



Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

**С. В. Сапожніков**

# **СТВОРЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Конспект лекцій

Суми  
Сумський державний університет  
2019

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

# СТВОРЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Конспект лекцій  
для студентів спеціальності 131 *«Прикладна механіка»*  
усіх форм навчання

Затверджено  
на засіданні кафедри  
прикладної гідроаеромеханіки  
як опорний конспект лекцій  
із дисципліни «Створення  
та вдосконалення технічних систем».  
Протокол № 3 від 02.10.2018 р.



Суми  
Сумський державний університет  
2019

Створення та вдосконалення технічних систем : конспект лекцій / укладач С. В. Сапожніков. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 148 с.

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

# ЗМІСТ

	С.
Вступ .....	6
1 Створення та вдосконалення технічних систем .....	7
1.1 Предмет і завдання курсу. Інженер та інженерна діяльність .....	7
1.2 Інженерне мислення. Творча особистість і творчий колектив .....	9
1.3 Основні етапи розвитку науки і техніки .....	11
2 Технічні системи та їх розвиток .....	14
2.1 Історія виникнення технічних систем .....	14
2.2 Зміна в часі параметрів технічних систем .....	15
2.3 Основні закони розвитку технічних систем за Альтшуллером .....	18
3 Методи пошуку нових технічних рішень .....	20
3.1 Евристика та асоціативні методи пошуку нових технічних рішень .....	20
3.2 Мозковий штурм .....	23
3.3 Синектика .....	26
3.4 Морфологічний аналіз .....	28
3.5 Метод контрольних питань .....	30
4 Теорія та алгоритм розв'язування винахідницьких задач ..	32
4.1 Теорія розв'язування винахідницьких задач .....	32
4.2 Алгоритм розв'язування винахідницьких задач .....	35
4.3 Порівняння різних методів пошуку нових технічних рішень .....	38
5 Принципи вирішення технічних суперечностей .....	40
5.1 Фізичні, хімічні, математичні ефекти і фонд технічних рішень .....	40
5.2 Евристичні прийоми вирішення технічних суперечностей .....	43
5.3 Типові прийоми АРВЗ вирішення (усунення) технічних суперечностей .....	45
6 Речовинно-польовий аналіз .....	48
6.1 Основні визначення речовинно-польового аналізу .....	48

6.2 Структурні формули реполів .....	49
6.3 Основні правила перетворення речовинно-польових систем .....	52
7 Функціонально-вартісний аналіз .....	55
7.1 Основні визначення функціонально-вартісного аналізу...	55
7.2 Види функцій об'єкта .....	60
7.3 Основні етапи функціонально-вартісного аналізу .....	61
8 Класифікація інженерної творчості .....	65
8.1 Типи творчості .....	65
8.2 Класифікація винахідницьких задач за їх новизною .....	66
8.3 Теорія розвитку творчої особистості .....	67
9 Основні поняття теорії технічних систем.....	69
9.1 Технічні та машинні системи .....	69
9.2 Основні поняття і визначення систем .....	71
9.3 Типи систем і завдань .....	74
10 Системи перетворень .....	79
10.1 Елементи системи перетворень .....	79
10.2 Процеси керування і регулювання .....	81
10.3 Приклади системи перетворень .....	83
11 Технічні процеси .....	86
11.1 Модель технічного процесу .....	87
11.2 Елементи технічного процесу .....	89
11.3 Параметри та ефективність технічного процесу .....	93
11.4 Подання технічних процесів .....	94
11.5 Класифікація технічних процесів .....	97
12 Технічні об'єкти .....	99
12.1 Загальні ознаки технічних об'єктів .....	99
12.2 Загальна модель технічних об'єктів .....	101
12.3 Типові моделі технічних об'єктів .....	101
12.3.1 Функціональні структури технічних об'єктів .....	103
12.3.2 Принципові схеми технічних об'єктів .....	106
12.3.3 Конструктивні схеми технічних об'єктів .....	108
13 Закономірності розвитку технічних систем .....	112
13.1 Методи опису законів розвитку технічних систем .....	112
13.2 Стадійність розвитку технічних систем .....	114

13.3	Винайдення і розвиток технічних систем .....	118
14	Закономірності при створенні нових технічних систем ...	121
14.1	Основні етапи створення нових технічних систем .....	121
14.2	Поетапне спадання числа ідей під час створення нових технічних систем .....	122
14.3	Поетапне зростання витрат під час створення нових технічних систем .....	124
15	Якість та оцінювання технічних систем .....	129
15.1	Поняття про якість технічних систем .....	129
15.2	Показники якості технічних систем .....	130
15.3	Колова діаграма оцінювання якості технічних систем ..	131
15.4	Схеми оцінювання технічних систем .....	133
15.5	Операції оцінювання технічних систем і поняття цінності технічних систем .....	134
15.6	Способи оброблення бальних оцінок під час оцінювання технічних систем .....	137
16	Наслідки інженерної діяльності .....	140
16.1	Моральність і науково-технічний прогрес .....	140
16.2	Руйнівний вплив інженерної діяльності на природу ....	141
16.3	Етика інженерної діяльності .....	143
	Список літератури .....	147

## ВСТУП

Інженерна діяльність має багату на події та факти історію і тісно пов'язана з поступальним рухом розвитку людського суспільства.

Власне, інженерна діяльність як різновид людської діяльності взагалі з'явилася разом із виникненням машинного виробництва й остаточно сформулювалася як специфічна діяльність із появою розвинених капіталістичних відносин.

Зародження інженерної діяльності бере свій початок у період античності. Прообрази водяного насоса створені Архімедом, основи атомістичної теорії – Демокритом, прообраз парової турбіни створив Герон Олександрійський і т. д. Завдяки генію Леонардо да Вінчі та його послідовників в епоху Відродження був заново переосмислений античний досвід інженерної діяльності та внесені істотні корективи у визначення технічної творчості. Можна вважати, що до кінця 17-го століття вже сформувалася визначена думка про інженерну діяльність як діяльність насамперед творчу з особливим, «інженерним», типом мислення.

Студенти, які навчаються за бакалаврською програмою «Прикладна механіка», повинні знати не лише назви окремих інженерних досягнень попередніх поколінь, а й детально розібратися в них. Із цією метою докладно, наскільки дозволяє обсяг цього конспекту лекцій, розглянуті різні прийоми пошуку нових технічних рішень, зокрема теорія розв'язання винахідницьких задач (ТРВЗ), алгоритм розв'язання винахідницьких задач (АРВЗ), речовинно-польовий аналіз (РПА), функціонально-вартісний аналіз (ФВА), а також теорія технічних систем (ТТС).

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

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

Мета дисципліни – сформулювати мислення студентів, довести, що «не боги горшки обпалюють», цілеспрямована людина може розв'язати будь-які завдання, які ставить перед нею техніка й життя.

## 1 СТВОРЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

1.1 Предмет і завдання курсу. Інженер та інженерна діяльність

**Предметом курсу** є історія науки і техніки, основні етапи процесу створення та вдосконалення технічних систем, виникнення інженерної діяльності, технічні системи і закони їх розвитку.

**Завданням курсу** є вивчення інженерної діяльності, технічних систем, їх властивостей і законів функціонування, формування інженерного типу мислення.

Слово «**інженер**» (фр. – *ingénieur*) походить від латинського кореня *ingeniare*, що означає «творити», «створювати», «впроваджувати».

Термін «**інженер**» виник і набув великого поширення в Західній Європі в XIII–XIV ст. У XVII ст. через французьку і німецьку мови це слово поширилося й у Росію. Історія інженерної діяльності тісно пов'язана з історією цивілізації й закономірностями розвитку техніки, досягнення яких значною мірою були забезпечені працею й творчістю цієї категорії технічних працівників.



Сьогодні інженером вважають фахівця з вищою технічною освітою, який застосовує наукові знання для розв'язання технічних задач, керування процесом створення технічних систем, проектування, організації виробництва, впровадження науково-технічних нововведень.

Інженерів поділяють на **три** основні категорії:

– **виробничник** (технолог, організатор виробництва, експлуатаційник);

– **дослідник-розроблювач** – поєднує в собі функції винахідника, проектувальника, конструктора, бере участь у процесі поєднання науки з виробництвом;

– **системотехнік-«універсаліст»**, інженер широкого профілю, завдання якого – організація та управління інженерною діяльністю, створення складних технічних систем.

**Інженерна діяльність** – це діяльність, спрямована на застосування наукових знань для створення технічних об'єктів – споруд, механізмів, пристроїв, машин, а також керування процесом їх виготовлення.

Сучасна інженерна діяльність являє собою найбільш зрілу форму трудової діяльності, безпосередньо спрямовану на вирішення технічних завдань і створення техніки. **Техніка є тим єдиним, що поєднує всіх інженерів** незалежно від того, в якій сфері громадського життя використовується їх праця.

Історично інженерна діяльність виникла одночасно з появою ремісничого виробництва, а в період становлення капіталізму перетворилася на особливу професійну діяльність, орієнтовану на застосування в технічній практиці наукових знань.

Сьогодні при створенні складних технічних систем залучають інженерів різних профілів – виробничників, дослідників і системотехніків.

## 1.2 Інженерне мислення. Творча особистість і творчий колектив

**Інженерне мислення** – це особливий вид **пізнавальної діяльності**, спрямованої на дослідження, створення та експлуатацію нової високопродуктивної й надійної техніки, прогресивної технології, автоматизації та механізації виробництва, підвищення якості продукції.

Інженерне мислення базується на методах кібернетики, інформатики, системотехніки, розумовому експерименті, моделюванні за допомогою електронно-обчислювальної машини, специфічних мовах математики, логіки, інженерної графіки, санітарно-технічних нормах, правилах і стандартах.

Оскільки інженер – творець нового в техніці, творець техніки, то й інженерне мислення – творче. **Творчість** – це діяльність особистості з поставленням чи вибором завдання, пошуком умов і способу його вирішення та створення нового. Задатки творчих здібностей властиві будь-якій людині, потрібно лише зуміти їх розкрити і розвинути.

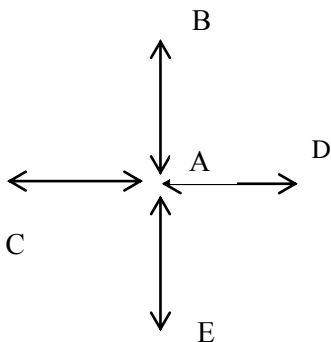
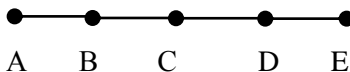
Творча діяльність винахідництва людини **частіше за все** виявляється під час **розроблення** нових, досконаліших за конструкцією та найбільш ефективних в експлуатації технічних об'єктів (ТО) і технологій їх виготовлення.

Очевидно, що **науково-технічна творчість** відрізняється від інших видів творчої діяльності (в літературі, музиці, образотворчому мистецтві тощо) тим, що здебільшого для своєї реалізації вимагає реального спілкування з об'єктом (для його проектування, виготовлення, випробування), а при розробленні оригінальних і складних технічних пристроїв – творчого спілкування й взаємодії з фахівцями, які працюють в інших сферах знань і техніки.

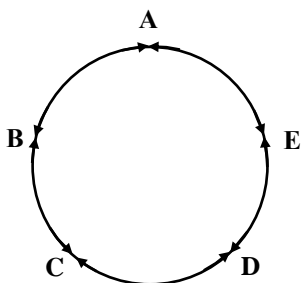
**Науково-технічна творчість** сьогодні стала сферою колективної діяльності, тобто окремі творчі особистості працюють спільно. При цьому перша з них відіграє роль генератора ідей, друга – роль критика цих ідей, третя – роль

організатора робіт, четверта – виконавця і т. д. Створення працездатного творчого колективу – складне завдання. Вважається, що кількість співробітників не повинна перевищувати 20 осіб. Для вирішення творчих технічних завдань організують також малі творчі групи (до 10 осіб). Схеми творчих колективів показані на рисунку 1.1.

1 Незамкнений ланцюг



2 Зірка або хрест



3 Коло

4 Взаємозалежна мережа або зіркова діаграма

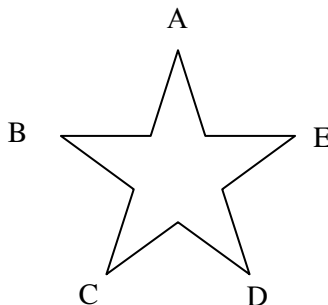


Рисунок 1.1 – Схеми творчих колективів

Незамкнений ланцюг характеризується поділом творчого процесу на окремі кроки, він малоефективний. Зірка або хрест – паралельне розв’язання однієї задачі і передавання результатів керівникові. Коло – послідовне розв’язання окремих частин

задачі (наприклад, розв'язання проводять послідовно різні фахівці). Взаємозалежна мережа або зіркова діаграма – вільний обмін думками, досвідом.

**Винахідництво** – це одна з форм творчої діяльності людини. Кожна освічена людина має право на цю діяльність, і тому вона повинна випробувати себе в цій сфері інтелектуальної праці, щоб дізнатися, чи не тут проявляється її обдарованість.

### 1.3 Основні етапи розвитку науки і техніки

**Наука** – це систематизоване знання об'єктів будь-якої природи, а також будь-який вид діяльності з досягнення такого знання.

За сучасним визначенням, **техніка** (від грецького *techne* – мистецтво, майстерність) – це сукупність засобів людської діяльності, створених для здійснення процесів виробництва та обслуговування невиробничих потреб суспільства.

У техніці матеріалізовані знання й виробничий досвід, накопичені людством у процесі розвитку суспільного виробництва.

Часто до поняття техніки та в об'єкти технічних наук входить також **технологія** (від грецького *tesne* + *logos* – слово, навчання) – сукупність виробничих процесів у певній галузі виробництва, а також опис способів виробництва. Справа в тому, що техніка й технологія, образно говорячи, – це два колеса на єдиній осі візка, на які спирається будь-яке виробництво.

Наука і техніка розвиваються, взаємно збагачуючи її доповнюючи одна одну, та забезпечують сучасний науково-технічний прогрес, під яким розуміють взаємозалежний поступальний розвиток науки і техніки, що виявляється, з одного боку, в постійному впливі наукових відкриттів та винаходів на рівень техніки і технології, з іншого – у застосуванні новітніх приладів та устаткування в наукових дослідженнях.

Розвиток науки і техніки йде від простого до складного. Наука розвивається від простого умовиводу до використання автоматизованих систем пошуку розв'язків за допомогою ЕОМ.

Розвиток техніки йде від простих знарядь праці до складних автоматизованих комплексів. І в науці, і в техніці простежується тенденція передавання функцій людини машині-автомату.

У розвитку інженерної діяльності можна виділити такі **етапи**:

**Перший (праінженерний) етап** був етапом становлення інженерної діяльності в епоху рабовласництва, зв'язаним головним чином із будівництвом й архітектурою. Він знаменував собою різкий стрибок у розвитку суспільних форм технічної діяльності, перший вузловий момент її історії. Найбільш видатними інженерами цієї епохи були вихідці знаменитої Олександрійської школи: Герон Олександрійський, Ктесибій, Архімед, а також римський архітектор Марко Витрувій Полліон, який написав працю «Десять книг про архітектуру».

**Другий (передінженерний) етап** інженерної діяльності почався в епоху Відродження й розвивався в умовах феодалізму й зародження машинного виробництва. Основними сферами інженерної діяльності продовжують залишатися будівництво, а також створення військової техніки (метальних, стінобитних та інших машин). І тому в «Енциклопедії» Дідро й Д'аламбера інженер визначається як будівельник військових споруд і машин. Найвидатнішим інженером епохи Відродження був Леонардо да Вінчі, художник, архітектор, механік, експериментатор і винахідник, геніальність якого була підкріплена великими технічними знаннями.

**Третій етап** становлення інженерної діяльності мав місце в епоху промислового перевороту й поширення робочих машин на базі парового двигуна.

**Четвертий етап** – розвиток інженерної діяльності на основі системи машин і технічних наук в умовах монополістичного капіталізму (імперіалізму). У середині ХІХ ст. розвиток науки, викликаний потребами матеріально-технічного виробництва, привів до виникнення соціальних інститутів

технічних наук і науково обґрунтованої технічної діяльності, яку на той час вважали інженерною.

Із цього часу технічна підготовка виробництва стає переважно інженерною й насамперед – конструкторською і технологічною, а інженер – машинобудівником. К. Маркс і Ф. Енгельс вважали інженерну діяльність чисто промисловою галуззю, пов'язаною зі свідомим застосуванням науки, а інженерів – науково освіченими працівниками.

**П'ятий етап** – формування сучасного інженера в епоху науково-технічної революції. У другій половині ХХ ст. відбувається якісний стрибок у розвитку соціальної функції науки як безпосередньої продуктивної сили. Носіями цієї функції стають інженери, діяльність яких і є основним каналом перетворення науки на безпосередню продуктивну силу.

### **Висновки**

1 Техніка є тим єдиним, що поєднує всіх інженерів.

2 Інженером можна називати лише людину, яка має вищу технічну освіту.

3 Наука і техніка розвиваються разом, взаємно збагачуючи одна одну.

4 Науково-технічна творчість – це сфера колективної діяльності.

5 Розвиток науки і техніки йде від простого до складного.

### **Питання для самоперевірки**

1 Що в перекладі позначає слово «інженер»?

2 Кого сьогодні вважають інженером?

3 На які категорії поділяють інженерів на виробництві?

4 Дайте визначення інженерної діяльності.

5 Дайте визначення інженерного мислення.

6 Дайте визначення творчості.

7 Дайте визначення науково-технічної творчості.

9 Що таке наука, техніка, технологія і яким чином вони пов'язані між собою?

10 Які етапи можна виділити в розвитку інженерної діяльності?

## 2 ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЗВИТОК

### 2.1 Історія виникнення технічних систем

Увесь шлях розвитку знарядь праці в історичному аспекті можна подати як поетапне вдосконалення та розширення їх функцій, що хронологічно збігається з еволюційними перетвореннями людського суспільства. Це шлях від кам'яної сокири первісного суспільства до комп'ютеризованих технічних систем нашої сучасності.

Першими засобами впливу на предмети праці були органи тіла людини під час добування та оброблення їжі, риття ям, мурування стін із каменів. Потім людина «подовжила», «підсилила» свої органи тіла, використовуючи випадкові природні предмети. Під час будівництва свого житла людина почала використовувати гілки, шкіру, кістки, камені. Після цього людина стала спеціально підшукувати гострі палиці, камені для виконання широкого класу функцій. Пізніше й сама стала обробляти, заточувати, загострювати їх. Наступний етап – виготовлення ножів, скребків, свердел, посуду. Почалося прискорення спеціалізації знарядь праці. З цього моменту можна відраховувати час існування техніки.

Настав унікальний період в історії людства, властивий лише людині розумній: вона навчилася видобувати й використовувати вогонь, однак знаряддя праці були в зародковому стані. Потім з'явилися інструменти: спочатку із суцільного шматка (кремнієві ножі, різці, кістяні голки і т. п.), потім – складені з двох частин: робочого органа та рукоятки (трансмисії) – сокира, спис із наконечником. Потім відбувся перехід до технічних систем, тобто до робочого органа з трансмісією додали спочатку двигун, а потім і орган керування.

Перші технічні системи – млин, лук, віз, годинник, ваги.

## 2.2 Зміна в часі параметрів технічних систем

Творча діяльність винахідництва людини частіше за все виявляється під час розроблення нових, досконаліших за конструкцією та найбільш ефективних в експлуатації технічних об'єктів (ТО) і технологій їх виготовлення.

Слово «об'єкт» (від латинського *objectum* – предмет) позначає те, з чим взаємодіє людина (суб'єкт) у своїй пізнавальній або наочно-практичній діяльності (комп'ютер, термометр, пила, кавомолка, автомобіль і т. д.).

Прикметник, як відомо, означає ознаку предмета. В цьому разі слово «технічний» означає, що йдеться не про якісь умовні чи абстрактні об'єкти, а саме про «технічні об'єкти». Коренем цього слова є «техніка».

У своїй життєдіяльності людина взаємодіє з найрізноманітнішими технічними об'єктами, число яких теоретично наближається до нескінченності. Технічний об'єкт – широке поняття, тому не буде парадоксом віднесення до технічних об'єктів космічного корабля і праски, комп'ютера і черевиків, телевізійної башти й садової лопати, заводу і що випускаються на цьому заводі – болтів та гайок. Більше того, до технічних об'єктів можна віднести будь-який з елементів (агрегат, блок, вузол, деталь), з яких складаються машини, апарати, прилади.

Разом із словом і поняттям «технічний об'єкт», широко використовують термін «технічна система». По суті, ці два терміни є синонімами (від грецького слова *synonimos* – тотожний), оскільки виражають одне й те саме поняття, але з різними відтінками при використуванні. Поняття ТО – це більш широке поняття, оскільки технічні системи є лише їх різновидом. Насправді, існують елементарні ТО, що складаються всього лише з одного матеріального (конструктивного) елемента. Наприклад, столова ложка, лита чавунна гантель, пластмасова або металева шайба. Жоден із них ніяк не можна віднести до поняття «технічна система».



**Технічна система** – це сукупність елементів, що впорядковано взаємодіють і мають властивості, які не зводяться до властивостей окремих елементів, призначена для виконання визначених корисних функцій.

Наприклад, автомобіль має властивість пересування твердими дорожніми покриттями, в той самий час жоден із його окремо взятих елементів (кузов, шасі, мотор і т. ін.) такої властивості не має.

Звичайно ж не лише такий складний ТО, як автомобіль, можна назвати технічною системою. Узяти, наприклад, штангу для спортсменів-важкоатлетів. Поза сумнівом, це технічна система, оскільки в її конструкції містяться взаємозв'язані між собою сталева вісь, змінні вагові диски, замки для їх кріплення на осі.

Таким чином, технічна система має чотири ознаки.

**Ознаки технічної системи** можна сформулювати так:

1 Система складається з частин, елементів, тобто має структуру.

2 Система створюється для виконання корисних функцій.

3 Елементи системи зв'язані між собою певним чином, організовані в просторі та часі.

4 Властивості системи не дорівнюють простій сумі властивостей її елементів.

**Коротко ознаками системи називають:** функціональність, цілісність структури, організацію, системність. Відсутність хоча б однієї ознаки не дозволяє вважати об'єкт технічною системою.

Технічні системи – це, власне кажучи, інструменти з двигуном. У технічних системах можна виділити п'ять основних частин:

- 1) робочий орган (РО);
- 2) трансмісію (Тр);
- 3) двигун (Дв);
- 4) орган керування (ОК);
- 5) джерело енергії (ДЕ).

Важливо мати на увазі, що будь-яка технічна система складається з ряду конструктивних елементів (ланок, блоків, вузлів, агрегатів), які називають **підсистемами**.

У той самий час у більшості технічних систем існують і **надсистеми** – технічні об’єкти більш високого конструктивного рівня, до яких вони входять як функціональні елементи.

Технічні системи вдосконалюються, розвиваючись у часі. Розвиток технічних систем описується так званою S-подібною кривою. По осі ординат відкладають основний параметр (показник) системи (ККД, швидкість, потужність і т. д.), по осі абсцис – час. На першому етапі відбуваються зародження системи (крива АВ, рис. 2.1), повільне зростання її основного параметра, вона ніби «набирає силу».

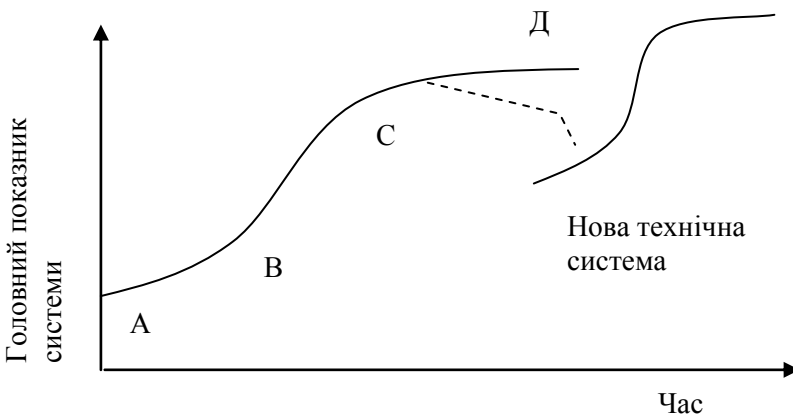


Рисунок 2.1 – Розвиток технічних систем:  
АВ – «дитинство»; ВС – «зрілість»; СД – «старість»

Другий етап (крива ВС) – від початку практичного застосування до вичерпання фізичного принципу, покладеного в основу роботи системи. На цьому етапі розвиток системи відбувається стрімкими темпами. Цей етап характеризується масовим застосуванням технічної системи. Крім поліпшення основного параметра (головної функції), поліпшуються й інші параметри (другорядні функції). На останньому етапі (крива СД)

відбувається поступове уповільнення темпів зростання до повного вичерпання, покладеного в систему фізичного принципу. Після цього система або належить до складу надсистеми і продовжує свій розвиток, або замінюється на нову, більш ефективну, що працює за іншим принципом або довгий час зберігає свої параметри.

### 2.3 Основні закони розвитку технічних систем за Альтшуллером

Аналіз S-подібних кривих для різних технічних систем дозволив Генріху Сауловичу Альтшуллеру в 1979 році сформулювати **основні закони розвитку технічних систем**: статички (що визначають початок життя технічної системи), кінематики (які визначають їх розвиток) і динаміки (які визначають основні тенденції її розвитку сьогодні) технічних систем.

#### **Закони статички технічних систем**

**1 Закон повноти частин системи** стверджує, що необхідними умовами життєздатності системи є наявність і мінімальна здатність основних частин технічної системи. **Тобто технічна система повинна містити в собі двигун, трансмісію, орган керування і робочий орган.**

Таким чином, перший закон **допомагає визначити, чи можна назвати нову систему системою.**

**2 Закон «енергетичної провідності»** системи стверджує, що система життєздатна лише тоді, коли є наскрізний прохід енергії в усіх її частинах – від двигуна через трансмісію до робочого органа. Будь-яка технічна система – це перетворювач енергії.

**3 Закон узгодження ритміки** вимагає узгодженості або свідомої неузгодженості частоти коливань (періодичності роботи) всіх частин технічної системи.

#### **Закони кінематики технічних систем**

**4 Закон збільшення ступеня ідеальності** стверджує, що технічні системи розвиваються в напрямку збільшення ступеня ідеальності.

**5 Закон нерівномірності розвитку частин технічної системи** стверджує, що нерівномірний розвиток частин системи призводить до виникнення технічних суперечностей у системі.

**6 Закон переходу в надсистему** стверджує, що, вичерпавши свої можливості розвитку, система переходить до надсистеми як одна з частин, і подальший розвиток відбувається на новому рівні (наприклад, двигун – система, літак – надсистема).

### **Законо динаміки технічних систем**

**7 Закон динамізації технічних систем** стверджує, що технічні системи повинні переходити до більш гнучкої, швидкозмінної структури і до режиму роботи, пристосованого до змін зовнішнього середовища.

**8 Закон переходу з макрорівня на мікрорівень** стверджує, що системи розвиваються спочатку на макро-, а потім на мікрорівні, тобто замість «заліза» робота здійснюється молекулами, іонами, електронами і т. д.

**9 Закон збільшення ступеня репольності систем** стверджує, що системи розвиваються в напрямку збільшення ступеня репольності: нерепольні системи прагнуть стати репольними, а в репольних системах розвиток відбувається шляхом збільшення кількості зв'язків між елементами, підвищення чутливості елементів, збільшення кількості елементів (реполь – найпростіша модель системи, утворюється від слів «речовина» + «поле»). Наприклад: виріб ( $P_1$ ), інструмент ( $P_2$ ) і енергія поля ( $\Pi$ ).

### **Висновки**

**1 Процес розвитку техніки** – це рівнодійна свідомої людської діяльності, а людина діє відповідно до **об'єктивних законів світу** (навіть якщо й не здогадується про це), тобто розвиток техніки йде **об'єктивно та закономірно**.

**2** Отже, ці закони можна **пізнати** і цілеспрямовано використовувати. Це **аксіома** (постулат, основний принцип, основна ідея), покладена в основу теорії **розвитку технічних систем**.

### Питання для самоперевірки

- 1 Який розвиток знарядь праці в історичному аспекті?
- 2 Що спільного і відмінного між технічним об'єктом і технічною системою?
- 3 Які ознаки технічної системи?
- 4 Які основні частини технічної системи?
- 5 Яким чином розвиваються технічні системи?

