

ТЕМА 1. ВСТУП. ЗМІСТ І СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ

[1.1. Історія виникнення та розвитку дисципліни](#)

[1.2. Технічні та машинні системи](#)

[1.3. Мета, зміст та перспективи курсу «Теорія технічних систем»](#)

[1.4. Зв'язок з іншими дисциплінами](#)

1.1. Історія виникнення та розвитку дисципліни.

В процесі розвитку цивілізації змінюється уява людей про машини. Спочатку вони розглядалися як ціле з належними тільки для них особливими частинами. Для означення деяких машин не було навіть спеціальних понять. Не можна не згадати праць справжнього генія Леонардо да Вінчі (1452-1519 рр.), який на століття визначив хід розвитку науки і розглядав елементи і частини машин як загальні одиниці різних агрегатів, застосовуваних у військовій, гірничій та морській справі, а також в металообробці, друкарстві, ткацтві та виконанні вантажних робіт.

Подальшою систематизацією процесу створення машин займалися Монж, Карно, Каріоліс. Ф.Рьоло, Р.Вілліс, П.Л. Чебишев, І.І. Артоболевський. Тільки після заснування технічних шкіл (Париж, 1794 р.; Прага, 1806 р.) починається процес систематизації машин і вилучення з них окремих механізмів, призначених для перетворення руху.

Для полегшення людської праці з'являються також машини-двигуни (парові, гідравлічні, електричні). Робляться перші спроби створити загальну теорію машин і механізмів, до складу якої входили синтез механізмів, спільно з структурою і кінематикою, динамікою машин, теорією автоматів.

Для підготовки фахівців в різних галузях складалися свої навчальні плани, орієнтовані на досягнення конкретних для цих галузей наук. Внаслідок цього виникли відокремлені одна від одної сфери знань та професій, в яких будь-яке професійне навчання повинно було доповнюватись багаторічним досвідом. Причина цього полягала у відсутності теорії і, як наслідок, у відсутності системи збору і класифікації винаходів та нових технологій.

Створення нових технічних засобів поряд з підвищенням вимог до них, з одного боку, і новими методами вирішення задач (наприклад, засобами

обчислювальної техніки) з другого боку, викликає необхідність перегляду методів вивчення *технічних систем* (ТС).

Після другої світової війни виник один з нових напрямків в галузі теорії ТС у вигляді окремих аспектів загальної теорії, а пізніше в більш інтегрований формі - системотехніки. З цього моменту теорія ТС знайшла визнання як основа і джерело інформації для декількох суміжних галузей знань. Так наприклад, теорія конструювання частково опирається на теорію ТС.

1.2. Технічні та машинні системи

Можливі два підходи до проблеми означення технічного засобу - "абстрактної машини". Перший полягає в переліку всіх елементів, які входять до складу машини (наприклад, привід, передаючий механізм, колінчастий вал, втулки, болти та ін.). Другий підхід полягає в пошуку нового узагальненого виразу або терміну. В останньому випадку основна увага при описі технічного засобу приділяється його системним властивостям.

Виходячи з поняття системи, їх можна розділити на класи за принципом походження (рис.1.1). При цьому окремі елементи цієї структури визначаються на підставі загальноприйнятої класифікації галузей знання: класи ТС відповідають відомим галузям техніки - машинобудування, електротехніка, будівництво і т.п.

Але такий підхід не дає точного означення "технічний засіб", тому що згідно рис.1.1 його можна трактувати і як об'єкт машинобудування, і як електротехніки тощо, більше того в останній час 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" (ТС), яка в загальному вигляді є сукупністю елементів і відношень (зв'язків), які утворюють цілісну структуру об'єкту. При вивченні ТС розрізняють три класи сукупностей об'єктів:

- 1) *неорганізовані* (наприклад, заготовки, які лежать навалом);
- 2) *організовані* з елементами, об'єднаними в стійку структуру, яка має нові властивості (наприклад, верстати з ЧПК);
- 3) *самопристосовувані* зі зміною зв'язків або структури під дією зовнішнього середовища (наприклад, адаптивні системи керування).

Рисунок 1.1- Розподіл систем за їх походженням

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

Науково-технічна революція призвела до різкого зростання кількості і складності ТС (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Приклади зростання кількості і складності ТС

Термін	Приблизна кількість класів	Середня кількість різних елементів в найбільш складних ТС

100 000 років тому	5	1
10 000 років тому	50	10
1 000 років тому	1000	100
Теперішній час	більше 50 000	більше 10000

Динаміка розвитку ТС в теперішній час наведена в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Динаміка розвитку ТС в теперішній час

Показник ТС	Зростання показника ТС	Термін (роки)
Кількість класів	x 2	10
Складність за кількістю деталей та вузлів	x 2	15
Обсяг науково-технічної інформації і розробках	x 2	8
Час створення нової техніки	x 0,5	25
Обсяг пошукового конструювання	x 10	10
Продуктивність праці в промисловості	x 10	50
Продуктивність конструювання	x 1,2	50

1.3. Мета, зміст та перспективи курсу

Курс "Теорія технічних систем" спрямований на підвищення кваліфікації майбутнього інженера як новатора, творця-винахідника, котрий повинен в найкоротший термін впровадити нові технічні ідеї у виробництво.

Курс "Теорія технічних систем" є базовим для формування у спеціаліста творчого потенціалу, необхідного для самостійної постановки

нових інженерних завдань, вирішення задач пошуку нових конструкторсько-технологічних рішень, які в кінцевому рахунку забезпечують підвищення якості продукції, досягнення світового рівня створених об'єктів, усесторонню інтенсифікацію і економію ресурсів.

Структура теорії ТС повинна включати такі основні положення;

- система понять;
- система перетворень;
- технічний процес як елемент системи перетворень;
- ТС як елемент системи перетворень,
- призначення ТС;
- структура ТС;
- властивості та оцінювання ТС;
- виникнення і розвиток ТС;
- еволюція ТС;
- систематика - класи, типи та види ТС.

Завдання курсу полягають у придбанні знань з класифікації та властивостям технічних систем; засобам подання та оцінки технічних систем, стадіям їхнього створення та еволюції.

Предметом курсу є ТС та її елементи з протиріччями, які створюють проблемну ситуацію, вирішення якої можливо шляхом синтезу нової, більш прогресивної системи.

Мета - дати знання про конструювання, технологічну підготовку, процес виробництва та господарчі операції. Виходячи із сутності та закономірностей створення та використання технічних систем.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

1) **знати:**

- предмет курсу, його основні поняття та визначення;
- критерії класифікації технічних систем:

- засоби представлення технічних систем;
- основні стадії створення технічних систем;
- класифікацію властивостей технічних систем та підходи до їх визначення;
- основні етапи розвитку технічних систем;

2) *вміти*:

- описувати технічний процес;
- встановлювати загальні вимоги до технічних систем;
- будувати функціональну, органоструктури, та конструктивну схему технічних систем;
- класифікувати технічні системи за різними критеріями;
- оцінювати властивості технічних систем.

1.4. Зв'язок з іншими дисциплінами

Залежно від галузі застосування розрізняють:

- загальну теорію ТС, яка справедлива для всіх систем (рис.1.1);
- спеціальні теорії, які конкретизують загальну теорію для окремих класів, типів та видів ТС.

Структура спеціальної теорії ТС може бути ієрархічною (наприклад, теорія верстатів, теорія металообробних верстатів, теорія токарних верстатів). Особливе місце займають спеціальні теорії, які використовуються для декількох галузей техніки, наприклад, теорія механізмів, теорія деталей машин тощо.

Теорія технічних систем базується на цілій низці наукових дисциплін - фізика, хімія, біологія, теорія систем, логіка, тощо.

Наприклад, опір матеріалів - досліджує зв'язок між міцністю технічних систем та геометричними характеристиками, властивостями матеріалу та навантаженнями на технічні системи.

Отже, позитивні сторони від створення теорії технічних систем такі:

- 1) теорія виявляє закономірності, що справджуються для всіх об'єктів техніки. Дозволяє переносити позитивний досвід однієї галузі в іншу, завдяки системному підходу;
- 2) дозволяє вивчати та розробляти методи конструювання технічних систем як, взагалі, не пов'язано з конкретним об'єктом, так і технічних систем окремого класу.
- 3) дає можливість при створенні технічних систем вибрати найбільш ефективну структуру, вибрати з множини рішень - найкраще.

ТЕМА 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

[2.1. Основні поняття та визначення](#)

[2.2. Типи систем і задач](#)

[2.3. Ієрархія опису ТС](#)

[2.4. Закономірності розвитку і еволюція ТС](#)

2.1. Основні поняття та визначення

В даному курсі будуть використані загальновідомі, а також спеціальні терміни, деякі означення та літерні символи. Співвідношення між окремими поняттями в групах визначаються послідовно. Наприклад, при визначенні поняття "система" використовується поняття "множина", отже поняття системи виходить з поняття множини.

Множина - це сукупність спостережуваних або мислених об'єктів - **елементів** множини. За кількістю елементів розрізняють скінчені та нескінчені множини.

- x є елемент множини M ;

- M_1 є підмножиною M_2 ;

- об'єднання множин;

- перетин множин.

Якщо X - елемент множини M , то записують $X \in M$. Дві множини M і N еквівалентні, якщо кожному елементу множини M точно відповідає елемент множини N і навпаки. Якщо усі елементи множини $N \in M$, то N - підмножина M тобто

Сукупність усіх неналежних N елементів M називають **доповненням** множини N .

Об'єднання $M \cup N$ - це множина, усі елементи якої належать або M , або N .

Перетинання $M \cap N$ включає усі елементи, які належать як M , так і N .

Система - це сукупність, яка створена (і упорядкована за певними правилами) з скінченної множини елементів. При цьому між елементами системи існують певні зв'язки. Можливі також системи, які мають ізольовані елементи (або групи елементів), котрі не мають зв'язків з іншими елементами системи.

Особливістю системного підходу є те, що в допустимих межах система об'єктів досліджується, як єдиний організм з урахуванням внутрішніх зв'язків між означеними елементами і зовнішніх зв'язків з іншими системами та об'єктами.

Елемент і система це відносні поняття. Елемент може бути одночасно системою менших елементів, а система в свою чергу, може бути елементом деякої більшої системи. Наприклад, деяка машина – це система утворена з своїх елементів (деталей), і в той же час може входити в поточно-механізовану (автоматизовану) лінію. Система може бути розділена на підсистеми різної складності.

Для конструктора технічних систем найнижчим рівнем є деталі машин, матеріалознавець свої дослідження проводить на рівні молекул – елементів системи матеріалів.

Узагальнена модель системи наведена на рис.2.1, а її поняття знаходяться в одному ряду з такими поняттями, як призначення, поведінка (функціонування), структура, навколишнє середовище, вхід, вихід, властивість, стан.

Будь-яка виготовлена система має певне призначення, яке може бути описано системою цілей. **Ціль (мета)** - це якийсь (можливо, уявний) стан справ, до здійснення якого прямують. Система цілей - це множина цілей і співвідношення між ними. Часто підціль є засобом досягнення мети.

Поведінка може бути визначена як множина послідовних у часі станів системи. Цілеспрямована поведінка системи називається **функцією**. Поведінку ТС будемо називати **функціонуванням**.

Структура системи характеризує внутрішню організацію, порядок і побудову системи, тобто **структура** - це сукупність елементів і співвідношення (зв'язків) між ними.

Якщо $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ є множина елементів, а $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ множина співвідношень (зв'язків), то структура $Str = \{E, R\}$ є множина, яка складається з E і R .

Рисунок 2.1- Узагальнена модель системи

Один і той же об'єкт може бути визначений кількома системами. Наприклад, для верстата-автомата можна визначити систему головного руху, систему подачі, систему автоматичного керування, систему автоматичного завантаження заготовок тощо.

Функціонування (поведінка) системи визначається її структурою. Відносно замкнута система з заданою структурою функцією однозначно – структура повністю визначає спосіб функціонування. Але функціонування не визначає структуру однозначно. Одна і та ж функція може бути реалізована різними структурами.

Системи існують в деякому навколишньому середовищі і обумовлюються ним.

Оточення (навколишнє середовище Umg) системи теоретично включає все, що не входить в дану систему, але ми обмежимося тільки реальним довкіллям, а не повним, до якого входять: геосфера, атмосфера, біосфера (з людьми), техносфера, астросфера.

Вхід (In) - це зовнішнє відношення навколишнього середовища до системи, тобто навколишнє середовище \rightarrow система. Сукупність усіх входів складає узагальнений вхід, як вектор окремих дій, зв'язків (відносин) та (або) параметрів стану (операндів).

Вихід (Out) - це зовнішнє відношення системи до навколишнього середовища, тобто система \rightarrow навколишнє середовище. Сукупність усіх виходів може бути зведена до узагальненого виходу (вектору виходу).

Вся система, її елементи і відносини володіють властивостями, які належать цій системі і відносно точно її визначають (розміри, маса, швидкість, форма, стабільність, технологічність, транспортабельність, а особливо здатність щось робити, тобто функціонувати).

Властивість - це будь-яка суттєва ознака об'єкту. Для сукупної характеристики об'єкту, наприклад, при його оцінюванні, вибирають найбільш суттєві властивості. В цьому випадку мова йде про часткову, узагальнену та сукупну оцінку, узагальнені властивості або цінності.

Сукупність значень властивостей системи в зазначений момент часу називається **станом** системи, який за аналогією з якістю можна визначити вектором, що містить як компоненти окремі властивості.

Два стани системи можуть бути однаковими або різними. Різниця між станами називається **різницею**, яка виникає при переході системи від одного стану до іншого. Різниця може бути диференційованою (коли має місце безперервний перехід до наступного стану) або дискретною.

Відношення (R) - це взаємозалежність або вплив двох і більше об'єктів або явищ абстрактного або конкретного типу. При конструюванні суттєві об'єктивні, визначені відношення, які піддаються опису у відповідності з фізичними або логічними законами. Відношення зв'язують окремі елементи в різних системах. Вислів "об'єкт X знаходиться у відношенні R до об'єкту Y " символічно записується $R(X, Y)$. Відношення може бути рефлексним, симетричним або транзитивним. Ці типи відношень можна охарактеризувати так:

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

б) **симетричність** - якщо один об'єкт еквівалентний іншому, то другий еквівалентний першому;

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

Якщо виконуються усі три умови, то відношення називається відношенням еквівалентності.

Відношення між двома об'єктами буде також називатися кореляцією. **Кореляція** - це математична модель відношення в узагальненій формі.

Види відношень є такі:

Схожість – це відношення схожості між двома або більше системами. Схожості можуть бути – функціональні, структурні та інші. Звичайно схожість об'єктів розуміється як однаковість форми (але, як правило, не рівність по величині). Відношення схожості має велике значення при математичному і фізичному моделюванні. Закони схожості дозволяють визначити умови, при виконанні яких результати модельних експериментів справедливі для реальних умов. Наприклад, біг часу або рідини схожі при рівних числах Рейнольдса.

Аналогія. Відповідність суттєвих ознак, властивостей, структур або функцій об'єктів або явищ називають аналогією. Цей термін часто вживають в тому розумінні що і схожість.

Гомоморфізм. Відношення між двома системами, коли кожна складова частина і кожне відношення однієї системи можливо відобразити на деяку складову частину і деякі відношення другої системи (але не навпаки), називають гомоморфізмом. В цьому випадку виконання відповідних умов схожості дозволяють перенести результати модельних експериментів на натуру.

Ізоморфізм. Ізоморфізмом називають відношення між двома системами, коли кожній складовій частині однієї системи може бути поставлена у відповідність певна складова частина другої системи і навпаки (симетричність), а також, коли для кожного відношення між двома відповідними складовими частинами маються такі ж відношення в другій системі і навпаки.

Ідентичність. Це відношення між об'єктами або процесами, що характеризуються однаковими властивостями (ознаками). При абсолютній ідентичності повинні бути однаковими всі властивості, при відносній – тільки деякі (тоді це схожість).

Еквівалентність. Об'єкти або процеси називаються еквівалентними, якщо між ними є відношення еквівалентності – рівнозначності.

Математичні функції. Це важливий клас відношень, відношень закономірних залежностей від змінної – $\square = \phi(\xi)$. Такого роду математичні функції виражають точно встановлені відношення між x і y , тобто детермінований зв'язок.

Причинність. Між причиною і викликаного нею дією існує асиметричне відношення. Причина викликає дію. Існує строга (детермінована типу "якщо..., то") або ослаблена форма причинного відношення.

Зв'язок. Якщо певні виходи елементу (системи) одночасно є входами будь-якого елементу (системи), то ці відношення називають зв'язком. Зв'язок може бути прямим (послідовним або паралельним), зворотнім або комбінованим. Зв'язок також може бути матеріальним, енергетичним або інформаційним. Типи зв'язків між системами зображені на рис.2.2.

Рисунок 2.2 - Види зв'язків між системами:

а-послідовний; б- паралельний; в- зворотній; г - комбінований

Відношення ціль – засіб. Це подвійне асиметричне відношення між системою цілей і засобом її реалізації.

Просторове відношення. Відношення цього роду характеризують взаємне положення елементів в просторі.

Відношення часу. Ці відношення описують впорядкування процесів і подій у часі.

2.2. Типи систем і задач

Згідно з різними критеріями можна встановити велику кількість систем, класифікуючи їх.

а) *за місцем системи в ієрархії:*

- надсистема, система, підсистема (рис.2.3).

Наприклад, для верстата-автомата, як ТС (рис.2.3), автоматична лінія є надсистемою I порядку, автоматичний цех - надсистема II порядку, а завод-автомат - надсистема III порядку. Підсистемами I порядку для верстата-автомата будуть механізми головного руху, подачі, автоматичної зміни інструменту, тощо. Підсистемами II порядку, наприклад, для механізму головного руху є шпиндельний вузол, коробка швидкостей, електродвигун, а для шпиндельного вузла підсистемою III порядку будуть шпиндель, опори, кришки, болти тощо.

Рисунок 2.3 - Ієрархія ТС на прикладі металообробних верстатів

б) *за зв'язками з оточенням:*

- відкриті (з певним довкіллям, тобто принаймні з одним входом або виходом);
- закриті або замкнуті (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 (в залежності від стану системи можна однозначно судити про її функціонування);
- стохастичні (можна тільки висловити припущення відносно різних можливих варіантів функціонування).

д) за типом елементів (в розумінні їх конкретності):

- конкретні (елементами є реальні об'єкти);
- абстрактні (елементами є нереальні об'єкти).

е) за походженням системи:

- природні (створені природою);
- виготовлені (створені людьми).

є) за характером залежності виходів:

- комбінаторні (вихід залежить тільки від входу);
- секвентивні (вихід залежить від входу та інших величин).

ж) за рівнем складності структури:

- надзвичайно складні (наприклад, мозок, народне господарство);
- дуже складні (наприклад, завод-автомат);
- складні (наприклад, верстат-автомат);
- прості (наприклад, болтове з'єднання).

з) за видом елементів:

- системи типу "об'єкт" (елементами є речі, наприклад, двигун, машина, патрон);

- системи типу "процес" (елементами є операції, наприклад, виготовлення, фільтрація, перегонка, різання, шліфування).

В зв'язку з необхідністю проектування систем розглядають три характерні типи задач (рис.2.4): аналізу, синтезу, вимірювання (випробування).

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, котра задовольняє поставленим вимогам.

Вектор змінних	Вхід	Об'єкт	Вихід
Тип задачі			
Аналіз			?
Синтез		?	
Вимірювання	?		
«Чорний ящик»		?	?

Рисунок 2.4 - Типи задач при проектуванні ТС

Задача вимірювання - задані параметри системи (вектор X) і характер функціонування (вектор вихідних параметрів Y), необхідно визначити вхідні параметри Z .

