виробнича документація        | Серійні зразки ТС                                                             |
| Переміщення         | Зберігання, рекламування, продаж, пакування, транспортування, монтаж                              | Замовлення, інструкції                      | Постачання і налагодження ТС                                                  |
| Використання ТС     | Робочий процес експлуатації, технічне обслуговування, ремонт, модернізація, тимчасова консервація | Креслення, інструкції, звіти з використання | Акти приймання, рекламації, плани-графіки технічного обслуговування і ремонту |
| Ліквідація ТС       | Демонтаж, відправка у металобрухт або підготовка до іншого використання                           | Креслення, інструкції і звіти               | Вторинна сировина, інше використання                                          |

### Розробка та проектування

В більшості випадків ТС проектується досвідченим інженером - конструктором і його групою. На даній стадії повинні бути підготовлені такі документи:

- звіт про результати або стан досліджень з ТЗ;
- ФС, ПС і КС варіантів ТС;
- техніко-економічне обґрунтування обраного варіанта ТС;
- проект ТС;
- результати патентного пошуку, заявки на патенти розробленого зразка ТС;
- розрахунок економічного ефекту;
- рекомендації щодо модернізації та подальшого удосконалення 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.

Комплект документів проекту включає і робочі креслення ТС, за якими повинен бути виготовлений її дослідний зразок.



Рис. 10.1. Спрощена блок-схема алгоритму виконання етапів та стадій створення та використання ТС серійного виробництва

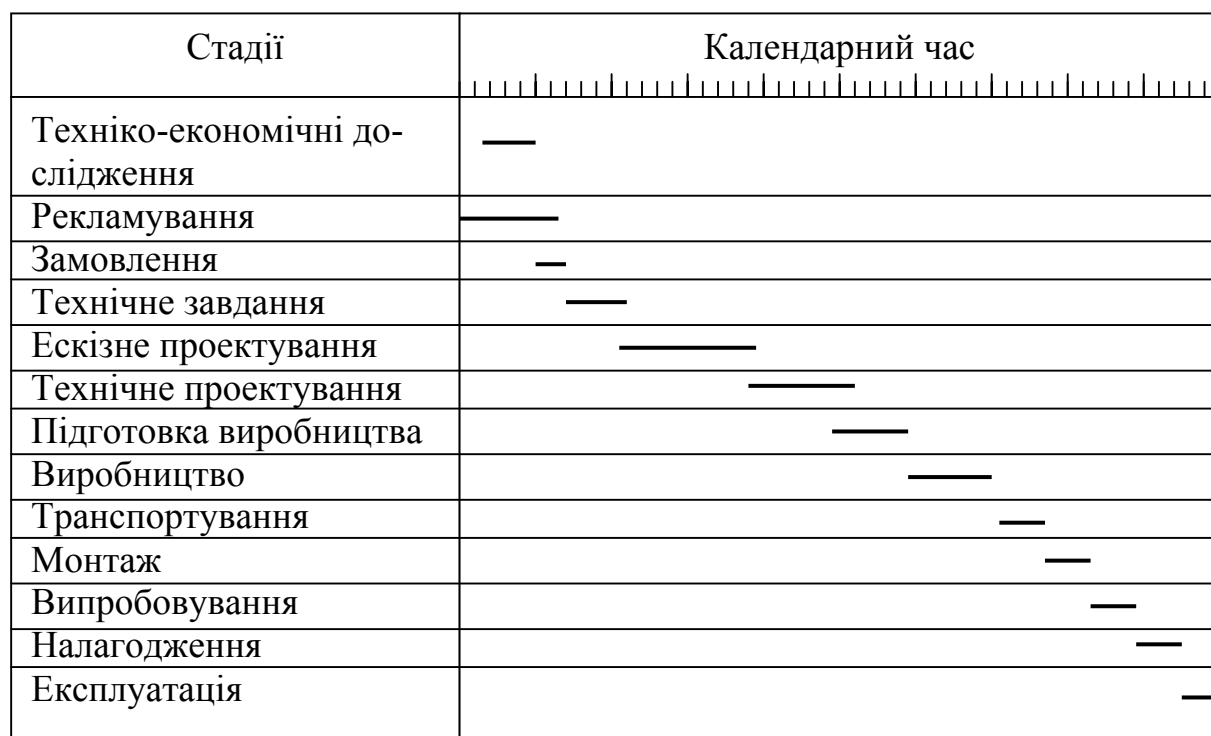


Рис. 10.2. Спрощений план-графік стадій створення та використання ТС одиничного виробництва

### **Підготовка дослідного виробництва**

Паралельно із виконанням креслень готується дослідне виробництво. Дослідний зразок повинен біти 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 технічну документацію.

### **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 випробовувань можна порівняти задум **ТС** із реальністю, набути досвід, а з ним і впевненість у собі і у своїх силах, навчитись на своїх та чужих помилках.

Програма випробовувань повинна включати перевірку працездатності **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, при необхідності, слід уточнити інструкції щодо: захисту від корозії, пакування, транспортування, монтажу, введення в дію, експлуатації, обслуговування, відкоригувати іншу технічну документацію. На основі 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**.

З врахуванням виявлених можливостей збуту робиться висновок про те, чи буде виробництво нового зразка успішним при наявних: технічному рівні підприємства–виробника та умовах ринку. Інколи раціональнішим може виявитись припинення подальшої розробки для уникнення ще більших збитків.

