

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра механіки і проектування машин

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ І САПР:
ЕЛЕМЕНТИ СУЧАСНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

Конспект лекцій

з дисципліни

«ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ І САПР»

Харків - 2014

Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Основи
конструювання і САПР: Елементи сучасної методології

автоматизованого проектування: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 32 с.

У даному конспекті лекцій викладені матеріали щодо елементів сучасної методології автоматизованого проектування, які поєднують собою основні положення системного проектування, формування стратегії вирішення проектно-конструкторських задач, загальні принципи і методи автоматизованого проектування і конструювання, а також функціональне і структурне проектування технічних засобів.

Призначено для студентів спеціальності 7.05060101 “Теплоенергетика” денної і заочної форм навчання.

Лл. 1, бібліогр.: 9 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри механіки і проектування машин 26 грудня 2012 р., протокол № 7.

Рецензент

доц. В.В. Захарченко

ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ І САПР:
ЕЛЕМЕНТИ СУЧАСНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ І САПР»

Відповідальний за випуск Братченко О.В.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 02.09.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,75. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
.....	4
1 Основні положення системного проектування.....	5
.....	5
2 Формування стратегії вирішення проектно- конструкторських задач.....	1
...	0
3 Загальні принципи і методи автоматизованого проектування і конструювання.....	1
.....	3
4 Функціональне і структурне проектування технічних засобів.....	2
.....	5
Список літератури.....	3
.....	2

Вступ

Особлива роль у підвищенні економічної ефективності роботи залізничного транспорту відводиться оперативному створенню і вмілому використанню нових інформаційно-керуючих систем і транспортних технічних засобів з високими техніко-економічними показниками функціонування у широкому спектрі умов експлуатації. При цьому збільшується попит на висококваліфікованих фахівців з економіки транспорту, управління процесами перевезень, рухомого складу залізниць, спеціальної техніки, колійного господарства, теплоенергетики та ін.

Зростають вимоги і до рівня вищої інженерної освіти, яка має забезпечувати не тільки високу загальноінженерну та спеціальну підготовку, а ще й ґрунтовну методологічну підготовку в галузі техніки і технічних наук, створення та експлуатації складних технічних систем, конструювання сучасних технічних засобів.

У плані такої підготовки під час навчання студенти повинні отримати знання і уявлення про загальні проблеми і шляхи створення нової техніки, сучасну методологію проектування технічних засобів і методи оптимізаційного конструювання, можливості і особливості використання в інженерній діяльності САПР – систем автоматизованого проектування.

На таку підготовку спрямовані програмні модулі дисципліни “Основи конструювання і САПР”, яка вивчається майбутніми спеціалістами з експлуатації різних технічних систем транспорту.

1 Основні положення системного проектування

В узагальненому уявленні **сучасна методологія проектування** об'єднує обрану (*розроблену*) для одержання проекту технічного засобу (ТЗ) раціональну послідовність дій (*стратегію проектування*) і нові підходи, принципи, методи і методики, які забезпечують її практичне виконання. Прагнення до найбільш повного задоволення розглянутих раніше вимог обумовлює необхідність проведення проектування ТЗ на основі системного підходу (*системного проектування*), при якому забезпечення функціонального призначення об'єкта органічно узгоджується з особливостями його конструкції і виробництва, з робочими і динамічними процесами, що відбуваються, із значеннями вихідних техніко-економічних і екологічних показників.

Можна стверджувати, що сучасна методологія проектування – це насамперед методологія автоматизованого проектування. Тому нижче розглянуто виділені елементи методології проектування ТЗ з орієнтацією на їх використання в системах автоматизованого проектування (САПР).

Існуючі у даний час підходи до проектування технічних засобів можуть у більшості випадків розглядатися як окремі, при яких проектно-конструкторські розробки переважно відбивають інтереси підприємства-виготовлювача і орієнтовані на досягнення певного рівня показників технічного засобу. В результаті, як правило, не забезпечується досягнення потрібної високої економічної ефективності при експлуатації технічного засобу в складі відповідної технічної системи (ТС).

Правильне рішення висунутої вище задачі може бути отримано тільки в тому випадку, якщо від традиційних технологій проектування перейти до проектування нових технічних засобів на основі підходу, який базується на виявленні та урахуванні при проектуванні найважливіших особливостей тієї

галузі, в якій (як *функціональний елемент*) буде функціонувати технічний засіб, що створюється. Такий підхід має назву **системного**, а проектування, що здійснюється на його основі, – **системного проектування**.

Однією з основних умов проектування ТЗ на основі системного підходу є добір (*формування*) і ранжирування відповідних вимог до нього. При традиційних підходах до проектування ТЗ, наприклад локомотива для пасажирських перевезень, його створення орієнтовано на найкращі умови збуту (*максимальний прибуток*), а не на повне задоволення вимог транспортного мегакомплексу країни. Системне ж проектування має ґрунтуватися на урахуванні вимог, обумовлених відповідною ранжируваною ділянкою. Спрощена модель ранжирування ділянок вимог при системному проектуванні пасажирського локомотива (ТЗ) показана на рисунку 1.1.

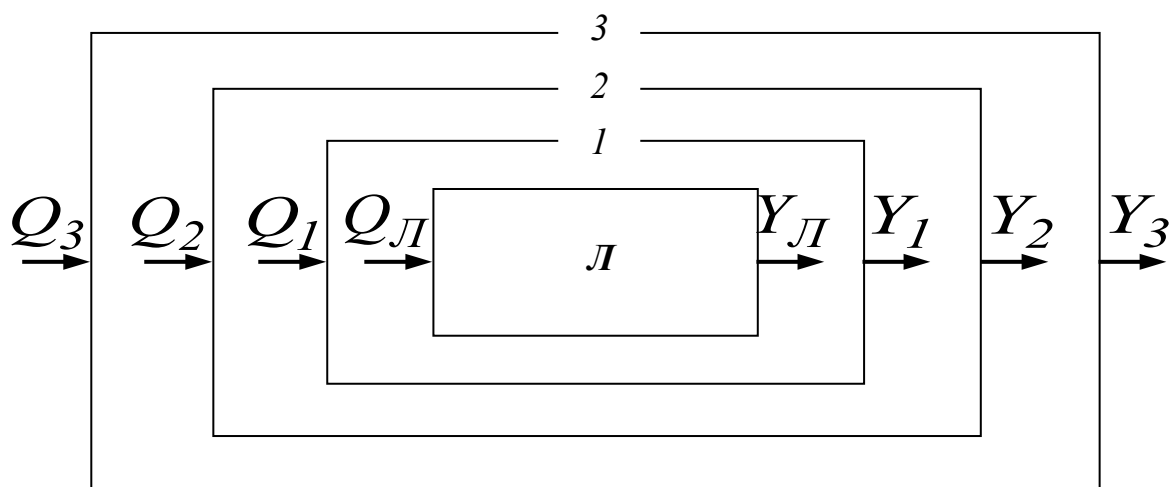


Рисунок 1.1 – Спрощена модель ранжирування ділянок вимог при системному проектуванні ТЗ

Створювані локомотиви, що забезпечують при вхідних умовах Q_L вихідні показники Y_L , потрібні для виконання пасажирських залізничних перевезень за вхідними умовами Q_1 і з вихідними показниками Y_1 (відповідні вимоги на проектування локомотива умовно подані ділянкою 1).

Однак пасажирські перевезення певними маршрутами проходження є складовою загального процесу функціонування мережі залізниць (що включає і вантажні перевезення) і підприємств їх обслуговування країни (виникають зв'язки з використанням загальних підприємств обслуговування і ремонту, диспетчерської служби та ін.). Виникає необхідність розгляду додаткових вимог до проектування локомотива в рамках єдиного залізничного комплексу – формується ділянка 2 (вхідні умови Q_2 та вихідні характеристики Y_2).

У більш загальному плані пасажирські перевезення мають розглядатися на регіональному, державному і навіть міжнародному рівнях, з урахуванням їхніх взаємозв'язків з іншими видами транспорту (автомобільного, водного, повітряного). При цьому задача проектування локомотива істотно ускладнюється – він має задовольняти вимоги, подані третьою ділянкою.

Зазначене обґрунтовує необхідність використання при проектуванні нових ТЗ системного підходу, при якому об'єкт проектування надається у вигляді певної технічної *підсистеми* (частина системи – підмножина елементів та їх взаємозв'язків, що має властивості системи), яка у свою чергу є функціональним елементом відповідної системи, робота якої керується системою більш високого рівня (*надсистемою* – системою, по відношенню до якої система, що розглядається, є підсистемою).

Практична реалізація системного підходу при проектуванні нових ТЗ (*системне проектування*) передбачає взаємопов'язаний розгляд, урахування і відображення в проектно-конструкторських рішеннях ряду теоретичних аспектів, основними з яких є: системно-функціональний (СФА), системно-компонувальний (СКА), системно-структурний (ССА) і системно-інтегративний (СІА) аспекти. Укрупнена схема проектування ТЗ на основі системного підходу з відображенням відповідних методичних особливостей та короткого змісту проектно-конструкторських робіт, які визначаються наданими теоретичними аспектами, подана на рисунку 1.2.