Можлива і четверта **задача "чорного ящика"** - задана система, структура якої невідома або відома частково, необхідно визначити її функціонування ($Y = ?$) і, можливо, структуру ($X = ?$). До задач "чорного

ящика" можна віднести і такі, в яких невідомі або частково відомі вхід ($Z=?$) і структура ($X=?$) або вхід ($Z=?$) і вихід ($Y=?$).

2.3. Ієрархія опису ТС

Розвиток знань пов'язаний з підвищенням складності принципів підходів до дослідження та його методів, котрі складають наступну ієрархічну послідовність наукового опису ТС:

1) **параметричний** - опис властивостей, ознак та відношень об'єкту на підставі емпіричних спостережень. Це найбільш проста форма і вихідний рівень дослідження об'єкту;

2) **морфологічний** - перехід до визначення поелементного складу, побудови об'єкту та взаємовідносин параметрів, які виявлені на попередньому рівні;

3) **функціональний** - перехід до визначення функціональної залежності між параметрами (функціонально-параметричний опис), між елементами об'єкту (функціонально-морфологічний опис) або між параметрами і побудовою об'єкту;

4) **фізичний** (поведінка об'єкту) - виявлення цілісної картини "життя" об'єкту і механізмів, які забезпечують зміну напрямків та "режимів" роботи об'єкту (найбільш складна форма наукового дослідження).

Наприклад, параметричний опис металорізального верстату як ТС це: основні технічні характеристики (технологічні, розмірні, кінематичні, силові, динамічні) та показники (продуктивність, точність, жорсткість, потужність, габарити тощо). Морфологічний опис верстату включає: джерело енергії, двигуни, передавально-перетворюючі та виконавчі механізми, систему керування. Функціонально-параметричний опис встановлює, наприклад, залежність точності обробки від жорсткості пружної системи верстату і режимів різання. Прикладом функціонально-морфологічного опису служить рівняння балансу кінематичного ланцюга. Опис поведінки верстату може бути виконаний за допомогою таких фундаментальних законів, як закон збереження енергії, кількості речовини, імпульсу сили тощо.

2.4. Закономірності розвитку і еволюція ТС

Життя ТС можна уявити у вигляді еволюційної S-подібної кривої (рис.2.5), яка запозичена з біології, оскільки в цьому відношенні життя ТС можна порівняти з живим організмом. Ця крива показує, як змінюються в часі головні показники ТС, наприклад, потужність, робочий тиск, маса, продуктивність, швидкість, точність, тощо.

Рисунок 2.5 - Криві розвитку ТС

А – повна крива розвитку старої ТС; Б – початок розвитку нової ТС

На ділянці 1, яка називається "дитинством", ТС розвивається повільно (початковий розвиток). Потім ТС швидко вдосконалюється, настає пора "зрілості" ТС (ділянка 2). На ділянці 3 темпи розвитку зменшуються, ТС вибирає свої можливості, настає "стиглість", а далі "старість" ТС. Далі система А може бути деградована (пунктирна крива 4 донизу) або на довгий час утримує досягнуті показники (ділянка 4), або змінюється принципово іншою системою Б.

"Дитинство" відповідає народженню основних ідей та реалізації їх в працездатному зразку нової ТС. На цьому етапі з'являється багато винаходів високого рівня, але економічний ефект від їх використання незначний або має негативне значення. По мірі вдосконалення ТС завдяки винаходам низького рівня її показники швидко кращають і вона широко застосовується. Цей період відповідає переходу від "дитинства" до "розвитку". Кількість винаходів на цьому етапі різко зростає. Розвиваючись, ТС поступово вичерпує можливості покращання,

але бажання продовжити "життя" народжує винаходи, рівень яких найбільш низький. Проте економічний ефект від застосування таких винаходів найбільший завдяки масовому використанню ТС. Деградація ТС або зменшення основних показників викликає зміна середовища надсистеми, в котрій функціонує система.

Таким чином, технічний рівень виробів і ТС з часом підвищується завдяки впровадженню винаходів.

Технічний рівень - це сукупність технічних властивостей - параметрів, які визначають сукупну цінність виробу.

Розглянемо на прикладі тільки один параметр - робочий тиск в технологічному і енергетичному обладнанні, який у виробничому і експериментальному обладнанні змінювався на протязі 150 років (рис.2.6). Для досягнення підвищеного робочого тиску в установках використовувались різні принципи і засоби, котрі об'єднуються тільки результуючою абстрактною функцією - силою тиску.

Рисунок 2.6 - Зміна рівнів робочого тиску в дослідних і промислових установках в процесі технічного розвитку

З діаграми робочого тиску видно, що в певний момент часу для систем різного призначення характерні різні граничні величини (межі) одного і того ж параметру. На рис.2.7 показано сімейство еволюційних кривих, які відображають, крім того, різний технічний рівень в різних галузях від досліджень до виробництва.

Рисунок 2.7 - Еволюційні криві для деяких галузей діяльності і відповідні «технічні рівні»:

1 – винаходи і відкриття; 2 – дослідження; 3 – розробки; 4 – виробництво; 5 - експлуатація

З розвитком техніки підвищується технічний рівень машин, змінюються виконувані ними функції та удосконалюється принцип їх конструювання. З точки зору морального зношування машина, як ТС, має певні "цикли життя" у сферах перевиробництва та експлуатації (рис.2.8), що має вплив на її рентабельність (досягнутий прибуток). З появою нової конкурентноздатної машини збут (крива 1, рис.2.8,а) швидко зростає, досягає максимуму і по мірі насичення споживчого ринку починає скорочуватись. Аналогічно змінюється прибуток (крива 2, рис.2.8,б) підприємства - виробника. Максимум кривих збуту і прибутку, як правило, не співпадають за часом внаслідок інерції виробництва.

У сфері експлуатації (рис.2.8,б) типовий "цикл життя" машини визначається різницею між прибутком (крива 2), який створюється у споживача, і експлуатаційними витратами (крива 1). Як видно з графіку (рис.2.8,б), з часом ця різниця втрачається (знижується) і з критичного моменту $T_{кр}$ експлуатація машини стає збитковою завдяки фізичному спрацюванню.

Головна рушійна сила розвитку ТС - протиріччя між зростаючими потребами суспільства і можливостями теперішніх ТС. Діалектика розвитку ТС полягає в тому, що в новому об'єкті поєднуються нові та відомі технічні рішення. Так, на початку розвитку металорізальні верстати мали рухи від загального приводу - локомотива за допомогою трансмісійних валів (складність керування, низька продуктивність, висока небезпека). Потім з'явилися верстати з індивідуальним приводом від електродвигуна через

зубчасті передачі. Тенденція розвитку сучасних верстатів - постачання кожного вузла власним приводом у вигляді, наприклад, крокового електродвигуна, високомоментного двигуна, тощо.

Нерівномірність розвитку частин верстату як ТС виявляється, зокрема, у виникненні регульованих електродвигунів різних типів і збереженні звичайних зубчастих передач, у швидкому прогресі систем керування та повільному розвитку власне приводів.

а)

б)

Рисунок 2.8 - «Цикл життя» машини (ТС) у сферах виробництва (а) і експлуатації (б)

Подальший розвиток ТС вимагав подолання протиріч між високою продуктивністю процесу різання і великими витратами часу холостих рухів і допоміжних операцій. Приводи не забезпечували необхідну точність позиціонування універсальних верстатів під час роботи в автоматичному режимі.

При цьому в системах керування для досягнення високої точності використовувались дискретні сигнали, а у приводах аналогові сигнали не дозволяли одержати достатню точність. Ці протиріччя привели до появи нового класу високоточних приводів, які керуються від пристроїв ЧПК (числового програмного керування). Прикладом може бути привід, який включає кроковий електродвигун, гідравлічний підсилювач, гідродвигун та безлюфтову кулькову гвинтову пару. Такий привід добре пристосований до дискретних систем керування і має принципово більш високу точність.

ВИСНОВКИ

1. Функціонування системи задається її структурою.
2. Відносно замкнута система із заданою структурою функціонує однозначно. Функціонування повністю визначається структурою.
3. Функціонування не визначає структуру однозначно. Одна і та функція може бути реалізована різними структурами.

ТЕМА 3. СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЕНЬ

[3.1. Загальні міркування](#)

[3.2. Модель системи перетворень](#)

[3.3. Елементи системи перетворень](#)

3.1. Загальні міркування

Існують системи типу "об'єкт" і типу "процес". На останній системі зупинимось більш детально.

Термін «процес» означає, що щось відбувається, здійснюється – змінюється в часі. В природі нескінченно проходять зміни. Навіть такі об'єкти як скали, гори змінюються – вивітрюються, піддаються ерозії. Змінюються і живі істоти.

Поряд з природними процесами (старіння, ерозія тощо) людина організовує штучні процеси з метою здійснити необхідні або жадані для неї зміни, наприклад, для задоволення людських потреб.

Виготовлені процеси, в котрих ті чи інші властивості об'єкту дії (операнда) змінюються при участі людей і технічних засобів для досягнення бажаного стану операнда, називаються **перетвореннями**. Науками, які досліджують перетворення в якійсь певній галузі, є, наприклад, термодинаміка, технологія виробництва.

Термін "операнд" (Od) обраний як загальна назва речей, систем та станів, які віддані цілеспрямованому перетворенню, як наслідку певних впливів, заснованих на фізичних, хімічних та біологічних явищах і описаних деякою інструкцією-рецептом, алгоритмом, технологією.

Дії на операнд виконуються операторами і є виходами операторів. На рис.3.1 представлена загальна модель процесу перетворення, де впливи операторів здійснюється у вигляді потоків матерії (S), енергії (En) та інформації (I).

Типовими видами процесів в техніці є керування і регулювання.
Керування - це процес в системі, завдяки якому, одна чи кілька вхідних величин діють бажаним чином на інші, які вважаються вихідними.
Регулювання - це процес завдяки якому деякі змінні (регульовані) величини безперервно співставляються з еталонними (керованими), причому на регульовані величини здійснюється вплив з метою приведення відповідних відхилень до нуля.

Рисунок 3.1 - Модель процесу перетворення

3.2. Модель системи перетворень

Перетворення - штучний процес, в якому бажана зміна досягається шляхом цілеспрямованого використання природних явищ (зміна міцності - гартування - нагрів - різке охолодження).

Система перетворень - деяке відношення на множині всіх елементів, що приймають участь в перетворенні.

Рисунок 3.2 - Модель системи перетворень

Основою для побудови моделі системи перетворень (рис.3.2) є такі припущення, які витікають з досвіду людей:

- бажані перетворення операнда (об'єкту перетворення) досягаються цілеспрямованими впливами *матеріального (S), енергетичного (En) або інформаційного (I) типів*;
- ці три типи впливів при будь-якому перетворенні здійснюються *людьми (), технічними системами () і оточенням (Utg)*.

Приклади систем перетворень наведені в табл.3.1.

Інтерпретація моделі перетворень дозволяє зробити такі висновки:

1. Для задоволення потреб людей або вибирається необхідний об'єкт, або задається потрібний стан операнда. Цей стан (Od^2) є метою перетворення.

2. Операндами перетворень можуть бути *живі істоти*, зокрема люди, а також *матеріальні, енергетичні та інформаційні об'єкти*.

3. Вибирають відповідний початковий стан операнда Od^1 як вхідну величину (або він задається). Стан Od^2 може бути досягнутий з декількох початкових станів Od^1 .

4. Зміна $Od^1 \rightarrow Od^2$ називається перетворенням.

5. Перетворення виникає або з незадовільного стану Od^1 або потребою в Od^2 .

6. Перетворення виконується на підставі деякої *технології*, яка являє собою *упорядковану сукупність цілеспрямованих часткових змін*. Стан операнда Od^2 може бути досягнутий різними методами (технологіями).

7. Перетворення (як взагалі, так і часткове) здійснюється шляхом матеріального, енергетичного або інформаційного впливу на операнд.

8. Впливи здійснюються трьома системами-операторами: людьми, технічними системами та реальним оточенням. Усі названі оператори мають зв'язки (матеріальні, енергетичні і/або інформаційні) між собою.

Таблиця 3.1- Приклади системи перетворень

Перетворення	Технологія	Дії	Участь операторів у дії		
			Люди	Техн.системи	Оточення Umg
Сталева деталь м'яка тверда	Гартування	Розігрів (в термопечі) Охолодження (у масляній ванні)	Робітники (витримка у печі, операції гартування)	Термопеч, ванна з маслом	Електричний струм Тепло

Матеріали верстат	Конструюван ня і виробництво	Ескізне проектування Розрахунки Робоче проектування Вибір технології Комплектація обладнання Матеріально- технічне постачання Виготовлення деталей Складання Випробовуванн я Регулювання	Конструктор, рахівник, технолог, постачальник, верстатник, складальник, дослідник, випробовувач , контролер, адміністратор , програміст	Довідники, технічні проспекти, креслярське приладдя, ЕОМ, матеріали, верстати, інструменти, технологічне оснащення, вимірювальні інструменти, преси, системи контролю	Цех (освітлення, опалення, вентиляція, водопровід, каналізація і т. п.)
----------------------	------------------------------------	---	---	---	---

Між процесом дії і процесом перетворення існує причинний зв'язок, а саме - зміни операнда в процесі перетворень () викликаються діями () технічної системи як причини. З іншого боку, ця причина (дія системи) є наслідком ланцюжка дій в системі, ініційованих вхідними впливами на систему.

Обробка речовини, енергії або сигналів передбачає виконання за допомогою технічних об'єктів (ТО) деякої певної чіткої послідовності операцій. В зв'язку з цим *технологією* будемо називати *спосіб, метод або програму перетворення речовини, енергії або інформаційних сигналів із заданого початкового стану у заданий кінцевий стан за допомогою певних ТО.*

Різноманітність технологій така ж велика, як і різноманітність ТО, і завдяки інженерному творенню продовжує швидко підвищуватись. Наприклад, існують різні технології виготовлення болтів і гайок, переробка руди тощо.

В останній час великого значення набули так звані інформаційні технології, де додатковим інструментом перетворень є моделювання, наприклад, за допомогою математичних моделей.

3.3. Елементи системи перетворень

Ці елементи показані на рис.3.2. Дамо ще кілька пояснень.

Операнд - це пасивний елемент розглядуваної системи, до якого належать люди, матерія, енергія, інформація або їх комбінація.

Люди як оператори системи перетворень можуть бути визначені як множина тільки тих людей, які виконують будь який вид дій для певного перетворення.

ТС як оператори системи перетворень - це підмножина ТС (*TS*), які виконують будь-який вид дій для певного перетворення.

Оператор "*реальне оточення*" (*Um_g*) осягає усі джерела зовнішніх впливів в найближчому оточенні процесу перетворення, котрі в більшості випадків неможливо вказати точно. В реальне оточення включають тільки ті елементи, які мають зв'язки з елементами системи перетворень: геосферу (а саме, поверхню землі і воду), біосферу (людей, тварин і рослин), техносферу, атмосферу і клімат (погоду).

З гео-, біо- і атмосфери можуть бути побудовані різні *екосистеми* (рис. 3.2), рівноваги яких не слід порушувати при розробці будь-яких ТС. Техносфера включає всі ТС, які створені людьми.

Рисунок 3.3 - Екосистема та техносфера

ВИСНОВКИ

1. Людина та людське суспільство мають різноманітні потреби в залежності від цілей, які вони перед собою ставлять. Люба потреба формується як сукупність вимог до об'єкта, предмета у визначеному стані. Об'єкт розглядається як засіб досягнення цілей. Якщо ціль не може бути досягнута безпосередньо, то з'являються проміжні цілі (підцілі) і потреба змін, які дозволяють досягти бажаного.
2. Зміна стану об'єкту називається перетворенням.
3. Перетворення це штучний процес в якому бажані зміни досягаються шляхом цілеспрямованих дій на основі застосування природних законів, явищ.
4. Необхідність в перетвореннях виникає в незадовільному початковому стані або в потребі в вихідній дії об'єкта як бажаного засобу для досягнення цілі.
5. Об'єктом чи предметом перетворень можуть бути біологічні системи (живі істоти), матерія, енергія або інформація.

6. Перетворення виконуються за технологіями, які визначають систему часткових перетворень. Можуть бути застосовані різні технології на основі різних принципів.
7. Перетворення реалізуються визначеними діями. Таким чином, дія – засіб виконання перетворень.
8. Дії виконуються з об'єктами, предметами, людьми, технічними системами, реальним оточенням.
9. Система перетворень – це деякі відношення в множині елементів, які приймають участь в перетворенні.
10. Дії, що виконуються над об'єктами, предметами і т.п. перетворюють їх з вхідного стану в вихідний.
11. Між перетворенням (наслідком) і дією (причиною) є причинні відношення.

ТЕМА 4. ТЕХНІЧНИЙ ПРОЦЕС

[4.1. Визначення і модель технічного процесу](#)

[4.2. Структура і операції технічного процесу](#)

[4.3. Класифікація і опис\(зображення\) технічних процесів](#)

4.1. Визначення і модель технічного процесу

Перетворення в промисловості здійснюються через технічні процеси. ***Технічним процесом називають такі перетворення, в яких дії над об'єктами, предметами виконують поряд з людьми технічні системи.***

В сучасному світі безліч технічних процесів, в яких так чи інакше беруть участь люди.

Кожний процес має входи. Результатами процесу є його виходи. Виходи – це продукція матеріальна чи нематеріальна. Сам процес являє собою перетворення, під час якого зростає цінність. У кожному процесі в тій чи іншій

мірі задіяні люди та (або) інші ресурси. Виходом може бути, наприклад, програма для комп'ютера, рідке паливо, медичний прилад, банківська послуга чи кінцева або проміжна продукція будь-якої загальної категорії.

Проведення вимірювань можливе на входах, в різних точках процесу, а також на виходах.

Для того, щоб система була ефективною, ці процеси та пов'язані з ними обов'язки, повноваження, процедури та ресурси повинні бути послідовно визначені та впроваджені. Система – більше ніж сума процесів. Для того, щоб система була ефективною, процеси, що її складають, повинні бути скоординованими і сумісними, а зв'язки між ними – визначеними.

Модель технічного процесу (TP) представлена на рис.4.1. Вона будується на відношеннях в системі перетворень (табл.4.1).

Рисунку 4.1- Модель технічного процесу

Опис будь-якого *TP* повинен містити відповіді на такі запитання:

1) що є операндом і які його стани (початковий, кінцевий і проміжний)?

2) за допомогою яких перетворень (технології) досягається сукупне перетворення $Od^1 \rightarrow Od^2$ межах існуючих умов - природних явищ, суспільних законів та інших обмежень?

3) якими діями (матеріальними, енергетичними, інформаційними) можуть бути реалізовані часткові перетворення (хоча б приблизно)?

4) якими операторами виконуються окремі дії?

Приклади, наведені в табл.4.1, містять відповіді на поставлені запитання. В кожному конкретному випадку інформація вводиться безпосередньо в графічне зображення *TP*, де зв'язки стають більш виразними.

Таблиця 4.1 - Приклад моделі технічного процесу

№ п/п	Операнд			Спосіб перетворення	Дії над матеріалами, енергією та інформацією		
	Вид	Стан		Технологічний принцип TgPz			
		Вхідний	Вихідний	Підпроцес TeP	S	En	I
1	Сталь Ст50	Заготовка	Деталь	TgPz: обточка			
				TeP ₁ : встановити і затиснути заготовку	TS	Me	Me
				TeP ₂ : включити оберти	TS	TS	Me
				TeP ₃ : перемістити різець відносно заготовки із зняттям стружки	TS	TS	Me
				TeP ₄ : виміряти	TS	Me	Me+TS
				TeP ₅ : звільнити, деталь покласти в контейнер готової продукції	TS	Me	Me

Гадаючи, що бажаний стан є виходом (результатом) *TP*, для цього процесу треба визначити наступні показники, які є його характерними ознаками:

- кінцевий стан операнда;
- технологічний принцип;
- типи і послідовність операцій (дій), які відповідають обраній технології;

- результат кожної операції;
- розподіл по операціях результатів, який відповідає постановці задачі і потрібному кінцевому результату.

