

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/***/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 1

САПР – система автоматизованого проектування. Як правило мова іде про певний вид технічного об’єкту або системи (металевих конструкцій, принципів схем, тощо). Слово “Автоматизованого” передбачає те, що роль людини у проектуванні виключається не повністю. Близький англійський термін – CAD system. \*CAD – computer-aided design.

### Зміст предмету “Основи САПР”

Вивчення САПР включає наступні питання:

1. Теорія САПР.
  - 1.1. Призначення, класифікації, загальні принципи будови САПР.
  - 1.2. Складові (види забезпечень) САПР
  - 1.3. Проектування САПР (Принципи, підходи до створення нових САПР).
2. Практичний (користувацький) аспект САПР (Використання існуючих САПР)
  - 2.1. САПР конкретних видів технологічних систем, об’єктів або галузей.

### Коротка класифікація САПР

1. За видом математичної моделі, що покладена в основу (на якій базується) та чи інша САПР:

– системи каркасного, поверхневого та твердотілого моделювання;

2. За розмірністю моделі:

– двомірною та тримірною моделювання

3. За рівнем функціональності:

– верхнього

– середнього

– нижнього рівнів.

Функціональність визначає обсяг та складність вирішуваних задач та корелює (співвідноситься) з вимогами до обчислювальних ресурсів (“важкістю програмного забезпечення”), швидкістю, складністю навчання роботи з САПР та вартістю.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __/2

САПР верхнього рівня – системи, що дозволяють виконувати повноцінне проектування як конструкцій виробів, так і технологічних процесів по їх виготовленню (Pro/ENGINEER, CATIA/CADAM Solutions, Unigraphics).

САПР нижнього рівня – як правило креслярські програми, що також можуть мати можливість виконання деяких інженерних розрахунків, або САПР відносно обмеженої функціональності. Іноді до нижнього рівня відносять спеціалізовані САПР або лише певні функціональні модулі САПР (система трасування з'єднань на друкованих платах, система автоматичного складання керуючих програм для верстатів з ЧПУ тощо) (T-FLEX, bCAD , КОМПАС).

Середнього – проміжна ланка, як правило, це професійні системи тримірного моделювання, що працюють з моделями великих за розмірами та кількістю елементів об'єктами (SolidEdge, SolidWorks, VX Vision, AutoCAD).

4. За видом технічних об'єктів, систем або галузі:

– САПР машинобудування (машинобудівні MCAD – Mechanical CAD): AutoCAD.

– САПР для радіоелектроніки (Electronic CAD, EDA – electronic design automation), приклад: PCAD;

– САПР в області архітектури та будівництва, приклад: ArchiCAD.

Зокрема за конкретними видами об'єктів, що проектуються: САПР двигунів, редукторів, розрахунку трансформаторів, блоків живлення, САПР великих інтегральних мікросхем тощо.

5. За характером базової підсистеми:

– на основі машинної графіки та геометричного моделювання;

– на основі СУБД;

– на базі конкретного прикладного пакету (розрахунок міцності, синтезу систем керування, трасування з'єднань друкованих плат, імітаційного моделювання виробничих процесів).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 3

## Поняття технічної системи як об'єкту проектування в САПР

Як було вже вказано кожна САПР має свій об'єкт проектування – те, що створюється за допомогою тієї чи іншої САПР. Такими об'єктами загалом є технічні системи.

Техніка (гр. “технікос” – мистецтво, майстерність) – сфера діяльності людини, що відноситься до задоволення її матеріальних потреб в умовах суспільного життя, потреб, пов'язаних із суспільно-корисною працею людини. З іншої сторони, термін “техніка” використовується для позначення самих засобів праці людини (технічних засобів та систем).

Технічною системою (ТС) називається сукупність засобів людської діяльності, що створюються для здійснення виробничого процесу та задоволення невиробничих потреб суспільства, тобто соціальних потреб людини (включаючи матеріальні).

Технічні системи можна класифікувати за галузевим принципом:

- в промисловості
- в сільському господарстві
- у невиробничій сфері

В промисловості:

- ТС обробної промисловості (сфери переробки інформації, енергії та матеріалів).
- ТС видобувної промисловості (сировини, палива)

До обробної галузі належать:

- приладобудування, енергетика, машинобудування, металургія, хімічна промисловість, харчова, легка промисловість тощо.

Відповідно та чи інша ТС є предметом відповідної галузі та технічної науки: машинобудування, хімічної технології, електроенергетики тощо.

ТС можуть ділитися на рівні (за складністю):

- найвищого (ділянка цеху, електростанція, тощо)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 4

– нижчих рівнів: машини, механізми, пристрої.

## Механізація та автоматизація як засоби підвищення продуктивності праці

Вічною проблемою, яка виникає в процесі діяльності людини, в тому числі в процесі задоволення матеріальних потреб, є збільшення продуктивності праці. Впродовж розвитку суспільства ця проблема вирішувалась шляхом створення (проекування), вдосконалення та розвитку знарядь праці – технічних засобів (теж відносяться до ТС). Суттєвим кроком в процесі підвищення продуктивності праці була механізація – заміна фізичної праці людини роботою машин та механізмів. При цьому вони самі можуть бути як простими знаряддями праці, так і складними системами та пристроями. Особливість засобів механізації – відсутність у таких систем властивостей приймати рішення без людини (керувати діями). Кожна дія в засобах механізації ініціюється безпосередньо певною дією людини. Механізація була передумовою промислової революції в суспільстві.