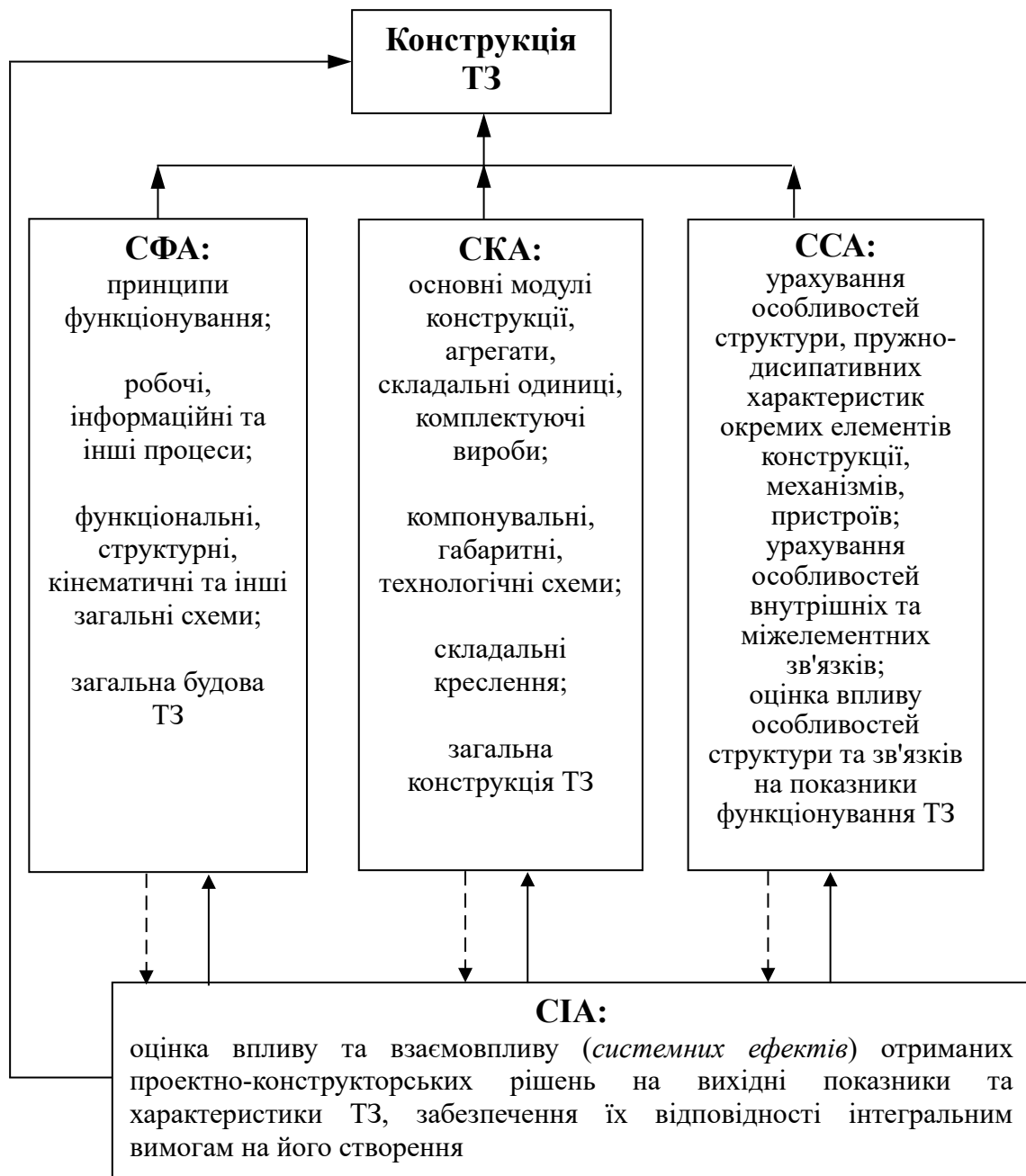


Рисунок 1.2 – Укрупнена схема системного проектування ТЗ

В узагальненому уявленні **системно-функціональний аспект** (*системно-проектувальний*) передбачає виділення та відображення при проектуванні основних принципів функціонування ТЗ, характеру фізичних, хімічних та інформаційних процесів, які в ньому відбуваються. **Системно-компонувальний аспект** полягає в розробці компонентувальної схеми з використанням певних елементів (*вузлів та комплексів*). **Системно-структурний аспект** полягає у виділенні особливостей структури компонентувальних елементів ТЗ та зв'язків між ними (*з метою отримання максимально наближених до реальних кінематичних та динамічних характеристик*). **Системно-інтегративний аспект** передбачає урахування та оцінку впливу особливостей конструкції ТЗ, робочих та динамічних процесів, що протікають в їх окремих елементах, на вихідні техніко-економічні показники.

Слід зазначити, що при системному проектуванні особлива роль приділяється і обліку вимог екології. Це пов'язано з тим, що більшість об'єктів техносфери поряд із задоволенням суспільних потреб (*за своїм призначенням*) негативно впливає на людину (рисунк 1.3). Відомими і дуже актуальними є загальносвітові проблеми негативних змін у біосфері (*як наслідок забруднення атмосфери, рік, морів промисловими підприємствами, теплоенергетичними установками та ін.*). Тому при створенні сучасних ТЗ усе частіше вимоги екології є пріоритетними.

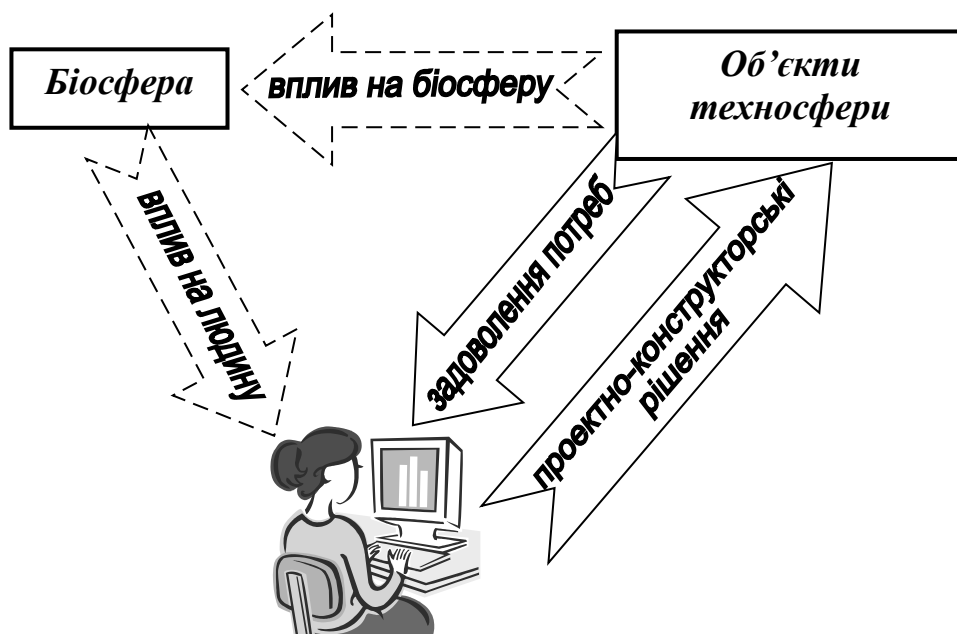


Рисунок 1.3 – До урахування екологічних аспектів при системному проектуванні ТЗ

Реалізація системного підходу в сучасній методології проектування ТЗ передбачає використання відповідних стратегій, принципів і методів вирішення проектно-конструкторських задач.

2 Формування стратегії вирішення проектно-конструкторських задач

Одну з головних ролей у сучасній методології автоматизованого проектування відіграють **стратегії**, які обираються або формуються для вирішення відповідних проектно-конструкторських задач. Це визначається тим, що навіть при наявності усіх необхідних для конструювання методів, методик, математичних моделей і різних видів забезпечення САПР виникає необхідність в організації їх раціонального та ефективного використання в процесі автоматизованого проектування ТЗ.

Формування загальної стратегії проектування ТЗ передбачає поділ задачі проектування на окремі етапи (*відповідно до формалізованого опису об'єкта*) і розробку укрупненого плану (*послідовності дій*) проведення проектно-конструкторських робіт на етапних і міжетапних рівнях.

Аналіз шляхів вирішення задачі, що розглядається, в САПР різних ТЗ вказує на те, що розробка загальної стратегії автоматизованого проектування в більшості випадків базується на окремих варіантах існуючих стратегій конструювання, які використовуються у роботі проектних установ та відповідних конструкторських підрозділах машинобудівних підприємств. В узагальненому вигляді вони поділяються на **лінійні, циклічні та розгалужені** стратегії.

Лінійні стратегії передбачають ланцюговий порядок вирішення проектно-конструкторських задач (рисунк 2.1, *a*), коли вхідні умови для виконання кожного наступного етапу повністю визначаються результатами виконання попереднього

етапу. У теоретичному плані такі стратегії є найбільш економічними, бо забезпечують найменші витрати часу та коштів на розробку математичного опису, математичних моделей і програм, необхідних для автоматизованого проектування. Але використання лінійних стратегій обмежується складностями їх практичного застосування при вирішенні складних задач оптимізаційного проектування і конструювання в умовах початкової невизначеності багатьох параметрів.