## 3 МЕТОДИ ПОШУКУ НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

3.1 Евристика та асоціативні методи пошуку нових технічних рішень

Під терміном «**евристика**» розуміють певну сукупність логічних прийомів і методичних правил теоретичного дослідження та відшукування істини, що використовуються в умовах неповноти початкової інформації і не вимагають чіткої програми керування процесом розв'язання задачі.

**Евристика** – це наука про продуктивне творче мислення. Евристика з'явилася в далекій давнині. Основу науки про мислення заклав давньогрецький філософ Аристотель (IV століття до нової ери). Він створив логіку – науку про способи мислення, що приводять до істини. Евристику створили – Архімед, Геракліт, Сократ та інші давньогрецькі вчені. Пізніше математик Лейбніц запропонував ідею універсальної програми алгоритмічного розв'язання творчих задач. Німецький учений Вольф дав визначення евристики як науки і запропонував ряд правил і методів «мистецтва винахідництва».

Усі ці ідеї залишалися практично не використаними, тому що потреби в них у суспільстві ще не виникло. Інтерес до технічної творчості виник одночасно з розвитком капіталістичного способу виробництва та інженерної діяльності. Були винайдені наукові методи пошуку нових технічних рішень.

У 1926 р. був розроблений **метод каталогу**, що базується на пошуку ідеї розв'язання за допомогою випадкових асоціацій.

Автор цього методу – професор Берлінського університету Ф. Кунце. Для розв’язання задачі цим методом із книги чи каталогу навмання вибираються будь-які слова і «стикуються» з вихідним словом – назвою прототипу. Ідея дуже проста: для того щоб побачити нове в звичній системі, необхідно подумки наділити її властивостями випадково вибраного об’єкта.

Метод каталогу був удосконалений американським винахідником Ч. Вайтінгом у 1953 році і одержав назву – **методу фокальних об’єктів**. Сутність методу полягає в перенесенні ознак випадково вибраних об’єктів на вдосконалюваний об’єкт, ніби лежить у фокусі перенесення.

Його застосовують для пошуку нових, оригінальних варіантів виконання заданого об’єкта, пошуком сумісних із ним додаткових функцій. Принцип методу полягає в перенесенні на заданий об’єкт нових, яскравих, несподіваних властивостей, якостей і у виявленні оригінальних та евристично цінних поєднань.

Послідовність кроків виконання цього методу така:

1 Формулюють мету роботи (визначають вдосконалюваний об’єкт і мету його вдосконалення).

2 Довільно вибирають з пам’яті або каталогів, словників, випадкових книг один чи декілька об’єктів або їх називають учасники роботи.

3 За кожним із випадково вибраних об’єктів складають перелік характеристик, ознак.

4 Ознаки випадково вибраних об’єктів переносять на вдосконалюваний об’єкт.

5 Проводять аналіз одержаних поєднань, при цьому звертають особливу увагу на зовні несумісні, «дикі» поєднання, розвиток яких, зазвичай, приводить до найцікавіших рішень.

6 Оцінюють одержані рішення.

У США метод широко використовують для пошуку нової реклами, оригінального оформлення товарів. У вітчизняній практиці метод набув застосування під час пошуку і вдосконалення об’єктів масового попиту. Метод може бути

корисний і як засіб тренування фантазії, уяви.

Метод фокальних об'єктів удосконалив ризький винахідник Г. Буш у 1974 році і назвав новий метод **методом гірлянд випадковостей та асоціацій**.

Мета – забезпечити пошук розробником розв'язання винахідницьких задач при дефіциті інформації, тобто за неможливості використовувати логічні засоби. У цьому разі одним із засобів є використання ланцюжків (гірлянд) асоціацій і метафор, що дозволяє зробити перехід до нової галузі знань, інтерпретувати ідеї, які по-новому раніше розробляються. Таким чином, своєрідною інформаційною фундацією є асоціативна пам'ять розробника.

Основними етапами методу при вдосконаленні заданого об'єкта такі:

1 Визначення синонімів об'єкта й утворення з них першої гірлянди – гірлянди синонімів.

2 Довільний вибір випадкових об'єктів. Абсолютно довільно, будь-яким способом, наприклад, по пам'яті або з енциклопедичного словника, вибирають декілька назв іменників, які не обов'язково повинні позначати навіть технічні об'єкти. З відібраних слів утворюють другу гірлянду – гірлянду випадкових об'єктів.

3 Складання комбінацій з елементів гірлянди синонімів і гірлянди випадкових об'єктів. Комбінацію складають із двох елементів, з'єднавши послідовно кожний синонім даного об'єкта з кожним випадковим об'єктом.

4 Складання переліку ознак випадкових об'єктів.

5 Генерування ідей шляхом почергового приєднання до технічного об'єкта та його синонімів ознак випадково обраних об'єктів.

6 Генерування гірлянд асоціацій. По черзі з ознак випадкових об'єктів, виявлених на кроці 4, генерують гірлянди асоціацій.

7 Генерування нових ідей. До елементів гірлянди синонімів технічного об'єкта приєднують елементи гірлянд асоціацій.

8 Вибір альтернативи. На цьому кроці вирішують питання: продовжувати генерування гірлянд асоціацій або їх уже достатньо для відбору корисних ідей.

9 Оцінювання й вибір раціональних варіантів ідей.

10 Відбір оптимального варіанта.

Усього розроблено 33 асоціативних методів пошуку технічних рішень. Перелічимо деякі з них:

Асоціативні методи:

- метод каталогу (1926 р., Ф. Кунце);
- метод фокальних об'єктів (1953 р., Ч. Вайтинг);
- метод гірлянд випадковостей та асоціацій (1974 р.,

Г. Буш);

- метод записника Хефеле;
- система «КАРУС»;
- перелік рекомендації Крику;
- правила Трінга і Лейтуейта;
- постановлення нової мети – рекомендації Х. Ясухісо;
- інтегральний метод «Метра».

### 3.2 Мозковий штурм

Мозковий штурм, або мозкова атака, був запропонований американським винахідником А. Осборном у 1939 р. Модифікації методу: групове розв'язання задачі, конференція ідей, масова мозкова атака.

Мозкову атаку доцільно використовувати під час розв'язування будь-яких творчих задач у багатьох галузях техніки, при різних постановках задач і на будь-яких етапах їх розв'язання, різних стадіях розроблення та проектування технічних об'єктів. Важливо, що цей метод можна застосовувати в поєднанні з іншими евристичними методами творчої діяльності.



Наведемо рекомендовану їм послідовність дій під час розв'язування задач.

1 Продумайте всі аспекти проблеми. Найважливіші з них часто такі складні, що для їх виявлення потрібне уявлення.

2 Відберіть підпроблеми для «атаки». Зверніться до списку всіляких аспектів проблеми, ретельно проаналізуйте їх, виділіть декілька цілей.

3 Обдумайте, які дані можуть стати в пригоді. Ми сформулювали проблему, тепер потрібна цілком певна інформація. Але спочатку надихатимемо себе творчістю, щоб придумати різні види даних, які можуть найкраще допомогти.

4 Виберіть найпереважніші джерела інформації. Відповівши на запитання про види необхідної інформації, перейдемо до ухвалення рішення про те, які з джерел потрібно вивчити насамперед.

5 Продумайте всілякі ідеї – «ключі» до проблеми. Ця частина процесу мислення, безумовно, вимагає свободи уявлення, що не супроводжується й не переривається критичним мисленням.

6 Відберіть ідеї, які найімовірніше приводять до рішення. Цей процес пов'язаний в основному з логічним мисленням. Акцент тут потрібно робити на порівняльному аналізі.

7 Продумайте різні шляхи для перевірки. Знову нам потрібне творче мислення. Часто вдається знайти абсолютно нові способи перевірки.

8 Відберіть найгрунтовніші способи перевірки. Ухвалюючи рішення про те, як краще перевіряти, будьте вимогливими й послідовними. Відберемо ті способи, які здаються найпереконливішими.

9 Уявіть собі всі можливі сфери застосування. Навіть якщо наше остаточне рішення підтверджене експериментально, ми повинні мати уявлення про те, що може відбутися в результаті його використання в різних галузях. Наприклад, кожна військова стратегія остаточно формується на підставі уявлення про те, що може зробити ворог.

10 Дайте остаточну відповідь.

Простежується чергування творчих, синтезувальних етапів і аналітичних, розсудливих. Це чергування розширень та звужень пошукового поля властиве усім розвиненим методам пошуку.

Зазвичай висуваються ідеї, що здаються найбільш очевидними. Але якщо проблема мала б очевидне вирішення, воно давно було б знайдене. Потрібні зухвалі, «божевільні» ідеї, що не «лежать на поверхні». Виникає суперечність: критики не повинно бути, щоб фахівці не боялися висувати сміливі ідеї, і критика повинна бути, щоб відсівати неробочі варіанти. Осборн розділив процеси генерації ідей і критики на два етапи. На першому етапі, якщо в процесі мозкового штурму йде генерація ідей, критика заборонена, на другому етапі, якщо йде обговорення висловлених ідей, – критика обов'язкова.

Тому суть методу подальшого пошуку нових ідей складається з двох етапів.

1) генерації ідей;

2) відбору ідей, тобто критики «невідповідних ідей».

У мозковому штурмі беруть участь дві групи кількістю по 5–7 осіб, іноді – більше. Перша група – генератори ідей, схильні до абстрагування та фантазії, друга група – критики з аналітичним складом розуму. Штурм продовжується 20–40 хвилин, обговорення і відбір нових ідей – набагато довше. Звичайно, мозковий штурм дає хороші результати під час вирішення організаційних завдань, гірші – при розв'язуванні технічних задач (особливо якщо потрібно розглянути тисячі варіантів).

Вісім осіб може генерувати 50–60 пропозицій, з яких 1–2 хороші ідеї.

Корисно може бути використаний зворотний мозковий штурм, що не забороняє критику, а навпаки, дозволяє лише критичні зауваження, змушує відшукати якнайбільше недоліків в ідеї, конструкції. Його застосовують, якщо який-небудь вузол, деталь здаються занадто «благополучними», тобто не мають недоліків.

### 3.3 Синектика

Подальшим удосконаленням мозкового штурму є **синектика**, запропонована американським винахідником В. Дж. Гордоном. Роботи в цьому напрямку він розпочав у 1944 р., аналізуючи діяльність однієї винахідницької групи з високою продуктивністю, а потім (в 1952–1959 рр.) запропонував свою методику.

У 1960 р. В. Дж. Гордон організував фірму «Синектикс інкорпорейтед», яка бере на навчання групи фахівців із різних фірм і посилає в них своїх співробітників для участі в розв'язанні технічних, організаційних та інших проблем. У 1965 р. президентом фірми став Дж. М. Прінс, який вніс ряд удосконалень у методику.

Вимоги до учасників роботи (синекторам):

– уміти абстрагуватися від звичайної думки, в думках відвернутися від обстежуваного об'єкта, виділити суть завдання та подолати звичний хід мислення;

– мати схильність до вільних роздумів аж до рівня фантазії;

– уміти зупинити подальший розвиток винайдених ідей і вірити в те, що попереду з'являться кращі;

– доброзичливо сприймати ідеї навіть у тих випадках, коли вони нечітко сформульовані;

– мати цілеспрямованість і тверду віру в успішне вирішення завдання, бути впевненим у своїх здібностях винахідництва та здібностях інших учасників;

– знаходити у звичайному незвичайне і в незвичайному звичайне, вміти бачити в ординарних предметах та явищах щось особливе, використовувати це особливе як початковий пункт для розвитку творчого уявлення.

Слово «синектика» в перекладі з грецької мови означає «сполучення різнорідних елементів». У повному словнику англійської мови подане таке визначення: **«Синектичні групи — групи людей різних спеціальностей, які зустрічаються з**

**метою спроби творчих вирішень проблем шляхом необмеженого тренування уявлення та об'єднання несумісних елементів».**

При використанні синектики формують постійні групи (оптимальний склад 5–7 осіб), до яких входять особи різних спеціальностей, яких навчають винахідництву. Бажано навіть, щоб кожний із них мав кілька різних професій.

Структура сучасного синектичного процесу така:

**1 Формулюють проблему в загальному вигляді.**

Синектори називають цей етап формулюванням «проблеми на початковому етапі» (ППЕ).

**2 Починають аналіз проблеми.**

Цей етап синектори називають формулюванням «проблеми, як її розуміють» (ПЯР).

**3 Генерують ідеї вирішень проблеми в тому її формулюванні, на якому зупинений вибір.**

Синектори використовують чотири види аналогій:

- пряму;
- особисту;
- символічну;
- фантастичну.

**Пряма аналогія** – це аналогія із системами і структурами, що існують у природі й техніці.

**Особиста аналогія (емпатія, суб'єктивна аналогія)** – це уявлення себе на місці вдосконалюваного об'єкта або всередині нього.

Для розвитку особистої аналогії доцільно послідовно використовувати **три прийоми**:

а) опис фактів уявлюваного положення технічного об'єкта від першої особи;

б) опис емоцій і почуттів, приписуваних об'єкту, від першої особи;

в) емпатію, ототожнення себе з технічним об'єктом, вживання в його цілі, функції, труднощі.

**Символічна аналогія** – виявити в звичному парадокс, незрозумілість, суперечність, конфлікт. Власне символічна аналогія – це визначення предмета, що складається з двох слів. Визначення яскраве, несподіване, яке демонструє предмет із незвичайного, цікавого боку.

Згодом застосування символічної аналогії було скорочене до прийому знаходження «назви книги», що характеризує певне ключове поняття так, щоб воно обов'язково містило парадокс.

**Фантастична аналогія** – це уявлення об'єкта у фантастичній, казковій формах.

Наприклад: рюкзак, що не має ваги, парасолька, яка з'являється лише у разі дощу.

Можна поставити запитання: «Як зміниться ваша проблема, якщо перестане діяти тяжіння?».

**4 Далі роблять перенесення (або переміщення) виявлених у процесі генерації нових ідей до ППЕ або ПЯР і виявляють їх можливості.**

**5 Завершальну частину синектичного засідання — розвиток і максимальну конкретизацію ідеї, визнаної найбільш удаюю, – проводять уже спеціальною технічною мовою.**

Повний курс навчання методиці розрахований на 1 рік. Спочатку члени навчальної групи живуть разом і займаються лише синектикою. Потім проводять разом 1 тиждень на місяць, а решту часу працюють на своїх фірмах. Із сьомого місяця й до кінця навчання для членів синектичної групи організують лише зустрічі для вирішення завдань.

### 3.4 Морфологічний аналіз

Прообразом морфологічного методу можна вважати «Арс магна» («Велике мистецтво») Раймундо Луллія. Прилад Луллія: дві окружності по 16 частин дають 256 комбінацій, а 14 окружностей – 70 квадрильйонів комбінацій.

Автор – швейцарський астрофізик Ф. Цвіккі, 1942 р. Він у цей період був притягнутий до участі на ранніх стадіях ракетних досліджень і розробок в американській фірмі «Аероджет інжиніринг корпорейшн». За допомогою методу морфологічного ящика, найбільш розробленого з усіх методів морфологічного аналізу, створених Ф. Цвіккі, вченому вдалося за короткий час одержати значну кількість оригінальних технічних рішень у ракетобудуванні, цим він дуже здивував провідних спеціалістів і керівників фірми. Багато із запропонованих рішень були згодом реалізовані.

У подальшому Ф. Цвіккі створив ще кілька методів: систематичного покриття нуля пошуку, заперечення й конструювання, екстремальних ситуацій, узагальнення. Але всі ці методи можуть розглядатися як доповнення до морфологічного ящика, найбільш універсального й перспективного методу, що базується на морфологічному підході.

Метод виконують у такому порядку:

1 Точно формулюють проблему, що підлягає вирішенню.

2 Формують (виявляють) важливі характеристики (властивості, функції) об'єкта, сукупність яких забезпечує існування та функціонування об'єкта, рішення проблеми.

3 Розкривають можливі варіанти реалізації кожної характеристики (властивості, функції) шляхом складання матриці.

4 Вибирають рішення з морфологічного ящика і визначають їх функціональну цінність.

5 Вибір найбільш раціональних конкретних розв'язків.

Ф. Цвіккі склав ящик, в якому містилося 36 864 типи ракетних двигунів (у 1951 році), а раніше, у 1943 році, він одержав невеликий «ящикок», що містив 576 варіантів двигуна, серед яких виявилися й секретні німецькі літак-снаряд «Фау-1» та ракета «Фау-2».

### **Недоліки методу:**

– велика кількість можливих комбінацій (якщо взяти 10 осей і на кожній по 10 варіантів, то можлива кількість комбінацій становитиме  $10^{10}$ );

– немає механізму для складання переліку всіх можливих варіантів (тобто немає гарантії виходу на найвигідніші економічні рішення);

– немає об'єктивних критеріїв відбору кращих варіантів: пропозиції оцінюють фахівці, і вибирають вони, зрозуміло, те, що підказує їм здоровий глузд (тобто психологічна інерція). Генерування нетривіальних ідей зводиться нанівець тривіальним відбором.

«Сильне» розв'язання може «ховатися» серед мільйонів поганих і взагалі безглузких. Це різко знижує ефективність методу. У разі, якщо система нескладна і кількість комбінацій невелика, цей метод цілком застосовний, особливо коли розв'язок вже є, але його потрібно розгорнути, розглянути можливі варіанти реалізації.

### **3.5 Метод контрольних питань**

Уперше використання методу контрольних питань для пошуку нових ідей та якнайкращих конструкторсько-технологічних рішень було запропоноване і здійснене керівником бюро винахідництва у Кембриджі (Англія) в 1955 р. Тімом Ейлоартом. Подальший розвиток цього методу був віддзеркалений в оригінальному списку контрольних питань А. Осборна, в правилах М. Тринга й Е. Лейтуейта, в переліку питань і порад Д. Пойа та інших авторів.

**Метод контрольних питань** ґрунтується на застосуванні так званих «списків контрольних питань», що є евристики, до складу яких входять навідні питання, вказівки-поради, підказки, часткові роз'яснення. Цей метод набув широкого використання не лише в інженерній практиці і винахідництві, а й у навчальному процесі, оскільки він розвиває

творче мислення, навчає користувачів, ставлячи перед ними наперед сформульовані питання, на які вони послідовно і з вичерпною повнотою повинні давати відповіді.

Найбільш великий і універсальний запитальник радянського винахідника й дослідника у сфері технічної творчості **Г. Я. Буша**, названий ще запитальником уявного експерименту винахідника.

У ньому, наприклад, є такі запитання:

– як вирішити завдання, якщо не зважати на витрати, якщо від її розв'язку залежить життя людини, якщо технічний об'єкт буде використаний як іграшка або якщо об'єкт є навчальним посібником, експонатом?

– чи можливо відкинуті в минулому принципи вирішення використовувати сьогодні, зважаючи на сучасні технічні можливості?

– чи можна передбачити результат рішення завдання через 10–15 років з урахуванням ростання суспільних потреб?

– як виглядає перелік усіх основних недоліків відомих рішень завдання? Яким повинне бути рішення, якщо усунути недоліки?

### **Висновки**

1 Методи психологічної активізації творчої діяльності прості, їх можна швидко опанувати і використовувати на практиці, але користі від них небагато. Неefективність методів полягає **в ігноруванні законів розвитку техніки.**

2 Працювати навіть за посиленням методом проб і помилок – це те саме, що при лікуванні хворого давати йому підряд усі ліки, що зберігаються в аптеці. Там, напевно, є потрібне, але поки його знайдуть, хворий може прийняти щонебудь таке, після чого й лікування стане непотрібним...

### **Питання для самоперевірки**

1 Що таке евристика? Історія її виникнення.

2 Які ви знаєте наукові методи пошуку нових технічних рішень?

3 Що таке мозковий штурм і які правила його



застосування?

4 Які методи аналогій існують у синектиці?

5 Що таке морфологічний аналіз, його переваги і недоліки?

6 Що таке метод контрольних питань і які списки контрольних питань вам відомі?

## 4 ТЕОРІЯ ТА АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ВИНАХІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧ

### 4.1 Теорія розв'язування винахідницьких задач

Використовуючи все найкраще у відомих методах пошуку нових технічних рішень, наш співвітчизник, інженер, винахідник, відомий письменник-фантаст Генріх Саулович **Альтшуллер** разом зі своїм другом Р. Б. Шапіро в 1946 році почали розроблення теорії, що одержала назву **теорії розв'язування винахідницьких задач (ТРВЗ)**.

Автори проголосили нові на ті часи положення, що техніка розвивається не випадковим чином, а відповідно до своїх внутрішніх законів, що ці закони можна виявити і на їх основі свідомо вдосконалювати технічні системи.

І, нарешті, розв'язання будь-якої задачі винахідництва – це результат подолання суперечності.

**Суперечність** – прояв невідповідності між різними вимогами, які висуває людина до системи, та обмеженнями, що накладаються на неї законами природи, соціальними, юридичними й економічними законами, рівнем розвитку науки і техніки, конкретними умовами застосування і т. п.

**Основне положення теорії розв'язування винахідницьких задач свідчить: технічні системи розвиваються за об'єктивними законами, які можна пізнати.** Ці закони виявляються шляхом вивчення великих обсягів науково-технічної інформації та історії інженерної діяльності. У рамках ТРВЗ проаналізовані й відібрані найбільш доцільні

підходи до пошуку нових технічних рішень, акумульований досвід сотень тисяч винахідників різних країн.

ТРВЗ – це нова наука, спрямована на розроблення і застосування нових ефективних методів розв’язування творчих задач, генерації нових ідей і рішень у техніку та інші галузі людської діяльності.

### **Основні функції ТРВЗ:**

1 Розв’язування творчих і винахідницьких задач будь-якої складності та спрямованості без аналізу всіх варіантів.

2 Розв’язування наукових і дослідних задач.

3 Виявлення проблем, труднощів і задач при роботі технічних систем і при їх розвитку.

4 Виявлення та усунення причин браку й аварійних ситуацій.

5 Максимально ефективне використання ресурсів природи і техніки для вирішення багатьох проблем.

6 Прогнозування розвитку технічних систем та одержання перспективних рішень (зокрема, й принципово нових).

7 Об’єктивне оцінювання рішень.

8 Систематизування знань у будь-яких галузях діяльності, що дозволяє значно ефективніше використовувати ці знання і на принципово новій основі розвивати конкретні науки.

9 Розвиток творчого уявлення і мислення.

10 Розвиток якостей творчої особистості.

11 Розвиток творчих колективів.

На базі виявлених законів розвитку технічних систем у ТРВЗ розроблені **конкретні інструменти пошуку нових технічних рішень:**

1) алгоритм розв’язування винахідницьких задач (АРВЗ);

2) типові прийоми усунення (розв’язання) суперечностей;

3) методологія прогнозування розвитку технічних систем;

4) методологія прогнозування і запобігання (недопущення) різним небажаним явищам (диверсійний аналіз).

### **Переваги ТРВЗ:**

1 Базою теорії є об’єктивні закони розвитку техніки.

2 Наявність різноманітних інструментів для різних типів задач.

3 Теорія відрізняється пристосованістю до різних типів задач.

4 Практична відпрацьованість теорії. Компанії, що спеціалізуються на застосуванні та розвитку ТРВЗ, працюють у США, Канаді, Німеччині, Англії, Франції, Швеції, Швейцарії, Голландії, Фінляндії, Італії, Ізраїлі, Чехії, Японії, Південній Кореї, Росії та інших країнах. Курс ТРВЗ викладається в ряді університетів Америки, Канади, Франції, Англії, Німеччини, Швейцарії, Ізраїлю, Японії, Росії.

### **Недоліки ТРВЗ:**

1 Трудомісткість вивчення, необхідність постійних тренувань. Для оволодіння ТРВЗ необхідно докласти більше зусиль, ніж при вивченні будь-якої іншої науки. Ще більшої праці вимагає доведення застосування ТРВЗ до звички. Це вимагає систематичного її використання.

2 ТРВЗ допомагає розв'язувати поки що не всі класи задач.

3 Теорія не доводить ідею до конструктивного розв'язання (опрацювання). Для розв'язування задач ідея відповіді формулюється в загальному вигляді, наприклад: «нанести на поверхню деталі тонкий шар інертної речовини», «використовувати замість монолітного інструменту порошок». Подальші проблеми типу «яка саме речовина стійка у даному конкретному середовищі?», «як подрібнити речовину в порошок до потрібного стану?» перебувають поза компетенцією ТРВЗ і повинні вирішуватися суто інженерними методами.

Для ефективної роботи винахідника в ТРВЗ розроблене **спеціальне інформаційне забезпечення:**

1) таблиці та показники винахідницького застосування фізичних, хімічних, геометричних, біологічних і математичних ефектів і явищ;

2) набір психологічних операторів, що знижують психологічну інерцію, а також система вправ із розвитку і тренування творчого мислення.

Сьогодні розроблені комп'ютерні програми, що базуються на ТРВЗ, які забезпечують інтелектуальну допомогу інженерам і винахідникам під час розв'язування технічних задач, а також для виявлення та прогнозування аварійних ситуацій і небажаних явищ. На рисунку 4.1 показана структурна схема ТРВЗ.

#### 4.2 Алгоритм розв'язування винахідницьких задач

Спираючись на основні положення ТРВЗ, Альтшуллер у 1959 р. почав розробляти методику програмного розв'язання технічних задач, яку він у 1965 році назвав **АРВЗ (алгоритм розв'язування винахідницьких задач)**.

Для створення АРВЗ було проаналізовано приблизно 200 тисяч винаходів вищих рівнів.

АРВЗ ґрунтується на навчанні про **технічні суперечності**. Процес розв'язання технічної задачі розглядається в АРВЗ як послідовність операцій із виявлення, уточнення та подолання технічних суперечностей і прагнення одержати ідеальний кінцевий результат (ІКР).

АРВЗ – це складний інструмент для розв'язання **нестандартних задач**.

Вдосконалюваний технічний об'єкт розглядається як цілісна система, що складається з підсистем та одночасно є частиною надсистеми. Перед розв'язуванням прямої задачі роблять пошук задач у підсистемі (обхідні задачі) і вибирають найбільш прийнятний шлях.

Стратегія розв'язування винахідницької задачі за АРВЗ подана на рисунку 4.2.



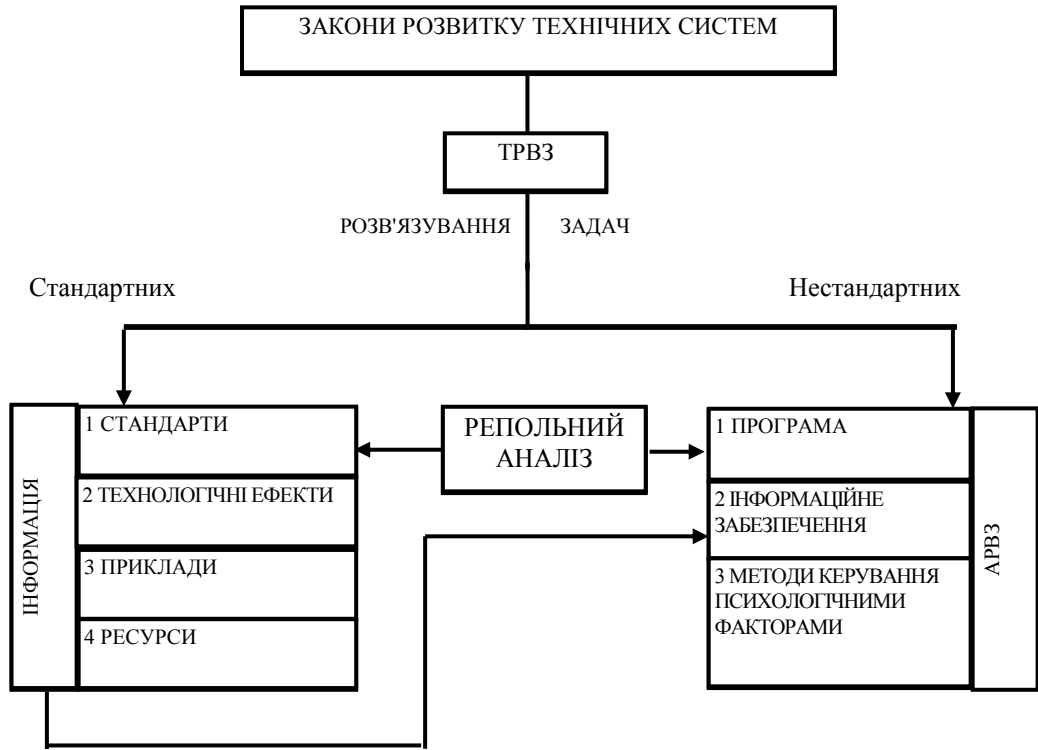


Рисунок 4.1 – Структурна схема ТРВЗ



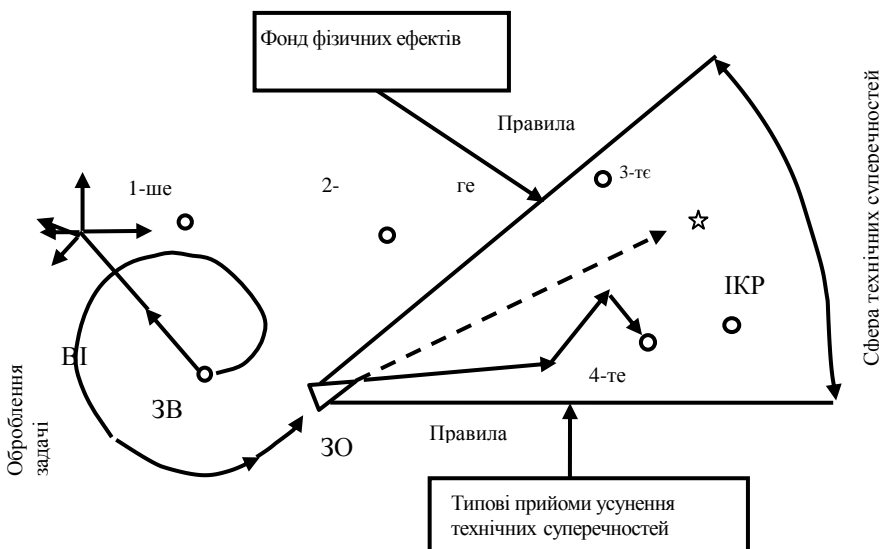


Рисунок 4.2 – Схема розв’язування винахідницької задачі за АРВЗ: ЗВ – вихідна задача; ВІ – вектор психологічної інерції; ЗО – опрацьована задача; ІКР – ідеальний кінцевий результат.