### **Корегування виробничої документації**

Після випробовувань дослідного зразка, на основі 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, по можливості, повністю усунути дефекти шляхом здійснення відповідних удосконалень.

### **Підготовка виробництва**

Підготовка серійного виробництва охоплює організацію виробничих ділянок та місць, забезпечення матеріально-технічного постачання, придбання або створення спеціального та спеціалізованого обладнання, інструмента, пристосувань, вирішення питань зберігання, транспортування та збуту продукції, взаємовідносин із суміжниками тощо. Даній стадії слід приділити багато уваги у організаційному відношенні, що особливо суттєво для конструкторів допоміжного обладнання, розробка якого, як правило, жорстко обмежена часовими рамками.

### **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. Вказане 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.

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 звичайно є великогабаритними і мають унікальні параметри. Створення подібних **ТС** пред'являє підвищені вимоги до конструктора та організації проектних робіт. **ФС**, **ПС** і **КС** майбутньої **ТС** повинні бути раціональними, а сама **ТС**, виконана згідно із розробленими моделями - працездатною. Якщо задані параметри **ТС** не вдається забезпечити одразу, удосконалення повинні бути незначними і не вимагати зміни структур **ТС**.

Часто випробовування таких **ТС** проводиться на місці монтажу у споживача, а у виготовлювача перевіряється функціонування лише окремих підсистем.

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.

Створення **ТС** одиничного виробництва, у загальному випадку, включає такі стадії: ескізне проектування, технічне проектування, підготовка виробництва, виробництво, монтаж та налагодження.

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, по 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.

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 сховані 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 по кожній **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.

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

Особливий випадок у порівнянні із **ТС** розглянутими в двох попередніх розділах представляє, наприклад, створення технологічної лінії, цеху або виробничого комплексу. Розробником таких **ТС** є інженер - проектувальник, при цьому абстрактною моделлю **ТС** служить проект, виконаний у відповідності із вимогами замовника. **ТС** четвертого рівня складності мають в своєму складі готові елементи (**ТС** нижчих рівнів складності), що, як правило, закуповуються 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.

Проектні роботи з **ТС** четвертого рівня складності повинні проводитись, як мінімум, в дві фази і періодично контролюватись. Інколи двох фаз недостатньо, оскільки попередні **ФС**, **ПС** і **КС** проекту можуть розвиватись та деталізуватись. Так, проект виробничого цеху звичайно включає розділи із проектами будівлі, машинного обладнання, електрообладнання, зв'язку, тепlopостачання, каналізації тощо.

В якості основних етапів створення і використання **ТС** четвертого ступеня складності можна назвати: проектування, будівельно-монтажні роботи, пусконаладжувальні роботи, експлуатація.

#### **Проектування**

Етап проектування звичайно розбивається на декілька стадій:

а) *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**.

б) Виконання *технічного проекту*, який включає: пояснювальну записку із багатоваріантним аналізом, обґрунтуваннями, описами і розраху-

нками; **ФС**, **ПС** та **КС** найбільш важливих та нових елементів **ТС**; специфікацію основного обладнання.

в) Підготовка *робочої документації*, що містить всі конструкторські та технологічні креслення та схеми як окремих елементів, так і **ТС** в цілому.

### **Будівельно-монтажні роботи**

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

### **Пусконаладжувальні 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.

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

До сих пір стадії та операції етапів створення та використання **ТС** розглядались з точки зору їх змісту та взаємозв'язків. В даному розділі аналізується їх тимчасова 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 підвищується ефективність розробки, а також підприємства в цілому. З іншої сторони, замовник зацікавлений у високій якості виробу, забезпечення якої вимагає збільшення витрат часу та коштів (відповідна залежність показана на рис. 7.13). Аналогічна ситуація характерна також для процесу підготовки виробництва і самого виробництва.

При порівнянні процесів створення **ТС** серійного (див. рис. 10.1) і одиничного (рис. 10.2) 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 пусконаладжувальні роботи, як найбільш трудомісткі і відповідальні.

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 суміщення у часі.

Досягти зменшення витрат часу можливо, в першу чергу, для найбільш тривалих стадій, наприклад, при проектуванні, підготовки до виробництва, виробництві. Найбільша економія забезпечується при виключенні одної зі стадій в цілому (наприклад, у випадку придбання ліцензії, завдяки чому непотрібним стає проектування або при закупівлі готових елементів і виключенні, таким чином, стадій підготовки їх виробництва і власне виробництва, а також скороченні стадії проектування). Тривалість проектування залежить, окрім іншого, від обсягу робіт (див. рис. 7.13), а також від кваліфікації конструкторів (рис. 10.3). Вплив інших факторів на час проектування в загальних рисах вже розглядався.

Аналогічні фактори впливають на і тривалість стадії виробництва. При визначених 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* (рис.10.4). Дійсна тривалість виготовлення ТС звичайно виявляється більшою, внаслідок непередбачених затримок і збоїв при виконанні операцій. Організація процесів виробництва здійснюється на основі графіків мережного планування. Суміщення операцій в часі можливо лише у випадках, коли це допускають впливи між ними. Паралельні роботи часто виконуються при відсутності всієї необхідної інформації. Останнє може мати негативні наслідки, наприклад, у випадках, коли рішення приймається на основі ще не досягнутих параметрів і тому часто є неоптимальним.

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 як можна більш довгого періоду, потреба у більш ефективному зразку є сильнішою.