Операндами *ТР* є:

1) *живі істоти* (де змінюються або стан (хворий - здоровий), або місце розташування операнда);

2) *матерія* (де змінюються основні властивості, форма, розміри, місце розташування, тощо);

3) *енергія* (де перетворюються одні види в інші, а також вимірюються їх параметри);

4) *інформація* (де змінюються форми, кількість, якість, а також місце розташування).

В математичній формі стан операнда записується так:

$$Od^1 = \quad ; \quad Od^2 =$$

де зверху - властивості операнда, а знизу - міра цих властивостей

Застосування моделі *ТР* доцільно тільки в тих випадках, коли в перетвореннях можуть приймати участь люди, а *ТС*, яка використовується, має характер "машини", тобто дозволяє досягнути потрібного результату без участі інших *ТС*. На рис.4.2 подано приклад графічного зображення технічних процесів функціонування на прикладі заміни шарикопідшипника.

Рисунок 4.2 - Технічний процес в ТС при заміні кулькового підшипника

4.2. Структура і операції технічного процесу

При перетвореннях операнд проходить послідовно значну кількість точно визначених проміжних станів, при цьому його властивості крок за кроком змінюються в потрібному напрямку.

Зміна властивостей проходить:

- *неперервно* (нагрів...);
- *стрибком* (руйнування).

Зміна властивостей проходить завдяки операції над операндом.

Операція - елементарна, неперервна в часі складова процесу перетворень, що виконується оператором (операторами) як незалежне завдання на одному робочому місці над одним операндом.

Технологічний процес - узгоджена сукупність операцій.

Технологічний процес залежить від:

- вимог до операнда;
- наявної інформації;

- кваліфікації операторів;
- рівня технічних систем.

Структура технічного процесу визначається технологією.

Наприклад:

Гартування

1. Взяти деталь	1. Покласти на конвеєр
2. Помістити в піч	2. Включити конвеєр та піч
3. Розігріти деталь	3. Контролювати параметри технічних систем (тут піч неперервної дії)
4. Вийняти з печі	
5. Занурити в воду	

Операції розподіляються на робочі і допоміжні.

Робоча операція - дія по перетворенню властивостей операнда.

Наприклад: заготовка –деталь (рис.4.3).

а)

б)

Рисунок 4.3 - Приклад побудови моделі процесу перетворень(заготовка-деталь)

а) заготовка з входом ТС; б) – заготовка обробляється в технічному процесі за рахунок впливів

токарного верстата і токаря

Допоміжні операції - дії, які забезпечують виконання робочої операції. Допоміжні операції діляться на:

1) *операції обслуговування* (охолодження, змащування, видалення стружки...).

2) *підготовчі операції* (закріплення деталі, підведення супорта,...).

3) *операції керування та регулювання* (вимірювання, налагодження, зміна робочого режиму).

4) *операції узгодження*(складання, прив'язка частин проекту...).

Для виконання процесу перетворень над операндом необхідні крім самого операнда також інші (побічні) входні величини:

- *енергія;*
- *мастила...*
- *каталізатори, тощо.*

Ці величини також перетворюються і разом з зовнішнім оточенням можуть утворювати побічні виходи:

- *тепло;*
- *стружка;*
- *дим, вібрація, шум...*

Необхідно також враховувати наявність негативних побічних входів - перешкод (вібрація, пил, шум...).

Показники технічного процесу наведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2 - Показники технічного процесу

Показники	Технічні	Економічні	Планові
Операнд	Матеріал, розміри, форма, стан поверхні, тиск, температура та інше	Ціна	Кількість
Вхід		Витрати	Термін (строк)
Вихід			Постачальник
Технологія	Специфікація операцій	Витрати	Час роботи
	Послідовність операцій		Оператор
			Робоче місце
Оператор-робітник	Спеціальні знання.	Заробітна плата	Години роботи
	Досвід.		Кількість робітників
	Особисті якості		
Технічна система	Функціональні властивості	Ціна	Час постачання
	Експлуатаційні властивості	Експлуатаційні витрати	Кількість
	Естетичні властивості		Постачальник
	Ергономічні властивості		
	Маніпуляційні властивості, тощо		
Спеціальна інформація	Перелік типів інформації	Витрати	Термін (строк)
	Джерела інформації		Робітник
			Робоче місце
Умови оточення	Фізичні: розташування,	Витрати	Термін (строк)
	потреба в просторі, температура, вологість, освітлення, шум		Оператор
			Робоче місце
	Психологічні: робоча обстановка	Продуктивність праці	
	Соціальні: суспільні умови	Економічна ситуація	

4.3. Класифікація і опис (зображення) технічних процесів

Класифікація технічних процесів може проводитись з різних точок зору.

З точки зору системного підходу класифікацію проводять по складових моделі технічного процесу. Наприклад, відрізняють технічні процеси:

1) за видом операнда:

- технічний процес по переробці *матерії*;
- переробка *енергії*;
- переробка *інформації*;

2) за використанням явищ в перетвореннях операнда:

- фізичні явища;
- механічні;
- електричні;
- теплові;
- хімічні;
- біологічні;
- комбіновані.

3) за робочими діями над операндом:

- транспортування;
- сортування;
- подрібнення
- обробка;
- складання;

4) за характером протікання процесу:

- неперервний;
- дискретний.

5) за способом керування та регулювання:

- з участю людини;
- автоматизований і т.д.

Опис (зображення) технічних процесів можуть бути здійснені:

1. **Блок-схемою** (процес зображується прямокутниками з текстом, що характеризує процес).

2. **В формі графа** (ребра графа відповідають підпроцесам, а вузли стану операнда:

3. **Часовою діафрагмою**. Всі операції розставлені згідно шкали часу...

4. **Математичний опис** (більш точно описує процес та взаємозв'язки, але дуже складно).

5. **Словесний опис** - найпростіший, але або не дає однозначності, або дуже довгий.

ВИСНОВКИ

1. Технічні процеси – це особливий вид процесів перетворень. В них технічні системи виступають, як використовуване людиною знаряддя праці, тому для технічних процесів справедливі всі висновки по процесам перетворень.

2. Технічний процес складається з множини підпроцесів і операцій та множини проміжних станів об'єктів предметів перетворень.

3. Для стадій підготовки, проведенню і закінченню процесу можна будувати підструктури.

4. Кожна робоча програма технічного процесу викликає ряд допоміжних операцій (підготовка, обслуговування, управління, регулювання і узгодження) і побічних процесів. При зображенні технічного процесу всі вони умовно включаються в процес перетворень.

5. При проектуванні і здійсненні технічного процесу, необхідно враховувати оточення і терміни.

6. Технічний процес, як система, завжди має побічні входи і виходи (в тому числі перешкоди); їх необхідно враховувати і аналізувати при створенні ТС.

7. В технічному процесі найбільш важливими операторами є технічні системи. Решта операторів також повинні бути взяті до уваги.

8. В системному технічному процесі підпроцеси, що його складають, повинні бути закординованими і сумісними, а зв'язки між ними визначеними.

9. Основою для проектування технічної системи є технологічний процес.

10. Технологічний процес визначає науково-технічний рівень технічної системи.

ТЕМА 5. ТЕХНІЧНА СИСТЕМА

[5.1. Поняття про призначення і структуру ТС](#)

[5.2. Функціональна структура ТС](#)

[5.3. Органоструктура ТС](#)

[5.4. Конструктивна схема ТС](#)

[5.5. Параметри ТС](#)

[5.6. Поняття про фізичну операцію](#)

[5.7. Принцип дії ТС](#)

5.1. Поняття про призначення і структуру ТС

Технічна система є засобом реалізації перетворень. При розгляді ТС треба визначити такі ключові характеристики, як *призначення, спосіб дії та структуру*.

Призначенням ТС є виконання певного впливу в технічному процесі. Причинний ланцюжок з перетворенням наслідку (виходів) у причини (входи) наступних операцій характеризує *спосіб дії* (спосіб функціонування) ТС.

Структура ТС поділяється на структурні елементи і групи в залежності від прийнятої точки зору (наприклад, складання або функціонування). Структурні елементи і групи знаходяться між собою в певних геометричних, механічних, енергетичних та інших відношеннях. Таким чином всяка ТС може бути розділена на підсистеми, що свідчить про її ієрархічність (ступінчастість).

Наприклад, система затискного механізму (ЗМ) з геометричним замкненням токарного автомату має багаторівневий ієрархічний поділ на все більш прості елементи (рис.5.1): перетворювач енергії (ПЕ), вузол управління (ВУ), привід (Пр), патрон (П) – 1-й рівень. В свою чергу на 2-му рівні, наприклад, патрон (П) розділяється на корпус, перетворювально-посилувальну ланку (ППЛ), затискний елемент (ЗЕ), пружний елемент (ПЕ), допоміжний елемент (ДЕ), а на 3-му рівні, наприклад, затискний елемент розділяється на основний (О), додатковий (Д), проміжний (П), фіксуючий (Ф).

Рисунок 5.1 - Трьохрівневий ієрархічний поділ структури затискного механізму (з геометричним замкненням) токарного автомату

З точки зору основної комбінаторної концепції ТС можна зобразити (графічно) у вигляді дерева блоків накладанням один на одного різних ознак розчленування - факторів, через котрі доводиться по різному ділити об'єкт (ТС) на частини. Розчленування можуть бути функціональними, технологічними та іншими. ТС можна зобразити графічно у вигляді дерева ознак побудови об'єкту (рис.5.2,а,б) або у вигляді списку ієрархії специфікації (рис.5.2,в).

Розглянемо на прикладі фрагмент комбінаторного файлу металорізального верстату.

Металорізальний верстат:

1. Робочий орган. 2. Привід головного руху. 3. Привід подач. 4. Привід допоміжних рухів. 5. Напрямні елементи. 6. Пристрій для затиску заготовки. 7. Система керування.

1. Робочий орган

1.1.Інструмент. 1.2.Пристрій для затиску інструменту. 1.3.Зв'язок з напрямним елементом. 1.4.Зв'язок з приводом. 1.5.Зв'язок з системою керування.

1.1.Інструмент

1.1.1. Кількість інструментів. 1.1.1.А1.Один. 1.1.1.А2.Два. 1.1.1.А3. Декілька.

1.1.2.Тип інструменту.

1.1.2.А1.Різець. 1.1.2.А2.Свердло і таке інше (А означає альтернативу, варіант реалізації).

Рисунок 5.2 - Графічне зображення ТС у вигляді дерева:

а, б – ознак будови об'єкта; в – списки ієрархії специфікації

Сукупності, з котрими має справу конструктор, суттєво комбінаторні, тобто перехід супроводжується швидким зростанням кількості можливих варіантів. Якщо кожен з K деталей верстату виробляти одним з N матеріалів, то кількість різних комбінацій буде N^K .

Структуру ТС можна уявити на різних рівнях абстрагування, а саме, як функціональну структуру, органоструктуру і конструктивну схему.

Можливості символічного уявлення ТС не вичерпуються цими трьома структурами, їх може бути більше.

Взаємозв'язки між розглядуваними структурами ТС легко зрозуміти, використовуючи відношення "мета-засіб". З цієї точки зору призначення ТС (як мета) забезпечується певною функціональною структурою (як засіб); ця функціональна

структура (як мета) може бути реалізована різними органоструктурами (як засіб); органоструктури (як мета) можуть бути реалізовані різними конструктивними схемами (як засіб).

Всі зовнішні дії ТС відносяться до активних (крім сторонніх впливів середовища, які називають завадами). Кожному впливу на ТС відповідає дія ТС (за принципом "вплив-реакція") - випадок "чорного ящика" (рис.5.3).

Рисунок 5.3 - Модель ТС - слюсарні лещата як «чорний ящик»

Далі розглянемо детальніше структури ТС на різних рівнях абстрагування на прикладі слюсарних лещат.

5.2. Функціональна структура ТС

Функціональна структура ТС (рис.5.4) визначається як упорядкована сукупність функцій і відношень між ними і будується стосовно до її робочого стану.

Рисунок 5.4 - Функціональна структура ТС – слюсарні лещата

Технічна функція - це здатність ТС при певних умовах перетворювати вхідну величину в потрібну вихідну величину при забезпеченні чіткої відповідності залежної вихідної величини від незалежної вхідної.

Відношення між функціями, показані на прикладі функціональної структури слюсарних лещат (рис.5.4), можуть бути представлені в словесній формі таким чином: енергія обертового руху передається ручці (функція 4, табл.5.1), енергія перетворюється із зростанням сили (функція 6), обертання перетворюється в поступовий рух (функція 5), а поступовий рух разом з силою передається лещатам (функція 2). В результаті з'являється функціональний опис способу дії ТС.

Таблиця 5.1 - Приклад функціонального опису способу дії слюсарних лещат в словесній формі

№ п/п	Функція	Виконавчий орган
1	Створити обмеження у вигляді нерухомої поверхні	FB
2	Створити обмеження у вигляді рухомої поверхні	BB
3	Підвести рухому затискну поверхню до нерухомої (відношення між функціями 1 і 2)	BB FB
4	Встановити деталь	UO

5	Перетворити обертовий рух гвинта у поступовий рух робочих поверхонь	SM
6	Створити зусилля	SM
7	Затиснути деталь	SO
8	Зафіксувати ручку лещат	SM
9	Перевірити надійність затиску і фіксації	VO

Технічні функції характеризуються:

1) **складністю**. Найнижчу сходинку в ієрархії складності займають елементарні функції (їх спростити неможливо);

2) **ступенем абстрактності**. Ступінь абстрактності впливає на кількість можливих засобів реалізації функції. Наприклад, функція “транспортування” - наземним, морським та повітряним транспортом...

3) **призначенням**. За цією характеристикою відрізняють:

- робочу функцію;
- допоміжні функції підготовки, обслуговування, керування, регулювання та узгодження.

Побудова функціональних структур здійснюється двома шляхами:

1) задаються входами та засобом дії і відзначають функції та їх відношення як засоби реалізації дій у ТР. Тобто технічна система - є “чорний ящик” із входом та виходом для якого підбирають необхідні функції...

2) із заданої або відомої органоструктури або конструктивної схеми технічної системи будують детальну функціональну структуру. В цьому випадку ряд конструктивних ознак технічної системи будуть відображені у функціональній структурі.

5.3 Органоструктура ТС

Органоструктура - абстрактна модель технічної системи, яка відображена технічними засобами (виконавчими органами), якими реалізується засіб дії в системі.

Органоструктура відповідає робочому стану технічної системи. Вона має дві складові - структуру ланцюгів дії та структуру зв'язків (рис.5.5).

Фактично і найчастіше - органоструктура є кінематичною схемою (для машини)... або схемою цеху... заводу...

Виконавчий орган - підсистема, яка реалізує певну внутрішню функцію технічної системи. Виконавчий орган може бути визначений з різним рівнем абстрагування:

- опора (узагальнення);
- гвинт (конкретний опис).

Основним типом відношень виконавчих органів є зв'язки: вихід одного органу одночасно є входом наступного у ланцюгу дій, крім цього встановлюється (хоча і орієнтовно) просторове відношення.

Також як і функції, виконавчі органи характеризуються:

- 1) складністю (орган, підорган);
- 2) ступенем (рівнем) абстрактності (від загального до конкретного) (опора - кульковий підшипник).
- 3) призначенням: виконавчі органи можуть виконувати функції:
 - перетворення;
 - передачі (енергії);
 - керування;
 - зв'язку (узгодження).
- 4) положенням: (відносно межі технічної системи):
 - зовнішній (рецептор та ефектор)
 - внутрішній.

В більшості випадків зображення органоструктур проводять згідно до ДСТУ або інших нормативних документів.

Побудова органоструктури здійснюється двома шляхами:

1) виходячи із функції структури встановлюють деякі конструктивні ознаки, засоби дії технічної системи та виконавчі органи для їх реалізації, відношення виконавчий орган - операція, а також наближене просторове розташування.

Рисунок 5 - Органоструктура ТС – слюсарні лещата

2) виходячи із конструктивної схеми, абстрагуються від деяких конструктивних ознак (наприклад, форми, твердості, жорсткості).

5.4. Конструктивна схема ТС

Конструктивна схема - це зображення технічної системи упорядкованою сукупністю конструктивних елементів та їх відношеннями.

Виконавчі органи (органоструктура) конкретизуються у вигляді конструктивних елементів (конструктивних схем (рис.5.6)). Конструктивна схема втілює (у загальному вигляді) усі потрібні властивості та ознаки ТС. Органоструктура може бути реалізована різними конструктивними схемами, в яких можуть існувати три типи відношень:

- просторові (визначаються розміщенням елементів ТС в просторі);
- механічні (зв'язки) окремих елементів (характеризуються ступенями вільності, див.рис.5.5);
- енергетичні, які задаються, зокрема, силовим взаємовпливом між деталями (наприклад, створення сили обертанням гвинта).

Рисунок 5.6 - Конструктивна схема ТС – слюсарні лещата

Конструктивна схема визначається не тільки типом впливу, способом дії та властивостями операнда, котрі вона повинна реалізовувати, але також і принципом її побудови. Типовим є, наприклад, модульний принцип побудови, котрий позитивно зарекомендував себе не тільки при проектуванні, але також при виготовленні та використанні ТС. Часто комбінують різні принципи, що дозволяє залучати її переваги і виключити недоліки.

Зображення конструктивних схем проводиться згідно ДСТУ та інших нормативних документів.

Конструктивна схема розробляється із функціональної або органоструктури. Це подібно як художник (скульптор) з початку накидає загальну картину, а потім її поступово деталізує.

Між названими структурами технічних систем є зв'язок:

Рисунок 5.7- Зв'язок між структурами ТС

Побудова технічних систем пов'язана із відношенням мета-засіб, коли поставленій меті знаходять або порівнюють засоби її реалізації. Далі ці засоби стають знов метою до якої знов підшукують засоби. Уточнення йде при визначенні вимог до засобів. (Щоб не було шуму: матричний принтер замінити на струминний).

5.5. Параметри ТС

Параметри і показники характеризують ступінь виконання функцій або ступінь функціонування ТС. Наприклад, головна функція компресора - "стискати газ", але можуть бути різні кінцеві тиски газу, кількість підведеного газу в одиницю часу, види газів, тобто різні ступені функціонування. Особливістю параметрів і показників є можливість їх безпосереднього кількісного вираження.

Параметри (більш загальне поняття, ніж показники) - це комплексні характеристики ТС і їх можна виразити через один або декілька показників, котрі для машин прийнято звати техніко-економічними. Наприклад, **геометричний параметр** можна виразити через такі показники, як довжина, висота, ширина, глибина, діаметр та інші, **параметр маси** - через показники абсолютної та питомої маси, тощо. Одними з основних для машин є показники, які характеризують їх призначення: продуктивність, швидкість роботи, тиск тощо.

Однією з найважливіших властивостей машин, які характеризують ступінь їх корисності, є **якість**. До якісних характеристик ТС відносять такі їх властивості, як: **надійність, технологічність, ергономіка, естетика, екологічність, транспортабельність, придатність до упаковки в експлуатації**, тощо.

В табл. 5.2 і 5.3 подані приклади основних показників компресорів і малогабаритних гідравлічних силових головок агрегатних верстатів.