1 Формулюють вихідну задачу (ЗВ) у загальному вигляді.

2 Опрацьовують і уточнюють її з огляду на дію вектора психологічної інерції (ВІ) й технічні рішення в даній та інших сферах. АРВЗ передбачає операції щодо управління психологічними факторами. Основне призначення цих операцій – гасити психологічну інерцію та стимулювати уявлення. Враховують наявні ресурси, які можна використовувати під час розв’язуванні задачі: ресурси простору, часу, речовини і полів.

Сам термін «речовинно-польові ресурси» вперше виник в тексті АРІЗ-85В. Проте дуже швидко було зрозуміло, що поняття «речовинно-польові ресурси» (РПР) – одне з фундаментальних понять ТРВЗ.

3 Викладають умови задачі, що складаються з перелічення елементів технічної системи і небажаних ефектів, вироблених одним з елементів (опрацьована задача). Переходять



від розпливчастої винахідницької ситуації до чітко побудованої та гранично простої схеми (моделі) задачі.

4 Формують за визначеною схемою ІКР. Він є орієнтиром (маяком), у напрямку якого відбувається процес розв'язування задачі (при формулюванні ІКР не потрібно замислюватися над тим, як він буде досягнутий).

5 При порівнянні ІКР з реальним технічним об'єктом виявляється технічна суперечність, а потім її причина – фізична суперечність, яка виникає через те, що намагаються поліпшити один параметр і при цьому неминуче погіршується інший. Наприклад, збільшення міцності конструкції призводить до збільшення її маси.

Виявлені фізичні суперечності усуваються за допомогою відносно невеликого розгляду варіантів. Наприклад, розділити суперечності у просторі чи за часом. Саме вирішення фізичних суперечностей необхідно і досить для усунення конфлікту, через який виникла задача.

В АРВЗ-85 – 40 кроків і 71 правило.

За минулий час із дня першої публікації за АРВЗ з його використанням були розв'язані тисячі задач, багато з яких довгий час вважалися безнадійними і підлягали лише АРВЗ.

#### 4.3 Порівняння різних методів пошуку нових технічних рішень

Аналіз творчого процесу пошуку нових технічних рішень засвідчує, що коли людина зіштовхується зі складною технічною проблемою, то вона починає подумки перебирати різні варіанти, випробовує, помиляється і, нарешті, знаходить нове рішення. Цей метод і є методом розгляду всіх варіантів, чи, як його ще називають, методом проб і помилок – це найдавніший спосіб пошуку нового технічного рішення. Цим методом створювали перші кремнієві ножі, сокири, гармати, вітряки, будинки, кораблі та ін.

Із розвитком техніки метод проб і помилок ставав усе менш придатним. Наприклад, неможливо побудувати тисячу парових машин різних конструкцій, щоб вибрати одну найкращу. І тоді з'явилися наукові методи пошуку нових технічних розв'язань, тому що методом проб і помилок можна розв'язувати задачі, якщо для одержання одного розв'язку досить десяти – двадцяти варіантів, тобто для простих задач, а для розв'язання складних задач вимагаються сотні й тисячі варіантів.

На рисунку 4.3 наведена схема порівняння потужності різних методів і складності їх освоєння.

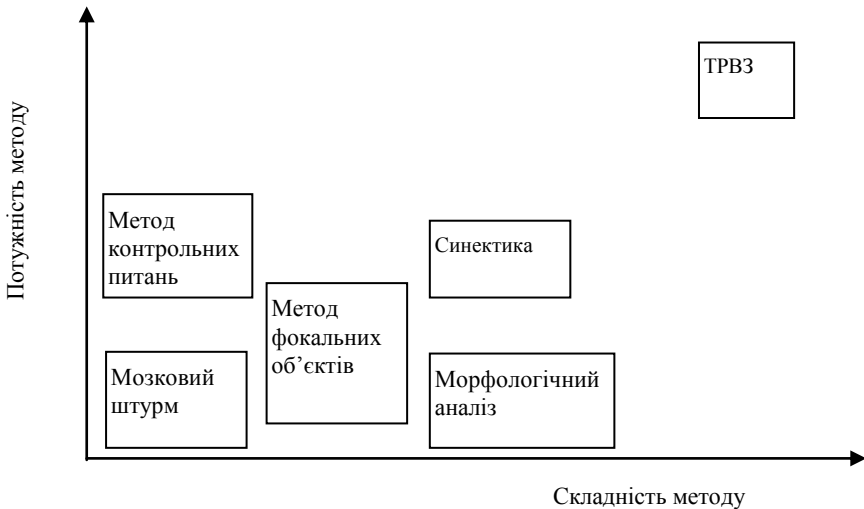


Рисунок 4.3 – Порівняння різних методів пошуку нових технічних рішень

### Висновки

1 Виявлено, що техніка розвивається не випадковим чином, а відповідно до своїх внутрішніх законів, що ці закони можна виявити і на їх основі свідомо вдосконалювати технічні системи.

2 Розв'язання будь-якої задачі винахідництва – це результат подолання суперечності.

3 Розроблена **теорія** розв'язування винахідницьких задач.

4 Для її практичного застосування розроблений алгоритм розв'язування винахідницьких задач, що дає можливість розв'язувати нестандартні задачі.

5 Серед методів пошуку нових технічних рішень ТРВЗ – найбільш потужний метод.

### **Питання для самоперевірки**

1 Яке положення покладене в теорію розв'язання винахідницьких задач?

2 Які функції виконує ТРВЗ?

3 Які існують інструменти пошуку нових технічних рішень у ТРВЗ?

4 Яке інструментальне забезпечення ТРВЗ?

5 Які існують переваги і недоліки ТРВЗ?

6 Що таке АРВЗ і на якому навчанні він ґрунтується?

7 Стратегія розв'язання винахідницьких задач за АРВЗ.

8 Зробіть аналіз методів пошуку нових технічних рішень за їх потужністю й складністю.

## **5 ПРИНЦИПИ ВИРІШЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СУПЕРЕЧНОСТЕЙ**

5.1 Фізичні, хімічні, математичні ефекти і фонд технічних рішень

**Фізична операція** – ця певна дія з перетворення заданих вхідних потоків речовини, енергії, інформації або якихось інших чинників на вихідні потоки речовини, енергії, інформації (інших чинників). При цьому кількість вхідних і вихідних потоків може бути різною й довільною.

**Фізичний ефект** – результат взаємодії двох чи більше об'єктів, що може бути вимірний і повторно одержаний за тотожності умов.

### **Фізико-технічний ефект:**

- різне використання фізичних законів, закономірностей або наслідків, що впливають з них;
- фізичні явища та ефекти, що можуть бути використані в технічних пристроях.

Важливо відзначити, що в літературі слово «фізичний» у понятті фізико-технічних ефектів має розширене значення. Визначення охоплює всі відомі науці ефекти не лише у сфері «чистої фізики», а й галузі хімії, біології, геометрії, інформатики та інших.

Фізичні, хімічні, біологічні й геометричні (математичні) явища та ефекти використовуються людством із часу виникнення людського суспільства. Саме вони покладені в основу конкретних технічних рішень – від кам'яної сокири до сучасної ЕОМ.

Людству відомо близько 5 тисяч лише фізичних явищ та ефектів, у ЗВО вивчають близько 150 фізичних ефектів (приблизно 3%). Обсяг знань про різні ефекти та явища визначає творчий потенціал інженера, його здатність до нових технічних рішень. Тому з давніх часів учені намагалися пізнати закони фізики, хімії, геометрії.

У 1969 р. був складений «Показчик застосування фізичних ефектів і явищ при розв'язуванні винахідницьких задач», використовуваний як інформаційний масив для узагальненого евристичного алгоритму з орієнтацією на машинний пошук. І до сьогодні показчик удосконалюють і доповнюють.

Структуру різних фізичних ефектів можна подати у вигляді схем (рис. 5.1), багато в чому аналогічних і які мають вхідні дії, фізичний об'єкт і результати (власне, ефекти).

**Фізичний об'єкт** – широкий клас матеріальних тіл (тверді, рідкі, газоподібні речовини та їх сполуки, а також елементарні частинки, молекули, атоми, іони і т. д.).

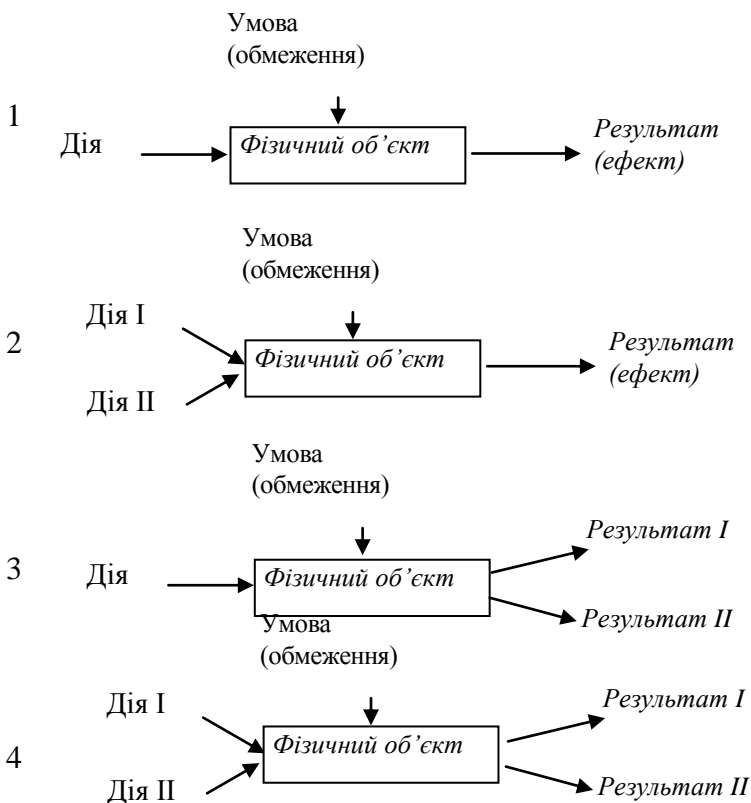


Рисунок 5.1 – Структура різних фізичних ефектів

Під дією розуміють поля (магнітне, електричне, гравітаційне, теплове, силове та ін.), а також різного роду зміни, наприклад, вологості, швидкості, концентрації.

**Результат (ефект)** – це електричний струм, рух, тепло і т.ін. Взаємозв'язок ефекту та дії зазвичай може бути виражений математичною формулою.

**Умови (обмеження)** – «перешкоди», що заважають реалізації ефекту.

На основі фізичних, хімічних і геометричних ефектів та явищ виконують технічні рішення. Узагальнення таких рішень

утворює **фонд технічних рішень**, під яким розуміють конкретні приклади використання ефектів і явищ.

Фізико-технічний ефект називають **зв'язаним**, якщо за наявності однієї вхідної фізичної дії маємо кілька незалежних результатів. Якщо на вході має місце декілька вхідних дій, а на виході всього один результат, то такий фізико-технічний ефект називають складним.

Фонд містить більше ніж 700 ефектів, оформлений у вигляді каталогу і має довідково-пошуковий апарат як за типами дії, так і за результатами (ефектами).

Фонд технічних рішень, що створений людством, величезний, але доступний для кожного інженера, оскільки нові технічні рішення постійно публікуються в різних країнах у бюлетенях винаходів, реферативних журналах і книгах. Цю інформацію інженер використовує для аналізу та вибору задач, пошуку й синтезу нових технічних рішень.

У винахідницькій практиці добре зарекомендували себе особисті фонди технічних рішень, картотеки патентів, науково-технічних статей і монографій. Створення й постійне поповнення картотеки – це систематичний перегляд та аналізування багатьох джерел інформації. Самостійне поповнення фонду – ефективний шлях підвищення творчого потенціалу та кваліфікації інженера.

## 5.2 Евристичні прийоми вирішення технічних суперечностей

Виявити і скласти переліки типових евристичних прийомів розв'язання технічних задач намагалися давно. Німецький учений Х. Вольф запропонував ряд правил і методів розв'язування винахідницьких задач. Були й інші спроби, але вони мали обмежений характер, зазвичай не перебільшуючи і десятки прийомів. Найбільш повним на даний час вважається **фонд прийомів узагальненого евристичного алгоритму**, створеного в Марійському політехнічному інституті в 1976 р. (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Групи евристичних прийомів узагальненого евристичного алгоритму

Найменування групи	Номер групи	Кількість прийомів	Кількість пошукових процедур
Кількісні зміни	1	21	121
Перетворення:			
– форми;	2	26	68
– у просторі;	3	40	65
– за часом;	4	17	46
– руху;	5	23	43
– матеріалу;	6	14	21
– шляхом виключення;	7	20	29
– шляхом додавання;	8	33	66
– шляхом заміни;	9	41	83
– шляхом диференціації;	10	49	74
– шляхом інтеграції;	11	34	53
– шляхом профілактичних заходів;	12	16	23
– шляхом використання резервів;	13	24	35
– за аналогією.	14	23	42
Комбінування та ін.	15	39	57
Разом		420	826

Цей алгоритм має багато прийомів, наявних у відомих методах пошуку нових технічних рішень, зокрема: у переліках контрольних питань і добірках різних авторів; у спеціальній літературі з конструювання; в публікаціях винахідників, які пишуть про свою роботу; в картотеках і рукописних матеріалах окремих фахівців.

Фонд поділений на 15 груп, містить 420 евристичних прийомів і 826 пошукових процедур. Наприклад, прийом № 1 із групи 1. Змінити в об'єкті такі параметри: розміри, довжину,

площу, обсяг, вагу, швидкість, температуру, напрямок, час впливу, служби і процесу, довжину хвилі, частоту коливань, надійність, міцність, точність, концентрацію, консистенцію, ступінь гнучкості, прозорості, освітленості та звучання, вартість, показник якості, інші параметри об'єкта. Експертиза виявила, що цей фонд має близько 50 ознак новизни технічних рішень.

Під час аналізування 900 розв'язаних конструкторсько-винахідницьких задач установлено, що 80 випадково взятих прийомів дозволяє розв'язати 80 % цих задач, а спеціально підібрані ще 6 прийомів збільшили таку ймовірність до 96 %. Це свідчення високої повноти зазначеного фонду.

### 5.3 Типові прийоми АРВЗ вирішення (усунення) технічних суперечностей

Радянський винахідник Г. С. Альтшуллер у середині 50-х років почав розроблення алгоритму розв'язування винахідницьких задач (АРВЗ). До АРВЗ входять прийоми, які автор назвав – **типовими прийомами усунення технічних суперечностей**, що дозволяють знайти нове технічне рішення, і таблиці, які дозволяють знаходити потрібний прийом для подолання тих чи інших технічних суперечностей. Всього прийомів налічується 40.

#### **Методи отримання прийомів:**

1 Було проаналізовано більше ніж 40 тисяч винаходів не нижче другого рівня.

2 Якщо прийом спрацьовував 80–100 разів, його заносили до переліку.

3 Для організації переліку використовували спеціальну таблицю. Таблиця охоплює приблизно 1 500 вирішених технічних суперечностей, що найбільше спостерігаються на практиці.

4 Типові прийоми були поділені на чотири групи:

- одиночні (наприклад «подрібнення», принцип «місцевої якості» і т. д.):



- комбіновані, що містять у собі прийом-антиприйом (принцип часткової чи надлишкової дії, принцип відкидання і регенерації частин і т. д.);

- деякі фізичні ефекти, що використовують теплове розширення, фазовий перехід і т. ін.;

- використання деяких речовин (сильні окиснювачі).

5 Назви для прийомів (принципів) вибрані простими й образними, що відбивають їх зміст, це сприяє їх швидкому запам'ятовуванню.

Образно кажучи, типові прийоми – це **універсальні коди, або ключі**, за допомогою яких можна розкодувати й відкрити складні та хитромудрі замки на входах сховищ розв'язань творчих задач.

Алгоритмічний підхід до вибору типових прийомів розв'язання технічних суперечностей передбачає виконання ряду пошукових операцій за наперед розробленим алгоритмом (правилом). Такий алгоритмічний підхід і закладений в АРВЗ.

Прийоми зазвичай **готових розв'язків не дають**. Тому не поспішайте, змініть формулювання вихідної технічної суперечності і вийдіть на інші набори прийомів.

Перелік прийомів:

- 1 Принцип подрібнення.
- 2 Принцип винесення.
- 3 Принцип місцевої якості.
- 4 Принцип асиметрії.
- 5 Принцип об'єднання.
- 6 Принцип універсальності.
- 7 Принцип «матрійки».
- 8 Принцип антиваги.
- 9 Принцип попередньої антидії.
- 10 Принцип попередньої дії.
- 11 Принцип «заздалегідь підкладеної подушки».
- 12 Принцип еквіпотенційності.
- 13 Принцип «навпаки».
- 14 Принцип сфероїдальності.

- 15 Принцип динамічності.
  - 16 Принцип часткової чи надлишкової дії.
  - 17 Принцип переходу в інший вимір.
  - 18 Принцип використання механічних коливань.
  - 19 Принцип періодичної дії.
  - 20 Принцип безперервності корисної дії.
  - 21 Принцип проскакування.
  - 22 Принцип «повернути шкоду на користь».
  - 23 Принцип зворотного зв'язку.
  - 24 Принцип «посередника».
  - 25 Принцип самообслуговування.
  - 26 Принцип копіювання.
  - 27 Принцип заміни дорогої довговічності на дешеву недовговічність.
  - 28 Принцип заміни механічної схеми.
  - 29 Принцип використання пневмо- і гідроконструкцій.
  - 30 Принцип використання гнучких оболонок і тонких плівок.
  - 31 Принцип застосування пористих матеріалів.
  - 32 Принцип зміни фарбування.
  - 33 Принцип однорідності.
  - 34 Принцип відкидання і регенерації частин.
  - 35 Принцип зміни фізико-хімічних параметрів об'єкта.
  - 36 Принцип використання фазових переходів.
  - 37 Принцип використання теплого розширення.
  - 38 Принцип використання сильних окиснювачів.
  - 39 Принцип зміни інертного середовища.
  - 40 Принцип використання композиційних матеріалів.
- Спроби виявлення нових прийомів продовжуються, однак виявилось, що винаходи високого рівня виявляються в результаті використання не одного, а відразу декількох прийомів чи в поєднанні з фізичними ефектами. Тому виникли **стандарти**.

Вивчення подібних комплексів прийомів із фізичними ефектами привело до створення **репольного аналізу** – мови технічних систем.

### **Висновки**

1 Фізичні ефекти і створений на їх основі фонд технічних рішень є **потужним інструментом інженера**.

2 Кожний інженер, який бажає досягти значних успіхів у своїй справі **повинен скласти особисті картотеки**, що повинні вміщувати фонди технічних рішень, картотеки патентів, науково-технічних статей і монографій тощо.

3 Таблиця і типові прийоми усунення технічних суперечностей нададуть допомогу інженерові **під час вирішення будь-якої складності технічних завдань**.

### **Питання для самоперевірки**

1 Поясніть поняття: фізична операція, фізичний ефект, фізико-технічний ефект.

2 Яким чином різні фізичні ефекти можна подати у вигляді схем?

3 Для чого створений фонд технічних рішень?

4 Для чого створений фонд прийомів узагальненого евристичного алгоритму і яка його структура?

5 Яким чином отримані типові прийоми усунення технічних суперечностей?

## **6 РЕЧОВИННО-ПОЛЬОВИЙ АНАЛІЗ**

### **6.1 Основні визначення речовинно-польового аналізу**

**Техніка** – це сукупність механізмів і машин, а також систем та засобів керування, видобування, збереження, перероблення речовини, енергії та інформації. Таким чином, техніка взаємодіє з матеріальними об'єктами – речовинами чи полями.

**Речовина** – це сукупність дискретних утворень, що мають масу спокою (атоми, молекули і те, що з них побудоване).

Речовина може бути в твердому, рідкому, газоподібному і плазмовому станах.

**Поле** – це система з нескінченною кількістю ступенів вільності, що характеризується безперервністю і має нульову масу спокою (електромагнітне, гравітаційне, ядерне, хвильове чи квантове і т. д.).

На субатомному рівні, тобто на рівні елементарних частинок, розходження речовини і поля стає відносним. Поля втрачають суто неперервний характер: їм відповідають дискретні утворення – кванти (фотони, гравітони). А елементарні частинки, з яких складається речовина (протони, нейтрони, електрони, мезони і т. д.), є квантами відповідних нуклонних, мезонних та інших полів, втрачаючи свій суто дискретний характер.

Крім того, розрізняють векторні та скалярні (математичні) поля. У векторних полях у кожній точці задана векторна величина, в скалярних полях – скалярна. З поняттями векторного поля і скалярного поля пов'язано багато фізичних явищ і процесів. Приклад векторних полів – поле швидкостей частинок рідини чи газу, поле напруження і деформацій у якому-небудь тілі і т. д. Приклад скалярних полів – температурне поле нагрітого тіла, поле щільності матеріалу.

Оскільки всі вищерозглянуті вище поняття відносять або до взаємодії, або до характеристики властивостей енергетичного стану матеріальних частинок, вони розуміються у більш загальному збірному змісті поля.

Таким чином, матеріальний світ, зокрема й технічні об'єкти, можна розглядати як сукупність систем, що складаються з речовин, які взаємодіють із полем чи стан яких визначається полем. Репольний аналіз запропонував радянський винахідник Г. С. Альтшуллер.

## 6.2 Структурні формули реполів

За аналогією до геометричних фігур будь-яку технічну (матеріальну) систему можна подати у вигляді сукупності

трикомпонентних систем, кожна з яких складається з **речовини Р**, **поля П** і **середовища С** (середовище також може бути або речовиною, або полем). Така «елементарна» матеріальна система називається речовинно-польовою системою або реполем.

**Реполь** – це модель мінімальної робочої технічної керованої системи.

Умовно реполь зображують графічно у вигляді структурних формул. При цьому речовини (Р) записують у рядок, а поля (П) – зверху і знизу, щоб наочно зобразити дії декількох полів на одну речовину (рис. 6.1).

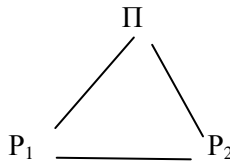


Рисунок 6.1 – Структурна формула реполя

Розглянемо кілька прикладів, які можна подати однаковою структурною формулою у вигляді, показаному на рис. 6.2:

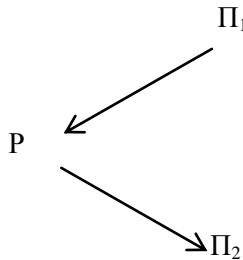


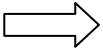
Рисунок 6.2 – Графічний речовинно-польовий запис задачі

а) ультрафіолетове випромінювання (поле П<sub>1</sub>) впливає на люмінофор (речовина Р) – виникає видиме світло (поле П<sub>2</sub>);

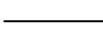
б) електричний розряд (П<sub>1</sub>) у рідині (Р) створює високий тиск (П<sub>2</sub>);

в) звук (акустичне поле  $\Pi_1$ ) впливає на п'єзокристал (Р) – виникає змінне електричне поле.

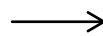
Для записування репольних систем використовують такі позначення:



перехід від умови задачі (дано) до результату (одержане);



необхідна дія чи взаємодія;



напрямок дії чи взаємодії;



небажана дія чи взаємодія.

Записуючи умови задачі в репольній формі, ми відкидаємо все неістотне, виділяючи суть (**будуємо модель задачі**): що дано (поля, речовини, дії), що потрібно змінити чи ввести. Репольний запис дозволяє виявляти причини виникнення задачі, тобто «хвороби» технічної системи, наприклад недобудованість реполя. Тому репольний аналіз не лише дає зручну символіку для записування винахідницької ситуації, а й є інструментом проникнення в глибинну сутність задачі для відшукування найбільш ефективних шляхів перетворення технічних систем.

Відкидаючи все випадкове й неістотне, репольні формули дають уявлення про суть перетворень (синтез, розвиток) технічних систем, дозволяють записати на єдиній технічній мові хід рішення будь-якого винахідницького завдання. Тому аналіз матеріально-польових структур у тих частинах технічних систем, де виникають суперечності при їх перетворенні, називають **речовинно-польовим (репольним) аналізом**.

Репольний аналіз пропонує загальну формулу, що вказує **напрямок вирішення завдання**.

Репольний аналіз привів до своїх принципів класифікації завдань. Скільки елементів (речовин, полів) у моделі завдання? Які це елементи (поля або речовини)? Чи можна вводити додаткові елементи? Чи ставиться завдання до вимірювання

(потрібно поле на виході) або до зміни об'єкта (потрібно поле на вході)? Дивні на перший погляд принципи. Але адже не здається нам дивною класифікація хімічних елементів залежно від кількості електронів на зовнішній електронній оболонці атомів.

### 6.3 Основні правила перетворення речовинно-польових систем

Виявлено кілька елементарних правил перетворення речовинно-польових систем під час розв'язування технічних задач.

**1 Добудовування реполя.** Якщо за умовами задачі задана нерепольна система – один елемент (Р чи П) чи неповна репольна система (два елементи Р і П), то для розв'язування задачі необхідно добудувати систему до повного реполя (рис. 6.3).

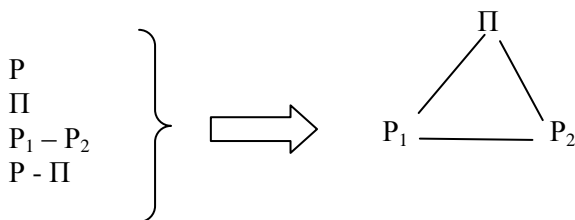


Рисунок 6.3 – Добудовування реполя

**2 Перехід до феромагнітного реполя (феполя).** Репольні системи можна переводити на системи фепольні, тобто на системи з магнітним полем  $\Pi_m$  і феромагнітною речовиною ( $P_\phi$ ). Це правило виконується після реалізації правила 1.

Якщо в тій частині технічної системи, де виникає конфлікт, є речовина, що має магнітні властивості, то їх обов'язково можна залучити до виконання корисної функції. Якщо таких речовин немає і відсутня заборона на їх уведення, то речовини потрібно ввести (рис. 6.4).

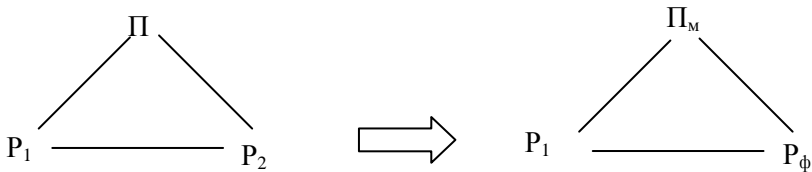


Рисунок 6.4 – Перехід до феромагнітного реполя

Кілька прикладів на використання правила 2:

– пастка для заліза при готуванні кормів із харчових відходів;

– спосіб розпушування ґрунту без ушкодження рослин: задалегідь закладають шматки сталевого дроту і витягають за допомогою магніту;

– фільтера для протягування дроту зроблена з феромагнітного порошку, а не з дорогих твердосплавних матеріалів. Переваги: добре виділяється надлишок тепла, збільшується ступінь обтиснення дроту, можна одержати отвір будь-якої форми.