#### 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 наведений в табл. 10.2.

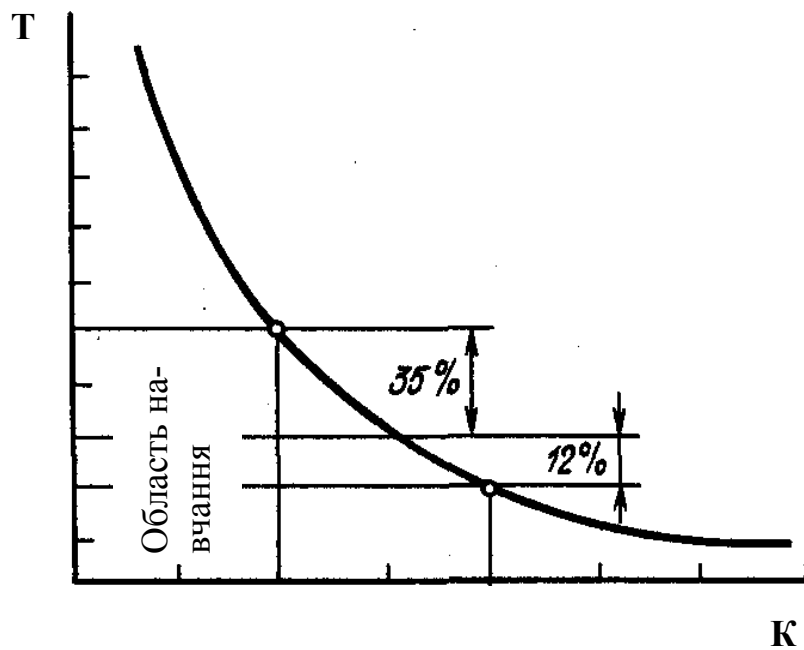


Рис. 10.3. Залежність тривалості проектування ( $T$ ) від кваліфікації конструкторів ( $K$ )

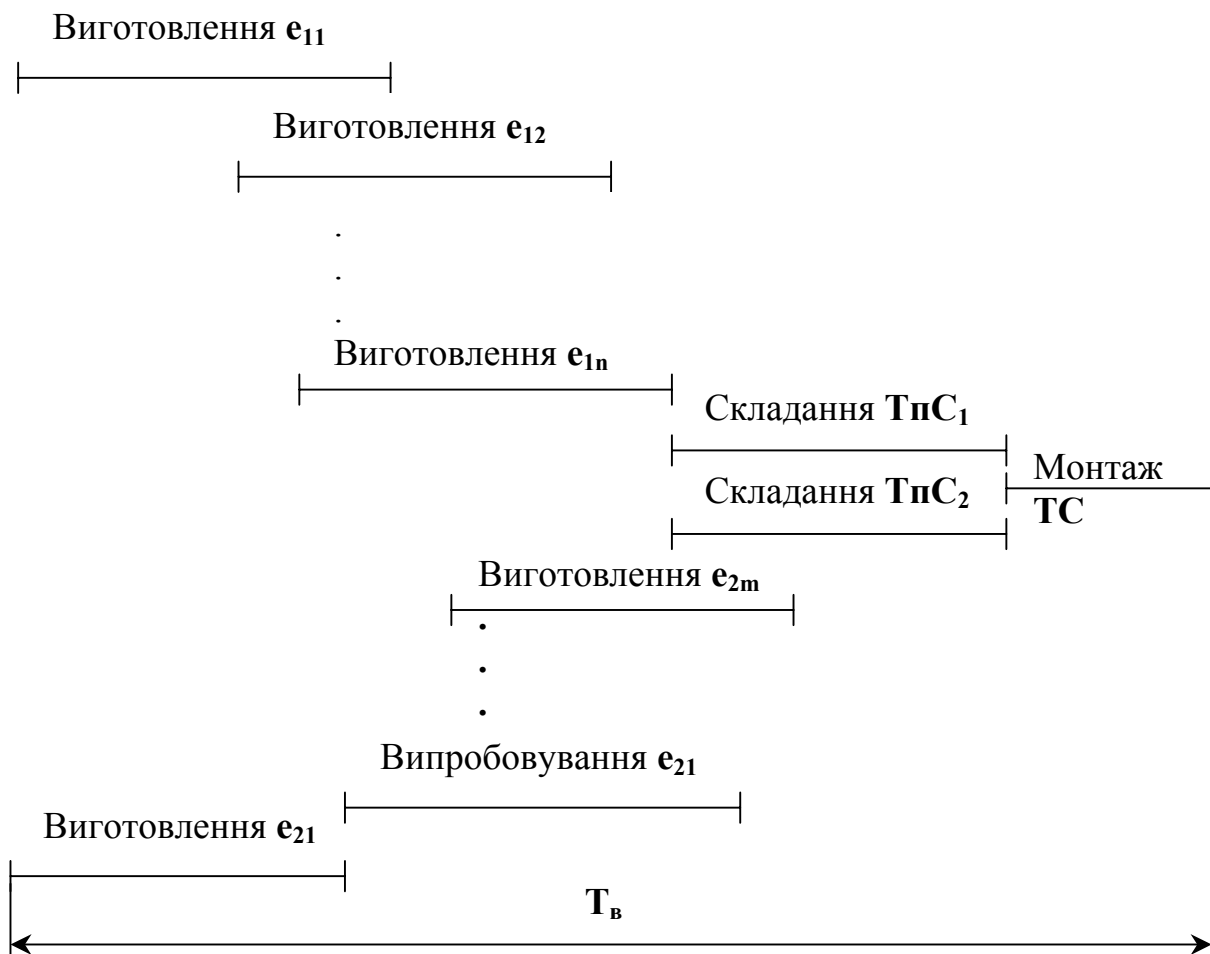


Рис. 10.4. Схема обчислення фактичної тривалості виробничого процесу ( $T_v$ ) виготовлення ТС при певній технології