При проектуванні ТЗ широко використовуються **циклічні стратегії**, які передбачають проведення конструювання на основі організації ітераційних циклів наближення до потрібного рішення за заданими умовами. Характерною ознакою циклічних стратегій (рисунок 2.1, б) є контроль виконання заданих умов за результатами окремих етапів проектування і (*при їх невиконанні*) повернення до одного чи декількох попередніх етапів.

В практиці проектних установ, конструкторських бюро підприємств широко використовуються **розгалужені стратегії** (рисунок 2.1, в). Вони передбачають особливий підхід до проведення найбільш важливих етапів конструювання нового ТЗ, який полягає у незалежному паралельному вирішенні відповідної конструкторської задачі за декількома можливими варіантами. За результатами аналізу отриманих рішень обирається найкращий варіант (*конструкція*), який використовується на наступних етапах проектування.

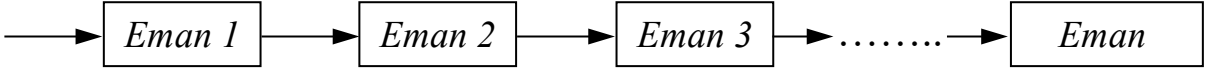
Слід зазначити, що незважаючи на широке використання циклічних і розгалужених стратегій у конструкторській практиці, вони орієнтовані на традиційні форми і методи проектування, характеризуються значними витратами часу і коштів на отримання оптимальної конструкції ТЗ. Тому перенос цих стратегій у САПР, що має місце, обмежує ефективність автоматизованого проектування, визначає підвищені витрати на створення нових ТЗ.

Світовий досвід показує, що найвища економічна ефективність САПР може бути досягнута на основі використання так званих **адаптивних стратегій** (рисунок 2.1, г), поява яких пов'язується з успіхами у створенні систем штучного інтелекту.

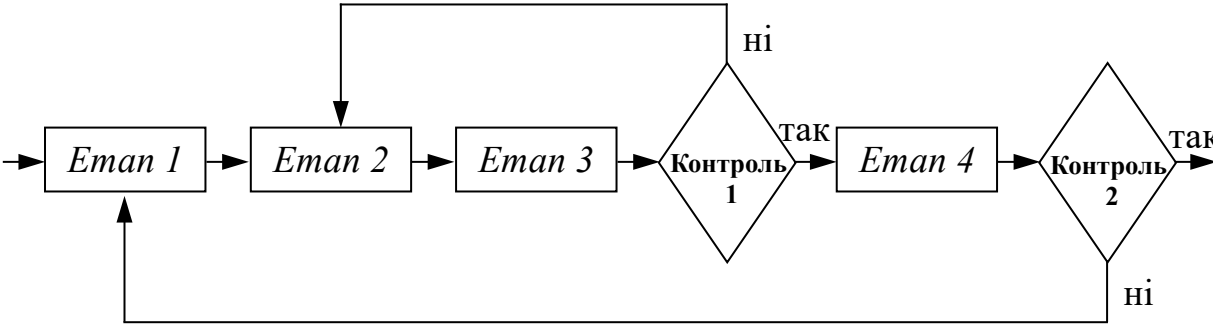
Перспективність використання адаптивних стратегій конструювання у САПР визначається тим, що вони забезпечують

формування раціональної стратегії пошуку оптимального рішення на основі аналізу наявної інформації.

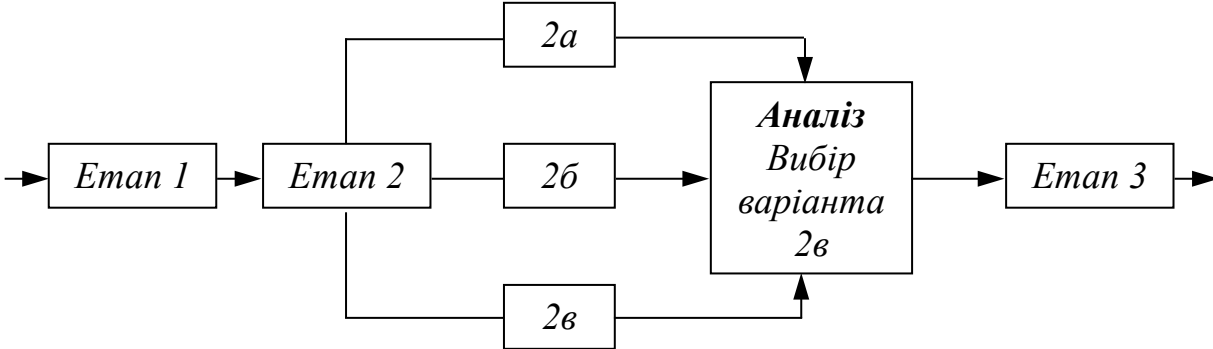
а)



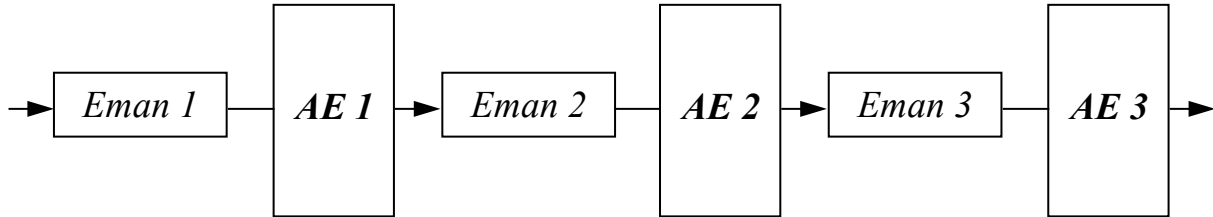
б)



в)



г)



а – лінійна стратегія; б – циклічна стратегія;
в – розгалужена стратегія; г – адаптивна стратегія

Рисунок 2.1 – До формування стратегії автоматизованого проектування ТЗ

Схематично (див. рисунок 2.1, з) при використанні адаптивних стратегій задається тільки перший крок (*етап 1*), а вибір кожного подальшого рішення, умов для виконання наступних етапів проектування визначається за результатами аналізу наявної інформації (*рішень, що отримуються на відповідних адаптивних етапах – АЕ1, АЕ2, ...*).

Обмеження у застосуванні адаптивних стратегій у сучасних САПР пояснюються значними складностями в проведенні різних адаптивних етапів, трудомісткістю і витратами часу на отримання і аналіз результатів на кожному етапі проектування, складностями в організації гнучкого зв'язку між окремими етапами і підсистемами у процесі проектування. Але їх слід розглядати як тимчасові, до досягнення загальнодоступного рівня у використанні в конструкторській практиці систем штучного інтелекту.

Поряд з наведеними вище стратегіями проектування ТЗ можна виділити **випадкову стратегію**, яка заснована на випадковому пошуку рішень і не має плану дій.

Слід зазначити, що реальні стратегії проектування та відповідні їм системи проектування зазвичай являють собою комбінацію перелічених вище типових стратегій та структур системи.

3 Загальні принципи і методи автоматизованого проектування і конструювання

Сучасна методологія автоматизованого проектування базується на положеннях системного підходу і передбачає в межах обраної стратегії використання певних принципів і методів.

До основних принципів проектування ТЗ належать: ієрархічність і декомпозиція (блочність) опису об'єктів; багатоетапність, ітераційність і оптимальність проектування; типізація, уніфікація проектних рішень і засобів проектування.

Принцип ієрархічності передбачає структурування уявлень про об'єкт проектування за ступенем детальності описів – виділення відповідних ієрархічних рівнів. Принцип декомпозиції припускає ділення описів об'єкта на кожному ієрархічному рівні на ряд складових частин – блоків (модулів) із можливостями їхнього роздільного проектування.

Зазвичай дані принципи відображаються у вигляді блочно-ієрархічної схеми ТЗ, на якій виділяються встановлені ієрархічні рівні (від нульового – власне об'єкта проектування в цілому, до рівня, що відповідає базовим елементам, описи яких не підлягають подальшому розподілу). Причому на кожному з ієрархічних рівнів у процесі проектування використовуються свої поняття системи (відповідні даному рівню композиційні блоки – об'єкти проектування), підсистеми (композиційні блоки більш низького рівня, що мають функціональні або структурні зв'язки з розглянутим у якості системи об'єктом) і надсистеми (об'єкти, що мають функціональні зв'язки з розглянутим у якості системи об'єктом, але належать до більш високого ієрархічного рівня). При системному проектуванні обов'язковим є виконання вимоги: проектування підсистем має виконуватися за умов забезпечення заданих характеристик системи, що забезпечують одержання необхідних характеристик і показників функціонування надсистеми.