**3 Руйнування реполя.** Щоб зруйнувати непотрібний чи шкідливий реполь, між двома наявними речовинами P<sub>1</sub> і P<sub>2</sub> вводять третю, яка є переважно видозміною однієї з двох P<sub>1</sub> і P<sub>2</sub> або обох разом чи модифікацією зовнішнього середовища (продуктом його взаємодії з P<sub>1</sub> чи P<sub>2</sub>) (див. рис. 6.5).

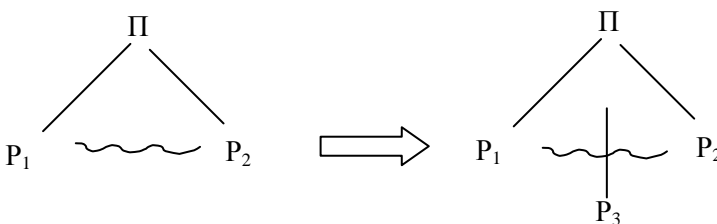


Рисунок 6.5 – Руйнування реполя

У ТРВЗ поняття «модифікація» розуміють досить широко – це може бути якийсь похідний ресурс, отриманий із наявних речовин чи (іноді) сторонньої речовини, який має властивості,



близькі до властивостей наявних речовин, що узгоджується з ними. Наприклад, модифікації води: лід чи пара, кисень і водень, що виділяються із солі, суміші з газом, твердим тілом чи іншою рідиною (аерозолі, піни, емульсії, суспензії), шар турбулентної води на ламінарному потоці).

**4 перехід до ланцюгового реполя.** Елемент  $P_2$  репольної системи може (має тенденцію) розвиватися як самостійний реполь (рис. 6.6).

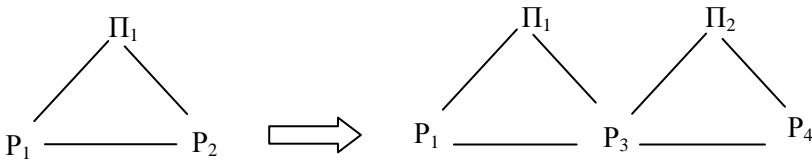


Рисунок 6.6 – перехід до ланцюгового реполя

У свою чергу,  $P_4$  може утворити новий реполь, що складається з  $P_5, P_6, P_3$  і т. д. Такі реполі називають ланцюговими.

**5 виявлення фізичних ефектів.** Якщо даний реполь з одним полем  $\Pi_1$ , а на виході необхідно одержати поле  $\Pi_2$ , назву потрібного фізичного ефекту можна визначити, з'єднавши назву полів  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  (рис. 6.6).

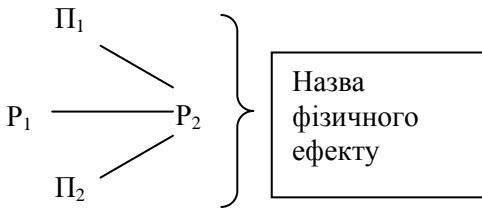


Рисунок 6.6 – виявлення фізичних ефектів

**Висновки**

1 Репольний аналіз – речовинно-польовий аналіз, розроблений у рамках ТРВЗ.

2 Репольний аналіз – метод модельного дослідження технічних систем із використанням найпростіших моделей – реполей.

3 Реполь – мінімальна структурна модель працездатної технічної системи, що включає дві речовини (речовинні об'єкти), а також один енергетичний об'єкт – поле. Під полем у ТРВЗ розуміють взаємодію між речовинами.

4 Відомий ряд стандартних репольних моделей: повний реполь (усі три елементи в наявності), неповний (за відсутності одного або двох елементів). Повний реполь може бути корисним (здійснюється корисна дія), шкідливим (здійснюється шкідлива дія) і неефективним (корисна дія здійснюється недостатньо ефективно).

5 При пошуку винахідницьких розв'язків будується й перетворюється за певними правилами репольна модель розглянутої системи, що дозволяє визначити, як потрібно змінити систему, щоб завдання було вирішене. Репольний аналіз виконує в ТРВЗ функцію мови однакового опису технічних систем і використовується в різних розділах ТРВЗ: у стандартах на вирішення винахідницьких завдань, в алгоритмі вирішення винахідницьких завдань і т. п.

### **Питання для самоперевірки**

1 Які основні визначення використовують у речовинно-польовому аналізі?

2 Визначення і структурна формула реполя.

3 Які позначення використовують для записування репольних систем?

4 Які елементарні правила перетворення речовинно-польових систем виявлені?

## **7 ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**

7.1 Основні визначення функціонально-вартісного аналізу

Стародавня людина ціною великих фізичних витрат, витрат мускульної енергії створювала знаряддя праці для виконання **корисних функцій**: оброблення землі, полювання на тварин, ловіння риби, захисту від нападу і т. д. При цьому вона

прагнула зробити зняряддя праці з **найменшою витратою** своїх власних сил.

Згодом техніка настільки ускладнилася, що виникла потреба в науковому підході до оцінювання ефективності витрат і визначення **мінімальних витрат**, які забезпечують створення техніки, що виконує свої функції. Так виник **функціонально-вартісний аналіз (ФВА, Activity Based Costing, ABC)**.

**Функціонально-вартісний аналіз** — метод визначення вартості та інших характеристик виробів, послуг і споживачів, в основу якого покладене **використання** функцій та ресурсів, задіяних у виробництві, маркетингу, продажу, доставленні, технічній підтримці, наданні послуг, обслуговуванні клієнтів, а також у **забезпеченні якості**.

Під ФВА розуміють метод дослідження функцій об'єкта (виробу, процесу, структури), спрямований на **мінімізацію витрат** у сферах його проектування, виробництва та експлуатації при **збереженні чи підвищенні якості й корисності об'єкта**.

За **внутрішнім** змістом ФВА – це комплексно-цільова програма, що поєднує три основні складові – **техніко-економічні аналізи, організаційно-технічні заходи і наукову методологію пошуку нових рішень**, спрямовану на виявлення і використання **резервів** удосконалювання будь-яких об'єктів.

Поява ФВА як методу пов'язана з іменами двох фахівців – конструктора Пермського телефонного заводу Ю. М. Соболева (1950 р.) і співробітника американської фірми «Дженерал Електрик» Лоуренса Д. Майлза (1947 р.), що наприкінці 40-х – початку 50-х років нашого століття практично одночасно заклали теоретичні основи ФВА, хоча і з різних позицій.

Сучасний ФВА – це раціональне поєднання ідей Соболева і Майлза.

**Метод Ю. Соболева**, що одержав назву «поелементний аналіз», був спрямований переважно на пошук **найекономічніших способів виготовлення** виробу в рамках **існуючих конструкцій**.

**Метод Л. Майлза**, що одержав назву «інженерно-вартісний аналіз», дозволяв узяти за основу розгляду конструкції комплекс функцій, для виконання яких ця конструкція призначалася, і відшукувати **альтернативні варіанти** виконання необхідних функцій.

**ФВА на цей час** – це метод проведення системної техніко-економічної роботи над об'єктом, спрямований як на **максимально** раціональне забезпечення функцій, так і на **скорочення** економічних витрат.

Сьогодні в економічно розвинених країнах практично кожне підприємство або компанія використовують методологію функціонально-вартісного аналізу як практичну частину системи менеджменту якості, що найбільше повно задовольняє принципи стандартів серії ISO 9000.

Практика роботи засвідчує, що в середньому кількість операцій у технологічних процесах у результаті ФВА можна скоротити на 30–40 %.

#### **Основні ідеї ФВА:**

- споживача цікавить не продукція як така, а користь, яку він одержить від її використання;
- споживач прагне скоротити свої витрати;
- функції, що цікавлять споживача можна виконати різними способами, а, отже, з різною ефективністю й витратами;
- серед можливих альтернатив реалізації функцій існують такі, в яких співвідношення якості й ціни є найбільш оптимальними для споживача.

**Основний постулат ФВА** – постійна наявність резервів розвитку в будь-якій технічній системі, конструкції і технології.

**Джерелами резервів** зазвичай є: стадія конструювання і технологія виготовлення об'єкта; зміна вимог ринкових умов до об'єкта. Найбільш яскраво ФВА виявляється в кризових ситуаціях.

Іншими словами, немає ідеальної машини і технології, є невміння знаходити шляхи їх удосконалення. **Формула ідеальності технічної системи**

$$I = \frac{\sum \Phi_{\text{кор}}}{\sum B},$$

де  $\sum \Phi_{\text{кор}}$  – сума корисних функцій технічної системи;

$\sum B$  – сума витрат на виконання корисних функцій,

що складається з витрат необхідних і витрат надлишкових у створенні, виробництві й експлуатації елементів технічної системи.

Відповідно до ФВА будь-який виріб завжди має (чи згодом виникають) резерви. **Резерви** існують за рахунок:

- 1) управлінських помилок;
- 2) неефективного використання науково-технічної інформації;
- 3) невиправданого завищення технічних параметрів виробу, їх вузлів і деталей;
- 4) зневажливого ставлення конструкторів до вимог економіки;
- 5) непогодженості роботи конструкторських, технологічних і виробничих служб підприємства;
- 6) проектування в умовах недостатності часу;
- 7) відсутності на даний момент потрібного матеріалу, устаткування, які потім будуть закріплені в технічній документації на весь час випуску виробу;
- 8) недостатнього, а часом і надлишкового ступеня уніфікації виробу, коли необґрунтовано поєднується ряд типорозмірів виробів, кожний з яких розрахований на масове виробництво;
- 9) психологічної інерції, технічного консерватизму, звички до однобокого, вузького погляду на виконувану роботу конструктора виробу;
- 10) виникнення нових матеріалів, способів оброблення і т. д.

ФВА виник не на порожньому місці, а на основі методів активізації пошуку (мозковий штурм, морфологічний аналіз і т. д.).

## **Переваги ФВА**

1 Більш точне знання вартості продукції дає можливість ухвалювати правильні стратегічні рішення з:

- а) призначення цін на продукцію;
- б) правильної комбінації продуктів;
- в) вибору між можливостями виготовляти самостійно або купувати;

г) вкладення засобів у науково-дослідні роботи, автоматизацію процесів, просування і т. ін.

2 Більша зрозумілість щодо виконуваних функцій, за рахунок якої компаніям вдається:

- а) приділити більше уваги управлінським функціям, таким як підвищення ефективності дорогих операцій;
- б) виявити й скоротити обсяг операцій, що не додають цінності продукції.

## **Недоліки ФВА:**

1 Процес опису функцій може бути зайво деталізованим, крім того, модель іноді занадто складна і її важко підтримувати.

2 Часто етап збирання даних про джерела даних за функціями (activity drivers) недооцінюється.

3 Для якісної реалізації потрібні спеціальні програмні засоби.

4 Модель часто застаріває у зв'язку з організаційними змінами.

5 Реалізація часто розглядається як непотрібна «примха» фінансового менеджменту і тому недостатньо підтримується оперативним керівництвом.

## **Три основні відмінності між ФВА і традиційними методами:**

1 Традиційний облік передбачає, що об'єкти витрат споживають ресурси, а у ФВА прийнято вважати, що об'єкти витрат споживають функції.

2 Традиційний облік як базу розподілу витрат використовує кількісні показники, а у ФВА застосовуються джерела витрат на різних рівнях.

3 Традиційний облік орієнтований на структуру виробництва, а ФВА орієнтований на процеси (функції).

## 7.2 Види функцій об'єкта

Основним положенням ФВА є те, що для споживача продукції **важливі функції**, що виконуються даним об'єктом, і зовсім важливі його структура, пристрій і т. д. У цьому розумінні функція – це прояв і (чи) збереження властивостей якого-небудь об'єкта в даній системі взаємовідношень.

Функції звичайно приховані, а виявляються у вигляді показників якості при використанні об'єкта. Для того щоб розібратися в лабіринті функцій, застосовують схему їх класифікації.

Розрізняють такі види функцій:

1) **зовнішню функцію**, що відбиває зв'язки об'єкта зі сферою його застосування;

2) **внутрішню функцію**, що відбиває взаємозв'язок структурних одиниць (підсистем) об'єкта між собою.

Зовнішні функції поділяють на головні та другорядні. Головна функція визначає призначення об'єкта, мету його створення (те, для чого споживач використовує технічну систему). Другорядна функція визначає побічні цілі створення об'єкта, спрямовані на більш зручну його експлуатацію.

До **другорядних функцій** відносять естетичні, екологічні, ергономічні та інші другорядні функції (те, через що споживач купує саме цю технічну систему).

За ступенем забезпечення роботоздатності об'єкта серед внутрішніх функцій розрізняють основні й допоміжні. Основні функції забезпечують роботу об'єкта, створюють необхідні умови для здійснення головної функції. Другорядні – забезпечують виконання основної функції.

За ступенем корисності розрізняють корисні, даремні (непотрібні), шкідливі функції. **Даремні функції (непотрібні)** – функції, які не є необхідними для виконання інших функцій, але

виконуються елементами системи (тобто паразитні). **Шкідливі** – функції, що погіршують роботу елементів чи технічної системи в цілому. У період становлення ФВА як методу зниження питомих витрат на одиницю виробу корисний ефект досягався виключенням шкідливих і даремних функцій.

### **Принципи ФВА:**

1 Функціональний підхід (існує легенда, що одним із перших функціональний підхід застосував мудрець, який нараховував зарплату своєму лікареві лише за ті дні, коли він був здоровий).

2 Господарський підхід до оцінювання споживчих властивостей і витрат на розроблення, виробництво та використання об'єкта.

3 Системний підхід, який означає, що даний об'єкт є елементом системи більш високого порядку і розвивається з минулого стану через сьогодні в майбутне.

4 Принцип відповідності корисності функції і витрат на їх здійснення.

5 Принцип колективної творчості, що передбачає використання методів пошуку і формування технічних рішень, а також методів якісної й кількісної оцінок варіантів рішень. Як показує досвід, значна частина інформації не фіксується в технічній документації, а залишається в пам'яті фахівців підприємства. Тому й створюються дослідницькі робочі групи. ФВА ведуть дослідницькі робочі групи (ДРГ) фахівців (фахівців ФВА, технологів, конструкторів, електриків, економістів, фахівців із речовин та ін.).

## 7.3 Основні етапи функціонально-вартісного аналізу

Одне з **основних правил** проведення ФВА будь-яких виробів: ФВА необхідно проводити в ключові моменти життєвого циклу виробу – на початку його розроблення, після завершення тих чи інших етапів, перед сертифікацією чи атестацією, зміною цін, модернізацією.



ФВА проводять у визначеній послідовності, поетапно (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Етапи проведення ФВА

Етап	Короткий зміст
1 Інформаційно-підготовчий	Формування цілей і завдань проектування. Підготовка, збирання і систематизація інформації. Побудова «дерева цілей». Визначення вимог до характеристик виробів та їх значущості. Виявлення техніко-економічних суперечностей. Формування обмежень. Формування ідеального кінцевого результату. Визначення лімітних цін
2 Аналітичний (формулювання функцій і побудова збільшеної функціональної моделі)	Формулювання зовнішніх функцій (головних і другорядних). Вибір принципу реалізації головної функції. Формулювання основних внутрішніх функцій (уведення, перетворення, видача). Побудова збільшеної функціональної моделі. Встановлення гранично допустимих витрат за функціями
3 Творчий (пошук і формулювання варіантів)	Пошук ідей і рішень щодо реалізації основних функцій. Їх експертне оцінювання за допомогою позитивно-негативних таблиць. Формулювання допоміжних функцій (сполучних, ізолювальних і т. д., що забезпечують надійність функцій). Пошук щодо реалізації допоміжних функцій. Побудова морфологічних карт варіантів. Визначення складу матеріальних носіїв функцій щодо варіантів. Синтез технічних рішень. Побудова збільшеної структурної моделі виробу

Продовження табл. 7.1

Етап	Короткий зміст
4 Дослідний (збільшена оцінка варіантів рішень із комплексу критеріїв)	Вибір критеріїв оцінювання. Якісне оцінювання ступеня використання функцій за варіантами. Збільшене оцінювання виробничих та експлуатаційних витрат на реалізацію функцій із гранично допустимими. Комплексне техніко-економічне оцінювання варіантів. Визначення умов упровадження варіантів
5 Рекомендаційний (вибір варіанта для подальшого відпрацьовування)	Обговорення та остаточний вибір варіанта побудови виробу. Оформлення рекомендацій подальшого функціонально-вартісного відпрацьовування варіанта
6 Етап упровадження	Узгодження плану-графіка впровадження. Контроль за виконанням плану-графіка. Впровадження одержаних результатів у виробництво. Оформлення звіту про виконану роботу

На жаль, незважаючи на наявний багатий теоретичний і практичний досвід, на цей час на вітчизняних підприємствах методу ФВА належної уваги не приділяють. До **основних причин** цього можна віднести:

- 1) недостатню зацікавленість керівників підприємств;
- 2) відсутність на багатьох підприємствах маркетингових служб;
- 3) недостатність фінансових ресурсів для проведення ФВА;
- 4) велику трудомісткість робіт із проведення ФВА;
- 5) руйнування налагоджених зв'язків із колишніми партнерами із СНД та ін.

### **Висновки**

Функціонально-вартісний аналіз – це робота над

помилками підприємства. Технічні системи розвиваються за певними законами. Порухення цих законів неминуче призводить до матеріальних втрат як підприємства-виробника, так і споживача. Функціонально-вартісний аналіз дозволяє виявити втрати й усунути їх причини. Основні положення ФСА:

1 Резервом зниження собівартості продукції є зайві витрати.

2 Зайві витрати пов'язані з недосконалістю конструкції виробів, технології їх виготовлення, неефективністю використовуваних матеріалів, помилкових розв'язків, концепцій.

3 ФВА припускає розгляд не об'єкта, а функцію, яку він реалізує.

4 Завдання ФВА – досягнення функціональності об'єкта мінімальними витратами в інтересах як виробника, так і споживача.

5 Об'єктом ФВА можуть бути виробни, технології, виробничі, організаційні й інформаційні структури, а також окремі їх елементи або групи елементів.

### **Питання для самоперевірки**

1 Визначення ФВА.

2 Які складові поєднує ФВА?

3 Хто є авторами ФВА?

4 Які резерви існують?

5 Наведіть класифікацію функцій об'єкта та їх визначення.

6 Принципи ФВА.

7 Основні етапи проведення ФВА.

8 Які основні ідеї ФВА?

9 Які переваги та недоліки ФВА?

10 Які основні відмінності між ФВА і традиційними методами?

## 8 КЛАСИФІКАЦІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ТВОРЧОСТІ

### 8.1 Типи творчості

**1 Творчість першого типу.** Найпростішою творчістю можна вважати застосування відомого рішення до відомої проблеми. Припустимо, необхідно створити механізм для підняття вантажів. Давня проблема, відоме й її старе вирішення: використовувати підйомний кран. Але крани бувають різні. Новизна творчої праці зводиться до створення конкретної конструкції підйомного крана визначеної схеми і заданої вантажопідйомності. Творчість першого типу – найбільш благополучна, тому що вона відповідає потребам сьогодення, знаходить рішення сьогоденних завдань. Цих рішень із нетерпінням чекають на виробництві, а тому порівняно швидко йде їх упровадження.

**2 Творчість другого типу.** Сюди можна зарахувати нове застосування відомого рішення (ідеї, конструкції) чи нове рішення старого завдання, тобто рішення незвичними для даної сфери способами.

Творчість другого типу працює на завтрашнє суспільство, виконує його соціальне замовлення. І чим раніше ми побачимо завтрашні проблеми, тим легше нам буде завтра.

**3 Творчість третього типу.** Вона виникає тоді, коли для принципово нової проблеми знайдене принципово нове рішення. Така творчість працює на ще більш віддалене майбутнє. Супротивники тут не сперечаються про несвоєчасність рішень – вони говорять про непотрібність, хибність задач, навіть про їх шкідливість.

Сьогодні вже ніхто не заперечує практичної користі космонавтики. Більше того, нові факти впровадження космічної техніки сприймаються як таке, що само собою розуміється, без усякої сенсації.

А. Ейнштейн, торкаючись питань творчості, якимось

зауважив, що всі знають, що так робити не можна, бо нічого не вийде, але з'являється людина, яка цього не знає, береться за справу, і в неї виходить.

## 8.2 Класифікація винахідницьких задач за їх новизною

Г. С. Альтшуллер, автор теорії розв'язання винахідницьких задач, розробив класифікацію винахідницьких задач за їх новизною.

**1 Перший рівень винахідницьких задач за їх новизною:** застосовні засоби, прямо призначені саме для цієї мети; використаний готовий розв'язок для готової задачі. Це дрібні винаходи. За методом проб та помилок (МПтаП) для розв'язання задачі необхідно зробити десять проб. Для цього рівня задачі та способи її розв'язання знаходяться в межах однієї професії, тому вони під силу кожному фахівцю, задачі тривіальні, вони не мають суперечностей.

**2 Другий рівень винахідницьких задач за їх новизною:** вибраний один із деяких альтернативних варіантів розв'язання задачі, що також вибрана з декількох можливих (від десяти до ста проб). Це дрібні винаходи, одержані в результаті усунення суперечностей способами, відомими в даній галузі.

Винаходи перших двох рівнів найбільш численні – вони становлять приблизно 77 відсотків патентного фонду.

**3 Третій рівень винахідницьких задач за їх новизною:** змінена вихідна задача, змінене звичне розв'язання (від ста до тисячі спроб). Це середні винаходи. Суперечності переборюються способами, відомими в межах однієї науки.

**4 Четвертий рівень винахідницьких задач за їх новизною:** знайдені нова задача і нове розв'язання (від тисячі до десяти тисяч спроб). Це великі винаходи. Синтезується нова технічна система. Суперечності усуваються засобами, що перебувають за межами науки, в якій виникла задача.

**5 П'ятий рівень винахідницьких задач за їх новизною:** знайдена нова проблема, відкритий новий принцип, придатний для

розв'язання не лише цієї, а й інших задач, проблем (більше ніж десять тисяч спроб). Це найбільші винаходи. Синтезується принципово нова технічна система. Способи розв'язання задачі лежать за межами сучасної науки (спочатку потрібно зробити відкриття, а потім, спираючись на нові наукові дані, розв'язати винахідницьку задачу).

**Прикладами** можуть бути винахід радіо і створення радіотехніки, винахід фотографування і створення фототехніки, винахід лазера та створення квантової оптики. Літак, автомобіль, електронна обчислювальна машина – це те ж винаходи п'ятого рівня.

Творча діяльність першого типу містить розв'язки першого і другого рівнів винахідницьких задач, другого типу – третього та четвертого рівнів. Третій тип творчості – п'ятий рівень і навіть не відзначений у класифікації шостий, що являє собою систему винаходів п'ятого рівня.

### 8.3 Теорія розвитку творчої особистості

Багаторічні спільні дослідження біографій творчих особистостей, проведені Г. С. Альтшуллером і І. М. Верткіним, поклали початок новому напрямку розвитку ТРВЗ, яку вони назвали **теорією розвитку творчої особистості (ТРТО)**.

**Виховання комплексу творчих якостей – основна мета життєвої стратегії творчої особистості (ЖСТО).** Метод побудови ЖСТО звичайний для всіх досліджень у ТРВЗ: **аналіз великих інформаційних масивів** (із метою виявлення загальних закономірностей). Для вироблення стратегії вивчено понад **одну тисячу біографій творчих особистостей**.

Вдалося простежити становлення і розвиток творчої особистості впродовж усього життя. На історико-біографічних прикладах переконливо доведено: творчий спосіб життя доступний кожному, для цього не потрібні особливі природні здібності чи сприятливі умови. Під силу будь-якій людині вибрати гідну мету і почати планомірну діяльність для її

досягнення.

Детально розглядаючи шлях до мети, ЖСТО дає людині підсумований життєвий досвід поколінь творців: попереджає про типові небезпеки, рекомендує конкретні методи їх подолання, пророкує найбільш сильні ходи.

Систематичні дослідження з ЖСТО поступово формують нову сферу знання – **Теорію розвитку творчої особистості**.

Для формування активної творчої позиції потрібно, як мінімум, шість якостей. **Якості, потрібні для формування активної творчої позиції:**

- 1) наявність гідної мети – нової (чи недосягнутої), значної, суспільно-корисної;
- 2) уміння програмувати досягнення поставленої мети;
- 3) велика працездатність щодо виконання накреслених планів;
- 4) уміння розв'язувати творчі задачі у вибраній сфері, володіння технікою подолання суперечностей на шляху до мети;
- 5) готовність «тримати удар»: відстоювати свої ідеї, виносити невизнання, нерозуміння;
- 6) відповідність досягнутих результатів поставленій меті.

### **Висновки**

1 Існує можливість навчитися сильному мисленню, нової технології розв'язання творчих задач, що значно полегшує процес формування творчої особистості. Правда, сильно ускладнює цієї особистості життя.

2 Для успішної роботи в техніці й науці потрібно володіти хорошими методами розв'язування задач, мати розвинене уявлення і віддавати весь свій час улюбленій справі, саме улюбленій!

3 Інструменти не працюють самі по собі, вони лише допомагають людині під час вирішення завдання. Творчу людину можна визначити так: це людина, яка бачить навколо себе завдання, ставить собі за мету вирішувати їх. Можна визначити її й через одержуваний у результаті творчості результат. Тоді творча людина – це людина, яка знаходить нестандартні розв'язки гідних для неї завдань.

## Питання для самоперевірки

- 1 Які типи творчості існують?
- 2 Як класифікуються винахідницькі задачі за їх новизною?
- 3 Як виникла нова сфера знань – Теорія розвитку творчої особистості?
- 4 Які якості потрібні людині для формування активної творчої позиції?

## 9 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

### 9.1 Технічні та машинні системи

Можливі **два підходи** до розв'язання проблеми означення технічного засобу – «абстрактної машини»:

– **перший**, полягає в переліку всіх елементів, які входять до складу машини;

– **другий підхід** полягає в пошуку нового узагальненого виразу або терміна. В останньому випадку основна увага під час опису технічного засобу приділяється його системним властивостям.

Виходячи з поняття системи, їх можна розділити на класи за принципом походження (див. рис. 9.1).

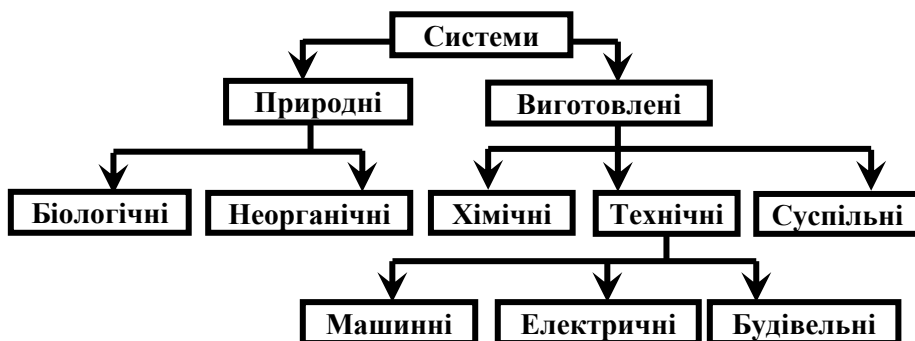


Рисунок 9.1 – Розподіл систем за їх походженням  
При цьому окремі елементи цієї структури визначаються



на підставі загальноприйнятої класифікації галузей знання: класи технічних систем відповідають відомим галузям техніки – машинобудування, електротехніка, будівництво і таке інше.

Але такий підхід не дає точного означення «**технічний засіб**», тому що його можна трактувати і як об'єкт машинобудування, і як об'єкт електротехніки тощо, більше того, останнім часом існують гібридні системи (наприклад, біотехнічні, до яких належать людино-машинні складні системи).

У зв'язку з цим для означення «**абстрактної машини**» доцільно використовувати термін «**технічна система**», яка в загальному вигляді є сукупністю елементів і відношень (зв'язків), що утворюють цілісну структуру об'єкта. Під час вивчення технічних систем розрізняють три класи сукупностей об'єктів:

1) **неорганізовані** (наприклад, заготовки, що лежать навалом);

2) **організовані** з елементами, об'єднаними в стійку структуру, яка має нові властивості (наприклад, верстати ЧПК);

3) **самопристосовувані** зі зміною зв'язків або структури під дією зовнішнього середовища (наприклад, адаптивні системи керування).