Таблиця 5.2 - Приклади основних показників компресорів

Марка компресора	Продуктивність, $\text{м}^3/\text{хв}$	Тиск кінцевий, Мпа	Температура газу кінцева, °C	Тиск початковий, Мпа
202 ВП-12/3	12	0,441	185	~ 0,098
305 ВП-40/3	40	0,441	185	0,098
302 ВП-10/8 .	10	0,883	140	0,098

Таблиця 5.3 - Приклади основних показників малогабаритних гідравлічних силових головок агрегатних верстатів

Тип силової головки	Найбільша потужність двигуна N, кВт	Осьова сила в Н при тиску 2 Мпа	Умовний діаметр свердління $d_v, \text{мм}$	Максим. круг. момент M, Н·м	Максим. хід пінолі L, мм
СГК4	0,12-0,18	1000	4	10	63
СГК10	0,75	3000	10	20	80
СГК16	1,5	5000	16	60	120

5.6. Поняття про фізичну операцію

Для опису *технічної функції* (ТФ) потрібно мати таку інформацію:

- потреба, яку може задовольнити технічний об'єкт (ТО) або ТС;

- фізична операція (фізичне перетворення), за допомогою якої реалізується потреба.

Таким чином $T\Phi$ складається з двох частин

$$F = (P, Q)$$

де P - потреба, що задовольняється, яка описується формулою $P = (DGH)$ (D - вказівка дії, яка виконується $ТС$ і призводить до бажаного результату; G - вказівка об'єкту або предмету обробки, на який направлена дія; H - вказівка окремих умов і обмежень, при яких виконується дія D); Q - фізична операція. Опис фізичної операції формалізовано можна зобразити з трьох компонент:

$Q = (Am, E, Cm)$ або $Q = (Am \quad E \quad Cm)$, де Am , Cm - відповідно вхідний і вихідний потоки (фактори) речовини, енергії або сигналів; E - назва операції Комера за перетворенням Am в Cm . Цей опис відповідає на питання "що" (Am), "як" (E), "у що" (Cm) перетворюється за допомогою $ТО$. Число входів Am , дій E і виходів Cm у загальному випадку довільне.

Таким чином під **фізичною операцією** будемо розуміти фізичне перетворення заданого вхідного потоку (або фактору) у вихідний потік (фактор).

У табл. 5.4 наведені приклади опису фізичних операцій для деяких $ТС$.

Таблиця 5.4 - Приклади опису фізичних операцій

Назва ТС	Вхід Ат	Операція Е	Вихід Ст
Металорізальний верстат	Заготовка	Перетворення (різання)	Деталь
Вантажний автомобіль	Паливо	Перетворення	Рух вантажу
Затискний патрон	Сила від приводу	Переміщення елементів	Сила затиску
Світильник	Електричний струм	Перетворення	Світловий потік
Млин	Зерно+механічна енергія	З'єднання	Борошно
Насос (помпа)	1.Рідина 2. Механічна енергія	З'єднання	Енергія рухомої рідини
Двигун внутрішнього згорання	Хімічна енергія палива	Перетворення	1. Механічна енергія обертового валу

5.7. Принцип дії ТС

Введемо поняття **елементарної фізичної операції**, під якою будемо розуміти тільки таку фізичну операцію, яка може бути реалізована за допомогою одного фізико-технічного ефекту.

Фізико-технічний ефект - різні застосування фізичних ефектів і явищ, котрі можуть бути реалізовані в технічних пристроях.

При вивченні будь-якої ТС слід виходити з того, що її робота ґрунтується на одному або декількох фізичних ефектах, законах, явищах.

Таким чином **фізичний ефект** - це результат дії одних фізичних об'єктів на інші, що призводить до певних змін значень фізичних величин. Окремий фізичний ефект можна описати трьома компонентами: фізична дія; фізичний об'єкт, на котрий дія направлена; результат фізичної дії, тобто (A, B, C) або $(A \rightarrow B \rightarrow C)$, де A - вхідний потік речовини, енергії або сигналів; C - вихідний потік; B - фізичний об'єкт, який забезпечує або здійснює перетворення A в C .

В табл. 5.5 наведені приклади опису фізико-технічних ефектів.

Таблиця 5.5 – Приклади описів фізико-технічних ефектів

Назва фізико-технічного ефекту	A	B	C
Закон Гука	Сила	Тверде тіло	Лінійна деформація
Закон Джоуля - Ленца	Електричний струм	Провідник	Теплота
Теплоелектронна емісія	Теплота (нагрів)	Оксидна суспензія	Потік електронів
П'єзоелектричний - ефект	Деформація (сила)	П'єзокристал	Електричне поле
Ультразвуковий капілярний ефект	Ультразвук	Рідина у капілярі	Підйом рідини
Магнітострикція	Магнітне поле	Феромагнетик	Зміна розмірів тіла

Як правило, при вирішенні технічної задачі використовується декілька фізичних ефектів, які створюють фізичний принцип дії ТС.

Фізичний принцип дії (ФПД) - структура сполучених фізичних ефектів, об'єднаних так, що результат дії попереднього фізичного ефекту еквівалентний вхідній дії наступного фізичного ефекту, причому у сукупності фізичні ефекти забезпечують перетворення заданої початкової вхідної дії у заданий кінцевий результат.

Під ФПД можна розуміти орієнтований граф, вершинами якого є назви фізичних об'єктів B , а ребрами вхідні A і вихідні C потоки речовини, енергії та сигналів. ФПД доцільно зображати у вигляді сіткової структури з фізичних ефектів або у вигляді принципової схеми $ТС$, яка полегшує подальшу розробку (конструювання) технічного рішення. Можливі і інші форми запису фізичних ефектів і ФПД.

Як правило, в арсеналі інженера є 1-2 десятки фізичних ефектів в той час, як їх нараховується більше 500. У додатку 1 наведені деякі фізичні ефекти, які використовуються у техніці.

Можливе використання хімічних, геометричних, біологічних та інших ефектів в різних галузях науки і техніки.

ВИСНОВКИ

1 ТС призначена для виконання тих чи інших перетворень в технічному процесі.

2 Перетворення здійснюється на границі ТС при певних умовах.

3 Перетворення виконується як вихід процесу дії (ланцюга дії), в якому вхідні величини перетворюються у вихідні. Процес дії визначається структурою технічного процесу, в зв'язку з чим говорять про спосіб дії ТС. Процес дії викликається безпосередньо причиною і проходить в потрібний момент (період) часу.

4 Процес і спосіб дії характеризуються перетвореннями в середині ТС матеріальних, енергетичних та інформаційних входів. Внутрішні

перетворення називаються технічними функціями і утворюють в рамках однієї ТС її функціональну структуру.

5 Технічна функція описує здатність ТС перетворювати вхідні величини в потрібні вихідні шляхом упорядкованого використання природних явищ і законів.

6 Вхідними величинами ТС є матерія, енергія та інформація. На стадіях виникнення, використання та ліквідації ТС знаходиться в різних станах і виконує різні ролі в залежності від того, до якої системи перетворень вона належить.

ТС знаходиться у визначених відношеннях з усіма елементами відповідної системи перетворень. Поряд з відомими бажаними входами і виходами мають також і небажані входи і виходи, які називають завадами або шумами.

7 Функції реалізуються виконавчими органами на основі певних принципів дії. Виконавчі органи є засобами реалізації функцій. Для виконання кожної функції може бути вибрано бажаний принцип дії із декількох можливих.

8 ВО конкретизуються у вигляді конструктивних елементів (конструктивних схем). Конструктивна схема втілює (в загальному вигляді) всі необхідні якості і ознаки ТС.

9 Кожна можлива структура ТС характеризується більшою або меншою мірою втіленням тих чи інших конструктивних ознак та якостей.

10 Кожна функція, кожний ВО чи конструктивний елемент є система підфункцій, підорганів чи конструктивних піделементів, що витікає із системного характеру об'єктів і процесів.

ТЕМА 6. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

[6.1. Ознаки класифікації ТС](#)

[6.2. Класифікація ТС за функціями та принципом дії](#)

[6.3. Класифікація ТС за ієрархічними рівнями складності](#)

[6.4. Класифікація ТС за способом виготовлення та типом виробництва](#)

6.1. Ознаки класифікації ТС

Термін **"технічна система"** визначено як узагальнюючий для широкого кола пристроїв, створених і створюваних людиною та іншими ТС, з метою задоволення різноманітних суспільних потреб.

ТС застосовуються у всіх сферах людської життєдіяльності (табл.6.1); через те класифікація ТС як струнка система упорядкування різних машин, механізмів та пристроїв, має надзвичайно важливе методологічне та практичне значення.

Технічні системи можуть бути класифіковані за широким спектром ознак:

- **за функцією** (ТС для формоутворення, обертання, підйому) і **типом перетворюваних об'єктів** (матерії, енергії, інформації);

- **за принципом здійснення робочої дії** (ТС, що засновані на механічному, гідравлічному, електронному та інших принципах) та **характером функціонування** (швидкісні, імпульсні, потужнісні);

- **за рівнем складності** (конструктивні елементи, вузли, машини), **ступенями конструктивної складності** (деталі прості, складніші, складні, дуже складні, надзвичайно складні) та **ступенями оригінальності** (запозичені, модифіковані, оригінальні ТС);

- **за способом виготовлення** (ТС, виготовлені шляхом різання, лиття, штампування) та за іншими ознаками, що пов'язані з виготовленням - матеріалом, формою, типом виробництва, фірмою-виробником;

- **за типом виробництва** (в умовах одиничного, серійного та масового виробництва);

- **за ступенем абстрактності;**

- **за місцем в технічному процесі, за експлуатаційними властивостями, зовнішнім виглядом, техніко-економічними характеристиками** і т.п.

Одна і та ж ТС може належати одночасно до декількох класів.

Таблиця 6.1 - Приклади ТС, застосовуваних в народному господарстві

Галузь економіки	Технічна система (ТС)	
	призначення	машина
Гірнича справа	Видобуток	Врубова машина
	Транспортування	Транспортер
	Збагачення	Сортувальна машина
Енергетика	Виробництво пари	Паровий котел
	Виробництво електрики	Парова, гідротурбіна, генератор
Металургія	Виробництво чавуну	Доменна піч
	Виробництво сталі	Мартенівська піч
	Виробництво прокату	Прокатний стан
Хімічна промисловість	Переробка нафти	Резервуар
	Виробництво пластмас	Колона
Металообробка	Обробка тиском	Прес; молот
	Обробка різанням	Верстат
	Термообробка	Піч
	Лиття	Формувальна машина
	Складання	Конвеєр
Будівництво	Будівництво фундаментів	Екскатор
	Будівництво наземних споруд	Підйомний кран
	Земляні роботи	Скрепер
Транспорт	Залізничне сполучення	Тепловоз, вагон
	Повітряне сполучення	Літак
Текстильна	Виробництво текстилю	Ткацький верстат
промисловість	Виготовлення готових виробів	Швейна машина
Харчова промисловість	Переробка молока	Центрифуга
	Виробництво харчових жирів	Прес
Медицина	Діагностика	Рентгенівський апарат

Сільське господарство	Обробка землі	Трактор з плугом
	Збір урожаю	Комбайн

6.2. Класифікація ТС за функціями та принципом дії

Як правило, назви ТС вибирають у відповідності із їх функціями, Виходячи із цього ж принципу складають номенклатуру виробів, промислові і торгівельні каталоги, оглядові таблиці. Вузли і деталі машин як ТС теж класифікують за функціональною придатністю, тобто за конструктивно-функціональною ознакою, яка є однією з основних при запозиченні ТС, уніфікації, стандартизації, типізації елементів і груп.

Через значну різноманітність надзвичайно важко, й практично неможливо скласти повну і вичерпну конструктивно-функціональну класифікацію ТС, що використовуються в різних галузях. Проте очевидно, що для конкретного підприємства доцільно проводити таку класифікацію для множини елементів і вузлів, які виконують одну певну функцію, таких як кріпильні деталі, редуктори, муфти, гідравлічні та пневматичні прилади і т.п.

При виконання такої класифікації необхідно використовувати назви за функціональним призначенням, наприклад, кільцевидна прокладка - «прокладка», а не «кільце», консольний важіль - «важіль», а не «консоль».

При проведенні такої класифікації виділяють, наприклад, технічні системи призначені для:

- фіксації,
- надання форми,
- обертання,
- підйому,
- транспортування і т.д.

При розробці класифікації деталей, вузлів та машин варто прагнути до простоти умовних позначень. Зокрема, рекомендується застосовувати трьох -, чотирьохзначне маркування.

Розвиває класифікацію ТС за функціональною ознакою **класифікація за принципом дії**. Адже для конструктора надзвичайно важливо диференціювати

однофункціональні ТС за якоюсь важливою додатковою ознакою, а саме - за принципом дії.

Як приклад, можна привести механічні передачі. Їх можна згрупувати у передачі тертям та передачі зачепленням. У свою чергу, передачі тертям можуть бути безпосереднього дотику (фрикційні) та з гнучким зв'язком (пасові). Механічні передачі, здійснювані за допомогою зачеплення теж можна класифікувати як передачі безпосереднього дотику (зубчасті, гвинтові, черв'ячні, глобоїдні, гвинт-гайка) та передачі з гнучким зв'язком (з зубчастим пасом, ланцюгові).

Такого роду ознаки ТС переважно стосуються функціонально зумовлених властивостей і мають велике значення для методичної роботи конструктора.

Для конструктора важливо, щоб технічні системи з однаковими функціями були згруповані ще за якоюсь важливою ознакою - ця ознака є принцип дії технічних систем. Така класифікація передбачає виділення технічних систем, які працюють із використанням таких принципів:

- механічний,
- гідравлічний,
- пневматичний,
- електронний,
- хімічний,
- оптичний,
- акустичний.

Подальша класифікація передбачає виділення додаткових суттєвих ознак, наприклад, гідравлічний привід може бути розділений за видом рідини:

- водяний,
- масляний і т.д.

6.3. Класифікація ТС за ієрархічними рівнями складності

Особливості розробки ТС, їх проектування пов'язані із блочно-ієрархічним підходом до побудови ТС. При цьому будь-яка ТС розглядається як система, яка складається із підсистем (рис.2.1).

Цим зумовлена класифікація ТС за *ієрархічними рівнями складності* (табл.6.2). На більш високих рівнях складності можна розрізняти додатково і проміжкові рівні. Зазначена ієрархія є відносною, адже одна і та ж ТС більш низького рівня в одній системі розглядається як підгрупа, а в іншій системі - як група чи машина (підсистема). З врахуванням зв'язків між рівнями складності ТС в найбільш узагальненому плані ТС можна представити деревом з відповідними ієрархічними рівнями: ТС - машина-група-підгрупа-елемент. Класифікація ТС за рівнями складності має надзвичайно важливе значення в силу того, що рівень складності ТС визначає ступінь складності технічного рішення, яке розробляє конструктор; окреслює певні межі спеціалізації інженера; допомагає йому узгоджувати свою діяльність як з вищими, так і з нижчими рівнями. Відповідно структурованою є також існуюча система конструкторсько-технологічної документації.

Таблиця 6.2 - Класифікація ТС за рівнем складності

Рівень складності	Технічна система	Характеристика	Приклади
I	Конструктивний елемент Деталь машини	Елементарна система, виготовлена без монтажних операцій	Болт, пружина, підшипникова втулка, шайба
II	Підгрупа Група Вузол, механізм	Проста система, що виконує нескладну функцію	Коробка передач, гідропривід, шпиндельна бабка
III	Машина Прилад Апарат	Система з груп і елементів, що виконує певну функцію	Токарний верстат, автомобіль, електродвигун

IV	Установка Підприємство Промисловий комплекс	Складна система машин, груп і елементів, що виконує ряд функцій і характеризує впорядковані сукупності функції	Технологічна лінія термічної обробки, нафтохімічний комплекс
----	--	---	---

Технічні системи можна також класифікувати з **точки зору конструктивної складності** навіть в межах одного і того ж, наприклад, III рівня складності. При плануванні конструкторської роботи ступінь конструктивної складності розроблюваної ТС служить критерієм для встановлення певних хронологічних рамок інженерної праці. Деталі машин також можна класифікувати в залежності від ступеню складності їх конструкції (табл.6.3).

Таблиця 6.3 - Класифікація деталей машин за ступенем конструктивної складності

Ступінь	Характеристика	Приклади
1	Дуже прості деталі з малою кількістю контрольних розмірів невисокої точності	Опорна шайба, невеликий вал, болт, простий важіль
2	Прості деталі з великою кількістю контрольних розмірів	Простий штампований виріб, важіль
3	Більш складні деталі	Шестерня
4	Більш складні деталі з великою кількістю контрольних розмірів	Досить складні відливки, невеликі поковки
5	Дуже складні деталі	Складні відливки корпусів
6	Дуже складні і великі деталі ,	Каркаси, станини, корпуси машин
7	Особливо складні деталі великих розмірів і незвичайної форми	Великі поковки, прецизійні відливки складної форми

Критеріями оцінки ступеню конструктивної складності служать: ступінь оригінальності конструкції; складність виконуваних функцій, форм; складність розрахунків; технологічні параметри виготовлення та інші.

Важливою є класифікація ТС *за ступенем оригінальності конструкції*.

Для виконання необхідної функції вже можуть існувати декілька систем. Серед них слід вибрати ті, які найбільш підходять до заданих умов. До категорії *запозичених ТС* в першу чергу відносять уніфіковані елементи і групи (болти, вентилі, пружини), а також - не уніфіковані, які можуть бути запозичені із інших конструкцій.

Допрацьовані ТС передбачають додаткову доробку вибраної технічної системи без зміни структури ТС і найважливіших властивостей елементів з метою пристосування до особливих умов і вимог нової задачі.

В *модифікованих ТС*, як правило, не змінюють лише функцію, деякі параметри і при можливості - принцип дії. Удосконалюють форму, розміри, технологію виготовлення ТС, часто змінюють структуру і конструктивну схему.

Найбільш оригінальними є *нові ТС*, які представляють собою об'єкти з новим принципом дії та іншими технічними властивостями. Такі системи розробляють, коли для виконання бажаної функції неможливо використати існуючі ТС через недоліки принципового характеру, або ж подібні системи взагалі відсутні.

6.4. Класифікація ТС за способом виготовлення та типом виробництва

При виготовленні певних груп ТС використовується однотипне технологічне обладнання. Деталі машин теж можна об'єднати в технологічні групи за принципом схожості технологічних операцій виготовлення. Така класифікація є необхідною при виконанні технологічної підготовки виробництва та підвищенню його ефективності, так як дає можливість об'єднати робочі місця для виготовлення однакових за способом виготовлення деталей.

Згідно до цієї класифікації виділяють деталі:

- тіла обертання (диски, вали...)

- тіла не обертання (корпусні деталі, станіни...).

Останні в свою чергу ділять на деталі, в яких форма змінюється завдяки певним методам обробки:

- фрезерна обробка,
- свердлування тощо.

Як приклад, на рис.6.1 показано класифікацію деталей машин *за способом виготовлення*.

Для оцінки економічності конструкції з точки зору її виготовлення важливою є класифікація елементів ТС за ступенем стандартизації і походженням. Використовуючи ці категорії, можна прогнозувати доцільність і масштаби виробництва ТС в рамках даного підприємства.

Зокрема загальна кількість конструктивних елементів ТС:

$$N = N_{\text{вл}} + N_{\text{пост}} = (N_o + N_z + N_{\text{тн}} + N_c) + (N_{\text{по}} + N_{\text{пта}} + N_{\text{пс}}),$$

де $N_{\text{вл}}$ і $N_{\text{пост}}$ - відповідно кількість елементів власного виробництва і тих, що постачаються; N_o і $N_{\text{по}}$ - кількість оригінальних елементів власного виробництва і тих, що постачаються; N_z - кількість запозичених елементів; $N_{\text{тн}}$ і $N_{\text{пта}}$ - кількість типізованих і нормалізованих елементів; N_c і $N_{\text{пс}}$ - кількість стандартизованих елементів.

З економічної точки зору N_o і $N_{\text{по}}$ повинні бути якомога меншими, бо вони визначають вимоги до конструкторської і технологічної підготовки.

]

Рисунок 6.1 – Приклад класифікації деталей машин за способом виготовлення

В безпосередньому зв'язку з цим знаходиться **класифікація ТС за типом виробництва**.