Як ілюстрацію поданих принципів розглянемо укрупнене структурування описів ТЗ – тепловоза (рисунки 3.1,3.2). При цьому основу першого ієрархічного рівня можуть скласти описи його агрегатів (блоків) – дизеля, електрогенератора, компресора та ін. Тоді другий ієрархічний рівень буде містити описи їхніх основних елементів (наприклад, для дизеля: основні механізми, система паливоподачі, система охолодження, система наддування та ін.). Завершальний ієрархічний рівень будуть представляти базові елементи (наприклад, окремі деталі дизеля). Причому, наприклад, для дизеля на другому ієрархічному рівні в якості систем слід розглядати відповідні системи двигуна

(паливоподачі, охолодження,...), підсистемами для них будуть елементи третього ієрархічного рівня (паливний насос, форсунка, водяний насос...), а надсистемою – об'єкти першого ієрархічного рівня (власне дизель).

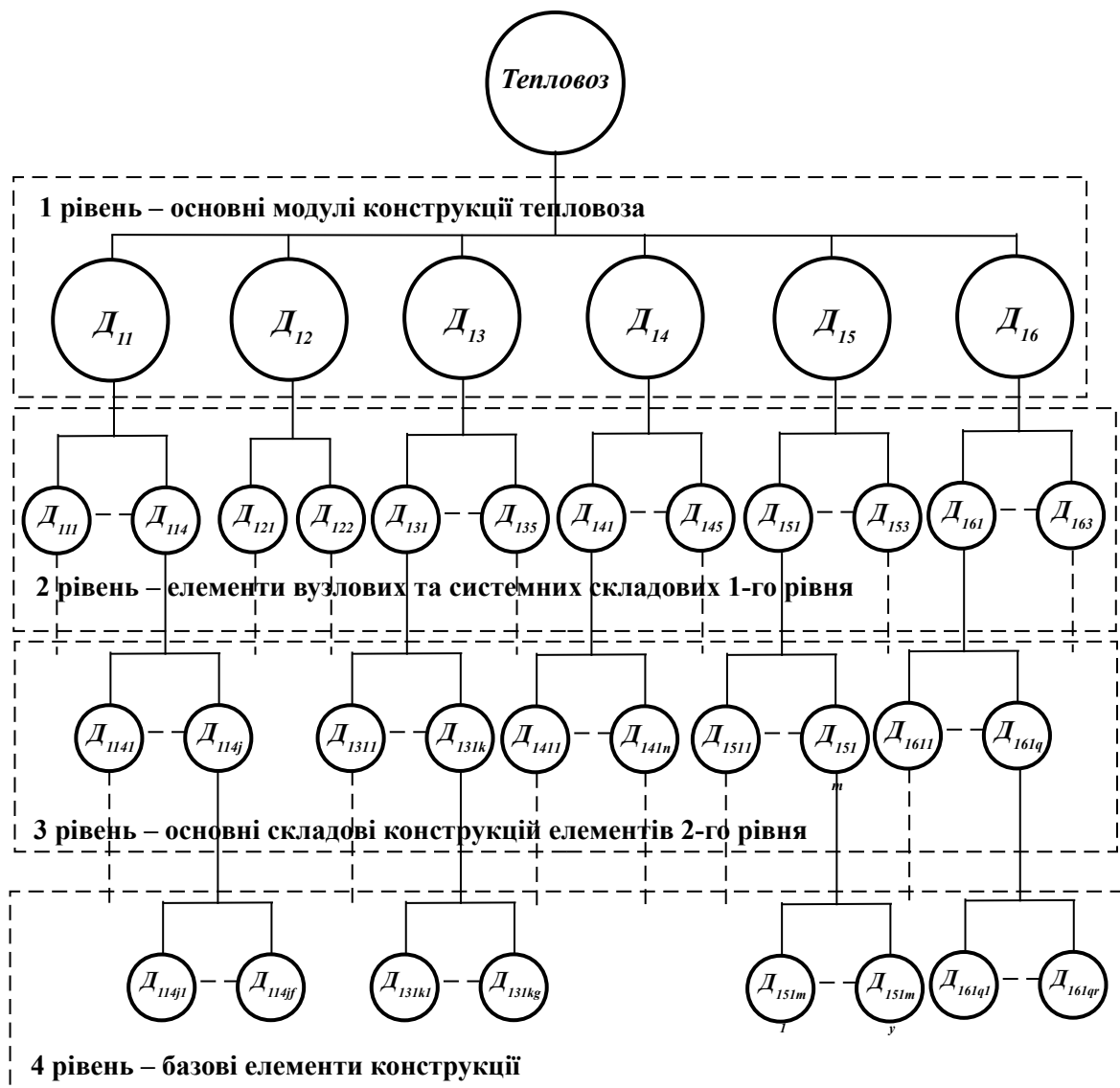


Рисунок 3.1 – Блочно-ієрархічна схема сучасного тепловоза

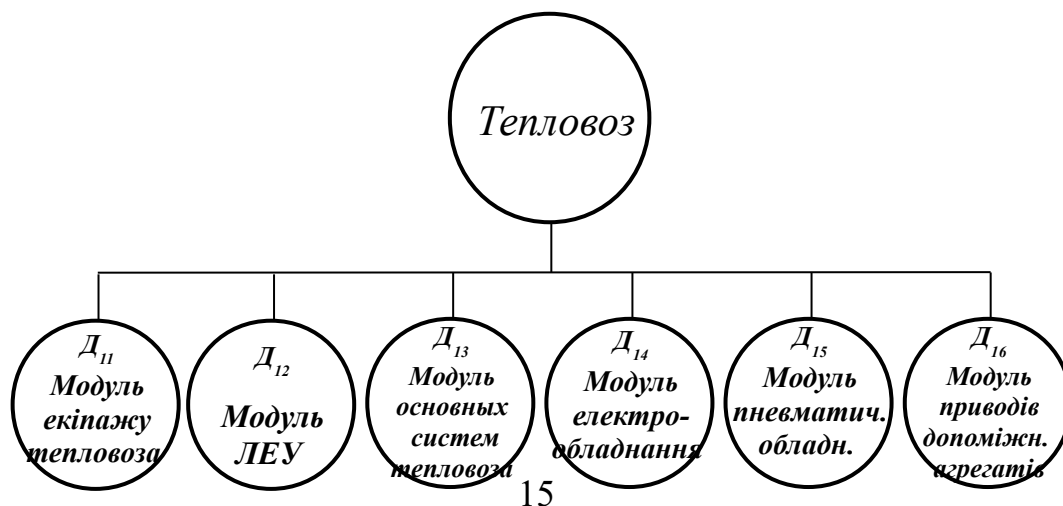


Рисунок 3.2 – Декомпозиційні модулі тепловоза на 1-му ієрархічному рівні

Слід зазначити, що стосовно до блочно-ієрархічної схеми об'єкта розглядаються і два загальних методи: **метод спадного проектування** (основний, проробка конструкції ТЗ у напрямку від елементів верхніх ієрархічних рівнів – до базових елементів) і **метод висхідного проектування** (від базових елементів – до загальних рішень, як правило, використовується в задачах конструювання при модернізації ТЗ).

Принципи **багатоетапності, ітераційності і оптимальності** відбивають організаційні особливості процесу проектування, а саме процес проектування ТЗ реалізується поетапно (виконанням відповідних проектних процедур і операцій), при цьому оптимальні проектні рішення досягаються на основі реалізації ітераційних циклів наближення за встановленими умовами конструювання.

В сучасній методології проектування велику роль відіграє принцип **типізації і уніфікації**. При цьому проектна процедура, призначена для багаторазового використання, називається **типовою**. Узагальнена класифікація типових проектних процедур наведена у вигляді схеми на рисунку 3.3.

Слід пам'ятати, що незважаючи на те, що типові процедури аналізу є інструментом відображення переважно функціонального, а процедури синтезу – структурного аспектів системного проектування, вони тісно взаємопов'язані (*проектні рішення, конструкції, що генеруються за допомогою процедур синтезу, – досліджуються за допомогою процедур аналізу*). Крім того, важливим моментом у методології автоматизованого проектування є вкладеність процедур аналізу в процедури оптимізації (відображено на рисунку 3.4). Відповідно до нього цілеспрямований пошук оптимального варіанта конструкції ТЗ виконується на основі використання типових процедур аналізу.

Розглянуті загальні принципи і методи автоматизованого проектування є базовими при створенні САПР різних ТЗ,

функціонування яких передбачає використання і наведених нижче загальних правил і методів конструювання.

У розрізі зазначеного, при конструюванні нових ТЗ необхідно дотримуватися ряду загальних правил (*вимог*), до яких належать:

1 Підпорядкування рішення проектно-конструкторських задач вимозі збільшення економічного ефекту від виробництва і експлуатації нового ТЗ. При цьому орієнтирами проектування за умовами виробництва є: обґрунтоване використання різних конструкційних матеріалів, сучасних технологій (*спрямованість на зниження матеріаломісткості, трудомісткості й собівартості ТЗ*). Орієнтирами конструювання ТЗ за умовами експлуатації є: забезпечення працездатності, надійності (*довговічності, ремонтпридатності та ін.*), економічності, екологічності, естетичності та ін. (*спрямованість на зниження експлуатаційних витрат*).