На цей час суспільство потребує створення нових технічних систем, застосування яких дозволить вирішувати не лише техніко-економічні, а й соціальні проблеми, що потребує ще більше якісних винаходів, ніж раніше: природні ресурси виснажуються, природа знищується, духовні та матеріальні запити людей зростають, а третина швидкозростаючого світового людства страждає від недоїдання і знаходиться за межею бідності.

Науково-технічна революція призвела до різкого збільшення кількості й складності технічної системи

## 9.2 Основні поняття і визначення систем

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

**Системою** (**C**) ми називаємо сукупність, утворену та впорядковану за певними правилами зі скінченної множини елементів, що 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** (**v**) між елементами системи являють собою зв'язки матеріального (**M**), енергетичного (**En**) або інформаційного (**I**) характеру. Інші більш складні впливи можуть бути подані комбінаціями трьох зазначених простих.

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

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

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

**Призначення** системи – це виконання її зовнішньої (загальної) функції (**Φ**). Наприклад, зовнішньою функцією металорізального верстата є забезпечення розмірного оброблення металевих заготовок шляхом зняття з них стружки. **Зовнішню функцію** системи можна подати множиною **внутрішніх функцій (φ)** 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

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

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

Кожна система та її елементи характеризуються якісними або кількісними **параметрами (p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, ..., p<sub>n</sub>)**, що визначають дану конкретну систему та її місце серед інших систем. Основними для будь-якої системи є величини, що характеризують її зовнішню та внутрішні функції – **функціональні (робочі) параметри**.

Множину параметрів системи з їх числовими значеннями у

певний момент часу називають **станом** ( $C_n$ ) системи. Стан може залишатися незмінним або змінюватися за **диференціальним** (постійна зміна) або **дискретним** (із проміжками незмінного стану) **законами**. У свою чергу, диференціальна зміна може мати **лінійний** або **нелінійний характер**.

**Функціонування** може бути визначене як множина послідовних у часі робочих станів системи або як стабільна спроможність до реалізації заданих послідовних впливів на об'єкт за визначених умов та обмежень. **Метою створення** системи є задана модель її функціонування.

**Структура** (Стр) системи є об'єднанням множини її елементів  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  і множини внутрішніх впливів між ними  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , тобто  $Стр = \{E, V\}$ . Структури деяких систем можна поділити на декілька структур різного типу нижчого рівня складності.

Модель функціонування системи цілком визначається її структурою. Якщо якісні та кількісні параметри, що характеризують елементи системи, її внутрішні й зовнішні впливи, знаходяться в допустимих межах, система функціонує однозначно. Навпаки, функціонування не визначає однозначно структури. Одна й та сама зовнішня функція може бути реалізована різними структурами (системами). Наприклад, функція транспортування пасажирів може виконуватися різними за конструкцією автомобілями.

Теоретично **множина зовнішніх систем та елементів** для даної конкретної системи вміщує всі процеси та об'єкти, що не входять до множини її елементів (доповнення множини елементів системи до загальної множини процесів та об'єктів всесвіту). Однак інтерес під час вивчення тієї чи іншої системи становлять зовнішні системи та елементи, що безпосередньо впливають на її елементи (пов'язані з ними потоками матерії, енергії або інформації) або ті, на які безпосередньо впливають елементи розглядуваної системи. Подібні елементи та їх сукупності називаються ( $e_{3,6}$ ) і ( $C_{3,6}$ ).

Під **вхідними зовнішніми впливами** ( $v_{3,вх}$ ) розуміють

потоки матерії, енергії або інформаційних сигналів, спрямовані від зовнішніх систем і елементів безпосереднього впливу до елементів розглядуваної системи.

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

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

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

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

Необхідно також урахувати вплив на систему природних умов (змін температури, вологості, тиску), а також біологічних об'єктів (і насамперед людини). Все вищеперелічене можна об'єднати в загальне поняття «**навколишнє середовище**» (НС). Впливи на систему з боку НС і навпаки – впливи системи на НС – також належать до зовнішніх. За необхідності їх можна виділити серед інших зовнішніх впливів.

### 9.3 Типи систем і завдань

Відповідно до розвитку критеріїв можна встановити велику кількість систем, що класифікують їх:

а) за місцем системи в ієрархії: **надсистема, система, підсистема**;

б) за зв'язками з оточенням: **відкрита** (з певним довкіллям, тобто принаймні з одним входом або виходом),

**закриті** або **замкнені** (без зв'язку з довкіллям);

в) за зміною стану: **динамічні** (стан змінюється в часі), **статичні** (стан не змінюється в часі);

г) за характером функціонування: **детерміновані** (залежно від стану системи можна однозначно робити висновок про її функціонування), **стохастичні** (можна лише висловити припущення щодо різних можливих варіантів функціонування);

г) за типом елементів (у розумінні їх конкретності): **конкретні** (елементами є реальні об'єкти), **абстрактні** (елементами є нереальні об'єкти);

д) за походженням системи: **природні** (створені природою), **виготовлені** (створені людьми);

е) за характером залежності виходів: **комбінаторні** (вихід залежить лише від входу), **секвентивні** (вихід залежить лише від входу та інших величин);

е) за рівнем складності структури: **надзвичайно складні** (мозок, народне господарство), **дуже складні** (завод-автомат або цех-автомат), **складні** (верстат-автомат), **прості** (болтове з'єднання);

ж) за видом елементів: **системи типу «об'єкт»** (елементами є двигун, машина, патрон), **системи типу «процес»** (елементами є такі операції: виготовлення, фільтрації, переганяння, різання та інші).

У зв'язку з необхідністю проектування систем розглядають три характерні типи задач: **аналіз**, **синтез**, **вимірювання (іспит)**.

**Задача аналізу** – задана структура (відомі вхід  $Z$  і  $X$ ), необхідно визначити функціонування системи (вектор множини вихідних параметрів  $Y$ ).

**Задача синтезу** – задані характер функціонування (відомий вектор вихідних параметрів  $Y$ ) та інші вимоги до системи (включаючи відомий вектор вхідних параметрів  $Z$ ), необхідно визначити структуру, що задовольняє поставлені вимоги.

**Задача вимірювання** – задані параметри системи

(вектор  $X$ ) і характер функціонування (вектор вихідних параметрів  $Y$ ), необхідно визначити вхідні параметри  $Z$ .

Можливе розв'язання і четвертої задачі, або задачі «чорного ящика», в якій задана система, структура її невідома або відома частково, необхідно визначити її функціонування ( $Y = ?$ ) і, можливо, структуру ( $X = ?$ ), невідомі або частково відомі вхід ( $Z = ?$ ) та структуру ( $X = ?$ ) або вхід ( $Z = ?$ ) і вихід ( $Y = ?$ ).

Існують системи типу «об'єкт» і «процес», виготовлені процеси, в яких ті чи інші дії (**операнда**) людина організовує для виготовлення процесів із метою здійснення необхідних або жаданих для неї змін, наприклад для задоволення людських потреб. Науками, що досліджують перетворення в якійсь певній галузі, є, наприклад, термодинаміка, технологія виробництва.

Термін «**операнд**» (**Od**) обраний як загальна назва речей, систем і станів, під відданих цілеспрямованому перетворенню як наслідку певних впливів, що ґрунтуються на фізичних, хімічних і біологічних явищах та описаних деякою інструкцією-рецептом, алгоритмом, технологією.

Дії на операнд виконують оператори, вони є виходами для операторів.

Типовими видами «**процесів**» у техніці є керування та регулювання. **Керування** – це процес у системі, завдяки якому одна чи кілька вхідних величин діють бажаним чином на інші, що вважаються вихідними. **Регулювання** – це процес, завдяки якому деякі змінні (регульовані) величини безперервно порівнюють з еталонними (керованими), причому на регульовані величини впливають для зведення відповідних відхилень до нуля.

**Відношення** ( $R$ ) – це взаємозалежність або вплив двох і більше об'єктів або явищ абстрактного чи конкретного типу. Відношення може бути: **рефлексним**, **симетричним** або **транзитивним** і характеризуватися так:

а) **рефлексивність** – кожний об'єкт еквівалентний самому собі;

б) **симетричність** – якщо перший об'єкт еквівалентний

другому, то другий еквівалентний першому;

в) **транзитивність** – два об'єкти еквівалентні між собою, якщо вони роздільно еквівалентні третьому.

Якщо виконуються усі три умови, то відношення називають **відношенням еквівалентності**.

**Кореляція** – це математична модель відношення в узагальненій формі.

Розрізняють такі види відношень: **подібність** – відношення між двома або більше системами (об'єктами, процесами, виразами); **аналогія** (відповідність істотних ознак, властивостей, структур або функцій); **гомоморфізм** (коли кожную складову частину та кожне відношення однієї системи можна відобразити як деяку складову частину і деяке відношення іншої системи); **ізоморфізм** (коли кожна складова частина однієї системи може бути поставлена у відповідність певній складовій частині іншої системи і навпаки); **ідентичність** (однакові властивості або ознаки); **еквівалентність** (рівноцінність); **математичні функції**; **причинність** (детермінована типу «якщо ..., то»); зв'язок; мета – засіб; просторе, логічне (типу «дорівнює», «і», «або», «і – або», «ні – або», «так, що», «або – або», «якщо..., то» та інші).

### **Висновки**

1 Можливі два підходи до вирішення проблеми означення технічного засобу – «абстрактної машини».

2 Системи можна поділити на класи за принципом походження. Технічні системи поділяють на три класи сукупностей об'єктів.

3 Системою називають сукупність, утворену й упорядковану за певними правилами зі скінченної множини елементів, які можуть впливати один на одного (пов'язані внутрішніми впливами). Відомі системи, між елементами яких відсутні впливи. Існують також під- і надсистеми.

4 Призначення системи – це виконання її зовнішньої (загальної) функції.

5 Основними для будь-якої системи є величини, що



характеризують її зовнішню та внутрішні функції – функціональні (робочі) параметри. Метою створення системи є задана модель її функціонування.

6 Структура системи є об'єднанням множини її елементів. Зовнішні системи та їх елементи безпосередньо впливають на елементи системи, що розглядається. Подібні елементи та їх сукупності називають зовнішніми елементами й системами безпосереднього впливу.

7 Відповідно до розвитку критеріїв можна встановити велику кількість систем, що їх класифікують.

8 У зв'язку з необхідністю проектування систем розглядають три характерні типи задач: аналіз, синтез, вимірювання (іспит).

9 Існують системи таких типів «об'єкт» і «процес». Виготовлені процеси – це ті процеси, в яких ті чи інші дії (операнда) людина організовує для виготовлення процесів. Типовими видами «процесів» у техніці є керування й регулювання.

10 Відношення – це взаємозалежність або вплив двох і більше об'єктів або явищ абстрактного або конкретного типу. Відношення може бути: рефлексним, симетричним або транзитивним.

### **Питання для самоперевірки**

1 Дайте означення ключового терміна «множина» та похідних від нього понять?

2 Дайте означення терміна «система», розкажіть про типи систем.

3 Чому поняття «система» й «елемент» є відносними?

4 Дайте означення призначення системи, її зовнішньої та внутрішніх функцій.

5 За якою формулою описуються функції системи?

6 Що собою являють параметри системи, яка їх роль?

7 Що називають станом системи, за якими законами він може змінюватися?

8 Що таке функціонування та структура системи, як вони пов'язані між собою?

9 Що собою являють зовнішні системи та елементи безпосереднього впливу?

10 Чому недоцільно розглядати всі об'єкти навколишнього середовища системи?

11 Дайте означення зовнішніх впливів системи.

12 Наведіть приклади зовнішніх впливів системи «промисловий робот».

13 Що собою являє навколишнє середовище системи?

14 Яку інформацію про систему несе її модель?

## 10 СИСТЕМИ ПЕРЕТВОРЕНЬ

### 10.1 Елементи системи перетворень

Коли ми намагаємося сформулювати відповідь на запитання про практичне застосування теорії технічних систем, то рано чи пізно виникає необхідність визначення мети створення технічних процесів та об'єктів.

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

Взагалі, термін «процес» означає, що щось відбувається, триває, змінюється впродовж 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 бути корисними для людини, 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 покращити деякі природні процеси або їх параметри.

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

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

Уся множинність 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 під час виконання 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 та 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** – це однозначно визначена послідовність технічних процесів, підпроцесів та операцій, яка або установлюється один раз заздалегідь і дійсна упродовж усього перетворення, або змінюється залежно від результату реалізації його складових частин (упорядкована множина технічних процесів, підпроцесів, операцій, а також внутрішніх та зовнішніх впливів між ними).

## 10.2 Процеси керування і регулювання

Одними з найбільш поширених **ПП** у техніці є процеси керування і регулювання.

**Керування** – процес у системі перетворень, при реалізації якого на об'єкт впливу системи діють один або декілька зовнішніх вхідних впливів, у результаті чого параметри об'єкта змінюються згідно із заданим законом (формування заданого вихідного впливу). Наприклад, під час керування

автомобілем водій здійснює повороти керма (вхідні впливи на систему), внаслідок чого автомобіль повертає (зміна параметрів системи) згідно із напрямком дороги (за заданим законом).

**Регулювання** – це процес перетворення, за якого деякі змінні параметри (параметри регулювання) постійно зіставляються із заданими, і за наявності недопустимих відхилень на об’єкт впливу системи перетворень здійснюються зовнішні або внутрішні впливи з метою зведення зазначених відхилень до певних меж.

На рисунку 10.2 наведено загальну модель абстрактної СП, на якій зазначено всі вищеприписані елементи системи та впливи між ними.

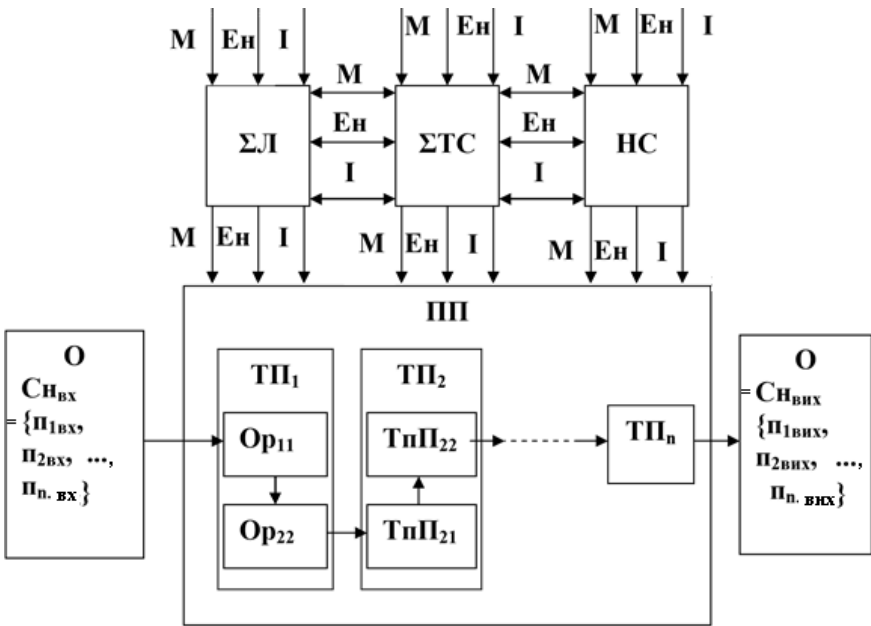


Рисунок 10.2 – Загальна модель абстрактної СП

У рамках глобальної системи Всесвіту може бути виділена нескінченна множина СП. Окремий елемент часто входить до декількох СП.

З урахуванням вищенаведених положень визначимо загальні ознаки систем перетворень:

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

2 У загальному випадку вони містять 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 Унаслідок 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.

### 10.3 Приклади системи перетворень

Типи елементів і дій, що входять до моделі системи перетворень, можна подати у вигляді таблиці 10.1.

#### **Висновки**

1 Штучні процеси, в яких за участі людей і (або) технічних систем, а також під впливом навколишнього середовища, об'єкт впливів змінює свій стан із заданого вхідного на заданий вихідний, що характеризуються множиною певних параметрів, називають перетвореннями.

2 Множинність людей, множинність технічних систем, навколишнє середовище, а також об'єкт впливу, що пов'язані між собою внутрішніми та зовнішніми (вхідними та вихідними) впливами – потоками матерії, енергії або інформації – називають елементами системи перетворень.

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

4 Процес перетворення можна поділити на окремі технічні процеси, технічні підпроцеси та операції.

5 Одними з найбільш поширених процесів перетворення в техніці є процеси керування і регулювання.

Таблиця 10.1 – Елементи системи перетворень

Перетворення	Технологія	Дії	Участь операторів у дії		
			люди	технічна система	навколишнє середовище
1	2	3	4	5	6
Стальна деталь м'яка – тверда	Гартування	Нагрівання в печі – охолодження у маслі	Робітники-термісти. Робітники-термісти	Нагрівальна піч. Ванна з маслом	Повітря. Тепло
Вирощування в полі	Виробництво зерна	Оранка. Посів зерна. Боронування. Культивування.  Прополування.  Добриво. Полив. Жаття. Транспортування. Зберігання	Тракторист. Тракторист. Тракторист. Тракторист.  Тракторист.  Льотчик. Поливальник. Комбайнер. Шофер. Комірник	Трактор, плуг. Трактор, сівалка. Трактор, борона. Трактор, культиватор. Трактор, культиватор. Літак. Дошова установка. Комбайн. Автомобіль. Елеватор	Земля. Сонце. Дощ. Вітер. Вологість. Температура

Продовження табл. 10.1

1	2	3	4	5	6
Матеріали – автомобіль	Конструювання. Виробництво	Ескізне проектування. Розрахунки. Робоче проектування. Вибір технології. Матер.-техн. постачання. Виготовлення деталей. Збирання. Випробування. Регулювання	Конструктор.  Розраховувач.  Конструктор. Технолог.  Комплектувальник. Постачальник. Верстатник. Складальник. Випробувач. Регулювальник	Креслення. Комп'ютер. Графоконструктор. Довідник. Проспекти. Обладнання. Проспекти фірм. Матеріали, верстати. Складальний цех. Випробувальний стенд. Регулювальний стенд	Освітлення. Опалення. Вентиляція. Водопостачання. Каналізація



### Питання для самоперевірки

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

## 11 ТЕХНІЧНІ ПРОЦЕСИ

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

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

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

- а) виникає стан незадоволеності або ситуація, яку людина хоче чи повинна змінити;
- б) даний стан змушує сформулювати потребу;

в) усвідомлюється, що потреба може бути задоволена різними засобами;

г) з'ясується, що засоби, які могли б бути використані для цього безпосередньо, відсутні;

г) потрібно змінити існуючий стан на бажаний шляхом перетворень;

д) перетворення здійснюються в **ТП**.

### 11.1 Модель технічного процесу

Ми установили, що **ТП** є елементом **СП**. Модель **ТП** розробляють з урахуванням впливів на нього з боку інших елементів. Можливі декілька способів подання **ТП**. На рисунку 11.1 подано загальну модель, в якій ураховано і зображено всі можливі елементи **ТП** і впливи між ними.

Послідовність розроблення моделей **ТП**:

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

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

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

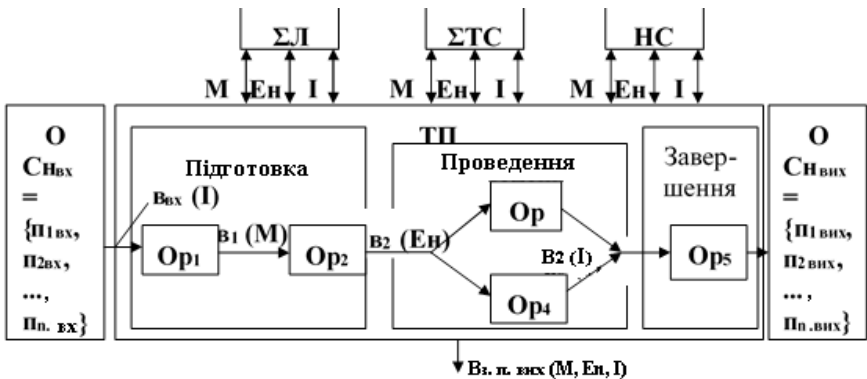


Рисунок 11.1 – Загальна модель **ТП**

4 Для кожного варіанта **ТП** зазначають складові **ΣТпП** та **ΣОр**, визначають вид їх структури – послідовний або паралельний (рис. 11.2), а також характер проходження – диференціальний (лінійний чи нелінійний) або дискретний.

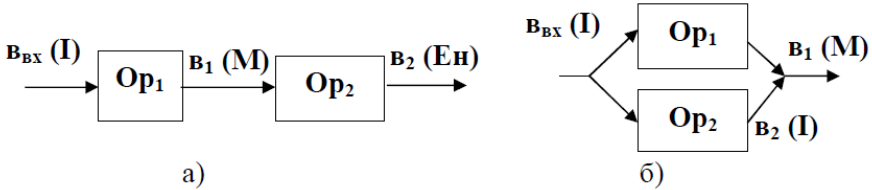


Рисунок 11.2 – Види структури **ΣТпП (ΣОр)**:

а) послідовна; б) паралельна

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

6 Зазначають стан об'єкта впливу ( $C_{нn} = \{п_{1n}, п_{2n}, \dots, п_{m.n}\}$ ) після виконання кожного **ТпП** або **Ор**.

7 У загальному **ТП** виділяють етапи підготовки, проведення та завершення див. рис. 11.1).

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

9 Установлюють 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 відрізнитися від заданих, а сам **ТП** залишитися нереалізованим. Для перевірки правильності й повноти виконання цього пункту доцільно розглянути баланси матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків.

10 За необхідності проводять повний опис із зазначенням елементів та впливів не лише для основних **ΣТпП** та **ΣОр**, що відносяться до етапу проведення **ТП**, а й для допоміжних **ΣТпП** і **ΣОр** етапів підготовки та завершення. Доцільність такого опису обумовлена тим, що допоміжні **ΣТпП** і **ΣОр** здебільшого істотно впливають на основні перетворення **ТП**.

11 Визначають процеси керування і (або)

регулювання **ТП**.

12 За необхідності згідно із вищенаведеною послідовністю розробляють моделі окремих **ТпП** і **Ор**.

13 Під час розроблення нових **ТП** і особливо у разі повторної реалізації вже відомих визначають час проведення кожної **Ор**, конкретні зовнішні впливи на об'єкт **ТП**, а також їх фактичні параметри.

14 Ретельно перевіряють можливість реалізації кожної **Ор**, а в сумнівних випадках – додатково розробляють та удосконалюють.

15 Залежно від галузі техніки, в якій реалізовується **ТП**, а також призначення **ТС**, що є його елементами, можна врахувати лише один або два типи перетворень (наприклад, матеріальні або матеріальні й енергетичні). Неістотні та другорядні для даного **ТП** перетворення можна не брати до уваги.

16 Перевіряють раціональність розроблених варіантів **ТП**. Для цього відповідають на такі запитання:

- Чи не можна скоротити той чи інший (ті чи інші) **ТпП** або **Ор**?

- Чи не потрібно додати який-небудь (які-небудь) **ТпП** або **Ор**?

- Чи не краще замінити той чи інший (ті чи інші) **ТпП** або **Ор** іншим (іншими)?

- Чи не раціональнішим буде змінити послідовність реалізації **ТпП** або **Ор**?

- Чи недоцільно розділити або об'єднати ті чи інші **ТпП** або **Ор**?

- Чи можна повторити кожний **ТпП** і **Ор** окремо й увесь **ТП** у цілому?

## 11.2 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. У ТП змінюється стан об'єкта впливу  $C_{H_{BX}} = \{P_{1_{BX}}, P_{2_{BX}}, \dots, P_{n_{BX}}\} \rightarrow C_{H_{ВИХ}} = \{P_{1_{ВИХ}}, P_{2_{ВИХ}}, \dots, P_{n_{ВИХ}}\}$ . Параметрами стану залежно від об'єкта можуть бути габаритні розміри, форма, температура, тиск, робоче зусилля, електрична напруга, швидкість і т. д.

### **Внутрішні та зовнішні впливи технічного процесу**

Впливи ТП – це потоки матерії, енергії або інформації, спрямовані до його елементів або від них. У машинобудівному виробництві та на транспорті впливами можуть бути: потоки робочої рідини в гідросистемі верстата, теплота, що виділяється під час згоряння палива у двигуні внутрішнього згоряння, переміщення за допомогою стрічкового конвеєра деталей від одного верстата до іншого і т. д. Неминучі в ТП і різні відходи (дим і стружка під час механічного оброблення), а також шкідливі впливи (шум, вібрації, зустрічний опір повітря під час руху автомобіля), що належать до негативних факторів ПП. Матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки, що не є безпосередньою метою цього перетворення, але без яких не можуть бути здійснені відповідні технічні процеси, називають **побічними внутрішніми ( $V_{п}$ ) та зовнішніми вхідними ( $V_{з. п. вх}$ ) та зовнішніми вихідними ( $V_{з. п. вих}$ ) впливами**. Множинності окремих побічних впливів можна подати як **загальні внутрішні та зовнішні вхідний та вихідний побічні впливи ( $V_{п}, V_{з. п. вх}, V_{з. п. вих}$ )**.

Ураховувати побічні потоки необхідно у зв'язку з їх впливом (часто досить помітним і шкідливим) на системи і елементи, що безпосередньо пов'язані з ТП. Людству вже давно загрожують негативні впливи ТП. Ця загроза стає з кожним роком усе більш відчутною. Тому ще під час проектування ТП необхідно враховувати по можливості всю множину позитивних і негативних побічних впливів, а в процесі реалізації ТП – постійно або періодично контролювати деякі з них та підтримувати в заданих межах. Наприклад, під час експлуатації високоточних вимірвальних приладів такими впливами є

підвищення температури, атмосферного тиску, вологості повітря, наявність у ньому агресивних газів, вібрації і т. д.

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

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

### **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, під час нагрівання сталеві заготовки) або дискретним (руйнування металоконструкції). Об'єкти переходять у проміжні стани внаслідок впливів матеріального, енергетичного або інформаційного характеру. Наприклад, якщо під впливом  $V_{3, \text{вх1}}$  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 подати так:

$$\Pi_{11} \rightarrow \Pi_{12} = f(V_{3, \text{вх1}}(M)).$$

Тоді сукупну зміну стану об'єкта із заданого вхідного  $C_{\text{вх}}$  у заданий вихідний  $C_{\text{вих}}$ , які характеризуються рядом параметрів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ , що є результатом загального  $V_{3, \text{вх}}$  впливу, поданого множинністю впливів  $V_{3, \text{вх1}}, V_{3, \text{вх2}}, \dots, V_{3, \text{вх} m}$  записують як

$$C_{\text{вх}} = \{ \Pi_{1\text{вх}}, \Pi_{2\text{вх}}, \dots, \Pi_{m, \text{вх}} \} \rightarrow C_{\text{вих}} = \{ \Pi_{1\text{вих}}, \Pi_{2\text{вих}}, \dots, \Pi_{m, \text{вих}} \} = \\ = f(V_{3, \text{вх}}) = f(V_{3, \text{вх1}}, V_{3, \text{вх2}}, \dots, V_{3, \text{вх} m}).$$

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

**Операцію (Ор)** ми називаємо елементарний неподільний технічний процес, нерозривну в часі частину процесу перетворень. Власне кажучи, елементарною частиною,

наприклад, технічних процесів механічного оброблення, є переходи (підрізання торця, фрезерування площини). Однак термін «операція» є більш універсальним, який використовується для означення даного поняття практично в усіх галузях техніки.

Упорядкована сукупність  $\Sigma\text{Op}$  утворює  $\text{ТП}$ .

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 під час розроблення, наприклад,  $\text{ТП}$  механічного оброблення необхідно орієнтуватися насамперед на типові  $\Sigma\text{ТП}$  та  $\Sigma\text{Op}$ .

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

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

Наприклад у  $\text{ТП}$  оброблення заготовки різанням на верстаті допоміжними операціями будуть: налагодження заданої частоти обертання шпинделя та подання супорта, установа та закріплення на верстаті інструмента і заготовки, вмикання верстата та підведення інструмента до заготовки. Основна операція – безпосередньо процес різання заготовки.

Допоміжні операції можна додатково поділити на **операції обслуговування і ремонту** (щоденне змащування верстата, очищення від бруду деталей автомобільного двигуна, ремонт станини), **підготовчі операції** (налагодження пристрою ЧПК верстата, його вмикання та перевірка в роботі), **операції**

**керування та регулювання** (поворот ключа запалювання автомобіля, вмикання обертання шпинделя токарного верстата).

### 11.3 Параметри та ефективність технічного процесу

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

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

$$E_{ек} = \text{Пр} / \text{Втр}.$$

У **Пр** необхідно врахувати не лише сумарну вартість об'єктів впливу у вихідному стані після виконання всіх перетворень **ТП**, ай також кошти, отримані від реалізації відходів останнього.