Люди, які займалися створенням (проекуванням), впровадженням та модифікацією нових машин та механізмів, отримали назву інженери (фр. інжененіум – здібність, винахідливість).

В той же час наступним кроком підвищення продуктивності праці стала автоматизація – процес звільнення людини від функцій безпосереднього керування роботою машин та механізмів. Пристрої, які поєднують в собі дві функції: виконання роботи та керування нею, отримали назву автомати (гр. автоматос – самодіючий), а відповідний спосіб підвищення продуктивності праці – автоматизація. Існує визначення терміну автоматизація – сукупність засобів, методів та підходів, що звільняють людину від безпосередньої участі у відповідних процесах (перетворення матерії, енергії, інформації). Є повна та часткова. Виробничі процеси, де участь людини виключалась повністю, стали називати автоматичними, якщо частково – автоматизованими.

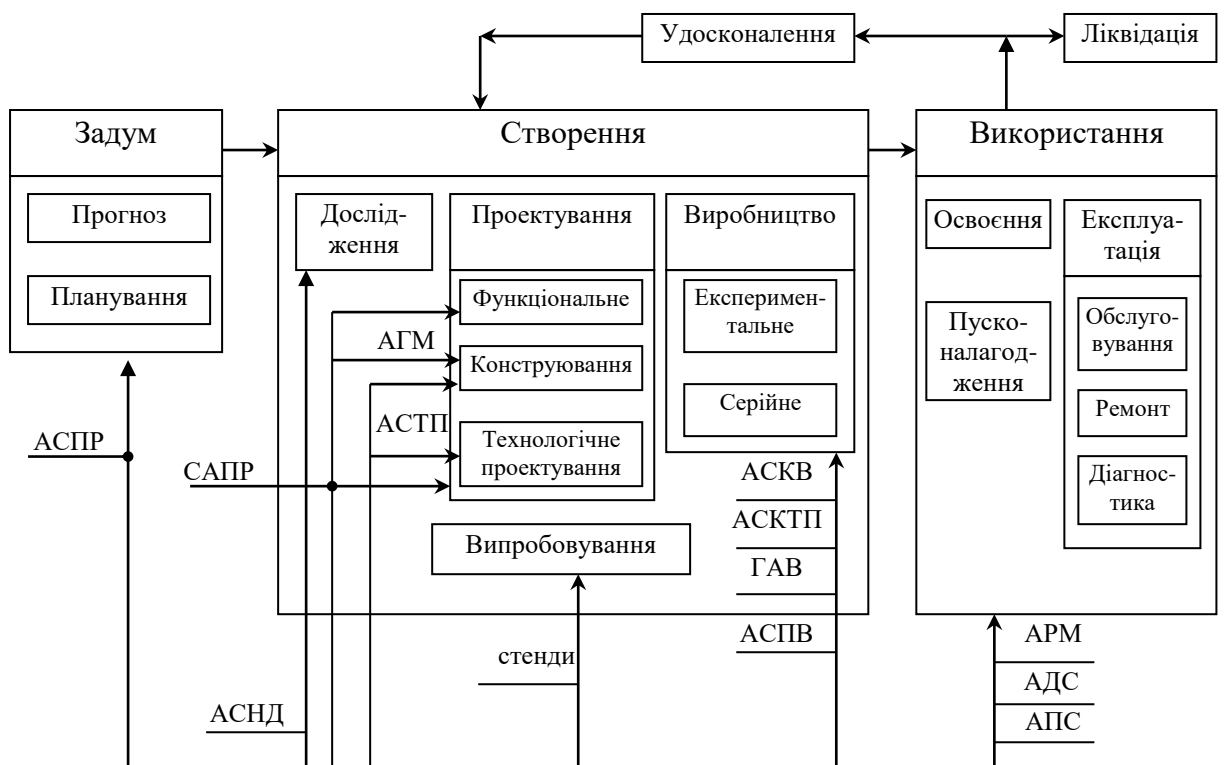
З іншої сторони, при створенні (проектванні) нових та модифікації існуючих засобів механізації та автоматизації перед інженерами виникла проблема підвищення продуктивності власне процесу проектування нових ТС – тобто розумової, творчої праці людини, а не лише фізичної. Цей процес став основою науково-технічної революції.

При цьому актуальною проблемою стала тенденція швидкої зміни номенклатури виробів, що була обумовлена необхідністю зменшення вартості та підвищення якості (покращення функціональності, швидкодії, ергономічності, економічності) виробів, особливо в умовах конкуренції. Тому актуальною стало питання створення засобів автоматизації процесів проектування. Такі засоби отримали назву системи автоматизованого проектування.