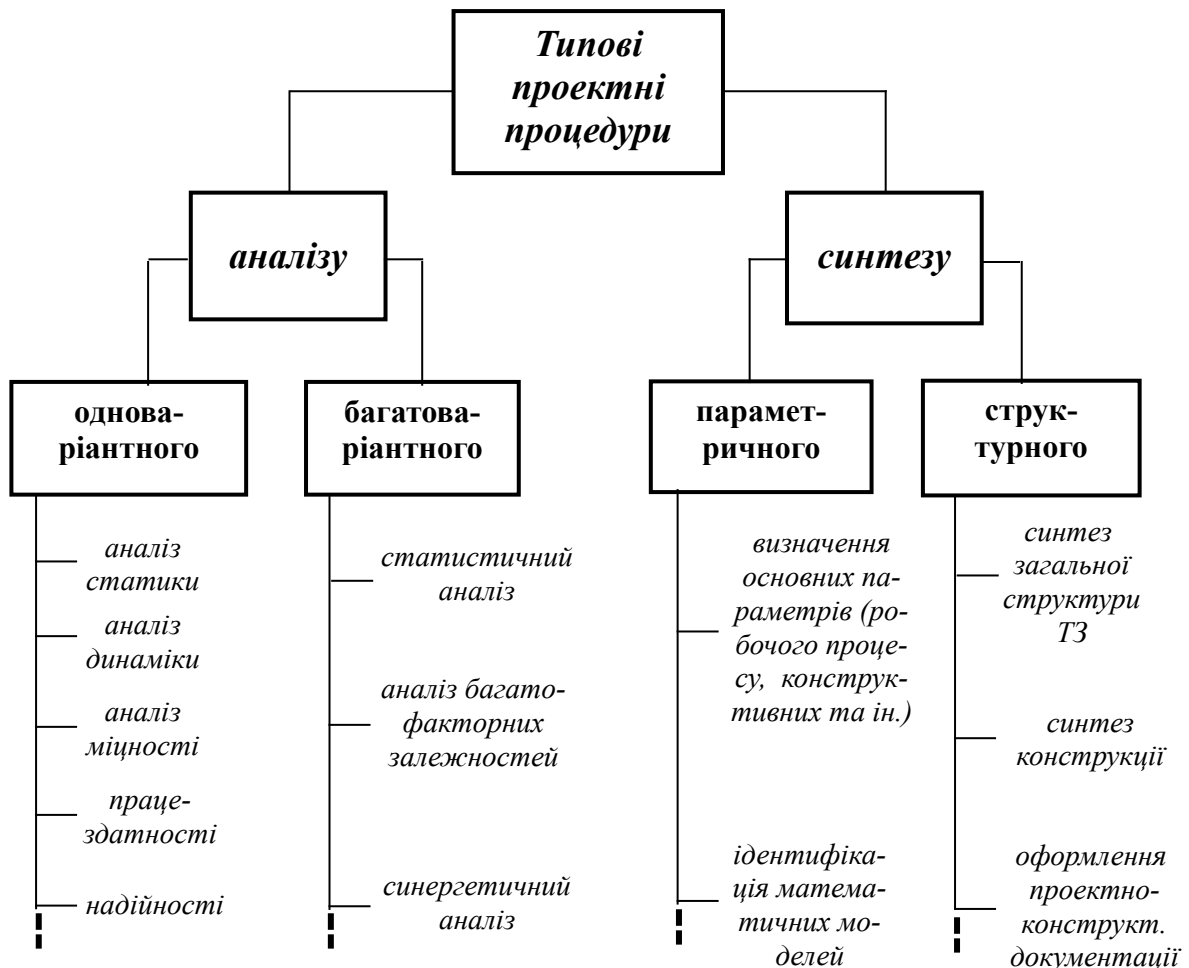


Рисунок 3.3 – Класифікаційна схема типових проектних процедур

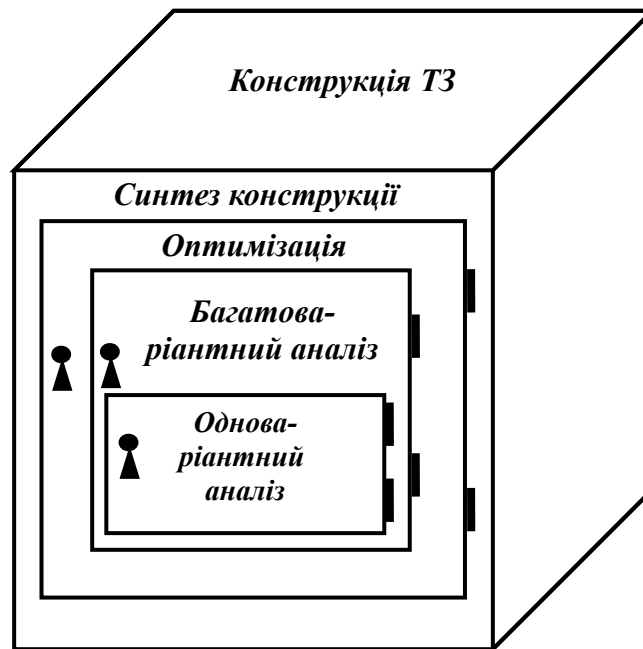


Рисунок 3.4 – До взаємопов’язаності типових процедур аналізу і синтезу з процедурами оптимізації

2 Урахування при проектуванні і конструюванні ТЗ соціальних аспектів: задоволення вимог комплексної механізації та автоматизації (*зниження витрат ручної праці*), охорони праці і техніки безпеки, виключення можливості аварійних ситуацій через недбалу експлуатацію (*реалізація в розумних межах принципу проектування "на дурня"*; урахування закону Мерфі: *"Якщо якась технічна неприємність може трапитися, вона трапляється"*).

3 Прагнення до досягнення високого рівня новизни ТЗ, забезпечення резервів його подальшого удосконалення і розвитку (*можливість створення похідних ТЗ на основі максимального використання агрегатів, вузлів, незалежних модулів конструкції і деталей базового ТЗ*).

Прикладами реалізації розглянутого правила можуть служити: уніфіковані потужнісні ряди транспортних ДВЗ

(наприклад дизелів типу Д49), що задовольняють потребу в автономних енергетичних установках різної потужності на базі двигунів одного сімейства; агрегатні металообробні верстати та ін.

4 Обмеження рівня застосування в нових ТЗ оригінальних деталей і вузлів. Необхідно виключати їхнє використання в тих випадках, коли можна обійтися за рахунок застосування наявних стандартних і уніфікованих деталей і вузлів.

У першу чергу це стосується, наприклад, різьбових з'єднань, муфт, редукторів, підшипників кочення і ковзання, гідравлічної запірнорегулюючої арматури, електроприводів та ін.

Аналіз наведених вище правил свідчить про істотні труднощі їхнього практичного виконання в повному обсязі. Це визначається тим, що поліпшення одних параметрів або показників ТЗ, як правило, призводить до погіршення інших. Тому в загальному плані при розгляді й оцінці зазначених вимог до конструкції ТЗ слід враховувати:

1 Збільшення продуктивності ТЗ, як правило, досягається шляхом підвищення швидкохідності. При цьому: змінюються триботехнічні характеристики (*тертя і знос у рухомих з'єднаннях, що сполучаються, – трибопарах*); збільшуються інерційні навантаження на деталі; змінюються показники віброактивності ТЗ.

2 Зменшення маси деталей, вузлів (спрямоване на зниження матеріаломісткості) в більшості випадків призводить до зменшення їхньої міцності, жорсткості або стійкості, тобто до зниження працездатності.

3 Створення простих, компактних, малогабаритних конструкцій (*бажане за умовами складання ТЗ, його обслуговування і ремонту в експлуатації*) у більшості випадків обмежується технічними і технологічними можливостями конкретного виробництва.

4 Розбивка загальної конструкції ТЗ на окремі незалежні модулі (*можливість раціонального одержання похідних ТЗ*), як правило, призводить до зниження жорсткості конструкції ТЗ і підвищення трудомісткості складання.

5 Створення універсальних ТЗ виправдовує себе тільки при забезпеченні їхньої багатопланової експлуатації. Використання універсального ТЗ тільки для виконання однієї операції економічно недоцільне.

З розглянутого видно, що створення технічних засобів, які відповідають даним вимогам, пов'язане з необхідністю вирішення на високому рівні ряду складних проектно-конструкторських задач. При цьому доцільно використовувати сучасні методи конструювання ТЗ.

До таких методів, спрямованих на розробку загальної конструкції нового ТЗ, належать:

1 Метод секціонування – передбачає проектування (побудову) ТЗ з різними техніко-експлуатаційними характеристиками на основі використання (набору) однакових уніфікованих секцій. *Прикладами* ТЗ, при проектуванні яких використовувався розглянутий метод, є: ескалатори станцій метрополітену; широкий спектр транспортуючих машин (*ланцюгові, візкові конвеєри; стрічкові, скребкові, ковшові транспортери*); збірні сховища, гаражі та ін.

2 Методи базового агрегату, агрегування, комплексної стандартизації.

Основу методу базового агрегату складає перетворення прийнятого в якості базового агрегату ТЗ в технічні засоби різного призначення шляхом приєднання до нього (*навішування*) спеціального устаткування. *Наприклад*, використання в якості базового агрегату автомобільного шасі дозволяє одержати такі ТЗ: бортовий автомобіль, самоскид, бензо- і водозаправник, автокран, бурову установку та ін.