Таблиця 10.2

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

| Стадії і операції            | Підрозділи організації   |                           |                           |                          |                        |                            |                      |             |                               |                    |             |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|-------------|-------------------------------|--------------------|-------------|
|                              | План.-фі-<br>нанс. відд. | Дослідниць-<br>кий відділ | Відділ гол.<br>конструкт. | Відділ гол.<br>технолога | Відд. менедж-<br>менту | Цех дослід.<br>виробництва | Цех випро-<br>бовув. | Основ. цехи | Відд. матер.-<br>тех. постач. | Цех осна-<br>щення | 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. ви-<br>робн. докум. |                          |                           | +                         |                          |                        |                            |                      |             |                               |                    |             |
| Підготовка сер. виробн.      |                          |                           | ×                         | ×                        |                        |                            |                      |             | ×                             | ×                  |             |
| Вигот. установчої серії      | +                        |                           |                           |                          |                        |                            |                      | +           |                               |                    |             |
| Випроб. уст-<br>ановч. сер.  |                          |                           | ×                         |                          |                        |                            | +                    |             |                               |                    |             |
| Корег. вироб. докум.         |                          |                           | +                         | ×                        |                        |                            |                      |             |                               | ×                  |             |
| Сер. виробн.                 |                          |                           | ×                         |                          |                        |                            |                      | +           |                               |                    |             |
| Переміщення                  |                          |                           | ×                         |                          | +                      |                            |                      |             |                               |                    |             |
| Монтаж                       |                          |                           | ×                         |                          |                        |                            | +                    | ×           |                               |                    |             |
| Налагоджен.                  |                          |                           | ×                         |                          |                        |                            | +                    | ×           |                               |                    |             |
| Використан.                  |                          |                           | ×                         |                          | +                      |                            |                      |             |                               |                    |             |
| Обслуговув.                  |                          |                           | ×                         |                          | +                      |                            |                      |             |                               |                    |             |

## 11. Еволюція технічних систем

### 11.1. Закономірності еволюції технічних систем

#### 11.1.1. 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 представлена на рис. 11.1. 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 (рис. 11.2) характеризується в більшій мірі зниженням габаритів, маси і ціни (табл. 11.1).

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 |

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 і т.д.

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.

На рис. 11.3 показані 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.

Аналогічним чином, залежно від підвищення максимальної швидкості руху, можна проаналізувати динаміку розвитку різних типів транспортних засобів – автомобілів, літаків із поршневими двигунами, реактивних літаків (рис. 11.4). Кожен тип засобів характеризується кривою, яка асимптотично наближається до певного граничного значення. Дана межа обумовлена або законом природи (наприклад, для літаків із поршневими двигунами), 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.