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

Для детальнішого аналізу **ТП** визначають значення ряду вихідних та проміжних параметрів: раціональність структури **СТпП** та **ΣОр**, досконалість обладнання, інструменту, пристосувань, прийомів роботи, кваліфікацію і досвід робітників, якість інформації та керування. Проміжні параметри дозволяють більш точно і всебічно оцінити ефективність **ТП**, а у разі його невиконання установити причини. Наприклад, якщо два варіанти **ТП** механічного оброблення заготовок певної форми та розмірів мають однакову економічну ефективність і



тривалість, тоді для вибору кращого варіанта потрібно порівняти число операцій у кожному з них, а також число типових операцій, кваліфікацію робітників, складність використовуваного обладнання тощо.

Усі параметри **ТП** можна поділити на три групи: **технічні, економічні та планові.**

#### 11.4 Подання технічних процесів

Відомо декілька способів подання **ТП**, до яких відносять також і загальну модель (див. рис. 11.1). Вибір того чи іншого способу залежить від призначення **ТП**, мети подання, а також стадії розроблення.

**Блок-схема послідовності** містить короткі й чіткі описи **ΣТпП** та **ΣОр**, наведені в послідовності їх виконання. Приклад блок-схеми послідовності **ТП** заміни підшипників на валу коробки швидкостей верстата подано на рисунку 11.3.



Рисунок 11.3 – Блок-схема послідовності **ТП** заміни підшипників на валу коробки швидкостей верстата

**Структурна схема** (рис. 11.4) є частиною загальної моделі **ТП**, яка визначає послідовність та склад **ΣТпП** та **ΣОр**, їх структуру (послідовну або паралельну), впливи між **ΣТпП** та **ΣОр**, вхідний ( $C_{нвх}$ ) та вихідний ( $C_{вих}$ ) стани об'єкта впливу, параметри стану.

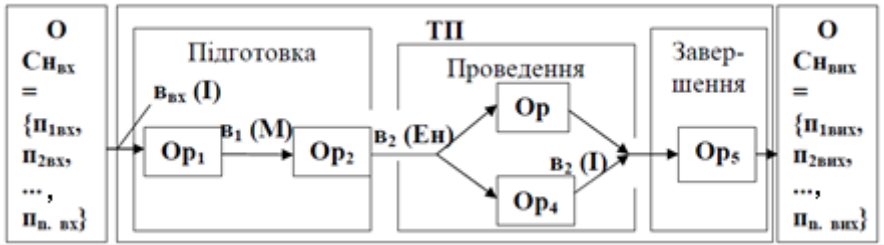


Рисунок 11.4 – Структурна схема абстрактного ТП

Різновидом структурної схеми є **ієрархічна схема** (рис. 11.5), на якій зазначені позначення та найменування складових  $\Sigma$ ТпП та  $\Sigma$ Op, а також їх ієрархічна підпорядкованість. Така форма подання є зручною, особливо на попередніх стадіях розроблення ТП, під час аналізу можливих варіантів. За цією схемою на сучасних персональних комп'ютерах упорядковуються каталоги, папки і файли у програмі «Провідник».

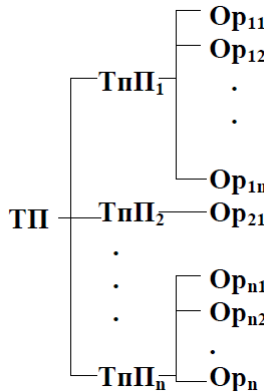


Рисунок 11.5 – Ієрархічна схема

У ряді задач ІТ необхідно провести аналіз залежностей основних робочих параметрів ТП, у зв'язку з чим необхідне його подання **графіками зміни параметрів у часі або за операціями**. Для зручності аналізу та порівняння залежності для різних параметрів можна подати в одній системі координат.

Так, на рисунку 11.6 наведено графіки зміни діаметра отвору (параметр  $\pi_1$ ) і температури заготовки ( $\pi_2$ ) при реалізації ТП її механічного і термічного оброблення в складі трьох підпроцесів: ТпП<sub>1</sub> – розточування отвору в заготовці (включає

операції чорнового ( $Op_{11}$ ), напівчистового ( $Op_{12}$ ) і чистового ( $Op_{13}$ ) розточування);  $TпП_2$  – транспортування заготовки від верстата до електропечі;  $TпП_3$  – гартування, в складі операцій нагрівання заготовки у печі ( $Op_{31}$ ) й охолодження її у мастильній ванні ( $Op_{32}$ ). На графіку зазначені граничні значення параметрів  $п_{1вх} \rightarrow п_{11} \rightarrow п_{12} \rightarrow п_{13} = п_{1вих}$ ;  $п_{2вх} \rightarrow п_{2вих}$ , а також їх зміни  $\Delta п_{11}$ ,  $\Delta п_{12}$ ,  $\Delta п_{13}$ ,  $\Delta п_{23}$ .

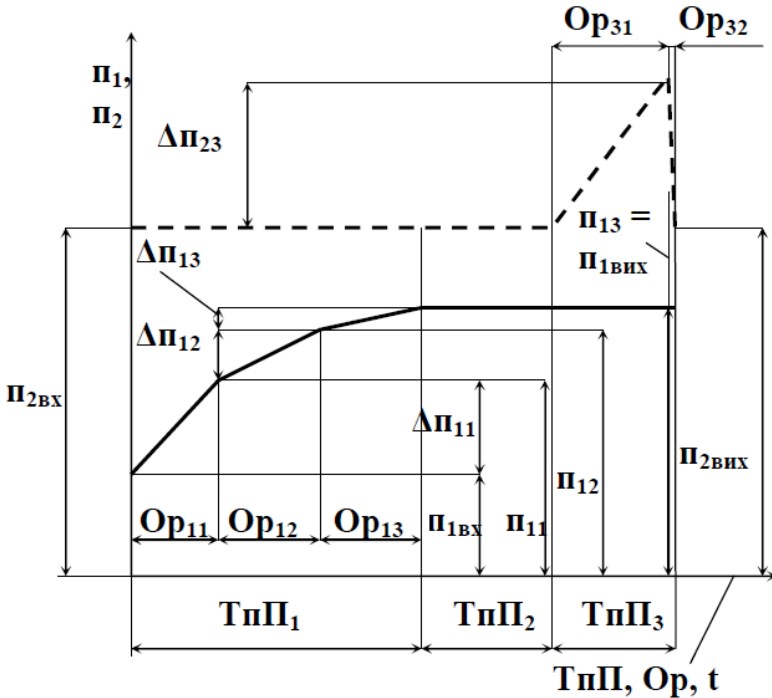


Рисунок 11.6 – Графіки основних робочих параметрів  $п_1$  і температури ТП

$TпП$  може бути також поданим у **математичній** або **словесній формі**. Математичний опис у ряді випадків є найбільш точним та компактним, тому часто використовується на стадіях попередніх досліджень  $TпП$ .

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

## 11.5 Класифікації технічних процесів

Основні класифікації **ТП** за рядом ознак подані у таблиці 11.5. Вони дозволяють упорядкувати всю множину існуючих **ТП**, проводити важливі аналогії і використовувати передовий досвід та високоефективні розв'язки, одержані в інших галузях техніки.

Таблиця 11.5 – Класифікації **ТП**

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

### Висновки

1 Існують декілька способів подання технічного процесу, при цьому необхідно врахувати і зобразити всі можливі елементи технічного процесу і впливи між ними.

2 Об'єкт впливу технічного процесу є одночасно

об'єктом впливу системи перетворень. Ним може бути: матерія, енергія або інформація.

3 Впливи технічного процесу можуть бути внутрішніми та зовнішніми, вхідними та вихідними.

4 Люди, технічні системи та навколишнє середовище – це елементи технічного процесу.

5 Унаслідок впливів матеріального, енергетичного або інформаційного характеру об'єкти переходять у проміжні стани через реалізацію операцій, які є елементарним неподільним технічним процесом, нерозривною в часі частиною процесу перетворень.

6 Технічний процес вважається успішно реалізованим, якщо після його завершення одержані задані вихідні параметри об'єкта. Тому вихідний стан об'єкта впливу є загальним параметром ефективності технічного процесу.

7 Спосіб подання технічного процесу залежить від призначення технічного процесу, мети подання, стадії розроблення.

### **Питання для самоперевірки**

1 В якій послідовності розробляється модель технічного процесу?

2 Як перевірити коректність розробленої моделі технічного процесу?

3 Назвіть елементи систем технічних процесів?

4 Якою може бути структура технічного процесу?

5 Як класифікуються технічні процеси?

6 Як класифікуються параметри технічних процесів?

7 Як визначити ефективність технічного процесу?

8 Що називають операцією технічного процесу, як класифікуються операції?

9 Які є способи подання технічних процесів?

## 12 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 цей момент відома практично нескінченна множинність **ТО** різного призначення і складності. Ми спробуємо упорядкувати її, а також виділити найбільш загальні ознаки та закономірності, характерні для всіх **ТО**. Одразу зазначимо, що повністю дана задача до цих пір повністю не розв'язана.

### 12.1 Загальні ознаки технічних об'єктів

**ТО** виконують численні функції, що служать для задоволення потреб людини. Раніше всі функції системи вже були поділені на зовнішні (**Ф**) та внутрішні (**ф**). Ця класифікація справедлива і для **ТО**. Зовнішня функція співвідноситься із внутрішньою як мета – засіб. Призначенням технічного об'єкта є виконання ним заданої зовнішньої функції – досягнення певної мети, що реалізується при здійсненні елементами внутрішніх функцій (засіб).

Крім того, в **ТО** під час реалізації їх призначення використовуються різні фізико-технічні ефекти, наприклад, ефект важеля, гравітації, розширення при підвищенні температури, нагрівання провідника при проходженні через нього електричного струму й багато інших. Основою цих ефектів є перетворення різного типу та характеру проходження.

Упродовж усього терміну існування, починаючи від розроблення і до ліквідації, технічний об'єкт проходить ряд типових станів (**Сн**), що визначаються його параметрами. Для правильного опису **ТО** в той чи інший момент циклу життя необхідно обов'язково зазначити його **Сн**, який дозволяє

установити склад **СП**. У таблиці 12.1 подано назви та характеристики основних станів **ТО**.

Таблиця 12.1 – Стани **ТО**

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

## 12.2 Загальна модель технічних об'єктів

Загальна модель **ТО** (рис. 12.1) може бути створена на підставі моделі **СП** (див. рис. 10.2). Як елемент системи перетворень **ТО** пов'язаний: з об'єктом впливу (призначення **ТО** реалізується за рахунок впливів на об'єкт, унаслідок чого змінюється його стан ( $C_{нвх} \rightarrow C_{нвих}$ ); із людьми (у виробничому процесі до множини **ΣЛ** можуть належати робітники, наладники, майстри); із технічними процесами та іншими технічними об'єктами; із навколишнім середовищем. Впливи між елементами **ТО** є потоками матерії (**М**), енергії (**Ен**) або інформації (**І**) і можуть мати бажаний або небажаний характер (побічні впливи – **В<sub>з.п.вих</sub>**).

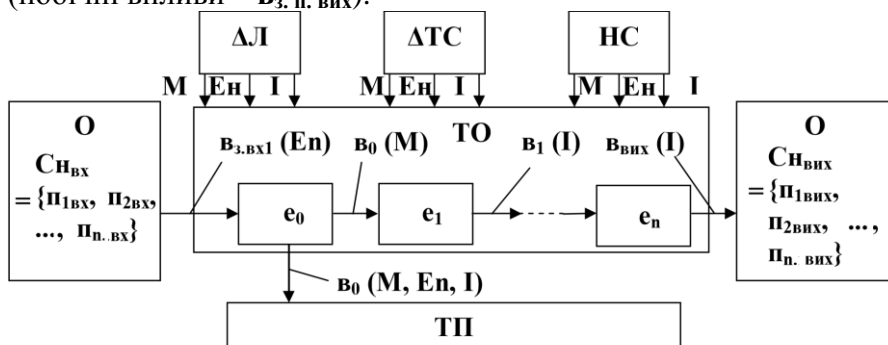


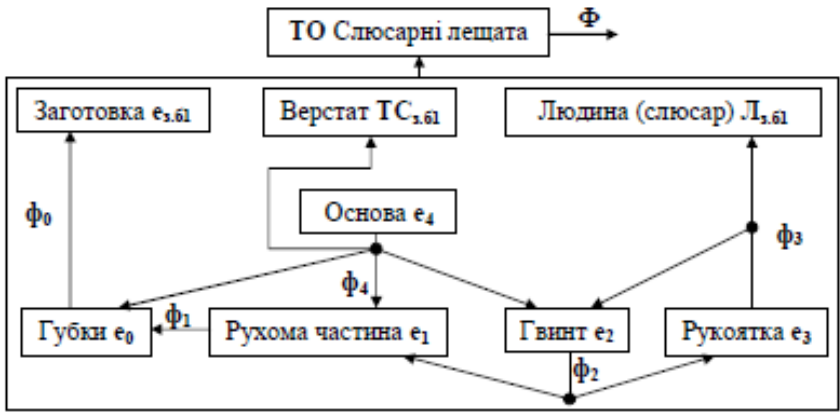
Рисунок 12.1 – Загальна модель **ТО**

## 12.3 Типові моделі технічних об'єктів

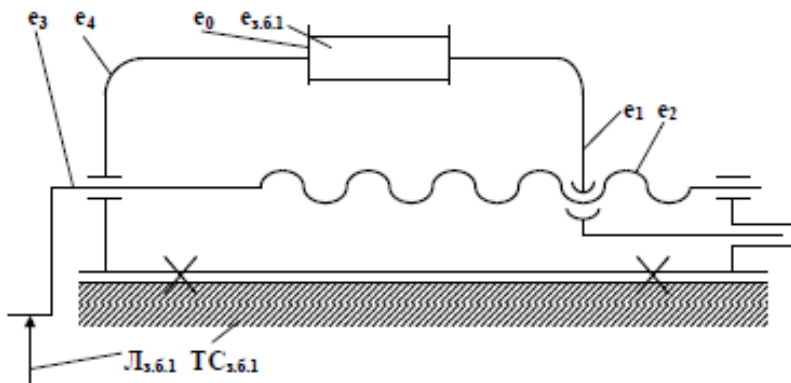
Крім того, **ТО** або його вузли залежно від призначення та сфери застосування можуть бути подані функціональними структурами (**ФС**), принциповими (**ПС**) або конструктивними (**КС**) схемами.

На рисунку 12.2 наведені типові моделі слюсарних лещат.

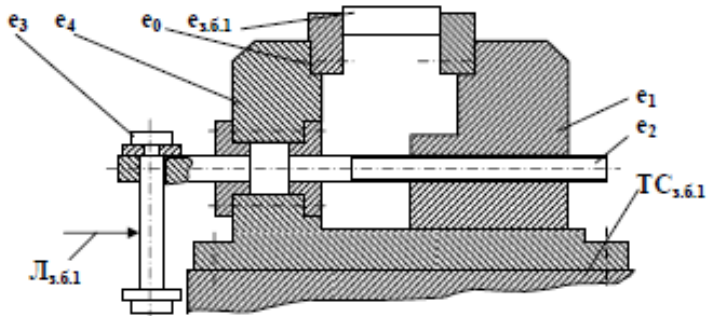




а)



б)



в)

Рисунок 12.2 – Типові моделі слюсарних лещат: а) **ΦС**; б) **ПС**;  
в) **КС**

Необхідно також додати, що в процесі створення тих чи інших **ТО** не завжди доцільно розробляти моделі всіх трьох типів. Вибирають вид моделі в кожному конкретному випадку виходячи з практичних міркувань, галузі, в якій буде використовуватися розроблюваний **ТО**, та умов задачі. Так, **ФС** використовуються в основному в автоматичній й технічній діагностиці, **ПС** – в електротехніці, гідравліці, пневматиці, верстатобудуванні; **КС** – практично в усіх галузях машинобудування.

### 12.3.1 Функціональні структури технічних об'єктів

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

Зображують **ФС** у вигляді графа, вершинами якого є найменування елементів **ТО**, а ребрами – функції елементів (див. рис. 12.2 а). Послідовність побудови **ФС** розглянута в цій лекції нижче.

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

Уже на стадії розроблення **ФС** необхідно наближено визначити параметри перетворень матеріальних, енергетичних або інформаційних потоків, що реалізуються при виконанні внутрішніх функцій **ТО**. Наприклад, під час затискання заготовки в слюсарних лещатах (див. рис. 12.2 а) фізична енергія руки людини-слюсаря ( $L_{3,61}$ ) перетворюється на енергію обертального руху рукоятки ( $e_3$ ); разом із рукояткою обертається гвинт ( $e_2$ ), унаслідок чого енергія обертального руху переходить у поступальну енергію переміщення рухомої частини лещат ( $e_1$ ) і губок ( $e_0$ ). Останні передають зусилля фіксації заготовці ( $e_{3,61}$ ) – перетворення кінетичної енергії руху на 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:  $c_{\Sigma} = 1/(1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3)$ . Найменш складною є елементарна функція – залежність одного параметра від іншого:

$$y = k \cdot x.$$

2 Залежно від типу перетворення, що реалізується, розрізняють функції перетворення матерії (наприклад, перетворення заготовки на деталь), енергії (перетворення механічної енергії на електричну) або інформації (перетворення під час розрахунку вхідних даних на вихідні).

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

### Розроблення функціональної структури

Для побудови **ФС** необхідно поділити **ТО** на складові елементи, для яких підібрати короткі чіткі та по можливості загальновідомі найменування. Так, основними елементами слюсарних лещат будуть (див. рис. 12.2 а): губки, рухома частина, гвинт, рукоятка, основа. Згідно із формулою  $\Phi = (\mathbf{B}; \mathbf{O}; \mathbf{Y})$  (див. тему 9) подається словесний опис зовнішньої функції розглядуваного **ТО** –  $\Phi$  та функції кожного його елемента. Визначається виконавчий елемент **ТО** (функція якого відповідає зовнішній функції **ТО**). Виконавчий елемент позначається як  $e_0$ , решта елементів розглядуваного **ТО** – як  $e_1, e_2, \dots$ , а функції елементів – як  $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots$ . При цьому індекси в позначеннях функцій повинні відповідати індексам позначень елементів, що їх виконують. У таблиці 12.2 наведений опис функцій елементів слюсарних лещат (див. рисунок 12.2 а).

Зовнішні технічні системи та елементи безпосереднього

впливу розглядуваного **ТО**, що згадуються в описах його внутрішніх функцій, позначаються  $e_{3.61}$ ,  $e_{3.62}$ , ...;  $ТС_{3.61}$ ,  $ТС_{3.62}$ , ... Такими елементом і технічною системою для слюсарних лещат будуть: заготовка –  $e_{3.61}$  та верстат –  $ТС_{3.61}$ . Крім того, потрібно врахувати вплив людини-робітника –  $Л_{3.61}$ .

Таблиця 12.2 – Аналіз функцій **ТО** «слюсарні лещата». Зовнішня функція **ТО** (**Ф**) – забезпечення фіксації заготовки під час її механічного оброблення

Елемент		Функція	
позна-чення	найменування	позна-чення	опис
$e_0$	Губки	$\Phi_0$	Забезпечення фіксації заготовки ( $e_{3.61}$ ) під час її механічного оброблення
$e_1$	Рухома частина	$\Phi_1$	Підтискання однієї губки ( $e_0$ ) до заготовки ( $e_{3.61}$ ) і до іншої губки ( $e_0$ ); створення на заготовці зусилля фіксації
$e_2$	Гвинт	$\Phi_2$	Перетворення обертального руху рукоятки ( $e_3$ ) на поступальне переміщення рухомої частини ( $e_1$ )
$e_3$	Рукоятка	$\Phi_3$	Передавання зусилля від руки людини-слюсаря ( $Л_{3.61}$ ) до гвинта ( $e_2$ )
$e_4$	Основа	$\Phi_4$	Базовий несучий елемент для губки ( $e_0$ ), рухомої частини ( $e_1$ ), гвинта ( $e_3$ ), кріплення до верстата ( $ТС_{3.61}$ )

Під час побудови **ФС** на верхньому рівні розміщується вершина з найменуванням розглядуваного **ТО**, від якої відходить вектор **Ф**, що зображує його зовнішню функцію (див. рис. 12.2 а). На другому зверху рівні розміщуються вершини з позначеннями та зазначенням професій людей, зовнішніх технічних систем й елементів безпосереднього впливу, що згадуються в описах внутрішніх функцій елементів розглядуваного **ТО** (див. табл. 12.2 та рис. 12.2 а). На третьому, четвертому й інших нижніх рівнях показують вершини з найменуваннями та позначеннями елементів **ТО**. Вектори, що зображують на **ФС** внутрішні функції **ТО**, повинні виходити із

вершин з позначеннями елементів, що їх виконують, і закінчуватися на вершинах з позначеннями елементів, що згадуються в описі функції (див. табл. 2.2 та рис. 12.2 а). Якщо в описі функції згадуються два, три або більше елементів, вектор, що її зображує, розгалужується. Бажано, щоб вектори, які зображують внутрішні функції **ТО**, якомога менше перетиналися.

### 12.3.2 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** (див. рис. 12.2 б).

#### **Принципові елементи**

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

**ПС** досить широко використовують у різних галузях техніки. Зокрема, в гідро- і пневмосхемах принциповими елементами є насоси, компресори, 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 – спрямовані потоки матерії, енергії, інформації або їх комбінації. Наприклад, у гідросистемах це потоки робочої рідини (сукупності впливів усіх трьох типів), параметри яких (швидкість, тиск та 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 передатні відношення – зміну параметрів потоків, що з'єднують елементи.

### **Класифікації принципів елементів**

1 Рівень складності принципового елемента визначає число неподільних елементів **ТО**, з яких він складається. За необхідності залежно від умов розв'язуваної задачі можна ввести декілька проміжних рівнів складності для підсистем або елементів **ТО**. Так, У металорізальному верстаті принциповими елементами вищого рівня складності можна умовно вважати коробки швидкостей та подань; елементами середньої складності – механізм поперечного подання супорта та задню бабку, а елементами нижчої конструктивної складності – окремі пари зубчастих коліс, ходовий гвинт із гайкою тощо.

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

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

### **Види принципів схем**

Вище вже зазначалося, що в деяких галузях техніки для створення **ПС** розроблено спеціальну символічну мову, відповідні стандарти та норми. Залежно від типу зображуваних

елементів або підсистем **ТО** виділяють такі види **ПС**:

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

### **Розроблення принципів схем**

Розроблення **ПС** може викликати певні труднощі у проектувальників, які звикли мати справу з більш конкретними конструктивними схемами, на яких **ТО** подано спрощеними зображеннями неподільних елементів, що за виглядом наближаються до креслень його деталей (болтів, гайок, кришок, валів і т. д.). У подібних ситуаціях може допомогти видова класифікація **ПС**: залежно від галузі техніки, в якій передбачається використовувати розроблюваний **ТО**, необхідно визначити, на принципові елементи якого виду і якого призначення він може бути поділений (див. вище), а далі згідно із діючими стандартами та нормами уточнити, як принципові елементи потрібно зображувати на схемі.

### 12.3.3 Конструктивні схеми технічних об'єктів

На конструктивній схемі технічний об'єкт зображують згідно з основними вимогами стандартів та норм до оформлення конструкторської документації (складальних та робочих креслень). Допускаються лише незначні спрощення (пропуск дрібних елементів, другорядних розрізів і видів), якщо це не заважає розумінню функцій **ТО** та його елементів, принципу їх дії та конструкції (див. рис. 12.2 в). У будь-якому разі конструкція непоказаних елементів повинна бути також продумана і приведена у відповідність із **КС**. Допустимим є

також спрощене або принципове зображення відомих або стандартних елементів.

Розроблення **КС** є початковою стадією створення проекту **ТО**. **КС** достатньо точно визначає склад елементів **ТО**, їх основні параметри (геометрична форма, розміри, матеріал), просторове розташування, типи і характеристики з'єднань – усе те, що дозволить реалізувати задані зовнішню та внутрішні функції і принцип дії. При цьому повинні максимально враховуватися всі вимоги до **ТО**, умови його експлуатації, у зв'язку з чим число критеріїв оцінювання **КС** порівняно з **ФС** і **ПС** значно зростає.

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

### **Впливи між конструктивними елементами**

Під час створення **КС** за необхідності (залежно від етапу розроблення або мети дослідження **ТО**) враховують усі або частину впливів на його конструктивні елементи. Зазначені впливи являють собою потоки матерії, енергії, інформації або їх комбінації, що діють на конструктивні елементи, і зокрема, між елементами.

### **Класифікації конструктивних елементів**

Конструктивні елементи класифікують за тими самими ознаками, що й принципові елементи **ТО**.

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

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

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

Крім того, за необхідності використовують 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.

### **Розроблення конструктивних схем**

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

Цей принцип застосовують і на етапах виготовлення та експлуатації **ТО** (заміна несправного конструктивного елемента таким самим справним для прискорення відновлення функціонування **ТО**).

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

### **Висновки**

1 Технічні об'єкти є засобом реалізації перетворень та

виконують численні функції, що служать для задоволення потреб людини.

2 Упродовж усього терміну існування, починаючи від розроблення і до ліквідації, технічний об'єкт проходить ряд типових станів, які визначаються його параметрами.

3 Як елемент системи перетворень технічний об'єкт пов'язаний з: об'єктом впливу, людьми, технічними процесами та іншими технічними об'єктами, навколишнім середовищем.

4 Типовими моделями технічних об'єктів можуть бути: функціональні структури, принципові схеми, конструктивні схеми.

### **Питання для самоперевірки**

1 Яким є значення технічних об'єктів у системах перетворень?

2 Якими є загальні ознаки технічних об'єктів?

3 Розкажіть про відношення «мета – засіб», «причина – наслідок»?

4 Дати характеристику типових станів технічних об'єктів.

5 Яку інформацію про технічний об'єкт містить його загальна модель?

6 Якими є типові моделі технічних об'єктів?

7 Яку інформацію про технічний об'єкт містить його функціональна структура, в яких галузях використовуються дані структури?

8 В якій послідовності розробляють функціональну структуру?

9 Що є впливами між елементами функціональної структури?

10 Як класифікують елементи функціональних структур?

11 Яким є призначення принципової схеми технічного об'єкта?

12 Які є види принципових схем технічних об'єктів?

13 Якими є загальні рекомендації з розроблення принципових схем?

14 Що собою являють впливи між принциповими

елементами?

15 За якими ознаками класифікують принципові елементи?

16 Яку інформацію про технічний об'єкт несе його конструктивна схема?

17 Якими є вимоги та рекомендації з розроблення конструктивних схем, який принцип використовують під час їх розроблення?

18 Що собою являють впливи між конструктивними елементами?

19 Як класифікують конструктивні елементи?

### 13 ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

#### 13.1 Методи опису законів розвитку технічних систем

У міру ускладнення технічних систем вони все більше наближаються за своїми властивостями до біологічних систем. Учені-біологи відкрили S-подібний закон розвитку біологічних систем. Була зроблена спроба застосувати ці закони до розвитку технічних систем. Деякі з цих спроб виявилися вдалими. Найбільш відомі – крива Перла (рис. 13.1) і крива Гомперца (рис. 13.2).

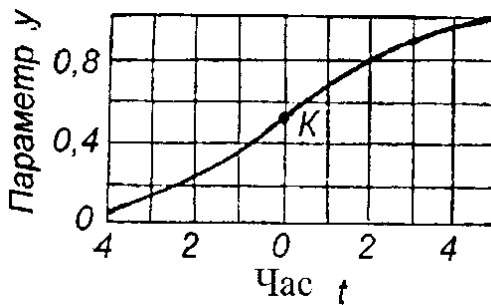


Рисунок 13.1 – Крива Перла

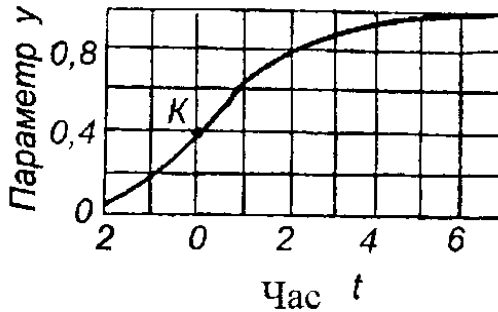


Рисунок 13.2 – Крива Гомперца

Крива Перла симетрична щодо точки перегину  $K$  і має вигляд

$$y = \frac{L}{(1 + ae^{-bt})},$$

де  $L, a, b$  – константи;  $t$  – час.