Тип виробництва визначається кількістю виготовлюваних одиниць продукції, що впливає на цілий ряд технічних та економічних властивостей технічних систем.

Технічні системи одиничного виробництва - характеризуються високою собівартістю, складністю підготовки, вимагає високої кваліфікації конструктора та виробника, використання універсального обладнання. Позитивна сторона - висока якість продукції.

Технічні системи серійного та масового виробництва - характеризується відносно низькою собівартістю, допускається середній рівень кваліфікації виробника, використовується спеціалізоване обладнання, проводиться вибірковий контроль якості, тому можливі дефекти ... вимагає збільшення допусків на відхилення від еталонної деталі...

Сьогодні проглядається тенденція до уніфікації, модульності в виробництві технічних систем одиничного виробництва. Так, наприклад, можна скласти комп'ютер унікальної конфігурації з складових, які випускаються серійно. Тобто в одиничному виробництві все більшу вагу мають операції складання, а не виготовлення.

6.5. Класифікація ТС за ступенем абстрактності

Класифікація за ступенем абстрактності розвиває систему класифікації за ієрархічними ознаками. Для цього використовуються позначення системних категорій за ступенем споріднення і за морфологічними ознаками, такими як: клас, група, сімейство, тип, рід, вид і т.д.

Така класифікація може бути представлена як сукупність ієрархічних структур ТС в різних галузях людської діяльності. Зокрема, для машинних систем на різному рівні абстрагування можна запропонувати багаторівневу структуру, представлену в табл.6.4.

Таблиця 6.4 - Ступені абстрактності машинних систем типу «верстат»

Ступінь абстрактності	Ієрархічний опис	Назва
1.0	Клас «машинна система»	Верстат
0.8	Група	Металообробний верстат
0.6	Сімейство	Металообробний токарний верстат
0.4	Тип	Універсальний металообробний токарний верстат
0.2	Рід	Токарно-гвинторізний верстат
0	Вид (типорозмір)	Токарно-гвинторізний верстат 16K20

ВИСНОВОК

1. Класифікацію технічних систем можна проводити з різних точок зору; при цьому із всієї множини технічних систем утворюються підмножини, які пов'язані загальними ознаками, що їх відрізняють. Отримані категорії можуть служити різним цілям, наприклад систематизації, наочності, каталогізації, аналізу, оцінці тощо.

ТЕМА 7. ВЛАСТИВОСТІ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

[7.1. Категорії властивостей ТС](#)

[7.2. Співвідношення між властивостями ТС](#)

[7.3. Необхідні властивості ТС](#)

[7.4. Вимоги до вибору і опису критеріїв ТС](#)

[7.5. Функціональні та технологічні критерії розвитку ТС](#)

[7.6. Економічні критерії ТС](#)

[7.7. Ергономічні, економічні та естетичні критерії ТС](#)

7.1. Категорії властивостей ТС

Властивість слід детермінувати як **ознаку** ТС. Ознакою може служити, наприклад, здатність поводити себе певним чином або задовольняти певній вимозі. Через ті чи інші властивості дається характеристика ТС. При цьому для об'єктивного аналізу важливо, щоб оцінювані властивості і критерії оцінки могли бути визначені кількісно.

Найважливіше, що характеризує ТС, - це присутність у неї бажаних властивостей, бо ТС є лише носієм необхідної робочої функції і відповідно передбачуваної поведінки. На етапі постановки задачі чи замовлення ТС бажані властивості технічної системи називають **вимогами**. Щоб відповідати заданим вимогам ТС повинна не лише виконувати бажану робочу функцію, але і володіти в значній мірі певними властивостями. ТС завжди є носієм найрізноманітніших властивостей, але тільки міра цих властивостей (цінність) має вирішальне значення.

Всі властивості ТС можна класифікувати за різними категоріями,

В першу чергу виділяють а) **зовнішні** та б) **внутрішні властивості**. При цьому виходять із системного принципу. Зовнішні властивості визначають як відношення системи до її оточення. Внутрішні властивості при цьому виявляються як відношення між елементами системи. Користувача ТС цікавлять в значній мірі зовнішні властивості.

За причинним зв'язком властивості класифікують на а) **вхідні дії (причина)** і б) **функції (наслідок)**. Між вхідними діями і функціями існують причинні відносини. Наприклад, недостатня жорсткість станини токарного верстату є причиною похибки обробки деталей. Послідовність причини і дії в часі проявляється у вигляді процесу.

За функціональною залежністю підрозділяють а) **залежно змінні** та б) **незалежно змінні властивості**. Існує, наприклад, залежність між міцністю і температурою матеріалу; швидкістю руху об'єкту і його кінетичною енергією. Всі ці властивості знаходяться між собою у функціональній залежності, яка може бути виражена аналітично. Ті властивості, на які здійснюється вплив, називаються залежними змінними (міцність). Ті властивості, які здійснюють вплив на інші, називаються незалежними змінними (матеріал, форма, габарити). Одні і ті ж властивості в різних ТС можуть виступати як залежні чи незалежні.

За можливістю кількісного визначення властивості ТС класифікують на ті, що а) *визначаються легко*; б) *визначаються важко*; в) *не визначаються кількісно*. Коли неможливо оцінити кількісно властивості, застосовується оцінка на основі системи балів за зростаючими рівнями (класами).

За значимістю властивості класифікують на а) *дуже важливі* (незамінимі) - функція, безпека; б) *важливі* - надійність, термін служби, ціна; в) *менш важливі* - можливість довгого зберігання; г) *не суттєві для функціонування* - зовнішній вигляд, колір. Очевидною є відносність такої ознаки класифікації, бо значимість певних властивостей ТС дуже залежить від конкретних обставин.

Надзвичайно важливою є класифікація властивостей за *фізичною сутністю*. Виділяють властивості:

а) *геометричні* - габарити, симетрія, форма, міжосьова відстань;

б) *кінематичні* - швидкість, прискорення;

в) *механічні* - міцність, пружність, прогин;

г) *теплові* - нагрів, теплопровідність, теплоізоляція;

д) *електричні і магнітні* - ємність, напруга, опір, індуктивність;

є) *оптичні* - фокусна відстань, поляризація;

ж) *акустичні* - шум, звукова частота;

з) *хімічні* - концентрація, корозія, хімічна активність. Така класифікація наочно демонструє різноманітність ТС і відповідає структурі областей знань.

Жодної із наведених систем класифікацій властивостей ТС недостатньо для повної характеристики властивостей. В зв'язку з цим з точки зору методології конструкторської діяльності побудована класифікація властивостей за потребою в конструкторській роботі (табл.7.1). Відповідні запитання розкривають сутність наведених категорій, а приклади властивостей полегшують розуміння такої класифікації.

7.2. Співвідношення між властивостями ТС

Для отримання сукупної оцінки ТС необхідно отримати співвідношення між її властивостями. Загальний алгоритм передбачає визначення кількісних співвідношень у випадку існування причинного або іншого зв'язку між властивостями. Якщо ж такого зв'язку не вдається встановити, то здійснюється аналіз належності властивостей до того чи іншого ієрархічного рівня співвідношення властивостей і формується відповідна інформація (повідомлення) для подальшого дослідження.

Таблиця 7.1 - Класифікація властивостей ТС за потребою в конструкторській роботі

Категорія	Ключове запитання	Приклади властивостей
Функція <i>F</i>	Які функції системи?	Робоча функція
Дія <i>W</i>	Що робить система?	Допоміжна функція Підготовча функція Керування і регулювання Узгодження
Функціонально зумовлені властивості <i>Ve</i>	Які умови характерні для даної функції?	Продуктивність Швидкість Розміри Маса Функціональні параметри
Виробничі властивості <i>Bd</i>	Наскільки придатна система для виробничого процесу?	Безпека експлуатації Надійність Витрати енергії Ремонтоздатність
Ергономічні властивості <i>Erg</i>	Як. обслуговується система і який вплив здійснює на людину?	Зручність обслуговування. Вимоги до оператора
Естетичні властивості <i>An</i>	Як система сприймається естетично?	Колір, зручність. Привабливість

Маніпуляційні властивості <i>Di</i>	Придатність системи для транспортування, зберігання?	Відповідає умовам транспортування, зберігання
Характеристики поставок планування <i>LP</i>	Коли ТС може бути поставлена? В якій кількості виготовляється?	Доступність Продукція серійного виробництва
Правові норми <i>GN</i>	Чи відповідає правовим нормам?	Відповідає Порушення патентного права
Технологічні властивості <i>Fe</i>	Наскільки ТС відповідає прийнятій технології?	Відповідає технології Відповідає умовам монтажу
Економічні властивості <i>We</i>	Наскільки економічний процес виробництва?	Експлуатаційні видатки Ціна
Конструктивні властивості <i>Ko</i>	Як реалізуються зовнішні властивості ⁷	Структура. Габарити Форма. Матеріал. Якість поверхні. Поле допуску, тип виробництва
Якість виготовлення <i>He</i>	Хто і як виготовив ТС?	Переваги і недоліки виготовлення

Властивості і їх **загальні співвідношення** вивчаються природничими науками та в техніці, де їх зображують або формулами, або словами. Для здійснення бажаної дії конкретної ТС загальні співвідношення часто недостатні. На практиці їх часто конкретизують стосовно до конкретних умов. Так, наприклад, для розповсюдження тепла існують формули переносу тепла теплопровідністю, випромінюванням і конвекцією. Які ж співвідношення мають місце, коли ми поміщаємо предмет у нагрівальну піч. Конструктор при цьому повинен володіти значним досвідом у цій області, який дозволив би правильно оцінити конкретні умови в розгляді вашій ситуації. Особливості виробництва враховують поправочними коефіцієнтами в загальних формулах.

Дуже складні співвідношення між властивостями можна виразити засобами матричного числення, математичними символами. Аналітичні залежності при вивченні співвідношень дозволяють також формувати чисельні апарати математичної логіки і статистики.

Важливо оцінити і співвідношення між категоріями властивостей. У готового виробу внутрішні елементарні властивості (конструктивні і технологічні) є визначальними для зовнішніх властивостей, які визначають в свою чергу економічні властивості. Рисунок ілюструє надзвичайну складність

співвідношень. Складність ще більше зростає з врахуванням співвідношень між властивостями на нижчих рівнях

Для визначення властивостей і їх співвідношень використовують такі методи і прийоми: 1) вимірювання, 2) експертні оцінки, 3) моделювання, 4) обчислення, 5) порівняння, 6) визначення оптимального рівня властивостей.

Кількісне визначення властивостей ТС, які знаходяться в експлуатації, можна встановити шляхом **вимірювання**. Це професійні операції, які мають свої відповідні робочі методики. Особливий підхід потрібний при тривалих вимірюваннях, наприклад, при визначенні терміну служби деталей.

Певну складність представляє **експертна оцінка**, величин, що не вимірюються. Якщо, наприклад, про ТС сказано, що вона є ремонтпридатною, то ця оцінка повинна бути підкріплена такими аргументами, як простота визначення відмови, доступність деталей, швидкість ремонту і т.д.

Моделювання набагато складніше від вимірювання фізичної реальності. Модель - це опис реальної ТС чи процесу доступними фізичними чи математичними засобами. Співвідношення між моделлю і оригіналом регламентуються законами подібності. В залежності від засобів моделювання розрізняють **іконічні моделі**, які відтворюють оригінал в двох чи трьохвимірному просторі, **аналогові моделі**, які подібні з оригіналом за деякими функціональними властивостями, **символічні моделі**, які зображують властивості оригіналу з допомогою слів чи математичних символів.

Обчислення показників, що виражаються формулами, здійснюється застосуванням аналогових чи цифрових обчислювальних машин. При наявності графіків чи номограм можна отримати шукані показники для даних умов шляхом зчитування.

У випадку, коли певний еталон служить одночасно і моделлю, ступінь реалізації шуканої властивості визначають шляхом **порівняння** виробу із зразком.

Для **визначення оптимального рівня властивостей** використовують знання про співвідношення між властивостями. Зміни умов на деякі властивості впливають позитивно, на інші-негативно. Оптимальний рівень властивостей може змінюватись а) **дискретно** (число опор, циліндрів двигуна) і б) **неперервно** (товщина покриття, швидкість руху).

7.3. Необхідні властивості ТС

Сформульовані технічні умови чи технічне завдання завжди передбачають наявність повного переліку **необхідних властивостей ТС**. Часто неповне формулювання такого перепису стає причиною істотних дефектів готових виробів.

Зміст і форма переліку необхідних властивостей - різні в кожному конкретному випадку їх зумовлюють такі фактори:

- 1) **складність виконуваної функції** (вона різна, наприклад, для промислового комплексу і окремої деталі машини);
- 2) **конструктивна складність** (складна конструкція на відміну від простої, нова конструкція на відміну від модернізованої);
- 3) **потреба в додаткових властивостях** (висока надійність, більший термін служби, привабливий зовнішній вигляд);
- 4) **вимоги замовника** (задоволення виробничої необхідності, наприклад, шляхом купівлі готового виробу або замовлення спеціального виробу).

Особливу групу утворюють **постійні вимоги, які не встановлюються в явній формі**, але враховуються практично завжди. До таких вимог відносять:

- а) максимально можливий рівень експлуатаційних властивостей (зокрема мінімальні габарити, маса, споживання енергії);
- б) оптимальні ергономічні показники (обслуговування, захист від шуму, тепла, вібрацій, мінімальна шкода навколишньому середовищу);
- в) врахування всіх особливостей існуючого виробництва (стандартизація, уніфікація, використання обладнання і технології);
- г) найкращі економічні показники (мінімальні виробничі витрати).

Вимогами особливого роду є **обмеження**. Вони диктуються конструктору природою і суспільством, внаслідок чого він обмежений у виборі рішення. Наприклад, не можна створити вічного двигуна, існують і обмеження правового характеру.

За значенням для покупців необхідні вимоги поділяють на три категорії: обов'язкові вимоги (робоча функція, ціна), вимоги необов'язкові, побажання.

7.4. Вимоги до вибору і опису критеріїв ТС

Серед властивостей і показників ТС є такі, що мають тенденцію монотонної зміни чи тенденцію підтримання на певному рівні при досягненні своєї межі. Ці показники усвідомлюються як міра досконалості і прогресивності їх називають **критеріями ТС** і визначають одночасно як критерії розвитку і критерії якості.

Значення критеріїв ТС особливо важливе для розробки нових виробів на рівні кращих світових досягнень.

Кожна ТС має, як правило, декілька критеріїв розвитку. Принцип прогресивного розвитку для кожного нового покоління ТС полягає в покращанні одних і непорушені інших критеріїв.

Єдиний набір критеріїв ТС включає такі чотири групи (рис. 7.1):

- **функціональні** критерії, які характеризують найважливіші показники реалізації функції ТС,
- **технологічні** критерії, пов'язані з можливістю і простотою виготовлення ТС;
- **економічні** критерії, які визначають економічну доцільність реалізації функції ТС;
- **антропологічні** критерії, пов'язані з питаннями людського фактору чи дією позитивних і негативних факторів на людей, викликаних створенням ТС.

Представляється можливим визначити умови і вимоги щодо вибору і опису критеріїв ТС.

За критерії розвитку можуть бути вибрані тільки такі параметри ТС, які допускають можливість кількісної оцінки на основі **вимірювання**.

Критерій повинен мати такі одиниці виміру, які дозволяють **порівнювати** ТС у різних країнах і в різний час. Найкраще користуватися безрозмірними питомими величинами.

Умови **виключення** передбачають, що за критерій можуть бути прийняті такі параметри ТС, які в першу чергу характеризують її ефективність і здійснюють визначальний вплив на розвиток ТС.

При виборі критеріїв ТС повинна бути забезпечена також умова **постійності**.

Умова *мінімальності і незалежності* визначає, що вся сукупність критеріїв розвитку повинна містити лише такі, що не можуть бути логічно виведені із інших критеріїв і не можуть бути їх прямим наслідком.

Опис кожного критерію ТС містить такі дані:

- 1) сутність критерію, час і причини його виникнення;
- 2) формулу чи спосіб вимірювання критерію;
- 3) діапазон і характер зміни значень критерію в часі;
- 4) оцінку ступеню загальності критерію за певною шкалою (належність до певного класу, чи групи класів ТС);
- 5) оцінку перспективності критерію (актуальність зростає чи знижується);
- 6) основні способи і засоби покращання критерію.

Рис.7.1 - Класифікація критеріїв розвитку ТС

7.5. Функціональні та технологічні критерії розвитку ТС

Для кожної ТС *функціональні критерії* розвитку є кількісними характеристиками основних показників реалізації функції ТС. Найбільш важливими серед них є критерії продуктивності, точності і надійності.

Критерій продуктивності представляє собою інтегральний показник рівня розвитку техніки, який безпосередньо залежить від ряду параметрів, що певним чином впливають на продуктивність праці. Ці параметри є частковими функціональними критеріями і можуть бути вимірними або обчисленими за певною залежністю.

Це, зокрема,

1) швидкість обробки об'єкту (число обертів чи операцій за одиницю часу, швидкість руху робочих органів машини, протікання хімічної реакції і т.д.);

2) фізичні і хімічні параметри (температура, тиск, напруга та інші), що певним чином впливають на інтенсивність обробки технічного об'єкту чи предмету обробки;

3) ступінь механізації праці, який визначено як співвідношення механічної роботи, виконуваної власне ТС, до всієї механічної роботи, виконуваної сумарно ТС і людиною при виготовленні продукції;

4) ступінь автоматизації, який дорівнює відношенню кількості керованих операцій, виконуваних власне ТС, до загальної кількості операцій, виконуваних сумарно ТС і людиною;

5) неперервність процесу обробки, яка детермінується як співвідношення числа операцій, виконуваних з використанням неперервних процесів, до загального числа операцій з використанням неперервних і перервних процесів дії на предмет обробки. При цьому під неперервними процесами розуміють обертний, поступальний рух чи беззупинкову обробку, а під перервними - зворотно-поступальний рух, операції з зупинками і т.д.

Критерії точності також включають окремі часткові критерії, зокрема:

- точності вимірювання;
- точності обробки матеріалу чи сировини;
- точності позиціонування;
- точності обробки потоку енергії;
- точності обробки потоку інформації.

На даний час розроблено і розвинуто багато способів, методів і прийомів вимірювання, оцінки і дослідження точності, які описані в спеціальній літературі. Так, в окрему область науки оформилось вивчення проблеми

точності металорізальних верстатів. При цьому передбачається формування вимог до точності, її моделювання на основі сучасних методів, інженерний розрахунок, випробування на точність і експериментальні дослідження балансу точності обробки, напрацювання рекомендацій щодо підвищення точності.

Надзвичайно важливим є критерій надійності. Надійність визначається як властивість ТС зберігати свою працездатність із заданою ймовірністю на протязі певного проміжку часу. Критерій надійності є узагальненим, інтегральним і включає в себе часткові критерії:

1) **безвідмовність**, яка визначається ймовірністю $P(t)$ того, що в заданому інтервалі часу $t = T$ (в межах заданого напрацювання) не виникне відмова ТС;

2) **довговічність**, яка може характеризуватись рядом показників, наприклад, коефіцієнтом технічного використання $K_{me} = T_o / (T_o + T_{np})$, де T_o - час роботи ТС за деякий період експлуатації, T_{np} - сумарний час простоїв об'єкту через його ремонт і технічне обслуговування;

3) **ремонтпридатність**, яка визначає можливості ТС до попередження, виявлення та усунення відмов і пошкоджень шляхом проведення ремонтного і технічного обслуговування; ремонтпридатність, зокрема визначає час T_{np} .

Зазначені функціональні критерії продуктивності, точності і надійності надзвичайно сильно взаємовпливають один на одного. Їх актуальність і вага завжди були вищими порівняно з іншими групами критеріїв.