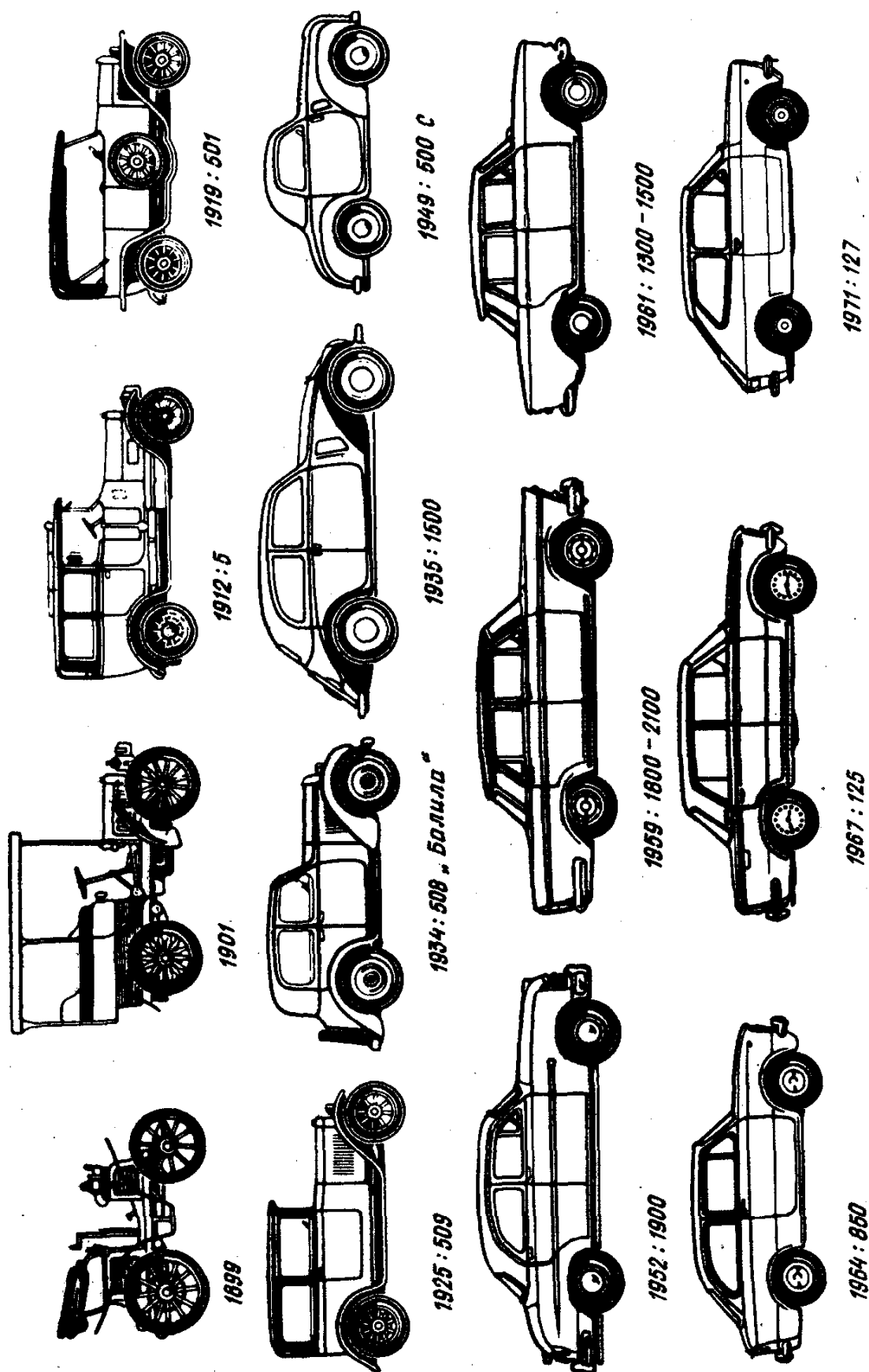


Рис. 11.1. Еволюція розвитку автомобілів „Фіат”

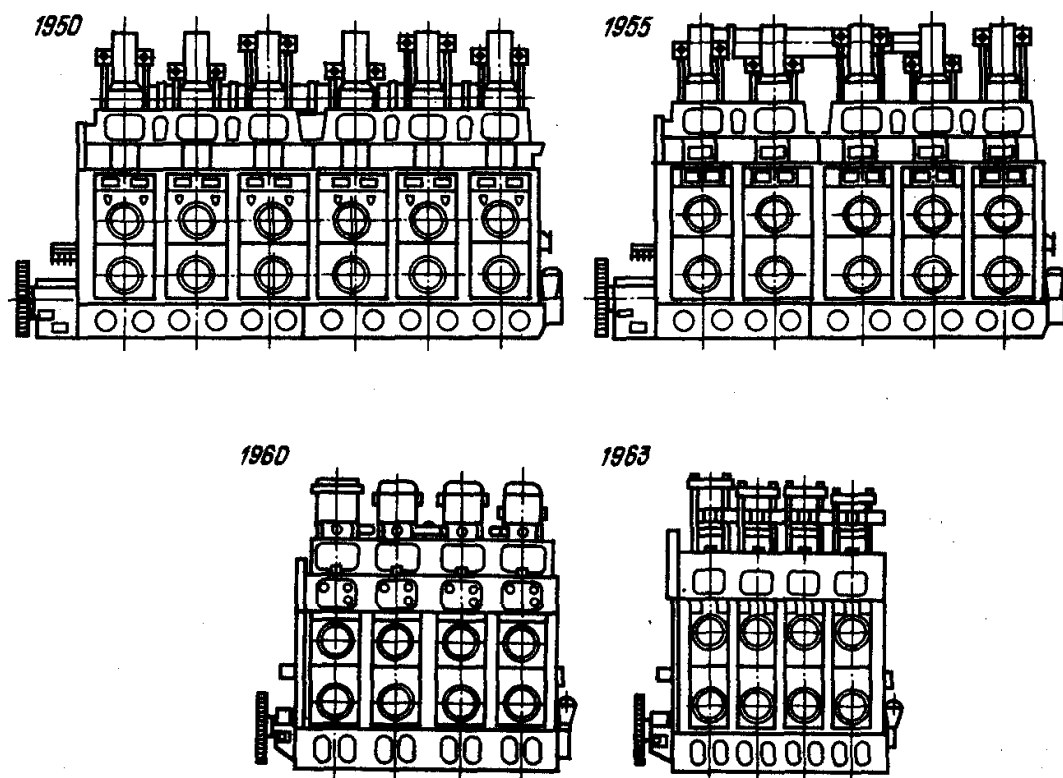


Рис. 11.2. Еволюція розвитку дизельних двигунів

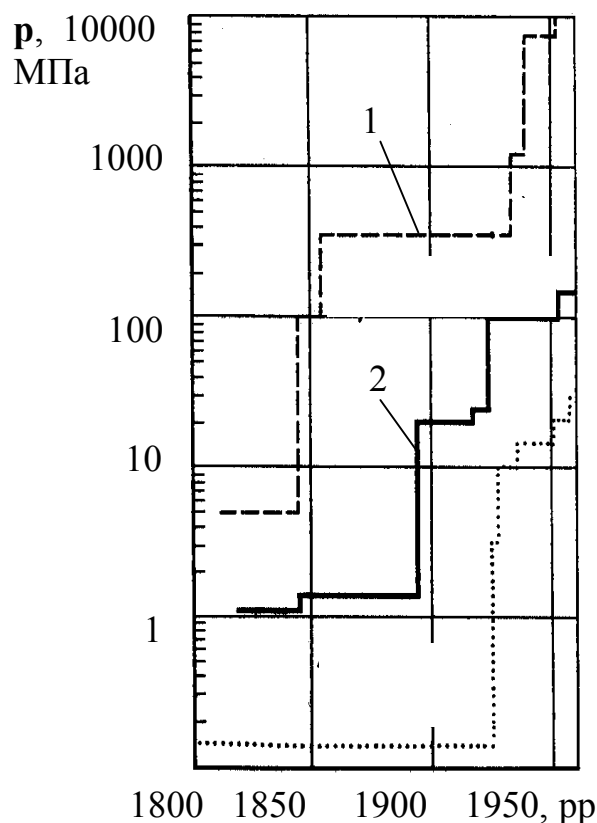


Рис. 11.3. Зміна величини робочого тиску в дослідних (1) та промислових (2) установках в процесі еволюції їх технічного розвитку