Метод агрегування полягає в конструюванні ТЗ на основі сполучення (*з різними числами і комбінаціями*) уніфікованих агрегатів (*блочно-модульний принцип побудови*). *Наприклад*, при проектуванні агрегатних верстатів у якості уніфікованих блоків широко використовуються поворотні столи, механізми синхронізації, корпуси загального призначення, тумби, приводні двигуни, гідропривід та ін. Багато ТЗ можуть створюватися на основі використання стандартних вузлів і агрегатів – електродвигунів, редукторів, компресорів, насосів та ін.

Метод комплексної стандартизації перекликається з методом агрегування, але стосовно до ТЗ найпростішого типу. *Наприклад*, деякі технологічні апарати і пристрої проектуються на основі використання стандартних виробів – резервуарів, відстійників, змішувачів, дозуючих пристроїв, фільтрів, секцій теплообмінників, запірно-регулюючої гідравлічної арматури та ін.

3 Метод конвертування – передбачає конструювання нового ТЗ на основі вже наявного, найчастіше близького за реалізованими робочими процесами. Прикладом практичної реалізації цього методу є створення транспортних двигунів внутрішнього згоряння, що працюють замість бензину або дизельного палива на газі.

Слід зазначити, що в деяких ситуаціях (*як правило, екстремальних*) метод конвертування може застосовуватися і до конструювання об'єктів з істотними відмінностями в робочих процесах (*наприклад створення поршневого компресора на базі наявного двигуна внутрішнього згоряння*).

4 Метод модифікування – ґрунтується на створенні сімейства ТЗ (*різних модифікацій ТЗ*), пристосованих до різних умов роботи, без зміни основної конструкції ТЗ. *Наприклад*, сімейство дизелів типу Д49 об'єднує різні модифікації двигунів: тепловозні, судові, стаціонарні, автомобільні (*для кар'єрних самоскидів*).

5 Метод компаундування – широко застосовується при конструюванні сучасних транспортних ТЗ. Він припускає створення ТЗ, що характеризуються великою потужністю, надійністю і продуктивністю, на основі використання паралельного з'єднання двигунів, агрегатів, машин. *Наприклад*, два і більше двигунів на авіалайнерах, два головних дизелі на теплоходах та ін.

Розглянуті методи розробки загальної конструкції широко застосовуються (*як окремо, так і спільно*) при створенні нових ТЗ.

Слід зазначити, що після розробки загальної конструкції ТЗ здійснюються етапи конструювання відповідних вузлів, деталей, окремих елементів конструкції. При цьому вдале використання

вже відомих і розробка оригінальних технічних рішень базується на застосуванні таких методів конструювання:

1 Метод комбінування (компонування) – передбачає використання (у різних сполученнях) при розробці конструкції нового ТЗ окремих уже відомих (C – старих) і нових (H) технічних рішень (процесів, елементів конструкції), у результаті чого досягається нова якість і додатковий позитивний ефект. При цьому можуть реалізовуватися такі схеми спільного використання нових і старих рішень: $H + H = H$; $H + C = H$; $C + C = H$.

У новій конструкції різні елементи можуть виконувати старі функції або набувати нових властивостей, допускаються різні комбінації елементів (комбінації механічних, гідравлічних, електричних елементів, багатоступінчастих конструкцій та ін.). Наприклад, традиційним для транспортних дизелів є механічний привід клапанів, що базується на застосуванні кулачкового механізму (рисунок 3.5). Нова конструкція такого приводу може бути отримана шляхом реалізації схеми $C + C$ на основі заміни механічного зв'язку (ланок 2-4, див. рисунок 3.5, а) на широко застосовувану в техніці гідравлічну систему (рисунок 3.5, б), що включає гідравлічний насос 2 (з приводом від того ж кулачка), з'єднувальний трубопровід 3 і гідроциліндр 4, що забезпечує необхідне переміщення клапана 5.

2 Метод інверсії – передбачає одержання нового технічного рішення на основі зміни (зазвичай в діаметрально протилежному напрямку) традиційного погляду на конструкцію існуючих об'єктів. Реалізується шляхом обертання функцій елементів конструкцій (вихідні ланки – у вхідні, рухомі – у нерухомі та ін.), форм (поверхонь, що охоплюють, – в ті, що охоплюються) і взаємного розташування (вертикально – горизонтально, вертикально вгору – догори дном) з метою надання новій конструкції ТЗ відповідних переваг.

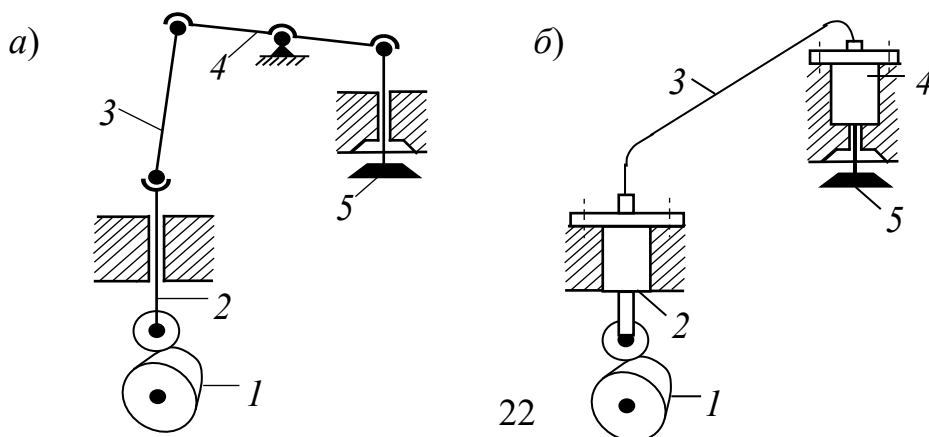


Рисунок 3.5 – До розгляду методу комбінування

Найбільше поширеним є підхід, заснований на зміні форми і взаємного розташування поверхонь деталей, що контактують. Приклади реалізації такого підходу показані на рисунку 3.6. На рисунку 3.6, а показано фрагмент конструкції механізму газорозподілу двигуна внутрішнього згоряння. Для забезпечення можливості регулювання теплового зазору в приводі з'єднання штанги 1 з важелем 3 в ньому використовується регулювальний гвинт 2. При цьому охоплююча сферична поверхня гвинта контактує зі сферичним кінцевиком штанги. Більш довершена конструкція (за умовами постійної наявності мастила на поверхні контакту) отримана інверсуванням форми поверхонь, що контактують, і показана на рисунку 3.6, б. Інверсування контактуючих поверхонь механізму приводу бойка 2 за допомогою важеля 3 (рисунки 3.6, в, 3.6, г) спрямоване на зниження шкідливих бокових навантажень (діючих у парі тертя бойок 2 – напрямна 1).

3 Метод аналогії – заснований на творчому використанні при конструюванні нових ТЗ технічних рішень з інших галузей науки і техніки, раніше розроблених ТЗ, а також особливостей побудови, форми, звуків об'єктів живої природи. Нерідко тільки зміна розмірів існуючих аналогів приводить до нової якості (наприклад конструкція дельтапланів – крило птаха; корпусу підводних човнів – тіло дельфіна; маніпуляторів – рука людини та ін.).

4 Метод емпатії – використовується при розв'язанні складних конструкторських задач і ґрунтується на "входженні в образ", ототожненні особистості розроблювача з предметом дослідження (процесом, елементом конструкції, складною деталлю). Емпатія приводить до нового бачення рішення на основі виявлення зовні непомітних факторів, які істотно впливають на конструкцію об'єкта.

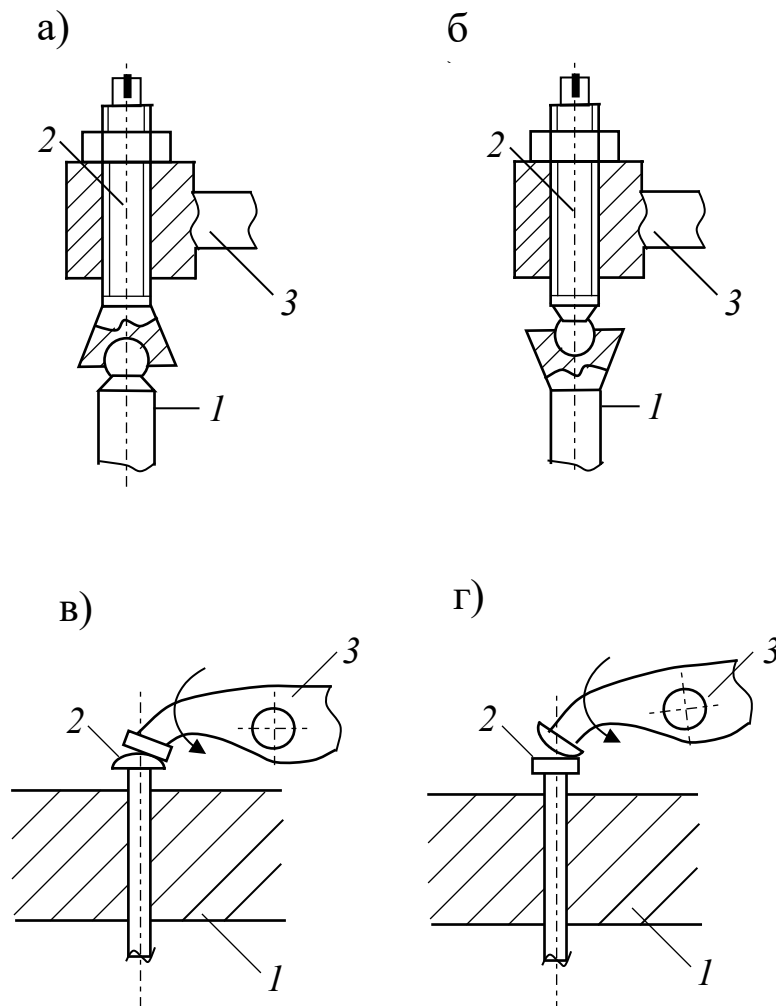


Рисунок 3.6 – До розглядання методу інверсії

5 Метод компенсації – передбачає врівноважування (компенсацію) небажаних і шкідливих факторів за допомогою впливів протилежної дії. Найбільш часто при конструюванні ТЗ виникає необхідність у компенсації впливу неврівноважених мас, інерції, тертя, теплових, гідравлічних та інших видів втрат. Для цього в конструкцію ТЗ вводяться спеціальні пристрої (компенсатори), що можуть бути з постійними параметрами,