Технологічні критерії головним чином забезпечують усесторонню економію праці при виготовленні ТС і підготовці її до експлуатації. Виділяють технологічні критерії трудомісткості виготовлення; технологічних можливостей; використання матеріалів; розчленування ТС на елементи.

Критерій трудомісткості виготовлення ТС дорівнює відношенню сумарної трудомісткості Π_c проектування, виготовлення і підготовки до експлуатації виробу до головного показника Q ефективності ТС: $K_m = \Pi_c / Q$. Таким чином, цей критерій представляють як питому трудомісткість виготовлення на одиницю отримуваної ефективності. В табл.7.2 наведено приклади вибору головного показника ефективності для різних ТС.

Критерій K_m є монотонно спадаючою функцією при співставленні різних поколінь ТС. Актуальність його залишається високою і незмінною.

Будь-яка ТС може складатись не більше як з п'яти типів елементів: A_c - стандартних чи отримуваних в готовому вигляді; A_y - уніфікованих, які запозичені із існуючих ТС; A_{o1} - оригінальних, виготовлення яких не викликає труднощів; A_{o2} - оригінальних, виготовлення яких викликає значні труднощі, проте їх можна подолати; A_{o3} - оригінальних, виготовлення яких викликає принципові труднощі, які поки що неможливо подолати.

Таблиця 7.2 - Головні показники ефективності ТС

Приклади ТС	Показники ефективності, Q	
	Назва	Розмірність
Двигуни, генератори	Потужність	кВт
Засоби транспорту	Маса вантажу за одиницю часу	т·км/год (люд·км/год)
Технологічні матеріали	Продуктивність	м ³ /год, м/год, шт/год
Муфти, редуктори	Крутний момент	Н·м
Сільськогосподарські плуги	Ширина плуга	м

Критерій технологічних можливостей, який відображає простоту і принципову можливість виготовлення ТС, визначається за формулою

де $\varepsilon = 1$ при $A_{o3}=0$; $\varepsilon = 0$ при $A_{o3}>0$; k_y, k_{o1}, k_{o2} - вагові коефіцієнти ($k_y > k_{o1} > k_{o2}$); $A_c, A_y, A_{o1}, A_{o2}, A_{o3}$ - кількість найменувань відповідних елементів. Частковими випадками цього узагальненого критерію є: критерій стандартизації ($k_y = k_{o1} = k_{o2} = 0$); критерій уніфікації ($k_y = 1; k_{o1} = k_{o2} = 0$). Розглядуваний критерій стимулює виключення абсолютно не технологічних

елементів A_{03} і мінімізацію елементів A_{02} , A_{01} , A_y у відповідності з їх ваговими коефіцієнтами.

Критерій технологічних можливостей відображає фактор спадковості в техніці аналогічно закону Дарвіна в живій природі. При переході від одного покоління ТС до іншого критерій K_{tm} сприяє в найбільшій мірі зберігання і використанню перевірених практикою функціональних елементів і технології.

Через те, що доля відходів, які отримують при виготовленні ТС, в значній мірі залежить від технологічних процесів і технологічного обладнання, існує і діє технологічний **критерій використання матеріалів**. Він визначений як співвідношення маси O виробу до маси M використаних матеріалів: $K_{\text{вм}}=O/M$ (при цьому закуплені комплектуючі елементи не враховуються).

Критерій $K_{\text{вм}}$ є монотонне зростаючою функцією в інтервалі $0 < K_{\text{вм}} < 1$, яка іноді може мати стрибкоподібні зростання, пов'язані з переходом на нові високопродуктивні технологічні процеси чи дешеві матеріали. Величину $K_{\text{вм}}$ можна також інтерпретувати як коефіцієнт корисного використання матеріалів, бо за змістом, характером і діапазоном зміни він близький до енергетичного коефіцієнту корисної дії (к.к.д). Критерій $K_{\text{вм}}$ почав проявлятися ще в епоху кам'яного віку, коли вперше формувались технології економного використання матеріалів.

При розробці ТС може здатись, що раціональніше виготовити її з меншої кількості елементів. Наприклад, деякі прості вузли можна замінити однією нероз'ємною деталлю і т.п. Проте ілюзорне спрощення конструкції, поряд з позитивними моментами, часто приносить значні втрати. Більші розчленування часто скорочують час і трудомісткість виготовлення ТС в цілому, полегшують і розширюють уніфікацію і стандартизацію з відповідними перевагами і т.д. Завжди існує оптимальне розчленування ТС на вузли і деталі, яке значно спрощує технологію розробки, виготовлення, ремонту і модернізації виробів.

Критерій розчленування ТС на елементи забезпечує у кожному новому поколінні виробів наближення до оптимального розподілу на елементи. Цей критерій стосується будь-якої ТС, яка складається більш, ніж з одного елемента.

7.6. Економічні критерії ТС

До **економічних критеріїв** ТС відносять критерії витрат матеріалів, енергії, витрат на інформаційне забезпечення, габаритних розмірів ТС.

Усестороння економія матеріалів викликана факторами зниження вартості ТС (вартість матеріалів складає 25-65% собівартості); економією енергії при експлуатації (значна частина енергії затрачається на здійснення різноманітних рухів); зниження транспортних і завантажувально-розвантажувальних витрат.

Критерій витрат матеріалу дорівнює відношення маси G ТС до її головного показника Q ефективності; $K_m = G/Q$. Таким чином, критерій представляє собою питому масу матеріалів на одиницю отримуваної ефективності. Критерій K_m має дуже давню історію. Актуальність його залишається високою і незмінною. K_m , як правило, є монотонне спадаючою функцією за умови, що співставлення ТС проводиться за одним і тим же показником Q .

Критерій витрат енергії характеризує витрати енергії при виготовленні чи експлуатації ТС. Через те, що задоволення потреб людей жорстко обмежується енергетичними можливостями, то витрати енергії намагаються звести до мінімуму. Критерій розраховують за формулою

$$K_e = (W_n + E) / (T \cdot Q),$$

де W_n - повні витрати енергії за час T експлуатації ТС; E - витрати енергії при виготовленні ТС. Оскільки для більшості ТС $W_n \gg E$, то отримуємо простішу формулу для критерію: $K_e = W/Q$, де W - витрати енергії при експлуатації ТС за одиницю часу. В інженерній практиці широко використовують ще одну модифікацію цього економічного критерію - коефіцієнт корисної дії $K_{kd} = W_k/W_n$, де W_k - корисна робота (енергія); W_n - затрачена робота (енергія). Критерій K_e , як правило, є монотонне спадаючою функцією, а K_{kd} - монотонне зростаючою в інтервалі $0 < K_{kd} < 1$, причому мається на увазі порівняння ТС з однаковим принципом дії.

В останній час в зв'язку з широким використанням комп'ютерної техніки зросли витрати на підготовку і обробку інформації. **Критерій витрат на інформаційне забезпечення** формулюється як співвідношення $K_{ib} = S/Q$, де S - витрати на підготовку і обробку інформації, включаючи вартість і експлуатацію ЕОМ, програмного і інформаційного забезпечення і т.п. Це монотонне спадаюча функція, проте можливі і скачки, пов'язані з переходом на нову техніку.

Критерій габаритних розмірів ТС передбачає можливість зниження габаритних розмірів ТС і їх елементів, що пов'язано із отриманням таких переваг:

- зменшення площі і об'єму приміщень, в яких знаходяться ТС;
- зменшення площі землі, яку займають або ТС, або відповідні споруди;
- збільшення корисного об'єму (в ТС типу літальних апаратів, суден і т.п.);
- скорочення витрат на захист ТС (витрати на корпуси, кожухи, покриття);
- скорочення витрат на транспортування ТС.

Критерій габаритних розмірів дорівнює відношенню основних габаритних розмірів V ТС до його ефективності: $K_m = V/Q$. Якщо найбільш важливим є зниження об'єму, то $V = LBH$, якщо - зниження площі, то $V = LB$ і т.д.

Критерій K_m є монотонно спадаючою функцією за умови, що порівнюються покоління ТС за одним і тим же показником Q .

7.7. Ергономічні, екологічні та естетичні критерії ТС

Ця група критеріїв складає антропологічні критерії розвитку ТС, які забезпечують їх пристосування до людини, зниження дискомфорту і шкідливих впливів від їх функціонування.

Ергономічністю вважають властивість людинно-машинної системи змінювати свою ефективність в залежності від ступеню використання оператора. **Критерій ергономічності** конкретної ТС дорівнює відношенню реальної ефективності системи людина-машина до максимально можливої ефективності цієї системи. Цей критерій можна інтерпретувати як коефіцієнт корисної дії людини в людинно-машинній системі. Критерій розглядається як монотонне зростаюча функція, яка прямує до границі, рівної одиниці.

Актуальність і значимість ергономічного критерію в останній час значно зростає. Це викликало формування і розвиток нової науки - ергономіки, основна прикладна орієнтація якої полягає в оптимальному проектуванні складних людинно-машинних систем. Основними напрямками ергономіки є:

- **антропометрія**, яка передбачає вимірювання тіла людини з метою використання отриманих даних при проектуванні ТС, оптимізації розмірних співвідношень, економії рухів оператора;

- **інженерна психологія**, яка вивчає взаємозв'язок людини і техніки і їх взаємодію з орієнтацією на оптимальний розподіл функцій між ними;

- **фізіологія і гігієна** праці.

З останнім напрямком пов'язаний **критерій безпеки ТС**. Багато ТС, виготовлена ними продукція і сировина можуть чинити шкідливий вплив на людину: викликати пошкодження органів різного ступеню і навіть смертельний результат. Критерій безпеки має своєю тенденцією знизити і усунути шкідливі впливи ТС на людей. Його можна визначити за формулою

де S_i і S_{in} - величина і нормативне допустиме значення i -го шкідливого чи небезпечного фактору; β_i - ваговий коефіцієнт i -го фактору у відповідності

з градацією по важкості при умові, що ; де n - кількість шкідливих і небезпечних факторів; $\gamma_i = 1$, а при $S_i \geq S_{in}$ - $\gamma_i = 1/\beta_i$.

Критерій безпеки має відношення до всіх класів ТС, які здійснюють чи можуть здійснювати шкідливий чи небезпечний вплив на людину.

Критерій екологічності або критерій охорони навколишнього середовища регулює взаємовідносини між природою і ТС з точки зору комфортності і можливості життя людей. В загальному вигляді критерій можна виразити залежністю $K_{ек} = (S_n + S_k)/S_o$, де S_n - площа території, на якій є недопустимі забруднення (вище норми); S_k - площа території, на якій є критичні для людини забруднення; S_o - вся площа регіону.

Цей критерій повинен впливати на вибір засобів мінімального впливу на природу, обґрунтування нормативів забруднень, розробку компенсаційних заходів. В питаннях охорони навколишнього середовища кардинальне значення має психологічний фактор. При розв'язуванні конструкторсько-технологічних задач слід намагатись знизити $K_{ек}$.

Естетичний критерій ТС є критерієм краси. Естетичний вплив ТС повинен відповідати найкращим почуттям людини, високому рівню культури.

Краса будь-якого виробу складається із внутрішньої, чи функціональної краси і додаткової - декоративної.

Функціональна краса зумовлена в першу чергу законами фізики і створюється на основі глибокого знання і відчуття фізичної сутності роботи ТС.

Декоративна краса визначається законами психофізіологічної дії певних образів на навколишніх людей.

Функціональна і декоративна краса повинні гармонійно і оптимально доповнювати одна одну.

Естетичний критерій передбачає гармонізацію форми при композиції ТС. Однією із умов виникнення художніх якостей форми є просторова єдність всіх її елементів, яка створює цілісне сприйняття форми. Вона досягається такими закономірностями як співвідношення, пропорції, ритм всіх елементів (ліній, поверхонь, фактури, маси, кольору), що утворюють форму. При розчленуванні поверхонь і об'ємів форми проявляються такі її властивості як масштабність, статичність, динаміка. Співвідношення, є засобом гармонізації форми.

При виборі кольору необхідно вирішувати питання, пов'язані з його характеристиками, фізіологією зору і емоціональною дією на людину. Правильне використання кольору при фарбуванні обладнання та інтер'єру цеху зменшують втомлюваність робітника, підвищують продуктивність праці. Основними характеристиками кольору є тон, насиченість, яскравість, контрастність. Існують три теорії використання кольору при художньому конструюванні ТС: 1) динамічного кольору; 2) оптимальних кольорів; 3) узгоджених кольорів. Таким чином, інженерно-технічні рішення мусять бути гармонійними. Людина повинна і відчувати і розуміти глибину та багатогранність їх краси.

7.8. Алгоритм оцінювання ТС

Оцінювання ТС передбачає вибір критеріїв і проведення оцінки. Характеристики можливих критеріїв ТС описані вище в даному розділі.

В принципі можливі три схеми оцінювання; вони характеризуються запитаннями, наведеними в табл.7.3.

Таблиця 7.3 - Схеми оцінювання

Схема	Оцінювана ТС	Типове оціночне запитання
I	Реалізована технічна система	Яка технічна система?
II	Постановка задачі (перелік вимог) і варіант рішення чи зразок	Чи відповідає система (модель) даний постановці?
III	Постановка задачі і різні можливі рішення, які технічно відповідають постановці задачі	Яке рішення краще (оптимальне)?

Оцінювання здійснюється двома способами:

- а) інтуїтивно;
- б) об'єктивно, тобто на основі визначальних критеріїв.

Інтуїтивна оцінка не може бути повністю зігнорована. Вона визначається не лише суб'єктивними відчуттями, але і часто - багаторічним досвідом. Це особливо важливо при недостатньо повній інформації, що характерно для початкових етапів проектування.

Критеріальна оцінка відповідно до схем оцінювання, представлених в табл.7.3, здійснюється за алгоритмами, які схематизовані на рис.7.2. В процесі оцінювання здійснюються такі процедури: а) вибір узагальненого показника; б) вибір критеріїв оцінки (властивостей); в) визначення критеріальних оцінок; г) перетворення оцінок в узагальнений показник

ВИСНОВКИ

1. Узагальнена оцінка сукупної цінності технічної системи визначається сумою оцінок часткових цінностей (властивостей).
2. Для оцінки властивостей системи необхідно вибирати найоб'єктивнішу одиницю вимірювання.
3. Вибрані для оцінки визначальні властивості називаються критеріями. Вибір критеріїв є важливим етапом оцінювання, що забезпечує співставлення і повноту оцінок.

4. Перетворення оцінок окремих критеріїв в узагальнену оцінку можна поводити різними методами. Спосіб такого перетворення є одним із найважливіших факторів об'єктивності оцінки.

5. На деяких стадіях становлення технічної системи важку проблему становить правильне визначення цінностей властивостей. Об'єктивне оцінювання сприяє кращій якості узагальненої оцінки.

ТЕМА 8. ПРОЕКТУВАННЯ, СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

[8.1. Методологія створення ТС і роль прогнозування](#)

[8.2. Основні поняття про процес проектування](#)

[8.3. Стадії та етапи технічного проектування ТС](#)

[8.4. Розробка технічного завдання на основі суспільної потреби у створенні ТС](#)

[8.5. Загально-технічні основи конструювання ТС](#)

[8.6. Проектні критерії. Поняття про функцію мети і проектні обмеження](#)

[8.7. Поняття про оптимальне проектування ТС. Вибір найбільш ефективних рішень](#)

[8.8. Пошукове конструювання ТС](#)

[8.9. Підготовка до виробництва і виготовлення нових конструкцій машин](#)

[8.10. Автоматизація проектування і виготовлення ТС](#)

[8.11. Використання та експлуатація ТС](#)

8.1. Методологія створення ТС і роль прогнозування

З розвитком техніки принципи і методологія створення ТС безперервно змінюються і удосконалюються внаслідок впровадження нових способів виготовлення машин, ускладнення їх конструкцій і умов збуту, більш повного вивчення ряду технічних і економічних питань.

В процесі створення ТС виконують такі роботи: обґрунтування необхідності створення нової ТС; науково-технічні дослідження; розробку конструкторського проекту; виготовлення, випробування та доведення дослідних зразків. Необхідність створення сучасної машини як ТС виникає із загальних умов розвитку нової техніки стосовно до конкретного випадку.

Нова техніка - це результат науково-технічного досягнення, яке впливає при його реалізації на розвиток продуктивних сил і задовольняє потреби суспільства у продукції на більш високому рівні, ніж відомі раніш прототиби або аналоги.

Враховуючи різноманіття об'єктів за ступенем їх новизни, можна відокремити два основних напрямки;

1) **кількісний**, при якому враховується термін, що пройшов з того чи іншого моменту появи або реалізації нових виробів (наприклад, термін з моменту появи нової техніки, реалізованої ідеї або термін з початку промислового виробництва нової продукції);

2) **якісний**, при якому технічна новинка (пристрій) в залежності від його рівня поділяється на декілька ступенів, починаючи від створення принципово нової конструкції і закінчуючи зміною її зовнішнього вигляду, а нова технологія (спосіб) призначена для виготовлення принципово нової продукції або підвищення ефективності виробництва.

Кожна введена в експлуатацію нова ТС повинна перевищувати за своїми показниками і техніко-економічними характеристиками кращі світові стандарти і зразки, які раніше використовувались.

Процес створення нової ТС або її окремого функціонального вузла складається з чотирьох етапів (рис.8.1):

- 1) **науковий** (інженерне прогнозування);
- 2) **конструкторський** (проектування);
- 3) **технологічний** (підготовка виробництва);
- 4) **організаційний** (освоєння виробництва).

Рисунок 8.1 - Етапи створення нової ТС

Якщо автоматизувати виконання зазначених етапів за допомогою ЕОМ, то кожному етапу буде відповідати своя автоматизована система (на рис.8.1 це показано в дужках), а саме:

АСНД - автоматизована система наукових досліджень; **САПР** - система автоматизованого проектування; **АСТПВ** - автоматизована система технологічної підготовки виробництва; **Г АВ** - гнучкі автоматизовані виробництва.

Науковий етап пов'язаний з інженерним прогнозуванням, яке обґрунтовує необхідність створення нової ТС. Основу інженерного прогнозування складають три напрямки, які визначають:

- а) значимість нових відкриттів і винаходів;

б) мету і технічну стратегію;

в) перспективний рівень розвитку конструкцій ТС (а, б - на 20-30 років, в-на 5-10 років).

При інженерному прогнозуванні використовують теоретичні і експериментальні засоби аналізу і синтезу. **Прогнозування** - це не передбачення, а наукове теоретичне обґрунтування того, що повинно здійснитись.

Успіх у створенні нових ТС і термін їх життєвого циклу здебільшого залежить від того, наскільки правильно перед проектуванням виконане прогнозування. Слід пам'ятати, що конструктор, який орієнтується на аналог, в тому числі і зарубіжний, який відповідає навіть вищим світовим досягненням, автоматично спонукає свою майбутню ТС на відставання. Тому необхідно йти не у фарватері зарубіжних фірм, а обирати нові шляхи прискореного розвитку ТС, побудованих на нових принципах.

У питаннях прогнозування і створення нових ТС, котрих ще не було у світовій практиці, доцільно використовувати фреймовий підхід (рис.8.2). Згідно цього підходу повинен послідовно розглядатися розгалужений у вигляді дерева альтернатив ланцюг пошуку на декількох рівнях (рис.8.1 і 8.2): функціональна модель об'єкту (функція **Φ**), альтернативні варіанти моделей принципів дій (фізичних **$\Phi ПД$** або технологічних **$ТП$**), що реалізують розглядувану функцію; альтернативні варіанти моделей технічних рішень (**$ТР$**), що реалізують розглянуті принципи дій.