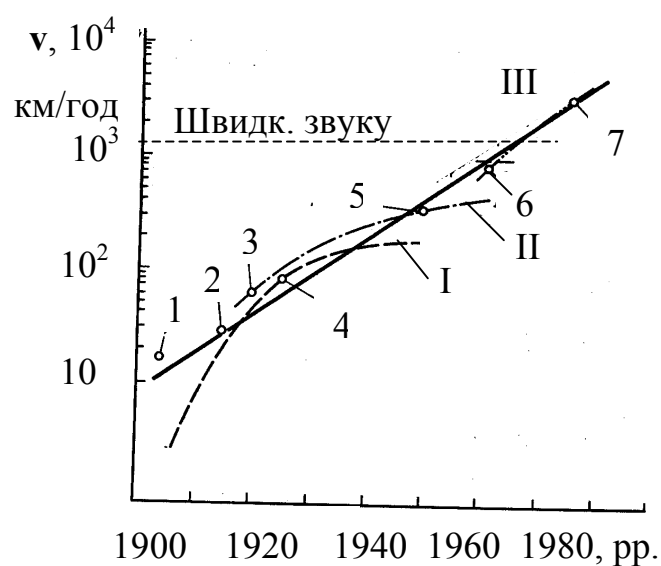


Рис. 11.4. Підвищення швидкостей транспортних засобів в процесі їх технічного розвитку: I – автомобілі; II – літаки з поршневими двигунами; III – реактивні літаки; 1 - пароплави; 2 – перші аероплани; 3 – „Скаут” фірми „Брістоль”; 4 – „Фіат-510”; 5 – „Кондор”; 6 – „Каравелла”; 7 – „Конкорд” (2335 км/год.)

### 11.1.2. 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** у продовж часу показано на рис. 11.5, а. Можливо застосування і спрощеної більш плавної залежності (рис. 11.5, б). Попит на **ТС**, навіть і після появи нових більш досконалих зразків, не завжди падає 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 витіснять повністю трактори і комбайни.

Незначні коливання попиту (див. рис. 11.5, а) обумовлюються політичними, економічними або соціальними причинами. Вони можуть бути і більш помітними (рис. 11.6).

Якщо проаналізувати криві попиту на **ТС** різних поколінь, то можна установити, що їх період з часом укорочується, що пояснюється інтенсифікацією технічного прогресу. Зменшується тривалість використання виробів, що сприяє прискоренню випуску нових **ТС** і зростанню амплітуди 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 атомної 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. рис. 11.6), пов'язана із динамізмом сучасної сфери споживання.

### 11.1.3. 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** поряд із новими матеріалами, інструментами, обладнанням та технологіями, застосовується накопичений у минулому досвід. З розвитком науки і техніки формуються теоретичні основи загальноінженерних 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 тої чи іншої технічної проблеми. Дана

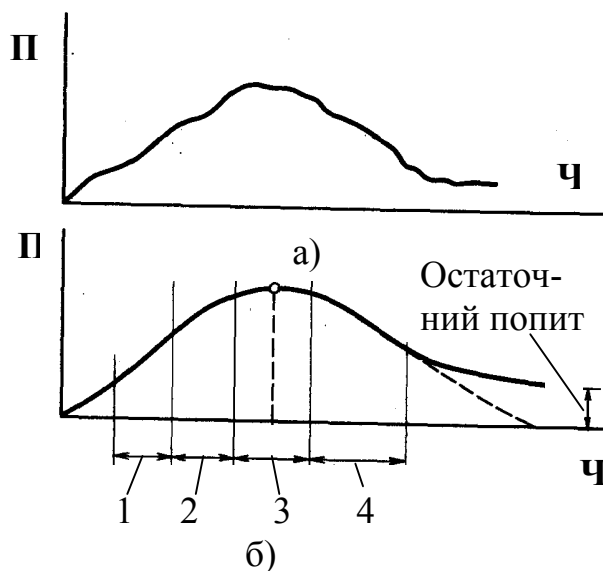


Рис. 11.5. Залежності попиту ( $\Pi$ ) на ТС від часу ( $\mathcal{C}$ ): а – реальна; б – ідеальна; 1 – інтенсивне зростання; 2 – уповільнення; 3 – насичення; 4 – спад