регульованими, автоматичними та ін. *Прикладами* практичного використання цього методу можуть служити: існуючі в конструкції транспортних ТЗ противаги для врівноважування обертових мас, ресори, амортизатори, антивібратори для обмеження (*гасіння*) коливань і вібрацій, всережимні регулятори швидкості та ін.

Спільне використання розглянутих методів дозволяє на сучасному рівні вирішувати складні задачі конструювання нових ТЗ.

4 Функціональне і структурне проектування технічних засобів

Розглянуті раніше теоретичні аспекти системного підходу до вирішення проектно-конструкторських задач визначають належність останніх до відповідних етапів **функціонального** або **структурного проектування** ТЗ.

Функціональне проектування (ФП) спрямоване на вирішення трудомістких задач, що пов'язані з визначенням принципів побудови нового ТЗ і оцінкою очікуваних експлуатаційних показників і характеристик на основі дослідження процесів його функціонування.

Основою ФП є проектні процедури **аналізу**, за допомогою яких оцінюються вихідні показники функціонування ТЗ при різних значеннях його внутрішніх (*конструкційних*) і зовнішніх параметрів. При цьому до однієї з найважливіших задач ФП належать пошук оптимальних значень внутрішніх параметрів ТЗ з урахуванням вимог технічного завдання на його створення. Визначну роль в автоматизованому ФП відіграє математичне моделювання на ЕОМ з використанням функціональних математичних моделей.

Для успішного вирішення задач ФП має важливе значення **формалізований опис** загальної будови ТЗ – відображення його основних елементів (*модулів конструкції*) і функціональних зв'язків між ними.

Основними видами опису ТЗ на різних етапах ФП є такі:

1 Опис ТЗ у вигляді **блок-схеми** (рисунок 4.1), у прив'язці до якої розробляється відповідний аналітичний опис. Така блок-схема дає уявлення про структуру об'єкта, що розглядається (кількість основних модулів конструкції 1,2,...5), і загальні зв'язки (механічні, гідравлічні, електричні, енергетичні чи інформаційно-керуючі) між ними. Наприклад, наведена блок-схема характерна для опису системи автоматизованого регулювання швидкості комбінованого двигуна внутрішнього згоряння за допомогою механічного (відцентрового) регулятора швидкості непрямої дії з оборотним зв'язком.

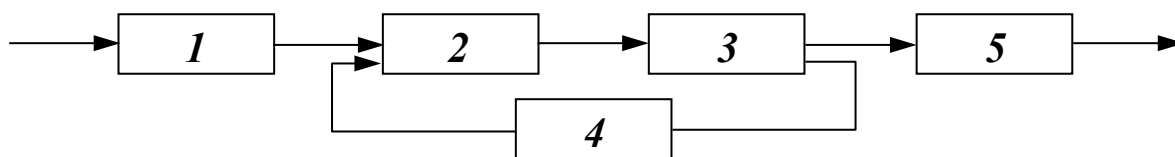


Рисунок 4.1 – До опису ТЗ у вигляді блок-схеми

2 Опис ТЗ у вигляді **графів** (рисунок 4.2), де **вершини** графа відображають відповідні модулі конструкції, а **ребра** – зв'язки між ними. У порівнянні з блок-схемами такі описи є більш компактними, що є важливим при описі складних об'єктів.

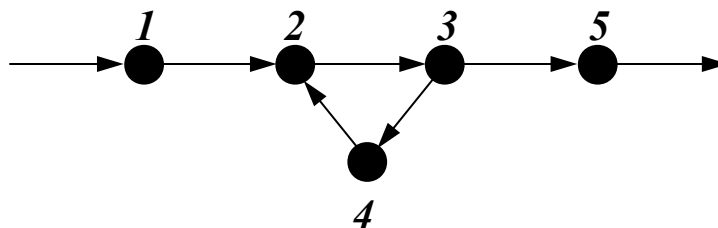


Рисунок 4.2 – До опису ТЗ у вигляді графа

3 Опис ТЗ у **матричному (табличному) вигляді** (рисунок 4.3). Кількість і позначення рядків і стовпців матриці опису ТЗ відповідають наявним модулям загальної конструкції, а особливості зв'язків (взаємодії) між ними ураховуються

відповідними знаками складових (зовнішньому входу до кожного елемента відповідає -1 , а виходу $+1$).

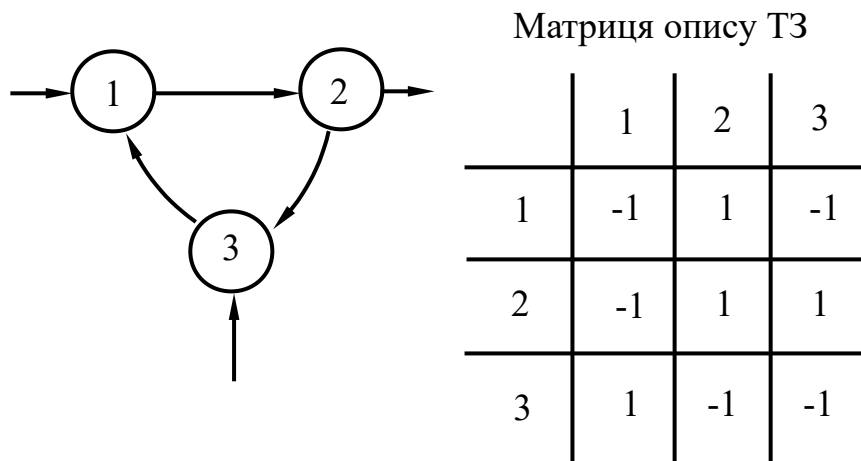


Рисунок 4.3 – До опису ТЗ у матричному вигляді

Розглянуті види формалізованих описів ТЗ є основою для розробки ФММ. При цьому у САПР переважно використовуються описи у матричному вигляді.

Отримані при ФП технічного засобу результати є базою для **структурного проектування (СП)**, яке спрямоване на пошук технічних рішень, що забезпечують конструкторське відтворення принципів схем, робочих процесів, різноманітних характеристик у межах певної загальної будови ТЗ. При цьому проробляється компонування окремих модулів конструкції агрегатів, вузлів, конструкційних елементів, виконується конструювання окремих деталей, розробляються їх робочі креслення і оформлюється уся необхідна конструкторська документація.

В основі СП містяться процедури **синтезу**, за допомогою яких генерується конкретна конструкція ТЗ, що проектується.

За своєю складністю проектно-конструкторські задачі синтезу поділяються (*від найпростіших – до найскладніших*) на п'ять рівнів.

До **першого рівня** належать задачі, які потребують виконання тільки параметричного синтезу, а загальна конструкція (*структура*) об'єкта визначена або змістом технічного завдання, або результатами ФП.

До **другого рівня** належать комбінаторні задачі, коли синтез конструкції ТЗ здійснюється на основі повного перебору відомих технічних рішень, які містяться в кінцевих (*обмежених*) множинах. При цьому використовуються алгоритми, що забезпечують по чергове отримання і аналізування усіх складових множини конструкцій за прийнятний час.

До **третього рівня** належать конструкторські задачі, які не можуть вирішуватися шляхом повного перебору відомих технічних рішень з їх обмеженої множини, що пояснюється або можливостями існуючих технічних і програмних засобів, або відповідними обмеженнями (*часу, простору та ін.*). Прикладами таких задач є задачі компоновання технічних засобів з урахуванням заданих габаритних розмірів, розміщення заданого обладнання в обмеженому просторі, більшість процедур оформлення конструкторської документації.

До **четвертого рівня** належать задачі пошуку варіантів конструкції ТЗ у необмежених множинах технічних рішень. Формалізація таких задач становить найбільші труднощі, але їх вирішення дає можливість отримати нові оригінальні патентозахищені технічні рішення.