Рисунок 8.2 – Фреймова модель прогнозування і створення нової ТС

Відомі багато методів складання прогнозу. З них на практиці в основному використовують такі:

- 1) *метод екстраполяції тенденцій* (перенос недалекого минулого на майбутнє) для ТС, які розвиваються еволюційним шляхом і достатньо у часі;
- 2) *анкетування* незалежних думок;
- 3) метод *зважених оцінок*;
- 4) *матричний* метод "мета-засіб";
- 5) метод *моделювання*, який проводиться на моделях згідно з вимогами теорії подібності та інші.

Перші три методи носять суб'єктивний характер, здійснюються із запрошенням експертів і можуть бути об'єднані як метод експертних оцінок (математична обробка опитування групи спеціалістів-експертів при недостатньо систематизованій інформації у минулому). Методи експертного оцінювання альтернатив призначені для заповучення якісних (парні порівняння, множинні порівняння, гіпервпорядкування, вектори переваг, класифікація та інше) і кількісних (безпосередня чисельна оцінка альтернатив, методи оцінок Чермена-Акожа, Терстоуна, фон Наймана-Моргенштерна та інші).

Існує два принципових шляхи побудови прогнозу, котрі використовуються паралельно:

- 1) той, що йде від існуючого базису у майбутнє (дослідницьке або наукове прогнозування);
- 2) той, що рухається від мети, яка повинна бути досягнута у майбутньому, до теперішнього (нормативне прогнозування).

Прогнозування - частина науково-дослідної роботи по підбору вихідних даних для розробки технічного завдання на проектування, яке містить: функціональне призначення, основні технічні і економічні параметри, можливі компоновальні схеми, нові матеріали і види заготовок, нові технологічні процеси, верстати, технологічне оснащення та інше обладнання, нові форми керування виробництвом, потребу і допустимий план виробництва машин, будівництва нового або реконструкції діючого заводу.

Вирішення багатоваріантних задач створення нових ТС на всіх етапах (рис.8.3) стає нераціональним і навіть неможливим без використання ЕОМ.

У табл. 8.1 наведені можливості ЕОМ на різних етапах створення і проектування, нових ТС.

Таблиця 8.1- Ефективність використання ЕОМ на різних етапах створення ТС

Етап створення	Вид роботи	Можливості використання ЕОМ
I - науковий	Визначення потреби	Застосування ЕОМ бажане, але можливе лише у не багатьох випадках
II- конструкторський	Розробка проекту	ЕОМ грає допоміжну роль
	Побудова моделі	Використовуються спеціальні мовні пакети прикладних програм
	Автоматизація обчислень	Застосування ЕОМ бажане;
	Вивчення властивостей моделі	використовуються чисельні методи оптимізації
	Доробка проекту	Застосування ЕОМ бажане;
III - технологічний	Передача проекту у виробництво	використовуються методи оптимізації
		Застосування ЕОМ бажане;
IV - організаційний	Освоєння виробництва	ЕОМ будує графіки, накопичує і готує документацію
		Застосування ЕОМ бажане; керує виробництвом; планує

Процес прогнозування, виходячи з вимог по точності, може бути розподілений на такі три частини:

- 1) *детерміновану*, яка піддається точному розрахунку;
- 2) *вірогідну*, яка дозволяє встановити допустиму закономірність протікання процесу;
- 3) "чисто" *раптову*, котра не піддається розрахунку.

Співвідношення між частинами залежить від рівня наукового пізнання розглядуваного процесу і може змінюватись з часом. Науково-технічний прогрес сприяє підвищенню впливу детермінованої частини і зниженню впливу інших частин. Тому підвищення значимості детермінованої частини і

точності вірогідної частини сприяє підвищенню загальної точності прогнозування.

8.2. Основні поняття про процес проектування

Необхідність створення техніки за короткий термін на рівні кращих світових зразків висуває особливі вимоги до другого (конструкторського) етапу, котрий поділяється на творчий і технічний підетапи.

Процес творчого проектування ТС носить багатоваріантний характер, є складним, і є послідовним рішенням багаторівневих, багатоциклічних, багатокритеріальних і багатоекстремальних задач синтезу, аналізу і вимірювання, починаючи з вибору технічних ідей (технологічний принцип, спосіб формоутворення, принцип затиску і т.д.) і закінчуючи створенням конструкції з оптимальними параметрами.

Технічне проектування ТС - це процес створення необхідної для виготовлення і експлуатації ТС технічної документації (наглядне відображення конструкції машини в цілому і її деталей - ескізи, моделі, макети, креслення із зазначенням необхідних розмірів, посадок, ступенів точності та інших технічних умов; інструкції, які стосуються випробовувань і доводки машини; механічні паспорти виробів, які містять основні відомості про їх техніко-економічні параметри і вказівки щодо експлуатації).

Процес розробки конструкторської документації є поступовим уточненням проекту і наближенням до розробки робочої документації, за якою виготовляють вироби в одиничному, серійному або масовому виробництві. Багатостадійність процесу проектування вказує на складність задачі і високі вимоги до якості рішень, що приймаються, тому що помилки призводять до необхідності усунення їх у ході виробництва, що викликає невиправдані додаткові витрати часу і засобів.

Рівень конструкторської діяльності можна оцінити ступенем новизни розробки. Найвищим **I рівнем** є творче конструювання (оригінальне), коли розробляються конструкції на підставі нових принципів роботи машин; наступним **II рівнем** - конструктивне удосконалення, коли створюються машини, принцип роботи яких відомий, але конструктор добивається нових якісних характеристик. До **III рівня** можна віднести розробку відомих за принципом роботи машин, пристосованих до певних умов експлуатації. До **IV рівня** відносять створення ряду (гами) машин певного призначення, які відрізняються лише деякими параметрами. Найменш творчий вклад вноситься на **V рівні** конструювання деталей або складальних одиниць з метою

погодження їх з умовами конкретного виробництва і стандартами. Починаючи свою роботу з останнього *V рівня* конструкторської діяльності, набуваючи досвід і навички, можна досягнути значного успіху, - творчого рішення серйозних конструкторських задач, тобто навчитися бути конструктором.

Іноді свідомо, а інколи і несвідомо процес проектування і пошуку рішень продовжується у вільний від роботи час, і навіть під час сну. Відомий письменницький закон "ні дня без рядка" стосовно до конструкторської діяльності буде звучати так: "ні дня без роботи над створюваною конструкцією" - роботи у будь-якому розумінні: біля креслярської дошки, за комп'ютером, над книгою, довідником, тощо. І подібно тому, як не кожен написаний рядок залишається у творі, так не кожен розроблений варіант конструкції деталі, вузла, машини виявляється кінцевим.

В процесі проектування треба дотримуватись деяких принципів, таких як: *конструктивне наступництво, оптимум, уніфікація, стандартизація* тощо.

За масштабами проведення розрізняють уніфікацію: *заводську, міжзаводську, галузеву і міжгалузеву*.

Існують також 4 форми проведення уніфікації: *модифікаційна* (відносно базової моделі), *розмірна, міжтипowa, загальна*.

8.3. Стадії та етапи технічного проектування ТС

Державний стандарт передбачає 5 стадій розробки - конструкторської документації на вироби усіх галузей промисловості: *технічне завдання (ТЗ), технічна пропозиція (ТП), ескізний проект (ЕП), технічний проект (ТП-Т), розробка робочої документації (РД) або робочий проект (РП)*.

Процес розробки конструкторської документації є поступовим уточненням проекту і наближенням до розробки робочої документації, за якою виготовляють вироби в одиничному, серійному і масовому виробництві. Багатостадійність процесу проектування вказує на складність задачі і високі вимоги, що викликає невиправдані додаткові витрати часу і засобів.

Технічне завдання (ТЗ) включає призначення, технічні характеристики і показники якості, а також техніко-економічні вимоги, які висувають до розроблюваної конструкції машини. Бажано, щоб в *ТЗ* була вказана виробнича база, обсяг потрібної і планованої продукції, термін її виготовлення, можливі

шляхи модернізації і т.і. **ТЗ** після погодження і затвердження є підставою для виконання проектних розробок.

Технічна пропозиція (ТП) містить технічне і економічне обґрунтування доцільності проектування машини згідно з ТЗ, можливі варіанти його реалізації, а також порівняння розроблюваної конструкції з аналогічними, перевірку патентоспроможності і т.і.

Ескізний проект (ЕП) містить принципові конструктивні рішення, які дають загальне уявлення про будову і принцип роботи машини, а також дані, які визначають її призначення, основні параметри і загальний вигляд. **ЕП** після погодження і затвердження служить підставою для подальшої розробки проекту.

Рисунок 8.3 - Стадії розробки конструкторської документації

Технічний проект (ТП-Т) містить кінцеві технічні рішення, які дають повне уявлення про будову розроблюваної машини, і необхідні вихідні дані для підготовки робочої документації. **ТП-Т** після погодження і затвердження служить підставою для розробки робочої документації.

Робочу документацію (**РД**) використовують для одиничного, серійного і масового виробництва машин. У процесі розробки **РД** найбільш повно враховують технологічні і організаційні фактори виробництва. Ця стадія розробки найбільш довготривала і потребує найбільших витрат часу і засобів. **РД** розробляють послідовно для виготовлення і випробування дослідного зразка (партії), установчої серії, серійного та масового виробництва.

Інженерні розрахунки у процесі конструювання, як і весь процес проектування машин, носять багатоваріантний характер, що створює сприятливі передумови для вибору оптимального рішення. З цих позицій розглядають стадії розробки технічної документації, які наведені на рис.8.3.

ГОСТ 2.103-68 передбачає виконання робіт по **ТЗ, ТП, ЕП, ТП-П, РД**. На рис.8.4 дана схема розробки конструкторської документації, котра відбиває багатоваріантний характер процесу, а також шлях вибору оптимального рішення. Перед розробкою **ТЗ** на проектування вводять процес прогнозування конструкції, в результаті чого можуть мати місце декілька варіантів прогнозів (P_1, P_2, \dots, P_i). Цим прогнозам відповідає деяке число варіантів **ТЗ** (TZ_1, TZ_2, \dots, TZ_j).

Після співставлення розроблених прогнозів з цими **ТЗ** знаходять оптимальне рішення по прогнозуванню (**ОП**), на підставі якого потім розробляють кінцеві варіанти **ТЗ**.

Розробленим варіантам **ТЗ** відповідають кілька варіантів попередніх **ТП** ($ТП_1, ТП_2, \dots, ТП_k$). Співставляючи ці **ТП** з варіантами **ТЗ**, встановлюють оптимальне **ТЗ** (**ОТЗ**). По аналогії можуть бути встановлені оптимальні: технічна пропозиція (**ОТП**), ескізний проект (**ОЕП**), технічний проект (**ОТП-Т**).

Рисунок 8.4 - Схема розробки конструкторської документації і шляхи вибору оптимального рішення

Оптимальні варіанти визначають на підставі співставлення оцінок за двома стадіями розробки; зворотні зв'язки між стадіями проектування вказують на можливість уточнення прийнятих раніше рішень.

8.4. Розробка технічного завдання на основі суспільної потреби у створенні ТС

Як було відмічено вище, розробку **ТЗ** і увесь процес проектування слід розглядати як процес техніко-економічний на основі суспільної потреби у створенні нової ТС, яка повинна відповідати сучасному рівню розвитку техніки, меті і задачам проектування. Тому при розробці **ТЗ** мова повинна йти про виконання при проектуванні *техніко-економічних вимог (ТЕВ)*, які враховують розвиток потреб суспільства, науково-технічного прогресу і існуючої матеріально-технічної бази.

ТЕВ - це сукупність обмежень на технічні і економічні показники, структуру і склад техніки, отримані як результат найбільш раціонального врахування потреб суспільства в техніці і найкращих способах їх задоволення,

Систематизація методів, які використовуються для вирішення техніко-економічних задач на ранніх стадіях проектування, дозволяє зобразити схему удосконалення методики і організації розробки **ТЗ** у вигляді, наведеному на рис.8.5.

Вимоги до **ТЗ** визначені у ГОСТ 15.001-73. Класифікація функцій **ТЗ** представлена на рис.8.6, а характеристики видів **ТЗ** у табл.8.2.

У створенні нової техніки приймають участь дві сторони - виробник і споживач (замовник). Інтереси двох сторін при розробці **ТЗ** повинні враховуватись в певному співвідношенні. Створювачі нової техніки повинні керуватись інтересами народного господарства в цілому, а також зміцненням позицій держави на зовнішньому ринку. Керівну роль у визначенні показників майбутньої ТС грає споживач можливостей виробника. При цьому треба враховувати, що для більшості машин сумарні витрати на експлуатацію за весь термін роботи в декілька разів перебивають витрати на їх виготовлення. Отже треба пам'ятати, що зекономивши копійку (знизивши собівартість виробництва машини), можна загубити гривні (підвищивши експлуатаційні витрати).

Рисунок 8.5 - Схема удосконалення методики і організації розробки
технічного
завдання (ТЗ) на проектування

Рисунок 8.6 - Класифікація функцій технічного завдання (ТЗ)

Таблиця 8.2 - Характеристика видів **ТЗ**

Види ТЗ	Рівень зміни техніко-економічних показників (ТЕП) і ефективність ТС	Характер зміни показників стану ТС
ТЗ на новий клас ТС	Система завищених ТЕП , значний приріст ТЕП і ефективності ТС	Зміна принципу дії
ТЗ на новий вид ТС	Розширена система ТЕП , середній приріст значення і ефективності ТС	Зміна конструкторсько-технологічних рішень
ТЗ на нову ТС параметричного ряду	Диференційована система ТЕП , малий приріст значення ТЕП і ефективності ТС	Зміна значень ТЕП

Зазначені функції, дозволяють сформулювати вимоги, яким повинна відповідати раціональна методика розробки **ТЕВ** і **ТЕП** при підготовці і розробці **ТЗ** в цілому (табл.8.3).

Таблиця 8.3 - Вимоги до методики розробки *ТЕВ* і *ТЕП*

1.Вимоги до змісту (внутрішні вимоги)	2.Вимоги до використання (зовнішні вимоги)
1.1. Повнота - охоплення необхідної номенклатури	2.1. Зручність застосування - не трудомісткість, простота використання, можливість автоматизації за допомогою ЕОМ
1.2. Прогресивність - забезпечення розробки найбільш ефективної техніки	2.2. Обґрунтованість - методика повинна бути обґрунтованою, переконливою
1.3. Безпомилковість - забезпечення раціональної величини ТЕП між собою і з критеріями оцінки якості	2.3. Об'єктивність - незалежність від суб'єктивної думки зацікавлених осіб
1.4. Чутливість - забезпечення врахування впливу ТЕВ на критерії оцінки якості	2.4. Універсальність - можливість застосування до інших об'єктів техніки

8.5. Загально-технічні основи конструювання ТС

Процес конструювання безперервно удосконалюється у напрямку розробки нових методів роботи конструктора, розширення повторного використання конструкторської документації, покращання умов інформованості, застосування технічних засобів ЕОМ. Повторне використання існуючої конструкторської документації сприяє економії засобів на проектування, а також і економії на підготовку виробництва, тому що якщо виріб вже використовувався, то, отже, і технологічна сторона питання вирішена. Ефективне також часткове використання готової документації або повне використання розробки як частини нового проекту.

Слід пам'ятати, що в процесі конструювання необхідно:

- 1) суворо дотримуватись вимог ЄСКД;
- 2) дотримуватись патентної чистоти конструкції, пам'ятаючи, що використання закордонних запатентованих конструкцій допустимо лише на законних підставах;

3) широко використовувати стандартні, нормалізовані і уніфіковані у даній галузі (на даному підприємстві) деталі;

4) прямувати до обмеження номенклатури матеріалів, намагаючись застосувати лише ті, котрі не є дефіцитними в певній галузі;

5) пам'ятати, що як і у всякій життєвій ситуації, на завжди перше рішення є найкращим; найкраще рішення знаходять іноді завдяки (або в результаті) послідовної розробки ряду варіантів. Корисно кілька варіантів забракувати на папері, ніж один у натурі.

При створенні нових ТС необхідно враховувати такі технічні вимоги:

- 1) систему типізації машин;
- 2) автоматизацію керування сучасними машинами;
- 3) зниження маси сучасної машини;
- 4) технологічність сучасної машини;
- 5) надійність машини;
- 6) художньо-естетичне оформлення машин;
- 7) небезпечність роботи машини;
- 8) конкурентноздатність машини;
- 9) характер діяльності оператора у керуванні машиною;
- 10) систему людина-машина;
- 11) розподіл функцій керування в сучасних машинах;
- 12) надійність людини-оператора;
- 13) системний підхід до конструювання.

Конструкторські документації (КД) ескізного, технічного і робочого проектів істотно відрізняються.

Склад КД на стадії ескізного проекту:

- 1) загальний вид машини (ескізний);

- 2) кінематична схема;
- 3) загальні види основних вузлів;
- 4) пояснювальна записка з такими розділами:
 - а) технічна характеристика машини (призначення, габарити, маси, потужність, продуктивність, режим роботи та інші);
 - б) опис конструкції машини із зазначенням її особливостей;
 - в) розрахунок ТЕП роботи машини в порівнянні з найбільш високими показниками на даний час;
- 5) розрахунки (кінематичні, динамічні, на міцність та інші),

Склад КД на стадії технічного проекту:

- 1) креслення загального виду машини;
- 2) креслення загальних видів вузлів машини; кінематичні, електричні, гідравлічні та інші схеми; перелік комплектуючих виробів; перелік спеціального інструменту і запасних частин;
- 3) пояснювальна записка з такими розділами:
 - а) призначення та область використання розробленої машини;
 - б) огляд існуючих зразків машин конкретного призначення вітчизняного і закордонного виробництва і порівняльна оцінка їх конструктивних особливостей і експлуатаційних показників;
 - в) короткий опис конструктивних особливостей нової машини;
 - г) рішення питань техніки безпеки і виробничої санітарії;
 - д) рішення питань технологічності з точки зору виробничих умов заводу-виробника;
 - є) розрахунки масштабу виробництва нових машин і ефекту від впровадження їх у народному господарстві;
- 4) розрахункова записка, яка містить детальні розрахунки: кінематичні, динамічні, на міцність та інші.

Склад КД на стадії робочого проекту:

- 1) креслення загальних видів;
- 2) креслення вузлів та деталей;
- 3) специфікація деталей;
- 4) кінематична, електрична, гідравлічна, пневматична схеми, циклограми та інше;
- 5) пояснювальна записка з технічною характеристикою і перевірочними розрахунками вузлів і деталей;
- 6) проект технічних умов на виготовлення, приймання, упаковку і транспортування (при необхідності включаючи креслення тари, розміщення і закріплення на залізничному рухомому потязі);
- 7) відомості оригінальних і нормалізованих деталей і вузлів, покупних деталей і виробів, застосування посадочних розмірів, різей, модулів тощо;
- 8) технічний паспорт і інструкція з експлуатації, догляду та монтажу (з пояснювальними схемами і кресленнями) з картою змащування, складеною згідно з відповідною інструкцією;
- 9) відомі погодження комплектуючих виробів;
- 10) проект програми випробувань.

В загальній документації робочого проекту креслення деталей складають приблизно 60-80 %.

8.6. Проектні критерії. Поняття про функцію мети і проектні обмеження

Проектowana ТС повинна відповідати вимогам експлуатації тому, що це визначає ефективність її використання, а також відповідає і вимогам виробництва. Ці вимоги неоднозначні. Кожна категорія цих вимог може містити окремі види вимог, які складаються з комплексів конкретних вимог до проектovаних окремих моделей ТС.

На рівні методологічних розробок можна розглядати і аналізувати тільки окремі види вимог стосовно певного класу машин. Вимоги експлуатації, як і вимоги виробництва, в більшості випадків неоднозначні і можуть бути представлені кількома варіантами.

Аналогічна ситуація має місце при розгляді кожного варіанту вимог, тому що йому може відповідати деяка множина варіантів конструкції машини, з котрих обирають оптимальний. Між окремими видами вимог експлуатації і виробництва є взаємозв'язки, що може бути представлено у вигляді системної моделі (рис.8.7).