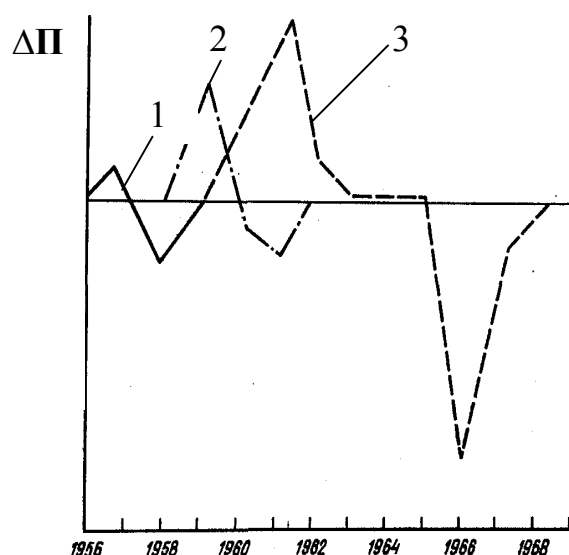


Рис. 11.6. Приклад залежностей зміни попиту  $\Delta\Pi$  для трьох моделей автомобілів „Фіат”, що випускались послідовно: 1 – Фіат-1500; 2 – Фіат-1800; 3 – Фіат-2100

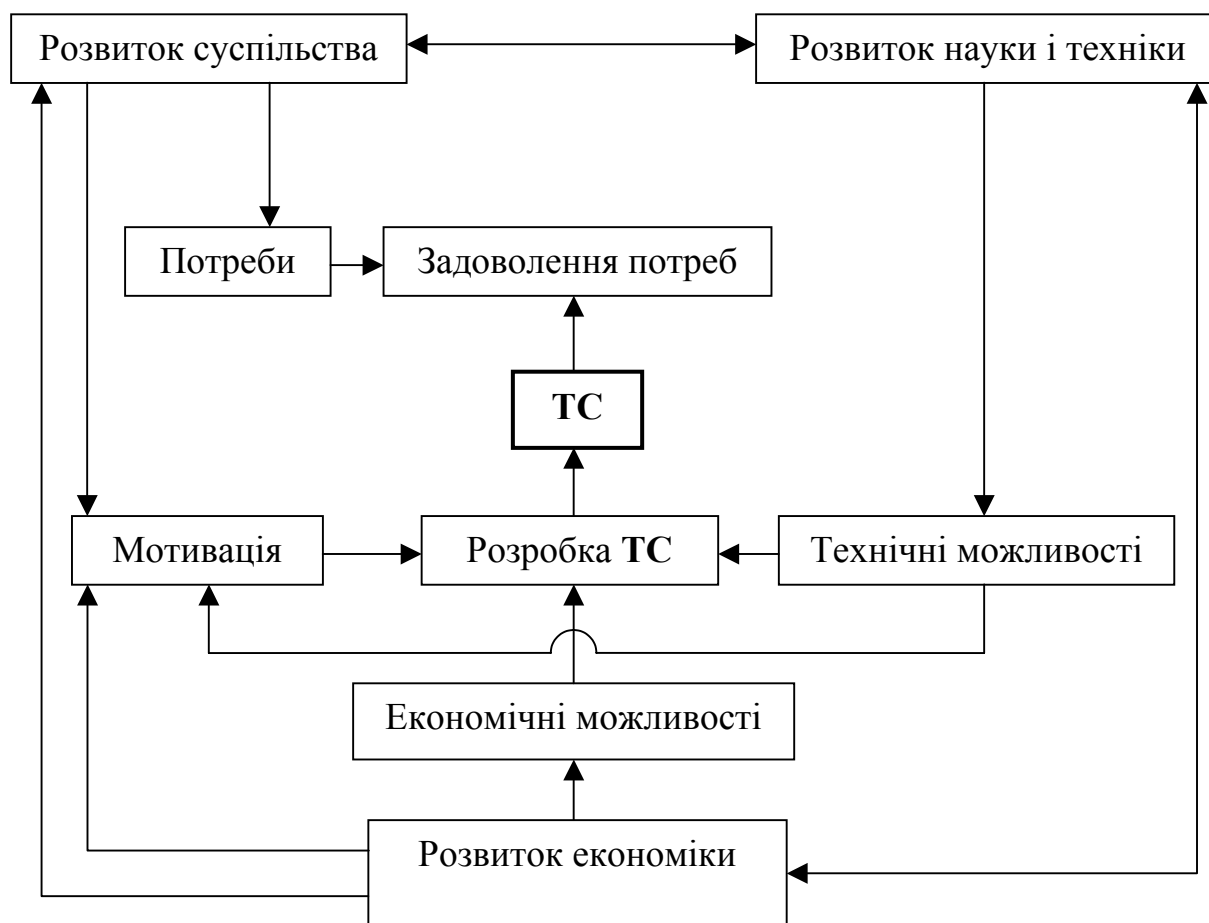


Рис. 11.7. Впливи в макросистемі суспільство – економіка – наука і техніка

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 рис. 11.7.

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.

#### 11.1.4. 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 4 млн. чоловік, що складає біля 0,07% усього населення Землі. Однак в промислово розвинених країнах вказаний відсоток вищий (в США – порядку 6,2%).

Іншим показником, що характеризує обсяг НДДКР, є витрати на них матеріальних коштів. У високорозвинених країнах дані витрати постійно нарощуються і в наш час сягають 2 – 3% загальної суми національного доходу. Доцільно проаналізувати також і співвідношення між окремими видами витрат. Так, наприклад, частка витрат на фундаментальні дослідження складає порядку 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.

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 поширені дослідження і розробки по всіх напрямках. Сьогодні розв'язання задач НДДКР вимагає 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.