До **п'ятого рівня** відносять надскладні задачі синтезу конструкції ТЗ, вирішення яких є проблематичними, бо синтез конструкції шляхом використання множин відомих технічних рішень є неможливим (*немає прототипів і аналогів*). Рішення таких задач еквівалентне до пропонування принципово нових основ побудови цілого класу ТЗ (*наприклад, мехатронних технічних засобів нового покоління*).

Слід зазначити, що залежно від типу **синтезуючих структур (конструкцій)** при автоматизованому проектуванні вирішуються задачі **одномірного, схемного і геометричного синтезу**.

При **одномірному синтезі** відбувається упорядкування елементів структури в одномірних просторах (*наприклад, синтез маршрутів проектування, технологічних процесів виготовлення деталей та ін.*).

При **схемному синтезі** визначається структура (*загальна конструкція*) об'єкта без конкретизації його геометричних форм (*синтез структурних, кінематичних, функціональних, електричних схем та ін.*).

При **геометричному синтезі** відбувається конкретизація геометричних характеристик конструкції ТЗ, що проектується, оформлюється відповідна конструкторська документація. При цьому вирішуються задачі позиціонування – взаємного розташування у просторі деталей з визначеними геометричними формами (*компонування модулів і елементів конструкції ТЗ, вибір баз для механічної обробки складних за формою деталей та ін.*), а також **синтезу поверхонь і траєкторій** – конструювання деталей з поверхнями, які обтікають потоки газів або рідин (*лопатки турбіни, газоповітряні канали кришки циліндрів комбінованих двигунів внутрішнього згоряння та ін.*), синтез траєкторій руху робочих органів ТЗ, промислових роботів та ін.

Головну роль у вирішенні розглянутих задач синтезу у процесі СП відіграє математичне моделювання на ЕОМ на основі використання відповідних **структурних математичних моделей (СММ)**, для розробки яких використовуються відповідні формалізовані описи конструкції ТЗ.

Сучасні способи формалізованого опису ТЗ на етапах СП базуються на використанні розглянутих раніше принципів ієрархічності і блочності.

Для опису конструкції одного ТЗ зручно використовувати відповідне **«І»-дерево**, фрагмент якого в узагальненому вигляді показаний на рисунку 4.4. Воно являє собою сукупність пов'язаних між собою вершин і ребер. Видно, що опис конструкції поділений на яруси (*ієрархічні рівні*), а вершини на кожному ярусі відображають відповідні складові частини ТЗ, що проектується.

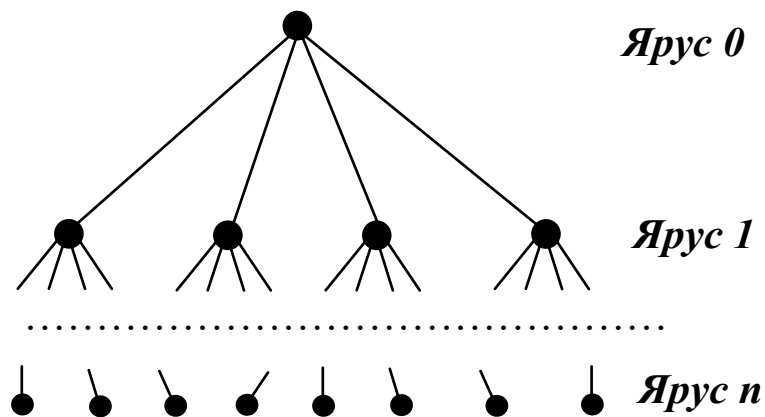


Рисунок 4.4 – Фрагмент «I»-дерева

Єдина вершина нульового ярусу називається **кореневою** – це сам проєктований ТЗ (наприклад, комбінований двигун внутрішнього згоряння). Вона з’єднується ребрами з вершинами першого ярусу (поршневий двигун, паливна система, система наддування, система охолодження та ін.), кожна з яких з’єднується з вершинами другого ярусу (відповідними складовими частинами). Нарешті, вершини n -го ярусу – **листя**, відповідають базовим елементам, що далі вже не діляться на складові (поршень, колінчатий вал, гвинт та ін.).

При створенні САПР у більшості випадків використовуються описи не одного ТЗ, а певного класу ТЗ. При цьому використовуються відповідні «I-АБО»-дерева (рисунок 4.5).

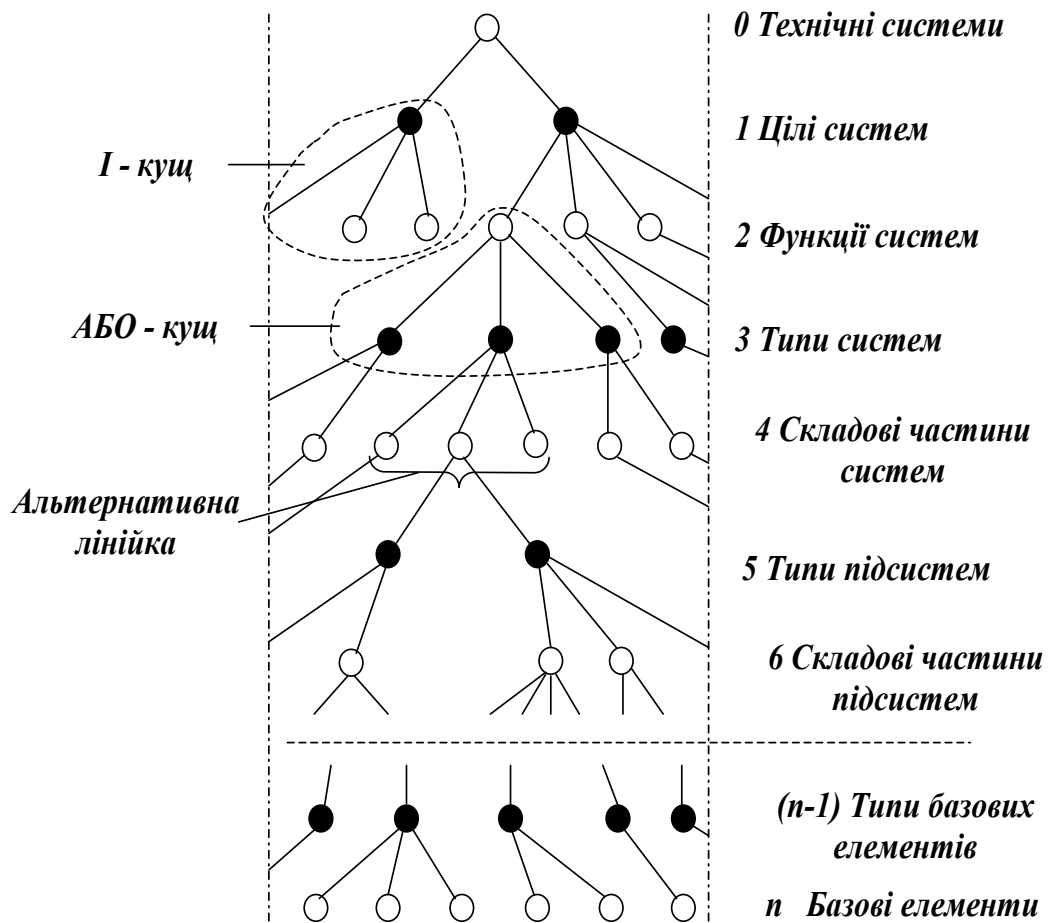


Рисунок 4.5 – Фрагмент «І-АБО»-дерева

В «І-АБО»-дереві коренева вершина відповідає певному класу ТЗ (наприклад, локомотиви). Вершини першого ярусу – цільовому призначенню окремих ТЗ (локомотиви вантажні, пасажирські, маневрові). Кожній такій вершині відповідають вершини другого ярусу – відображають властивості (функції) системи (секційність локомотива, потужність та ін.). Ці яруси можуть бути віднесені до ФП класу ТЗ, що розглядається.

Вершини нижчих ярусів використовуються для відображення блочно-ієрархічної структури ТЗ, тобто типів і складових частин ТЗ (як системи), відповідних підсистем, і так – до базових елементів.

При використанні «І-АБО»-дерев розглядаються окремі кущі. **Кущ типу «І»** – це частина дерева, яка складається з однієї вершини «І» і усіх з'єднаних з нею вершин «АБО» сусіднього нижнього ярусу» (складових частин цієї вершини «І»). **Кущ типу**

«АБО» об'єднує одну вершину «АБО» з усіма відповідними вершинами «І» нижнього ярусу. Сукупність вершин «АБО» у кущі «І» отримала назву **альтернативної лінійки** (*альтернативні варіанти конструкційного модуля вершини «АБО»*).

На основі використання розглянутих вище формалізованих описів ТЗ розробляються необхідні для автоматизованого проектування функціональні та структурні математичні моделі.

Список літератури

- 1 Системы автоматизированного проектирования: в 9 кн. / Под ред. И.П. Норенкова. – Минск: Высшая школа, 1987.
- 2 Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебн. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
- 3 Юревич Е.И. Проектирование технических систем: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 96 с.
- 4 Мороз В.І., Братченко О.В., Ліньков В.В. Основи конструювання і САПР: Навч. посібник. – Харків: ПП вид-во “Нове слово”, 2003. – 194 с.