Відношення Перла малоприсаєдне для апроксимації реальних закономірностей у технічних системах через симетричну форму кривої, неможливості розтягнути її по осі абсцис або ординат, оскільки воно має лише три постійних коефіцієнти.

Крива Гомперца має вигляд

$$y = Le^{-be^{-kt}},$$

де  $L, b, k$  – константи;  $t$  – час.

Це розширює можливості апроксимації статистичних даних процесів розвитку технічних систем завдяки своїй асиметричності, однак залишається таким самим «жорстким» щодо осей координат, як і рівняння Перла.

Зміни параметрів технічних систем із плином часу описуються й іншими математичними залежностями:

- 1) лінійними  $y = a + bt$ ;
- 2) степеневими  $y = a + bt^n$ ;
- 3) напівлогарифмічними  $tgy = a + bt$ ;
- 4) експоненціальними  $y = a + be^{kt}$ .

Існує багато математичних прийомів апроксимації різних кривих, зокрема і довільної форми. Відомо понад 130 способів опису закономірностей розвитку технічних систем. Однак універсального способу апроксимації даних розвитку технічних систем до цього часу немає.

### 13.2 Стадійність розвитку технічних систем

Вивчення закономірностей розвитку технічних систем показало, що S-подібні криві характеризують різні етапи (рис. 13.3).

Ділянка *AB* характеризує сповільне зростання параметра технічної системи після її виникнення. Ділянка *BC* характеризує інтенсивне зростання основного параметра технічної системи. Ділянка *CD* характеризує вповільнення темпів зростання основного параметра, коли вичерпано фізичний принцип, на якому базується функціонування технічної системи.

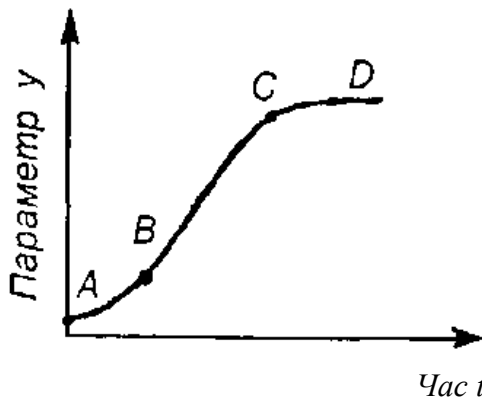


Рисунок 13.3 – S-подібна крива розвитку технічної системи з часом

Удосконалювати таку технічну систему безглуздо, вона повинна бути замінена на іншу технічну систему, що базується на іншому фізичному принципі дії.

Ділянка *BC* (рис. 13.3) S-подібної кривої характеризує не

лише період промислового освоєння нової технічної системи, а й також інтенсивну інженерну діяльність конструкторів, випробувачів, технологів, експлуатаційників та інших фахівців з удосконалювання кожної нової моделі технічної системи, що запускається у виробництво.

У результаті їх зусиль кожна наступна модель, яку освоюють на заводі-виробнику, виявляється усе більш досконалішою у функціональному й естетичному змісті, а тому і більш конкурентоспроможною на ринку. Відбувається це доти, поки головний параметр технічної системи чергової моделі не наблизиться до значення, яке характеризується точкою С на S-подібній криві. Подальші зусилля інженерів не дають уже такого ефекту як колись, тому що вичерпано фізичний принцип, на якому базується ця технічна система. У такому разі необхідно шукати новий фізичний принцип, який би дозволив адекватно зусиллям інженерів збільшувати величину головного параметра ТС.

Установлено, що незалежно від прийнятого фізичного принципу, ділянка ВС має унікальну інформаційну здатність характеризувати динаміку зміни матеріало- і трудомісткості, собівартості й інших важливих показників технічної системи, яку освоювали на заводі-виробнику.

Найважливішими показниками оцінювання конструкції технічної системи є трудо- та матеріаломісткість і собівартість. Ці показники можуть бути використані при створенні нових ТС на стадії ескізного проектування, що дозволяє уникнути помилок на наступних стадіях і, таким чином, зменшити втрати часу і коштів.

На практиці звичайно зручніше користуватися не абсолютними значеннями трудо- та матеріаломісткості і собівартості, а питомими їх величинами, тобто їх відносинами до величини параметра даної технічної системи (продуктивності, потужності, вантажопідйомності та ін.).

Застосування питомих показників дозволяє порівнювати між собою технічні системи різних моделей.

Інтенсивна інженерна діяльність у процесі розроблення нових моделей технічних систем приводить до того, що в період промислового освоєння (ділянка ВС S-подібної кривої) питомі показники матеріало- і трудомісткості та собівартості мають стійку тенденцію до зниження для кожної наступної моделі. Усі три криві можуть бути апроксимовані однотиповими аналітичними виразами.

Питома матеріаломісткість:

$$\begin{aligned}\bar{M} &= M_i / M_B, \\ M_i &= M_0 + (M_B - M_0) / e^k,\end{aligned}\quad (13.1)$$

де  $M_0 = K_M \cdot M_B$ ;

$K_M$  – коефіцієнт матеріаломісткості;

$M_B$  – матеріаломісткість на початку інтенсивного розвитку ТС (точка В), кг;

$e$  – основа натуральних логарифмів;

$$k = (t_i - t_B) / (t_C - t_B),$$

де  $t_i$  – поточний час, рік;

$t_B$  – початок інтенсивного розвитку ТС (точка В), рік;

$t_C$  – закінчення інтенсивного розвитку ТС (точка С),

рік.

Питома трудомісткість:

$$\begin{aligned}\bar{T} &= T_i / T_B, \\ T_i &= T_0 + (T_B - T_0) / e^k,\end{aligned}\quad (13.2)$$

де  $T_0 = K_T \cdot T_B$ ;

$K_T$  – коефіцієнт трудомісткості;

$T_B$  – трудомісткість на початку інтенсивного розвитку ТС (точка В), година;

$e$  – основа натуральних логарифмів;

$$k = (t_i - t_B) / (t_C - t_B),$$

де  $t_i$  – поточний час, рік;

$t_B$  – початок інтенсивного розвитку ТС (точка В), рік;

$t_C$  – закінчення інтенсивного розвитку ТС (точка С),  
рік.

Питома собівартість:

$$\bar{C} = C_i / C_B .$$

$$C_i = C_0 + (C_B - C_0) / e^k , \quad (13.3)$$

де  $C_0 = K_C \cdot C_B$ ;

$K_C$  – коефіцієнт собівартості;

$C_B$  – собівартість на початку інтенсивного розвитку  
ТС (точка В), євро;

$e$  – основа натуральних логарифмів;

$$k = (t_i - t_B) / (t_C - t_B) ,$$

де  $t_i$  – поточний час, рік;

$t_B$  – початок інтенсивного розвитку ТС (точка В), рік;

$t_C$  – закінчення інтенсивного розвитку ТС (точка С),

рік.

Якщо побудувати на одному графіку S-подібні криві для літальних апаратів: літаків із поршневим бензиновим двигуном (крива 1), реактивним двигуном (крива 2) і ракети на твердому паливі (крива 3), то одержимо графічну залежність зростання швидкості літальних апаратів із різним принципом дії у часі (рис. 13.4).

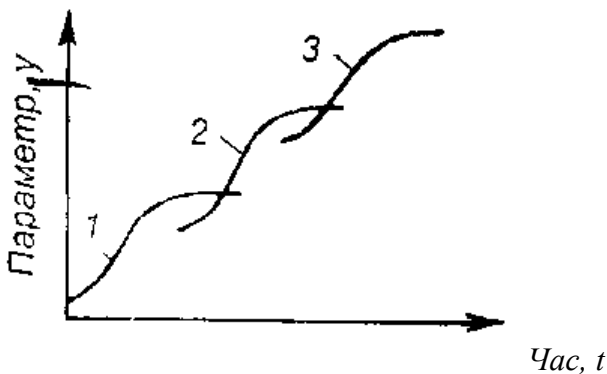


Рисунок 13.4 – Стадійність розвитку технічних систем із часом



Ця залежність характеризує стадійність розвитку технічних систем.

### 13.3 Винайдення і розвиток технічних систем

Зіставлення *S*-подібної кривої розвитку технічних систем у часі з рівнем, кількістю та економічною ефективністю винаходів дозволяє виявити ряд характерних закономірностей (рис. 13.5).

Виникнення ідеї нової технічної системи характеризується найвищим рівнем винаходу (рис. 13.5 а, б).

За цим йдуть слідуєть менш значущі, що стосуються вдосконалення цієї системи.

Принаймні при освоєнні нової системи рівень винаходів неухильно знижується. Кількість винаходів, навпаки, має тенденцію до зростання (рис. 13.5 в).

При цьому спостерігаються два піки кількості винаходів.

Перший пік збігається за часом із точкою «В» *S*-подібної кривої, тобто з початком практичного освоєння нової технічної системи.

Другий пік кількості винаходів збігається з точкою «Д», коли технічна система повністю вичерпує можливості фізичного принципу, що є її основою.

З одного боку, наявність другого піку кількості винаходів можна пояснити прагненням «вичавити» із системи все можливе, з іншого – оскільки система до цього часу і винахідництво добре вивчені та освоєні багатьма фахівцями, то і кількість винаходів є значною.

Економічна ефективність нової системи в початковий період негативна, оскільки мають місце витрати на неї і немає ніякого прибутку.

Прибуток з'являється після початку масового освоєння нової технічної системи (точка «В» на рис. 13.5 а). Прибуток плавно зростає в міру удосконалення технічної системи і починає сповільнюватися в міру вичерпання фізичного принципу (точка «Д» на рис. 13.5 а).

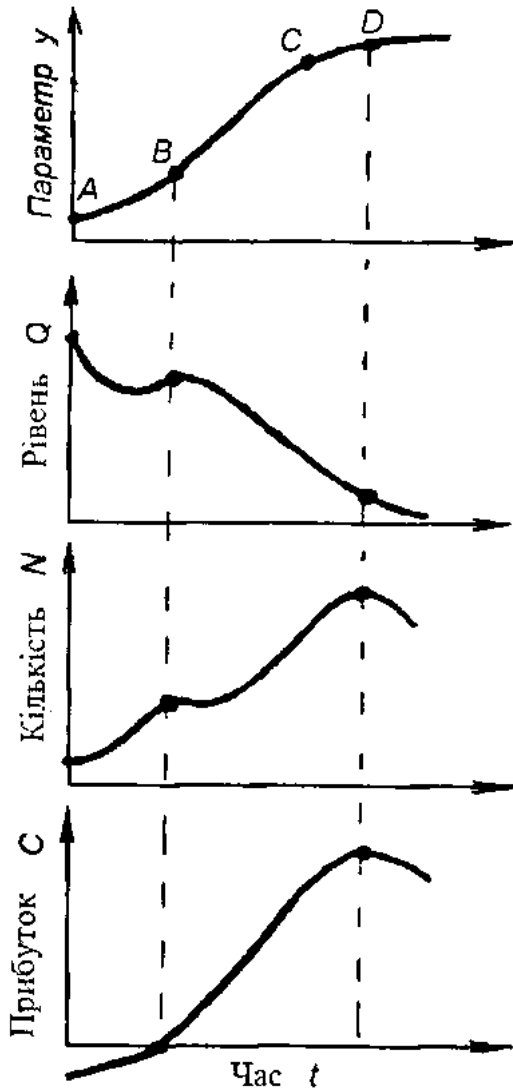


Рисунок 13.5 – S-подібна крива

Усі характеристики винахідницької діяльності мають подібну методику визначення. Необхідно знати граничні

значення параметрів (рівня винаходу  $Q$ , кількість винаходів  $N$  і прибутку  $C$ ), а також час  $t_B$  і  $t_D$ . Використовуючи ці значення, визначають характерні константи експонент.

Після цього проводять розрахунки за апроксимованими формулами і будують графіки  $Q = f_1(t)$ ,  $N = f_2(t)$  і  $C = f_3(t)$ .

Рівень винаходів може бути апроксимовано виразом вигляду

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{1}{e^{c_1(t/t_D)}} + \frac{(t/t_B)^2}{e^{c_2(t/t_B)}}. \quad (13.4)$$

Коефіцієнти при експонентах:

$$C_1 = \ln(Q_{\max}/Q_D), \quad (13.5)$$

$$C_2 = \ln(Q_{\max}/Q_B). \quad (13.6)$$

Вираз (13.4) описує криву  $Q_{\max}$ , показану на рисунку 13.5.

### Висновки

1 Крива Перла малоприматна для апроксимації реальних закономірностей у технічних системах, а крива Гомперса розширює можливості апроксимації статистичних даних процесів розвитку технічних систем.

2 Відомо понад 130 способів опису закономірностей розвитку технічних систем. Однак універсального способу апроксимації даних розвитку технічних систем до цього часу немає.

3 Найважливішими показниками оцінювання конструкції технічної системи є трудо- та матеріаломісткість і собівартість.

4 Зіставлення  $S$ -подібної кривої розвитку технічних систем у часі з рівнем, кількістю та економічною ефективністю винаходів дозволяє виявити ряд характерних закономірностей.

### Питання для самоперевірки

1 Які найбільш відомі криві, що описують закон розвитку технічних систем?

2 Якими математичними залежностями описуються зміни

параметрів технічних систем із плином часу?

3 Яка стадійність розвитку технічних систем на прикладі S-подібної кривої?

4 Які найважливіші показники оцінювання конструкції технічної системи?

5 Якими апроксимованими аналітичними виразами описані питомі показники матеріало- та трудомісткості й собівартості?

6 Які характерні закономірності можна виявити при зіставленні S-подібної кривої розвитку технічних систем у часі з рівнем, кількістю та економічною ефективністю винаходів?

## 14 ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРИ СТВОРЕННІ НОВИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

### 14.1 Основні етапи створення нових технічних систем

Процес створення нової технічної системи можна розбити на ряд обов'язкових етапів.

**Перший етап** – пошук нових ідей. Нові ідеї одержують за рахунок внутрішніх джерел (від працівників даного підприємства) і від зовнішніх джерел (від консультантів, експертів, патентознавців, науковців і т. д.).

**Другий етап** – відбирання ідей, що полягає у відсіюванні ідей, які явно не відповідають цілям і можливостям підприємства. Цю роботу виконують керівники підприємства чи фірми, оскільки лише вони мають найбільш повне уявлення про цілі, завдання й можливості фірми в даний час і в майбутньому.

**Третій етап** – аналіз можливостей виробництва і збуту майбутньої технічної системи. Перехід від ідеї до конкретних рекомендацій, включаючи розроблення первісної програми створення технічної системи. Програма передбачає перевірку створюваної технічної системи на конкурентоспроможність; можливість збуту; визначення потреб виробництва в матеріалах і устаткуванні, необхідних для створення нової технічної

системи; фінансові витрати.

**Четвертий етап** – розроблення виробу. Конструювання і перевірка на всіх етапах: від ідеї до готової продукції. Точне визначення розмірів, форми, ваги матеріалів, робочих характеристик технічної системи. Готується досліджувана продукція: виготовлення невеликої частини програми випуску технічної системи для випробувань технічної системи, виробничого обладнання, перевірки кваліфікації персоналу.

**П'ятий етап** – перевірка стану ринку. На ринок поставляється дослідна партія нової технічної системи, і вивчається реакція покупців, визначається попит, конкурентоспроможність, коло покупців.

**Шостий етап** – організація масового виробництва. Складається остаточна програма випуску. Репутація фірми з цього етапу залежить від збуту нової ТС.

#### 14.2 Поетапне спадання числа ідей під час створення нових технічних систем

Статистика засвідчує, що для створення однієї технічної системи, яка користується великим попитом на ринку, конкурентоспроможної і такої, що дає прибуток фірмі, необхідно мати в початковий момент близько 60 перспективних ідей.

Існують два шляхи одержання нових ідей: перший – за рахунок використання внутрішніх джерел самої фірми; другий – за рахунок використання зовнішніх джерел поза фірмою. Розглянемо більш докладно обидва шляхи.

#### **Одержання нових перспективних ідей для створення технічних систем за рахунок внутрішніх джерел фірми:**

1 Виявлення недоліків і технічних суперечностей в аналогічних технічних системах, що випускаються фірмою. При спробі усунення недоліків та суперечностей зазвичай одержують цінні нові ідеї.

2 Оголошення конкурсів на кращу ідею або пропозицію

серед працівників фірми із преміюванням переможців.

3 Від учасників творчих груп проєктувальників, конструкторів, розробників, які володіють методами мозкового штурму, синектики, морфологічного аналізу, теорії вирішення винахідницьких завдань і т. д.

### **Одержання нових ідей від зовнішніх джерел:**

1 Від потенційних та постійних клієнтів фірми шляхом їх анкетування, опитування, збирання пропозицій.

2 Від спеціальних консультаційних (консалтингових) фірм, фахівців приватних і державних організацій.

3 Від учених наукових і навчальних закладів, лабораторій; дослідних і проєктно-конструкторських організацій, патентно-ліцензійних служб і т. д.

Установлено, що в міру переходів від одного етапу створення технічної системи до іншого відбувається закономірне, поетапне спадання числа ідей, поки не залишиться одна-єдина ідея, якій призначено втілитися в готову технічну систему (рис. 14.1).

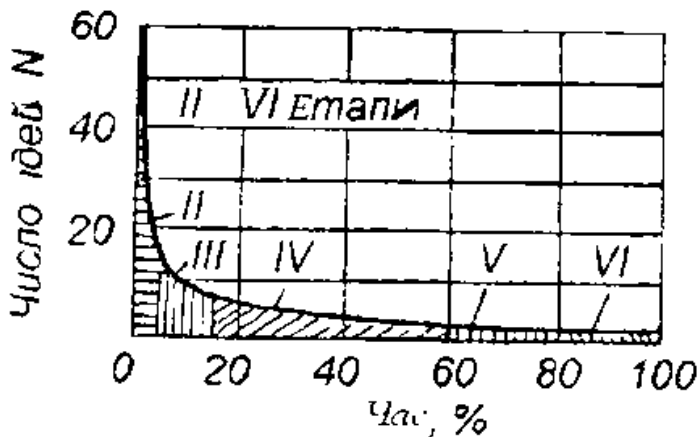


Рисунок 14.1 – Поетапне спадання числа ідей під час створення нової технічної системи

### 14.3 Поетапне зростання витрат під час створення нових технічних систем

На практиці встановлено, що у процесі створення нових технічних систем відбувається закономірне поетапне зростання витрат (рис. 14.2). Цей процес стосовно зменшенням числа ідей має зворотний характер: чим менше залишається ідей у процесі здійснення етапів створення нової технічної системи, тим більше витрачається грошей на реалізацію етапів.

На рисунку 14.2 наведені середні витрати на різних етапах створення нової технічної системи, характерні для більшості галузей промисловості.

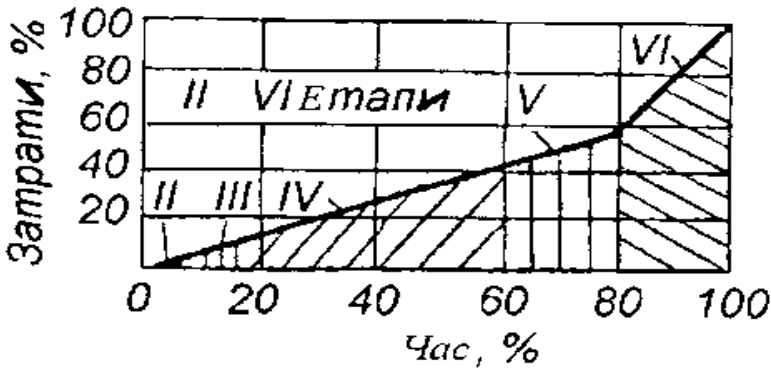


Рисунок 14.2 – Поетапне зростання витрат під час створення нової технічної системи

Лінія на рисунку 14.2 показує сумарні середні витрати, усереднені по галузі для останніх трьох етапів розроблення технічної системи.

Важливе значення має те, що відбір ідей та аналіз можливостей виробництва і збуту фірми виконують на початкових етапах створення технічної системи. Це дозволяє виключити ідеї, що мають обмежену цінність, до того, як розроблення перейде на більш капіталомісткі етапи.

Очевидно, що завдання керівництва фірми полягає в

тому, щоб відібрати найбільш цінні ідеї, на реалізацію яких у процесі створення нової технічної системи буде витрачено основний час і гроші.

На жаль, створення нових технічних систем часто пов'язане зі значним ризиком і частіше за все прибуток виявляється невеликим. У середньому по промисловості реалізація ідеї, здатної забезпечити високий прибуток, пов'язана зі значним ризиком. Завдання керівників фірми у тому і полягає, щоб відібрати ті ідеї, що трапляються рідко, реалізація яких має більше шансів забезпечити прибуток за наявних ресурсів.

Процеси розроблення, виготовлення і споживання (експлуатації й утилізації) технічних систем здійснюються у визначених тимчасових і просторових межах. Під впливом науково-технічного прогресу створювані технічні системи періодично повинні обновлюватися, тобто характеризуються циклічним характером розвитку. Для пояснення явищ, що характеризують тривалість функціонування основних елементів процесу виготовлення, виробництва і споживання технічних систем, використовують поняття життєвого циклу, під яким розуміють тривалість існування технічної системи, починаючи з моменту обґрунтування проведення науково-дослідних робіт, пов'язаних з її створенням, і закінчуючи завершенням робіт з утилізації знятої з експлуатації технічної системи (див. табл. 14.1).

Таблиця 14.1 – Основні параметри, що характеризують тимчасові межі стадій життєвого циклу технічної системи

Структура (стадії)	Тривалість	
	початок	закінчення
1	2	3
1 Дослідження і розроблення	Обґрунтування проведення НДР за конкретною продукцією	Акт про здачу дослідного зразка замовникові
2 Виготовлення	Одержання технічної документації за даною технічною системою	Відвантаження останньої машини, знятої з виробництва



Продовження табл. 14.1

1	2	3
3 Обіг	Відвантаження споживачеві першого екземпляра технічної системи	Постачання споживачеві останнього екземпляра технічної системи
4 Експлуатація	Одержання споживачем першого екземпляра технічної системи	Зняття з експлуатації останнього екземпляра технічної системи
5 Утилізація	Момент списання першого екземпляра технічної системи з експлуатації	Завершення робіт з утилізації останнього екземпляра знятої з експлуатації технічної системи або передавання її для вторинного використання

Тривалість життєвого циклу технічних систем – функція змінна і залежить від факторів двох груп.

**До факторів першої групи відносять:**

- технічні: новизна, складність, надійність, продуктивність і т. д.;
- економічні: собівартість, рентабельність, потреба і т. д.;
- організаційні: серійність, характер обслуговування, керування і т. д.

**Дія факторів другої групи:**

- перехід на випуск нової продукції, зміна технічних вимог замовника;
- поява нових ринків збуту і т. д.

Дія факторів найчастіше суперечлива за своєю спрямованістю і результативністю, що означає необхідність комплексного вивчення негативних і позитивних сторін впливу кожного з факторів на тривалість життєвого циклу технічних систем.

Зупинимося детальніше на стадії «Обіг» (див. табл. 14.1), коли виріб (технічна система) з’являється на ринку і знаходить

свого споживача. Типовий цикл життя технічної системи на цій стадії показаний на рисунку 14.3.

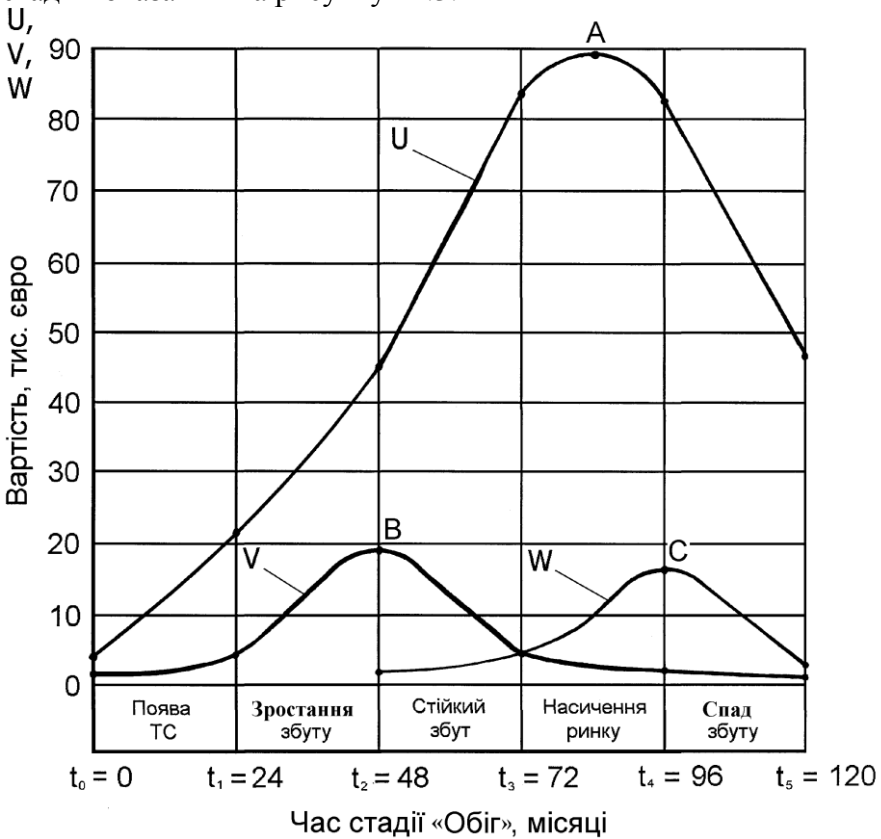


Рисунок 14.3 – Життєвий цикл заданої технічної системи на стадії «Обіг», побудований за дослідними значеннями

Збут продукції (технічної системи) після її появи як нового товару швидко зростає (крива U), досягає максимуму в точці A, коли ринок насичується, а потім збут починає скорочуватися. Хоча форми кривої збуту U і кривої прибутку V аналогічні, вони не збігаються за фазою, тому що зменшення прибутку спостерігається раніше (точка B), ніж відбувається скорочення збуту. Це пояснюється тим, що максимальний розмір прибутку відповідає точці A перегику кривої збуту. Як

тільки приріст збуту починає зменшуватися, після точки А можна чекати зменшення прибутку.

Очевидно, що стратегію виробництва необхідно будувати на основі кривої прибутку, а не кривої збуту. Можливе одержання додаткового прибутку  $W$  за рахунок освоєння нових нетрадиційних ринків збуту, звичайно в менш економічно розвинених регіонах.

Додатковий прибуток може бути більшим чи меншим за основний, або дорівнювати йому.

Незважаючи на деяку ідеалізацію, графіки, показані на рисунку 14.3, можуть служити відправною точкою для дослідження життєвого циклу технічних систем на такій важливій стадії життєвого циклу, як «Обіг». За характером кривих можна робити висновки про доцільні терміни припинення виробництва даної технічної системи, про початок пошуків додаткових ринків збуту, робити прогнози щодо перспективності даної моделі і т. д.

### **Висновки**

1 Процес створення нової технічної системи можна розбити на ряд обов'язкових етапів: пошук нових ідей, відбір ідей, аналіз можливостей виробництва і збуту майбутньої технічної системи, розроблення виробу, перевірка стану ринку, організація масового виробництва.

2 Статистика засвідчує, що для створення однієї технічної системи, яка користується великим попитом на ринку, конкурентоспроможної і такої, що дає прибуток фірмі, необхідно мати в початковий момент близько 60 перспективних ідей.

3 Існують два шляхи одержання нових ідей: перший – за рахунок використання внутрішніх джерел самої фірми; другий – за рахунок використання зовнішніх джерел поза фірмою.

4 Під час переходу від одного етапу створення технічної системи до іншого відбувається закономірне, поетапне спадання числа ідей, поки не залишиться одна-єдина ідея, якій призначено втілитися в готову технічну систему.

5 У процесі створення нових технічних систем відбувається закономірне поетапне зростання витрат.

6 Тривалість життєвого циклу технічних систем – функція змінна і залежить від факторів двох груп.

### **Питання для самоперевірки**

1 Які існують основні етапи створення нових технічних систем?

2 Які існують шляхи одержання нових ідей? Опишіть їх.

3 Від яких факторів залежить тривалість життєвого циклу технічних систем?

4 Перелічіть та опишіть основні параметри, що характеризують тимчасові межі стадій життєвого циклу технічної системи.

## **15 ЯКІСТЬ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

### **15.1 Поняття про якість технічних систем**

**Якість продукції** – це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення.

Для об'єктивного оцінювання якості технічної системи необхідно кількісно охарактеризувати її властивості.

Таку кількісну характеристику властивостей технічної системи, що розглядається щодо певних умов її створення та експлуатації, називають показником якості технічної системи.