### 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'язаними із технікою. Однак в наш час відповідальність інженерів за розвиток суспільства не менша ніж відповідальність лікарів за здоров'я людей, тому розв'язання екологічних, ергономічних, економічних та соціальних проблем, пов'язаних зі створенням та використанням техніки не можна більше залишати політикам, філософам та соціологам. Вчені і інженери, керуючись соціально-моральними нормами, повинні перешкоджати використанню техніки для задоволення егоїстичних інтересів окремих соціальних груп.

Існує ряд незаперечних складових мети суспільства, очевидних для більшості людей. Не розглядаючи питання їх пріоритетності, 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.

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.

Можливо, міркування щодо даної проблеми виходять за тематичні рамки посібника. І все-таки, кожен інженер повинен розуміти значення своєї діяльності і завжди зіставляти розв'язувані задачі з інтересами суспільства.

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.

*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.

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; атомна енергетика; машинобудування; транспорт і зв'язок; забезпечення охорони **НС**; медична техніка і ряд інших напрямків.

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.

Функції керування і регулювання змінюються разом із розвитком автоматики, 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 більш крупні 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 помітною стає тенденція зменшення розмірів та маси (мініатюризації) **ТС**. Все більш широке застосування знаходить модульний принцип створення та виготовлення **ТС** (див. розд. 5.3.3), який спрощує та полегшує її експлуатацію та обслуговування.

### **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. розд. 7.1.6), не лише сприяє кращому сприйняттю його споживачем, але і забезпечує підвищення продуктивності праці.

### **Ергономічні параметри технічних систем**

Потреба враховувати параметри даної категорії виникла відносно нещодавно. В цьому зв'язку, 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.

### **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.

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

З врахуванням даних параметрів здійснюється організація виробництва та доставка продукції споживачу. Параметри категорії є особливо важливими в умовах конкуренції і підвищення вимог споживача до обслуговування.

### **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 конкурентноздатності ТС виготовлювач повинен підтримувати її собівартість на мінімальному рівні. До засобів підвищення ефективності виробництва відносяться раціоналізація операцій, стандартизація та уніфікація деталей та вузлів, застосування високопродуктивного обладнання, підвищення кваліфікації персоналу, стимулювання продуктивної та високоякісної праці.

## **Якість виготовлення технічних систем**

Оскільки ТС постійно ускладнюються та удосконалюються, до якості їх виготовлення пред'являються все більш жорсткі вимоги.

## **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.

*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 високо ефективних 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 рис. 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 більше, 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.

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 установлюється 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.

Технічна політики, 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.

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 об-

робки. 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.

#### 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.

## 12. Спеціальні теорії технічних систем

При розгляді видів **ТТС** (див. розд. 1) з точки зору їх застосування було введено розділення на загальну та спеціальні теорії. До сих пір розглядалась загальна **ТТС**.

Спеціальні **ТТС** мають справу з окремими категоріями систем. Вони можуть розроблятися за класифікаціями наведеними у розд. 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 розд. 6 можуть служити і для класифікації спеціальних **ТТС**, наприклад, за ієрархічним підпорядкуванням: теорія гідромашин → теорія гідродвигунів → теорія гідронасосів → теорія об'ємних гідронасосів і т.д. Подібних прикладів можна навести багато.

В задачі спеціальної **ТТС** входять отримання і систематизація знань, щодо **ТС** відповідного типу або виду, а також побудова на їх основі теорій і методів розрахунку.

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:

- 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 головні елементи (виконавчі органи) та їх впливи;
- основні параметри **ТС**, методи їх контролю, оцінювання та порівняння **ТС**;
- вивчення закономірностей створення і використання **ТС** певної категорії;
- узагальнення досвіду і виявлення тенденцій розвитку **ТС**.

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

При побудові спеціальних **ТТС** і систематизації спеціальних знань слід передбачувати можливості їх практичного використання на базі комп'ютерної техніки, що забезпечить подальший прогрес у відповідній області.

## Література

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Gosling W. The Design of Engineering Systems, London, Heywood, 1962.
3. Roth K., Systematik der Maschinen und ihrer Elemente, feinwerktechnik, Nr.11, 1970.
4. Hubka V., Theorie der Maschinensysteme, Berlin, Springer, 1974.
5. Hansen F., Konstruktionswissenschaft, Munchen, Hauser, 1974.
6. Ropohl G., Ansätze zu einer allgemeinen Systematik technischer Systeme, Schw. Maschinenmarkt, 76, No. 29, 1976.
7. Yoshikawa H., General Design Theory and CAD System, Tokyo, IFIP, 1980.
8. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках/ Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1984. - 144 с.
9. Автоматизация поискового конструирования/ Под ред. А.И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981. - 344 с.
10. Джонс Дж. К. Методы проектирования. /Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1986. – 326 с.
11. Буш Г.Я. Методы технического творчества. Рига: Лиесма, 1972. – 94 с.
12. Методы поиска новых технических решений/ Под ред. А.И. Половинкина. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. – 192 с.
13. Reuleaux F., Moll, Konstruktionslehre für den Maschinenbau, Braunschweig, Vieweg, 1854.
14. Wegerbauer H. Die Technik des Konstruierens, Munchen, Oldenbourg, 1943.
15. Хубка В. Теория технических систем. Пер. с нем., М.: Мир, 1987. - 208 с.
16. Hubka V., Theorie der Konstruktionsprozesse, Berlin, Springer 1976.
17. Hubka V., Darstellen und Modellieren beim Konstruieren, Schw. Maschinenmarkt, Nr. 33, 35 u. 37, 1976.