Вимоги експлуатації можуть мати деяке число варіантів ($E_{B1}, E_{B2}, \dots, E_{Bi}$), котрі, наприклад, відрізняються за рівнем автоматизації керування машиною. Вимоги виробництва можуть також мати деяке число варіантів ($B_{B1}, B_{B2}, \dots, B_{Bi}$), котрі відрізняються за рівнем поточності виробництва, який визначається залежно від обсягу випуску машини.

Кожному варіанту вимог експлуатації може відповідати деяке число варіантів конструкції ($M_{E11}, M_{E12}, \dots, M_{E1k}; M_{E21}, M_{E22}, \dots, M_{E2n}; \dots; M_{Ei1}, M_{Ei2}, \dots, M_{Eiq}$) і кожному варіанту вимог виробництва може відповідати деяке число варіантів конструкції ($M_{B11}, M_{B12}, \dots, M_{B1t}; M_{B21}, M_{B22}, \dots, M_{B2p}; \dots; M_{Bj1}, M_{Bj2}, \dots, M_{Bjs}$).

Рисунок 8.7 - Системна модель конструювання машини - технічної системи залежно від експлуатаційних E_v і виробничих B_v вимог

У варіантах конструкції машини M_E , крім вимог експлуатації в деякій мірі враховані і вимоги виробництва, а у варіантах конструкції M_B вимоги виробництва враховані найбільш повно. Повнота вимог залежить від стадії розробки проекту.

Таким чином, є дві групи варіантів конструкції машин, котрі слід оцінювати за допомогою заданого або прийнятого народногосподарського критерію і на цій підставі розробити оптимальний варіант машини, яка підлягає реалізації.

Кожну властивість об'єкту проектування ТС можна визначити трьома чисельними характеристиками:

- 1) абсолютним значенням одиничного показника якості K_μ , визначеним метрологічним методом;
- 2) відносним показником якості $K\mu^k$, що характеризує ступінь задоволення споживачів у даному об'єкті;
- 3) ваговий коефіцієнт α_μ , який визначає важливість даної властивості серед інших властивостей.

У формалізованому вигляді задача оптимального проектування у загальній постановці полягає у визначенні незалежних змінних (незалежних конструктивних параметрів) X_1, X_2, \dots, X_n , при яких критерій оптимальності - функція мети проектованого об'єкту $\Phi = P(X_1, X_2, \dots, X_n)$, яка є нелінійною функцією змінних, має мінімально (або максимально) можливе значення при умові, що змінні X_1, X_2, \dots, X_n приймають лише позитивні значення, тобто $X_j > 0; j=1,2,\dots,n$, і виконуються обмеження, які задані у формі нерівностей для деяких, у загальному випадку нелінійних, функцій цих змінних (функцій обмежень або проектних обмежень) $R_i(X_i, X_i, \dots, X_n) < 0$ ($i = 1, \dots, m, m < n$ і $m > n$).

8.7. Поняття про оптимальне проектування ТС.

Вибір найбільш ефективних рішень

Складний процес оптимального проектування ТС можна представити у вигляді послідовного рішення багатоваріантних (багаторівневих, багатоциклічних, багатокритеріальних, багатоекстремальних) задач синтезу, аналізу і вимірювань.

При створенні нових ТС (об'єктів проектування) доводиться вирішувати в основному складні задачі синтезу, коли при заданому виході невідомими є стан і параметри, які визначають структуру об'єкту.

Внутрішній стан об'єкту характеризується вектором його стану або структури:

$$X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_\gamma),$$

де x_i - i -складова вектору X або просто i -змінна ($i=1, \gamma$); значення у характеризує розмірність об'єкту, його математичну модель і в багатьох випадках пов'язано з його складністю.

Поведінка об'єкту характеризується виконанням потрібних функцій, тобто вектором його вихідних параметрів:

$$Y = (y_1, \dots, y_j, \dots, y_m),$$

котрі в кінцевому рахунку визначають вектор узагальненого показника якості

$$K = (k_1, \dots, k_\mu, \dots, k_n),$$

де k_μ - μ -й одиничний показник якості ($k_\mu = 1, n$), а число n пов'язано з багатofункціональністю об'єкту і визначає його складність.

Виходячи з наведеного опису об'єкту дослідження і проектування, задачі аналізу (A) і синтезу (C) можуть бути сформульовані так.

Задача А. Задано вектор X . Визначити вектор K - пряма задача.

Задача С. Задано вектор K . Знайти вектор X - зворотна задача.

Іншими словами, під синтезом у даній задачі розуміють пошук таких значень складових X_i ($i=1, \gamma$) вектора стану X ТС, котрі забезпечують задані або найкращі значення одиничних показників K_μ ТС ($\mu = 1, n$), які входять у вектор K .

У НДІ і КБ в якості заданого вектора K виступає ТЗ на розробку об'єкту з врахуванням одиничних показників K_μ . В якості шуканого вектора X

виступає сам продукт розробки (верстат, механізм тощо) з технічно реалізованими складовими вектора X , що входять до нього у вигляді окремих елементів цієї розробки.

Мета проектування - вибрати такий стан ТС $X_{\xi} = X_{\xi}^{\circ}$ (її варіанти), при котрому досягається можливо більше значення узагальненого показника якості ТС:

$$K^{\circ} = K(U_{\xi}^{\circ}) = \max_{U_{\xi}^{\circ} \in D} K(U_{\xi}^{\circ}),$$

де D - множина допустимих станів ТС, які мають кінцеве число елементів $t \in U_{\xi}$; ($\xi = 1, t$); D справляє великий вплив на пошук оптимального $U_{\xi}^{\circ} \in D$.

Більшість задач синтезу може бути представлена у вигляді ієрархічної схеми, яка має як мінімум три рівні складності: вищий, середній і нижчий. Ієрархічну систему задач синтезу при системному підході до проектування необхідно розглядати як послідовність рішення задач вищого рівня до нижчого (наскрізна схема проектування). При цьому спочатку здійснюється пошук принципів дії (**ПД**), потім при заданому **ПД** ведеться пошук технічного рішення (**ТР**) і, в кінці, при заданому **ТР** виконується оптимізація даного ТР:

$$ПД \rightarrow ТР \rightarrow opt\ ТР.$$

Існує два підходи до рішення задач, пов'язаних з пошуком і створенням нових ТС.

Якщо є аналог (або прототип), то процес створення розпочинається з аналізу, якщо аналог (або прототип) відсутній, то процес створення починається з синтезу.

Частіше всього при узагальненому зображенні процесу переважає перший підхід, однак існують рішення, які супроводжуються відкриттями і винаходами вищих рівнів, які пов'язані з вирішенням початкової задачі синтезу, що звичайно супроводжуються народженням нового покоління ТС. Блоки аналізу і синтезу об'єднані таким чином, що створюють безперервний ітеративний процес.

Існує три основних напрямки вибору найбільш ефективних рішень при виконанні задач синтезу:

- 1) **традиційний** (повний перебір варіантів, дискретний синтез);
- 2) **сучасний** (неповний перебір);

3) *перспективний* (неповний перебір на нових принципах).

При традиційному підході здійснюється звичайно повний перебір варіантів $X_\xi \in D$ у процесі рішення задачі синтезу.

При цьому у множині D підлягає повному перебору число елементів (варіантів)

$$N = R_p^\gamma = p^\gamma,$$

де згідно з комбінаторикою R_p^γ - число розміщень з перестановками з p елементів по γ (p - число дискретних значень, але для усіх змінних X_i ; γ - загальне число змінних X_i , оскільки $i=1, \gamma$).

В реальних задачах $\gamma > 2$. Наприклад, якщо взяти число ознак ТС $\gamma = 17$, а число варіантів (альтернатив) кожного елемента $p=10$, то буде $N=10^{17}$ варіантів сполучень. Якщо ЕОМ аналізує один варіант за 1 секунду, то час повного перебору буде 10^{17} с - 10^9 років (це життя нашої галактики). Тому для вирішення багатоваріантних задач у процесі проектування складних ТС (наприклад, літаків, ГВС, багатоцільових верстатів тощо) повний перебір цілком не підходить.

У межах традиційного напрямку використовується метод дискретного синтезу, близький по своїй суті до методу "проб і помилок" і який несе елементи неповного перебору, оскільки проектувальник обмежується на свій погляд істотно скороченою множиною D варіантів, які розглянуті за виділений час.

Сучасний напрямок рішення задач - це неповний перебір варіантів проекрованої ТС, побудований як на використанні ЕОМ, так і на використанні людино-машинних або евристичних підходів. Евристичні методи побудовані на творчих здібностях людини, а людино-машинні об'єднують творчі здібності проектувальника з унікальними за швидкістю здібностями ЕОМ. З математичної точки зору неповний перебір з ЕОМ тотожний пошуку локального або глобального екстремуму функцій багатьох змінних і дає істотний виграш при строгій формалізації задач синтезу складних ТС.

До перспективного напрямку відноситься неповний перебір варіантів за допомогою ЕОМ на нових принципах, об'єднаних під назвою штучного інтелекту.

Вибір того чи іншого методу дослідження, а тим більш сукупності методів залежить в основному від ступеню складності проекрованої ТС, яка визначається числом n заданих властивостей функціонування і їх частковими показниками якості K_μ з усієї множини $\{K_\mu \mid \mu=1, n\}$, а також їх взаємозв'язком.

Різні ТС можуть бути умовно розділені на три основних класи в залежності від кількості властивостей функціонування: I - відносно високої складності ($n > 10$); II - середньої складності ($n > 10$); III - низької складності ($n < 10$).

Структура оптимального проектування має загальний характер незалежно від складності ТС, де рішення задач на вищих рівнях (I-III) вимагає застосування сучасних методів пошуку нових рішень.

8.8. Пошукове конструювання ТС

Методологія пошукового конструювання (творчого конструювання) містить чотири характерних етапи, кожен з яких вимагає застосування певної системи методів:

I етап - зовнішнє проектування, застосування методу формулювання узагальненого критерію якості K на підставі кваліметрії і визначення сукупності обмежень;

II етап - синтез знакової моделі (принципової схеми) з прийнятими умовними знаковими позначеннями, застосування методу синтезу на підставі математичного програмування на цифровій ЕОМ, яке зводиться у більшості випадків до пошуку глобального екстремуму багаторозмірної цільової функції (найбільш корисно на сітці коду Грея);

III етап - синтез образної моделі (конструктивної схеми), застосування евристичного методу синтезу без чіткої формалізації процедур синтезу;

IV етап - перевірка виконання деяких умов функціонування ТС, застосування методу аналізу додаткових властивостей, тому що може виявитися, що деякий з показників якості не був врахований на II і III етапах.

При позитивних результатах перевірки проектування ТС вважається економічним і можна переходити до розробки документації (робочих креслень).

Пошукове конструювання може бути **машинним** і **безмашинним**.

Розглянемо приклад безмашинного пошукового конструювання верстату на рівнях пошуку технічних ідей і структур.

Пошук нової технічної ідеї створення верстату або іншої технологічної машини для обробки заданої номенклатури деталей може зводитись до пошуку нових технологічних принципів або способів формоутворення з використанням положення акад. Л.М.Кошкіна про те, що всі технологічні процеси з точки зору підготовленості їх до комплексної автоматизації поділяються на чотири класи. За основну ознаку прийнятий спосіб дії оброблюючого середовища (інструменту) на оброблюване середовище (заготовку або деталь). Взаємодія від нижчого до вищого класу технологічного процесу може бути: точкова (точіння гострим різцем, тощо); лінійна (фасонне точіння, свердлування, тощо); поверхня (обробка тиском, лиття по виплавленим моделям, порошкова металургія, тощо); об'ємна (фарбування в електростатичному полі, підігрів виробу, розлив у пляшки тощо). Запропонована класифікація дозволяє формалізувати задачі пошукового конструювання на I та II рівнях. Для вибору кінематики різання на I етапі і пошуку нових структур (кінематичних і компоновальних) з формалізацією задач II рівня можна використовувати класифікацію кінематичних схем різання, запропоновану Грановським Г.І. у роботі "Кінематика різання", де закодовані усі схеми сполучення елементарних поступових і обертових рухів.

8.9. Підготовка до виробництва і виготовлення нових конструкцій машин

При технологічній підготовки до виробництва вирішують такі основні задачі;

- а) відпрацювання конструкцій ТС на технологічність;
- б) розробка технологічних процесів виготовлення і технологічного контролю заготовок і деталей, складання, а також допоміжних робіт, починаючи з отримання вихідних матеріалів і заготовок і закінчуючи упаковкою готової продукції;
- в) типізація і нормалізація технологічних процесів, в тому числі з використанням групової або модульної технології і технологічного оснащення;
- г) встановлення технічних норм часу на виготовлення ТС, норми витрат матеріалів і технологічного оснащення;
- д) проектування спеціального і нормалізованого інструменту, інструменту пристосувань, штампів та іншого технологічного оснащення;

е) виготовлення і доводка запроектованого технологічного оснащення;

ж) проектування і виготовлення спеціального обладнання, засобів механізації і автоматизації основних і допоміжних виробничих процесів, транспортних засобів і нестандартного обладнання, пов'язаних з технологічним процесом і організацією робочих місць;

з) розрахунок необхідного обладнання і розробка планування його розміщення;

і) розрахунок виробничої потужності цехів, ділянок, ліній;

к) доведення технологічних процесів для забезпечення впровадження запроектованих режимів різання і норм, а також налагодження обладнання і технологічного оснащення.

Технологічна підготовка виробництва на підставі конструкторської документації повинна забезпечити комплексну розробку технології основних і допоміжних процесів виготовлення нових конструкцій машин на всіх стадіях виробництва. Головною і найбільш відповідальною частиною підготовки виробництва є проектування технологічних процесів і, конструювання технологічного оснащення.

Велике значення для обсягу технологічної підготовки має ступінь конструктивно-технологічного наслідування (наступності) нової конструкції машини.

Розробка технології виготовлення машин потребує багато часу, але більш трудомісткою роботою є проектування і виготовлення технологічного оснащення, на долю якого доводиться до 80% загальної трудомісткості підготовки виробництва і відповідно до 90% загального продовження циклу підготовки виробництва нової конструкції машин.

Одним з найважливіших напрямків скорочення терміну підготовки виробництва є типізація конструктивних елементів і модульний принцип. Цей напрямок дозволяє широко використовувати уніфіковане технологічне оснащення.

В багатьох випадках технологічну підготовку виробництва ведуть паралельно з розробкою конструкторської документації.

Відпрацювання конструкції машини на технологічність повинно забезпечити зниження трудомісткості і собівартості виготовлення, скорочення циклу виробництва, зниження вартості робіт по обслуговуванню машин, включаючи підготовку до функціонування, контроль працездатності, профілактичне технічне обслуговування і ремонт.

Пропонується така номенклатура показників технологічності конструкції виробів:

- 1) по трудомісткості;
- 2) по собівартості;
- 3) по уніфікації і взаємозамінності;
- 4) по витратам матеріалу;
- 5) по обробці;
- 6) по складу конструкції.

При освоєнні виробництва нових моделей вирішують такі основні задачі: а) досягнення обсягу випуску згідно з проектною потужністю підприємства; б) забезпечення необхідної стабільності якості; в) досягнення проектної трудомісткості виготовлення на усіх стадіях виробництва.

При перебудові виробництва на випуск нових конструкцій машин існує два методи:

- 1) перехід із зупинкою виробництва;
- 2) перехід без зупинки виробництва.

При освоєнні виробництва деяких ТС грошові затрати на доопрацювання креслень у процесі освоєння досягають 25-34%.

8.10. Автоматизація проектування і виготовлення ТС

Розробка оптимальної конструкції вимагає розгляду певного числа варіантів. Такий шлях проектування може привести до багатоваріантних задач, котрі вирішуються за допомогою сучасних, математичних методів, а розрахунки ведуть за допомогою ЕОМ.

В час науково-технічної революції підвищуються темпи морального старіння машин, що викликає необхідність прискорення проектування нових моделей, до яких висувають більш високі вимоги по якості і ефективності. Задоволення цих вимог підвищує обсяги проектних робіт, що потребує значного підвищення продуктивності праці інженерно-технічних працівників,

зайнятих проектуванням, впровадженням і розробкою систем автоматизованого проектування (САПР).

САПР будують з врахуванням єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), а також автоматизованої системи управління виробництвом (АСУВ).

Рисунок 8.8 - Комплекс етапів робіт в САПР

САПР може бути розглянутий у вигляді комплексу окремих етапів і наявності прямих і зворотних зв'язків (рис.8.8).

Вихідним положенням є логічна постановка задачі, зміст якої визначається системними моделями.

Особливе значення набирає етап формалізації зв'язків, тому що нова постановка задачі на підставі системного підходу потребує в багатьох випадках наукових досліджень для встановлення закономірностей дій зв'язків. В цьому випадку можуть виникнути труднощі, які потребують уточнення постановки задачі.

Етап формалізації задачі є переходом у зону математичних дій. Власне на цьому етапі необхідне погодження постановки задачі з можливостями проведення розрахунків, і вірогідно, що виникне необхідність в уточненні попередніх етапів.

Етап аналізу результатів потребує кваліфікованої оцінки, тому що від нього залежить вибір рішення. Прийняте рішення може бути спрямоване не на його безпосередню реалізацію у конструкції, а на уточнення постановки задачі.

При використанні для виготовлення машин, верстатів з ЧПК і верстатних комплексів завдяки однозначної дискретної системи перетворення інформації доцільно об'єднати процеси автоматизованого проектування, автоматизованого програмування і автоматизованого виробництва, що значно скорочує терміни від ідеї до готової продукції.

8.11. Використання та експлуатація ТС

"Цикл життя" ТС можна поділити на етапи, стадії і операції. Чотирма етапами "циклу життя" ТС є створення, переміщення (постачання, монтаж), використання і ліквідація. ТС на кожному , етапі повинна задовольняти певним вимогам, тобто мати певні ' властивості. Кількість і тривалість стадій, на які поділяються етапи "життя" ТС, залежать від рівня її складності, оригінальності конструкції, способу виробництва і вимог замовника. Залежно від проектно-конструкторської реалізації і її традицій деякі стадії можуть бути визначені різним чином.

Сукупна цінність ТС визначається головним чином на стадії конструювання.

"Цикл життя" ТС складається з ланцюга фаз (рис.9.13):

Ф1 - постановка мети і формування задачі;

Ф2 - розробка задуму нової ТС (інформаційна фаза - образ за думу);

Ф3 - проведення цільових досліджень у межах програми НДР;

Ф4 - дослідно-конструкторські роботи (ДКР);

Ф5 - створення і дослідження дослідного зразка;

Ф6 - випуск у економічну сферу;

- впровадження (підготовка виробництва, виробництво і експлуатація);

Ф7 - припинення випуску і експлуатації;

Ф8 - знищення (утилізація).

На всіх фазах життєвого циклу виникає безперервне надбання нових знань і поступове їх втілення не тільки у будові машин, але і в технології, довкіллі, регламентах і в технологічній документації, патентних, наукових публікаціях тощо.

Рис. 8.9 - "Цикл життя" ТС у вигляді ланцюга фаз

ВИСНОВКИ

1. «Цикл життя» технічної системи можна розділити на етапи, стадії, операції.
2. Чотирма основними етапами «циклу життя» технічної системи є створення, переміщення, використання і ліквідація.
3. Технічна система на кожному етапі повинна задовольняти певним вимогам, тобто володіти певними властивостями.
4. Кількість і тривалість стадій на які поділяються етапи «життя» системи, залежать від рівня складності систем, оригінальності конструкції, способу виробництва і вимог замовника. В залежності від проектно-конструкторської організації та її традицій деякі стадії можуть бути визначені різними способами.
5. Сукупна вартість технічної системи визначається на стадії конструювання.