За допомогою існуючих методів і показників можна досить об'єктивно контролювати якість виробів. Але не менш важливим завданням є управління якістю технічних систем. Управління якістю технічних систем – це встановлення, забезпечення і підтримка необхідного рівня якості технічних систем під час їх розроблення, виробництва та експлуатації, здійснювання шляхом систематичного контролю якості і цілеспрямованого впливу на умови і чинники, що впливають на якість. Таким чином, процес управління якістю технічних

систем охоплює всі основні етапи їх створення та експлуатації. На кожному етапі розробляють певну систему заходів для забезпечення необхідного рівня якості.

Якість технічних систем на етапі проектування залежить від ступеня опрацювання технічного завдання та покладених у його основу результатів науково-дослідних та експериментальних робіт, рівня проектно-розрахункових робіт, точної відповідності ухвалених рішень вимогам стандартів та взаємодії з іншими службами підприємства, які беруть участь у виготовленні дослідного зразка. На етапі виробництва якість технічних систем обумовлюється технічним рівнем та станом засобів технологічного оснащення і вимірювань, якістю сировини, матеріалів і комплектувальних виробів, організації їх зберігання, застосування передових технологій.

## 15.2 Показники якості технічних систем

Установлено такі **групи показників якості технічних систем**: 1 – призначення; 2 – конструктивні; 3 – міцності і стійкості до впливу зовнішніх факторів; 4 – надійності; 5 – технологічності конструкції; 6 – стандартизації та уніфікації; 7 – безпеки; 8 – ергономічні; 9 – технічної естетики; 10 – патентно-правові.

**1 Показники призначення** характеризують властивості технічної системи, що визначають її основні функції та обумовлюють сферу її застосування (тиск, витрата, потужність і т. д.).

**2 Конструктивні показники** характеризують конструктивні особливості технічної системи, що обумовлюють можливість реалізації комплексу її функціональних властивостей (маса, габарити).

**3 Показники міцності та стійкості до впливу зовнішніх факторів** характеризують властивості технічної системи зберігати працездатність під впливом зовнішніх факторів (вібрації, температури і т. д.).

**4 Показники надійності** характеризують властивості безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності та зберігання технічної системи.

**5 Показники технологічності конструкції** характеризують властивості технічної системи, що обумовлюють оптимізацію витрат матеріалів, засобів, праці і часу, під час технологічної підготовки виробництва та виготовлення.

**6 Показники стандартизації та уніфікації** характеризують насиченість технічної системи стандартними й уніфікованими складовими частинами.

**7 Показники безпеки** характеризують конструктивно-технічні особливості технічної системи, що обумовлюють безпеку обслуговуючого персоналу (час спрацьовування запобіжного клапана, електрична міцність ізоляції).

**8 Ергономічні показники** характеризують властивості технічної системи, що враховують комплекс властивостей людини (вплив освітленості, шуму, вібрації і т. д.).

**9 Показники технічної естетики** характеризують художню виразність та оригінальність форми, цілісність композиції, колірне і декоративне оформлення, якість оброблення, фарбування поверхонь.

**10 Патентно-правові показники** характеризують ступінь новизни технічних рішень, використаних у технічній системі, їх правовий захист.

### 15.3 Колова діаграма оцінювання якості технічних систем

Деякі з перелічених показників легко можна вимірювати, але такі, як показники технічної естетики та інші до них, визначити безпосередньо не можна. У таких випадках використовують непрямі методи – експертні опитування і бальне оцінювання. При цьому в особливих методиках визначають придатність фахівців бути експертами, потім із них формують експертну групу. Експертами є найбільш досвідчені фахівці, які

для оцінювання якості технічної системи керуються як виробленими в конкретній галузі науки загальними уявленнями про можливі варіанти технічного, економічного і конструктивного рішення технічної системи, так і власним досвідом.

Для оцінювання якості нової або існуючої технічної системи може бути використана так звана **колова діаграма якості** (рис. 15.1).

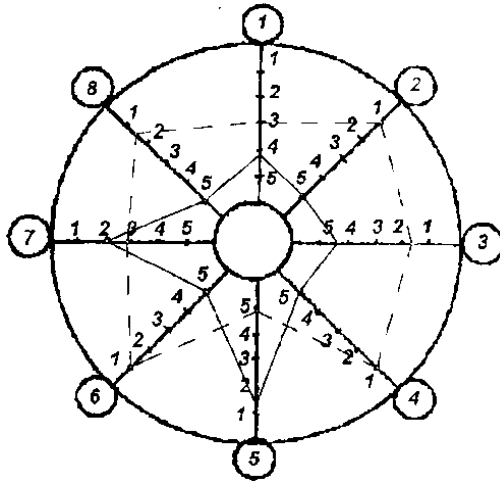


Рисунок 15.1 – Колова діаграма якості

Метод оцінювання полягає в такому. Будують колову діаграму. По її периметру рівномірно розміщені кілька радіальних шкал, що оцінюють той чи інший параметр технічної системи. Значення параметра, розміщені за шкалою ближче до центра, кращі від тих, які розміщені до зовнішнього контуру.

Оптимальним (найкращим) варіантом технічної системи визнається той, для якого площа фігури, обмеженої відрізками прямих, що з'єднують значення параметрів однієї технічної системи на суміжних шкалах діаграми, виявиться ближче до площі внутрішнього кола діаграми.

Наведений приклад оцінювання двох технічних зварювальних систем Т1 і Т2 (ручного й автоматичного зварювання) із використанням таблиці 15.1.

Таблиця 15.1 – Параметри технічної системи

Найменування	Величина				
	погано → добре				
1	2	3	4	5	6
1 Енергоємність зварного шва, кал/мм	140	130	120	110	100
2 Якість зварювання, балів	1	2	3	4	5
3 Швидкість зварювання, мм/с	2,5	5	7,5	10	12,5
4 Додержання параметрів шва, балів	1	2	3	4	5
5 Вартість установки, тис. доларів	6	5	4	3	2
6 Форма смуги після зварювання, балів	1	2	3	4	5
7 Вага зварювальної головки, Н	50	40	30	20	10
8 Фізичне навантаження зварювальника, балів	1	2	3	4	5

#### 15.4 Схеми оцінювання технічних систем

Труднощі оцінювання технічних систем пов'язані із труднощами у виборі узагальненого показника, який би враховував усю повноту технічних, ергономічних, економічних та інших важливих властивостей технічних систем. У принципі можливі три схеми оцінювання технічних систем (див. табл. 15.1).

За цими схемами оцінювання проводять двома способами: інтуїтивно та об'єктивно (тобто на основі визначальних критеріїв).



Таблиця 15.1 – Характеристики схем оцінюваних об'єктів

Схема	Оцінюваний об'єкт	Тип оцінного питання
I	Реалізована технічна система	Яка створена технічна система?
II	Постановлення задачі (перелік вимог) і варіант розв'язання чи зразок	Чи відповідає технічна система (чи модель) поставленій задачі?
III	Поставлення задачі й різні можливі розв'язки, що технічно відповідають поставленій задачі	Який розв'язок кращий (оптимальніший)?

Інтуїтивне оцінювання, незважаючи на його суб'єктивність, не може бути повністю відкинута. Воно визначається не лише суб'єктивними відчуттями, а й часто тривалим досвідом, наприклад експерта. У цьому разі оцінювання цілком ймовірне.

Схеми оцінювання наведені на рисунку 15.1.

15.5 Операції оцінювання технічних систем і поняття цінності технічних систем

У процесі оцінювання виконують такі операції:

- а) вибір узагальненого показника;
- б) вибір критеріїв оцінювання (властивостей);
- в) визначення критеріальних оцінок;
- г) перетворення оцінок на узагальнений показник.

Для об'єктивного оцінювання повинні бути обрані визначені критерії. При цьому зазвичай виходять із того, що ТС має цінність, яку потрібно встановити.

**Цінність ТС** визначається тим, які потреби вона задовольняє і якою мірою. Залежно від точки зору, з якої оцінюється система, можливі різні різновиди цінності.

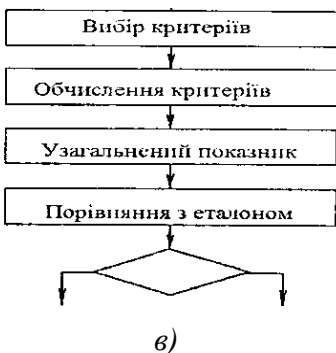
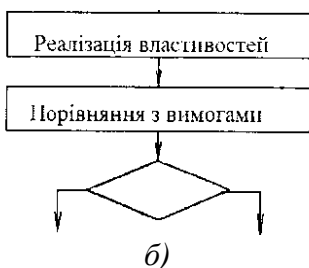
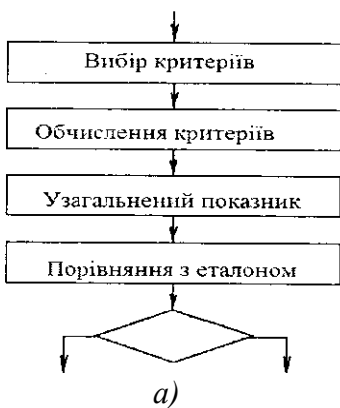


Рисунок 15.1 – Схеми оцінювання технічних систем:  
 а) оцінювання технічних систем I типу; б) оцінювання  
 технічних систем II типу; в) оцінювання технічних систем  
 III типу

**Технічна цінність**, що визначається як сукупність (вектор) якості технічних властивостей технічних систем (функціонування, обслуговування, виробництво, а також технологічність та конструкторські властивості).

**Економічна цінність** – сума (вектор) якостей економічних властивостей.

**Споживча цінність** охоплює зовнішні властивості технічних систем, що задовольняють ергономічні та естетичні якості. Сукупна цінність є найбільш загальним показником, що враховує цінності всіх класів властивостей даних технічних систем.

Вищезазначені показники можна назвати «абсолютними». Крім них, є цілий ряд відносних показників.

**Відносний показник** – це відношення дійсної цінності до цінності деякого «ідеального виробу» (тобто носія «ідеальних властивостей»). Як приклад можна навести метод Кессельринга для визначення узагальненої відносної цінності виробів за його варіантами (рис. 15.2), в якому кожен варіант виробу характеризується точками  $S1$ ,  $S2$  і  $S3$ .



Рисунок 15.2 – Метод Кессельринга

Важливим етапом оцінювання є вибір критеріїв, тобто визначальних властивостей технічних систем. Вибір повинен

забезпечувати достатню повноту розгляду системи.

Хоча багато властивостей (критеріїв) можуть бути оцінені кількісно, виникають труднощі об'єднання їх в узагальнений показник. Багатовимірне уявлення про властивості дає використання середніх геометричних.

### 15.6 Способи оброблення бальних оцінок при оцінюванні технічних систем

У таблиці 15.2 наведені різні способи одержання оцінок шляхом оброблення бальних оцінок для визначення цінності ТС.

Таблиця 15.2 – Узагальнені оцінки для визначення

Вид узагальноної оцінки	Формула	Геометричний зміст	Примітка
1	2	3	4
1 Абсолютне середнє арифметичне	$\bar{p}_1 = \sum \frac{p_i}{n}$	Середнє значення	Простий розрахунок
2 Відносне середнє арифметичне	$\bar{p}_2 = \frac{\bar{p}_1}{p_{\max}}$	Середнє значення	Порівняння з ідеальним варіантом $P_2 < 1$
3 Виважене абсолютне середнє арифметичне	$\bar{p}_3 = \frac{\sum p_i g_i}{\sum g_i}$		Враховується важливість властивостей
4 Виважене відносне середнє арифметичне	$\bar{p}_4 = \frac{\bar{p}_3}{p_{\max}}$		$P_4 \leq 1$

Продовження табл. 15.2

1	2	3	4
5 Абсолютне середнє геометричне	$\overline{p_5} = \sqrt[n]{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n}$	Сторона $n$ -вимірного «куба», еквівалентного плитці зі сторонами $P_1, \dots, P_n$	$P_5 = 0$ при $P_1 = 0$
6 Відносне середнє геометричне	$\overline{p_6} = \frac{\overline{p_5}}{P_{\max}}$		$P_6 < 1$
7 Виважене абсолютне середнє геометричне	$\overline{p_7} = \frac{\sqrt[n]{p_1 \cdot g_1 \cdot \dots \cdot p_n \cdot g_n}}{\sqrt[n]{g_1 \cdot g_2 \cdot \dots \cdot g_n}}$		Не існує, оскільки $g$ нехтуємо
8 Виважене відносне середнє геометричне	$\overline{p_8} = \frac{\overline{p_7}}{P_{\max}}$		Як у п. 7
9 Абсолютний вектор	$\overline{p_9} = \sqrt[n]{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}$	Діагоналі $n$ -вимірної плити зі сторонами $P_1, \dots, P_n$	
10 Відносний вектор	$\overline{p_{10}} = \frac{\overline{p_9}}{P_{\max}}$		$P_{10} \leq 1$
11 Зважений абсолютний вектор	$\overline{p_{11}} = \sqrt{(p_1 \cdot g_1)^2 + (p_1 \cdot g_1)^2}$	Діагоналі $n$ -вимірної плити зі сторонами $P_1, \dots, P_n$	
12 Зважений відносний вектор	$\overline{p_{12}} = \frac{\overline{p_{11}}}{P_{\max}}$		$P_{12} \leq 1$

Позначення в таблиці 15.2:

$P_1, \dots, P_n$  – бальні оцінки критеріїв 1, ...,  $n$ ;

$P_{\max}$  – бальна оцінка ідеального варіанта;

$g_1, \dots, g_n$  – значення (ваги) критеріїв оцінки;

$P$  – загальна оцінка;

$n$  – кількість критеріїв оцінки;

$\sum \overline{P}_1 = \sum P_1$  – сума балів оцінок від  $P_1$  до  $P_n$ .

**Висновки**

1 Якість продукції – це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні

потреби відповідно до її призначення.

2 Управління якістю технічних систем – це встановлення, забезпечення й підтримка необхідного рівня якості технічних систем при їх розробленні, виробництві та експлуатації, здійснювані шляхом систематичного контролю якості й цілеспрямованого впливу на умови і чинники, що впливають на якість.

3 Показники якості технічних систем: 1 – призначення; 2 – конструктивні; 3 – міцності та стійкості до впливу зовнішніх факторів; 4 – надійності; 5 – технологічності конструкції; 6 – стандартизації та уніфікації; 7 – безпеки; 8 – ергономічні; 9 – технічної естетики; 10 – патентно-правові.

4 Для оцінювання якості нової або існуючої технічної системи може бути використана колова діаграма якості.

5 Розроблені три схеми оцінювання технічних систем. У процесі оцінювання виконуються такі операції: вибір узагальненого показника; вибір критеріїв оцінювання (властивостей); визначення критеріальних оцінок; перетворення оцінок на узагальнений показник.

### **Питання для самоперевірки**

1 Що називають показником якості технічної системи?

2 Від чого залежить якість технічних систем на різних етапах?

3 Які існують групи показників якості технічних систем? Що їх характеризує?

4 У чому полягає метод оцінювання якості нової або існуючої технічної системи за допомогою колової діаграми якості?

5 Опишіть характеристики схем оцінювання технічних систем.

6 Які операції виконуються у процесі оцінювання технічних систем?

7 Які існують способи оброблення бальних оцінок під час оцінювання технічних систем?

## 16 НАСЛІДКИ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

### 16.1 Моральність і науково-технічний прогрес

**Суперечливий характер науково-технічного прогресу** виявляється у тому, що він:

- розширює можливості цивілізації у використанні сил природи;

- одночасно руйнує основи існування людини, а якщо брати прогрес військової техніки, то й створює безпосередню загрозу всьому живому на Землі.

Але в науково-технічному прогресі є і загальнолюдський зміст. Моральне, гуманістичне завдання науково-технічного прогресу полягає в намаганні зменшити шкідливі наслідки науково-технічного прогресу, а в майбутньому цілком виключити можливість його антигуманних проявів. Отже, інженерна діяльність, діяльність учених повинна здійснюватися у визначених моральних рамках. У зв'язку з цим багато великих вчених пишуть про глибокі суперечності між двома видами людської діяльності:

- зовнішньої, зв'язаної з науковим знанням і технікою;

- внутрішньої, сполученої з моральними цінностями.

Одні вчені захищають моральність, виражаючи неприйняття науково-технічних досягнень цивілізації, а інші – стоять на боці науково-технічного прогресу, незважаючи на його негативні наслідки. І те, й інше є крайностями. Науково-технічний прогрес висуває підвищені вимоги не лише до творців нової техніки, а й до творців наукових ідей. Зараз формується така сфера діяльності, в якій усе більше і більше потрібний інженер особливого типу – інженерно-науковий працівник. Тому гуманістичні принципи, моральні норми і правила однаково важливі як у науковій діяльності, так і в інженерній діяльності. Однаковою мірою це стосується і соціальної відповідальності вченого та інженера.

Техніка, очевидно, впливає на людину як своїми

корисними результатами (спроєктованими, передбаченими), так і негативними, непередбаченими чи неминучими (факторами розплати).

Інженер створює пристрої, що перетворюють світ навколо нас (техносферу) з метою одержання користі у формі технічних систем. Однак за одержану користь доводиться розплачуватися. **Фактори розплати:**

1 Витрати на проектування і виготовлення техніки.

2 Брак виробництва.

3 Витрати на штатну експлуатацію.

4 Витрати на ремонт.

5 Витрати на охорону навколишнього середовища від штатного її забруднення продуктами викиду техніки.

6 Витрати на ліквідацію техніки, яка відпрацювала свій термін.

7 Витрати на післяліквідаційне усунення наслідків функціонування техніки.

Тією чи іншою мірою ці витрати або враховуються (1 – 5) у виробництві та експлуатації, або (6–7) починають визнаватися як ті, що заслуговують на пильну увагу). Однак є ряд факторів розплати, що лише періодично потрапляють у сферу уваги сучасної техніки і науки. Згадаємо найважливіші з них:

– аварії (до цього часу немає теорії аварій, відомо лише, що аварії трапляються разюче одноманітно в будь-яких системах);

– втрати від позаштатної (необов'язково аварійного характеру) взаємодії із зовнішнім середовищем;

– втрати від позаштатної взаємодії одних технічних систем з іншими.

## 16.2 Руйнівний вплив інженерної діяльності на природу

Г. С. Альтшуллер виділив **три** основні типи руйнівного впливу сучасної технічної цивілізації на природу:



### **1 Злочинне руйнування природи.**

### **2 «Законне» руйнування природи.**

### **3 Необхідне витіснення природи.**

**1 Злочинне руйнування природи.** Найбільш відверта форма знищення природного середовища. Наприклад, підпали лісів: від пожеж гинуть сотні тисяч гектарів лісу. Скидання відходів із танкерів у відкритому морі потай. Скидання в ріки й озера відходів нафтопереробної та хімічної промисловості. Викидання шкідливих газів в атмосферу – всупереч усім санітарним нормам.

Неприпустимість злочинного руйнування природи якоюсь мірою усвідомлена суспільством. Постійно посилюються закони, що захищають природу від варварського знищення.

**2 «Законне» руйнування природи.** Закони дозволяють руйнувати природу у визначених, нібито безпечних для природи, межах. Через кожні 10–15 років з'ясовується, що ці межі потрібно різко посилити: норми переглядають, роблять більш жорсткими, але здебільшого буває вже пізно...

Ніхто не сумнівається в необхідності автомобілів. З іншого боку, шкідливі викиди стаціонарних джерел забруднення – заводів, котельень і фабрик – становлять у загальному обсязі лише 15 % забруднень, решта припадає на транспорт. Навіть під час згоряння якісного бензину виділяється 16 елементів забруднення. Як стверджують учені, у великих містах кожний вдих скорочує життя людини на півхвилини.

Усі технічні засоби, що використовують паливо, щороку викидають в повітряний басейн:

- двооксиду сірки –  $(180-200) \cdot 10^6$  т;
- вуглецю –  $(350-400) \cdot 10^6$  т;
- оксиду азоту –  $(60-65) \cdot 10^6$  т;
- вуглеводню –  $(80-90) \cdot 10^6$  т.

Бурхливо розвивається авіація: збільшується кількість літаків, збільшується потужність двигунів і висота польотів. В атмосферу – на «законній» підставі – викидається усе більша кількість шкідливих газів. Закон не бачить наростаючої

небезпеки руйнування озонового шару в атмосфері. Тим часом озон захищає все живе на Землі від згубних ультрафіолетових променів.

Закони прагнуть не зачепити інтереси економіки. Закони не зазирають у майбутнє. Це спричинює усе більш могутнє «законне» руйнування природи.

**3 Необхідне витіснення природи.** Кількість населення на планеті швидко збільшується. Потрібні нові міста, нові заводи і фабрики, нові дороги... Потрібне нове місце для технічного світу – узяти це місце нізвідкіля – можна лише відняти його у природи. Навіть маючи мудрі й далекоглядні закони, однаково техніка буде прагнути витіснити природу: потрібне місце для населення, що збільшується, потрібне місце для техніки, що забезпечує високий рівень добробуту усьому населенню планети, яке швидко збільшується.

Альтернативою технічному миру сьогодні є «безприродний технічний мир». Зміст цього миру – урахувати вже зараз, на що може розраховувати людина, яка втратила природу.

Матеріальний світ потрібний людині на дуже довгий час, практично навічно. Людина повинна відчувати – мир буде завжди.

Але ніякими технічними засобами не можна забезпечити вічність «безприродного технічного миру». Це проблема соціальна, адже мова йде про будівництво миру, а не впорядкованої довгострокової клітки.

### 16.3 Етика інженерної діяльності

**Етика інженерної діяльності** – конкретизація загальних норм і принципів моралі щодо умов інженерної діяльності, покликана показати шляхи вирішення тих моральних проблем і ситуацій, що виникають у професійній діяльності інженера й вимагають від нього визначеної моральної позиції.

**Інженерна етика** концентрується на поведженні

індивіда-інженера і на виробленні етичних норм, що регулюють його професійну діяльність. Інженерна етика належить до типу так званих прикладних етик (поряд із медичною, екологічною, комп'ютерною). Серед прикладних етик можна, у свою чергу, виділити професійні етики – такі, як лікарська етика чи етика адвокатів.

Інженерна етика як сукупність (чи система) норм, що регулюють поведінку інженера, існувала завжди. До її норм ми можемо зарахувати такі, як необхідність сумлінно виконувати свою роботу; створювати пристрої, що приносили б людям користь і не завдавали шкоди (особливий випадок із цієї точки зору – військова техніка); відповідальність за результати своєї професійної діяльності; визначені форми відносин (звичаї і правила, що регулюють відносини) інженера з іншими учасниками процесу створення і використання техніки. Ряд таких норм фіксується в юридичних документах – наприклад, у законах щодо питань безпеки, інтелектуальної власності, авторського права. Деякі норми професійної діяльності інженерів закріплені в адміністративних постановах, що регулюють діяльність тієї чи іншої організації (підприємства, фірми, інститути і т. д.).

Проблеми етики інженерної діяльності набули особливої актуальності у зв'язку із зростанням руйнівних можливостей техніки і посиленням соціальної ролі інженера. Сьогодні інженер є практичним реалізатором найсміливіших задумів учених. Він матеріально втілює наукові ідеї.

Участь у виготовленні військової техніки, створення і використання атомної бомби особливо гостро поставили проблему моральної відповідальності інженера, моральної регуляції його діяльності. У ряді країн були розроблені кодекси моралі інженера – Кредо інженера (ФРН), Кодекс інженерної етики (США) та ін., які детально визначають моральні обов'язки інженера. При конструюванні нової техніки інженер зобов'язаний враховувати її екологічні, ергономічні, естетичні, економічні й інші параметри, що вимагає моральних і

психологічних якостей.

Не можна назвати позицію інженера моральною, якщо він не подбає про зручність використання, комфортність, екологічність, безшумність споруд і машин.

Інженерна психологія доводить, що інженерові необхідні точність, практичність, винахідливість, гостро розвинене почуття відповідальності, здатність йти на ризик і т. д. Крім того, сучасний інженер повинен бути вмілим організатором і керівником. Високий рівень культури, уміння створити в колективі здоровий моральний клімат, товарицькість і дружелюбність також стають якостями, професійно необхідними інженерові. Етика інженерної діяльності покликана формувати ці якості, перетворювати їх на риси характеру.

### **Висновки**

1 У житті сучасного суспільства інженерна діяльність відіграє всезростаючу роль. Проблеми практичного використання наукових знань, підвищення ефективності наукових досліджень і розробок висувають сьогодні інженерну діяльність на передній край усієї економіки й сучасної культури.

2 Інженер зобов'язаний прислухатися не лише до голосу вчених і технічних фахівців та голосу власної совісті, а й до суспільної думки, особливо якщо результати його роботи можуть вплинути на здоров'я й спосіб життя людей, торкнутися пам'яток культури, порушити рівновагу природного середовища і т. д.

3 Ніякі посилення на економічну, технічну й навіть державну доцільність не можуть виправдати соціального, морального, психологічного, екологічного збитку, який може бути наслідком реалізації деяких проектів.

4 Споконвічна мета інженерної діяльності – служити людині, задоволенню його потреб. Однак сучасна техніка часто використовується на шкоду людині й навіть людству в цілому. Це стосується не лише використання техніки для цілеспрямованого знищення людей, ай також повсякденної експлуатації інженерно-технічного обладнання. Якщо інженер і

проектувальник не передбачили того, що поряд із точними економічними й чіткими технічними вимогами експлуатації повинні бути дотримані також і вимоги безпечного, безшумного, зручного, екологічного застосування інженерних обладнань, то із засобу служіння людям техніка може стати ворожою людині й навіть наразити на небезпеку саме його існування на Землі. Ця особливість сучасної ситуації висуває на перший план проблему етики й соціальної відповідальності інженера й проектувальника перед суспільством й окремими людьми.

### **Питання для самоперевірки**

1 У чому виявляється суперечливий характер науково-технічного прогресу?

2 Які глибокі суперечності існують між видами людської діяльності?

3 Які існують фактори розплати за створення техніки?

4 Які основні типи руйнівного впливу сучасної технічної цивілізації на природу виділив Г. С. Альтшуллер?

5 Що таке етика інженерної діяльності?

6 Які норми існують в інженерній етиці?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – Москва : Сов. радио, 1979. – 176 с.
2. Чус А. В. Основы технического творчества / А. В. Чус, В. Н. Данченко. – Киев : Вища школа, 1983. – 184 с.
3. Евтушенко А. А. Малоотходные технологии в насосостроении и их социально-экономическая эффективность / А. А. Евтушенко, А. В. Чупис. – Киев : УМК ВО, 1991. – 84 с.
4. Сборник задач по курсу «Теория развития технических систем» / А. А. Евтушенко, В. Г. Неня, С. В. Сапожников, И. Б. Твердохлеб. – Сумы : СумГУ, 1995. – 107 с.
5. Научно-технический прогресс : словарь / сост. : В. Г. Горохов, В. Ф. Халиков. – Москва : Политиздат, 1987. – 306 с.
6. Голибардов Е. И. Техника ФСА / Е. И. Голибардов, А. В. Кудрявцев, М. И. Синенко. – Киев : Тэхника, 1989. – 239 с.
7. Петрович Т. Н. Путь к изобретению / Т. Н. Петрович, В. М. Цуриков. – Москва : Мол. гвардия, 1986. – 222 с.
8. Селюцкий А. Б. Правила игры без правил / А. Б. Селюцкий. – Петрозаводск : Карелия, 1989. – 280 с.
9. Селюцкий А. Б. Нить в лабиринте / А. Б. Селюцкий. – Петрозаводск : Карелия, 1988. – 277 с.
10. Селюцкий А. Б. Шанс на приключение / А. Б. Селюцкий. – Петрозаводск : Карелия, 1991. – 304 с.
11. Хубка В. Теория технических систем / В. Хубка. – Москва : Мир, 1987. – 208 с.
12. Севостьянов І. В. Теорія технічних систем : підручник / І. В. Севостьянов. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 181 с.
13. Теорія технічних систем : конспект лекцій / укладачі: В. В. Дубінський, О. С. Ігнат'єв. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 51 с.

Навчальне видання

**Сапожніков Сергій Вячеславович**

# **СТВОРЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Конспект лекцій

для студентів спеціальності 131 *«Прикладна механіка»*  
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск І. О. Ковальов  
Редактори: Н. З. Клочко, С. М. Симоненко  
Комп'ютерне верстання С. В. Сапожнікова

Підписано до друку 25.01.2019, поз. 35.  
Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,60. Обл.-вид. арк. 7,93. Тираж 5 пр. Зам. №  
Собівартість видання      грн      к.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.