Зазначимо, що засоби автоматизації можуть застосовуватись на різних етапах створення, використання та переробки продукції.

### Життєвий цикл технічної системи

Сукупність етапів, що включають процеси створення, виготовлення, використання, модернізації або ліквідації (утилізації) виробів, називають життєвим циклом виробу/продукції/ТС. Розглянемо одне з можливих представлень схеми ЖЦ продукції [1, п.1.3]:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __/б

КІТ – комп’ютерно-інформаційні технології  
 АСПР – автоматизована система планових робіт  
 САПР – система автоматизованого проектування  
 АСНД – автоматизована система наукових досліджень  
 АГМ – автоматизація геометричного моделювання  
 АСТП – автоматизована система технологічної підготовки (виробництва)  
 АСКВ – автоматизована система керування виробництвом  
 АСКТП – автоматизована система керування ТП  
 ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво  
 АСПВ – автоматизована система підготовки виробництва  
 АРМ – автоматизоване робоче місце  
 АДС – автоматизована довідникова система  
 АПС – автоматизована пошукова система

## Проектування ТС

Згідно з ГОСТ 22487-77, проектуванням називають процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об’єкта, та (або) алгоритму його функціонування або алгоритму процесу за допомогою перетворення (можливо неодноразового) початкового опису та за допомогою оптимізації характеристик об’єкта і алгоритму його функціонування або алгоритму процесу, при усуненні некоректності початкового опису та за допомогою початкового подання (при необхідності) описів різними мовами.

Проектування можна розуміти в широкому та вузькому значенні.

В широкому значенні слова під проектуванням розуміють комплекс робіт щодо дослідження, розрахунків та конструювання на основі перетворення початкового опису об’єкта з метою отримання опису (комплекту конструкторської та технологічної документації), необхідного та достатнього для створення нового виробу або реалізації нового процесу. В зв’язку з цим процес проектування будь-якої ТС можна поділити на такі етапи:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/***_ 20__
	Екземпляр № 1	Арк __/7

– функціональне проектування (що має робити виріб): визначення принципів функціонування, розробка структурної та (принципової ???) функціональної схем ТС;

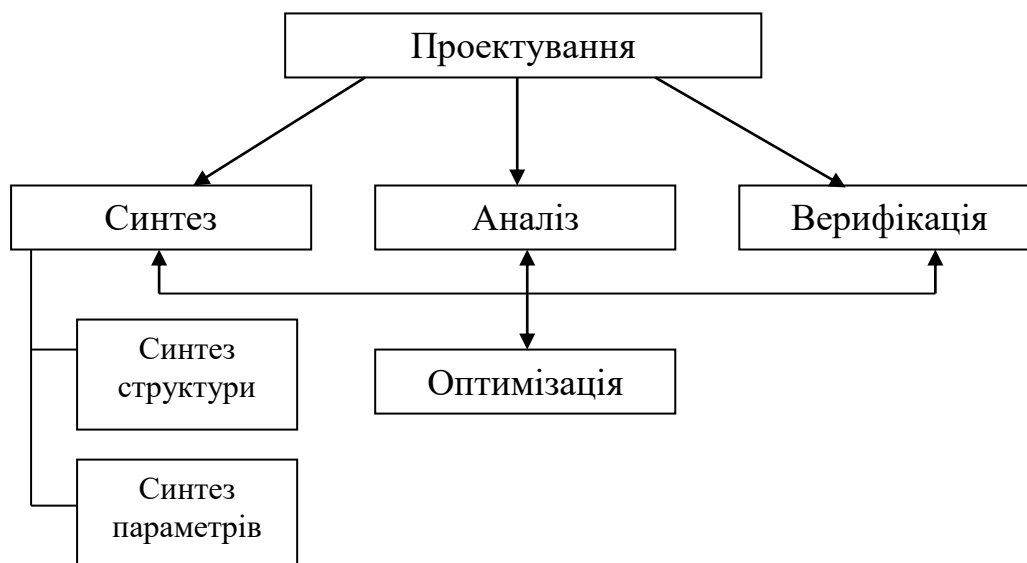
– конструкторське проектування (конструювання): “матеріалізація” ідеї, отриманої на функціональному етапі (вибір матеріалів, визначення форми складових елементів, способів з’єднання в систему, взаємного розташування конструкцій, виготовлення документації);

– технологічного проектування (як виготовити спроектований виріб): проектування технологічних процесів виготовлення конструкцій, отриманих на попередньому етапі, що включає розробку маршрутної та операційної технології, вибір оснащення, схем базування деталей, розробку програм керування для технологічного обладнання тощо.

У вузькому значенні під проектуванням розуміють тільки етап функціонального проектування, де визначається головна відмінність об’єкту, що створюється заново, – його принцип функціонування.

Синонім поняттю “проект” у вузькому розумінні є слово “задум”, в широкому розумінні – опис виробу, документація на виріб.

### Типові проектні процедури (етапи) процесу проектування



Синтез – створення нового (чергового) проектного варіанту

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/***_ 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 8

Аналіз – розрахунок значень показників (параметрів)

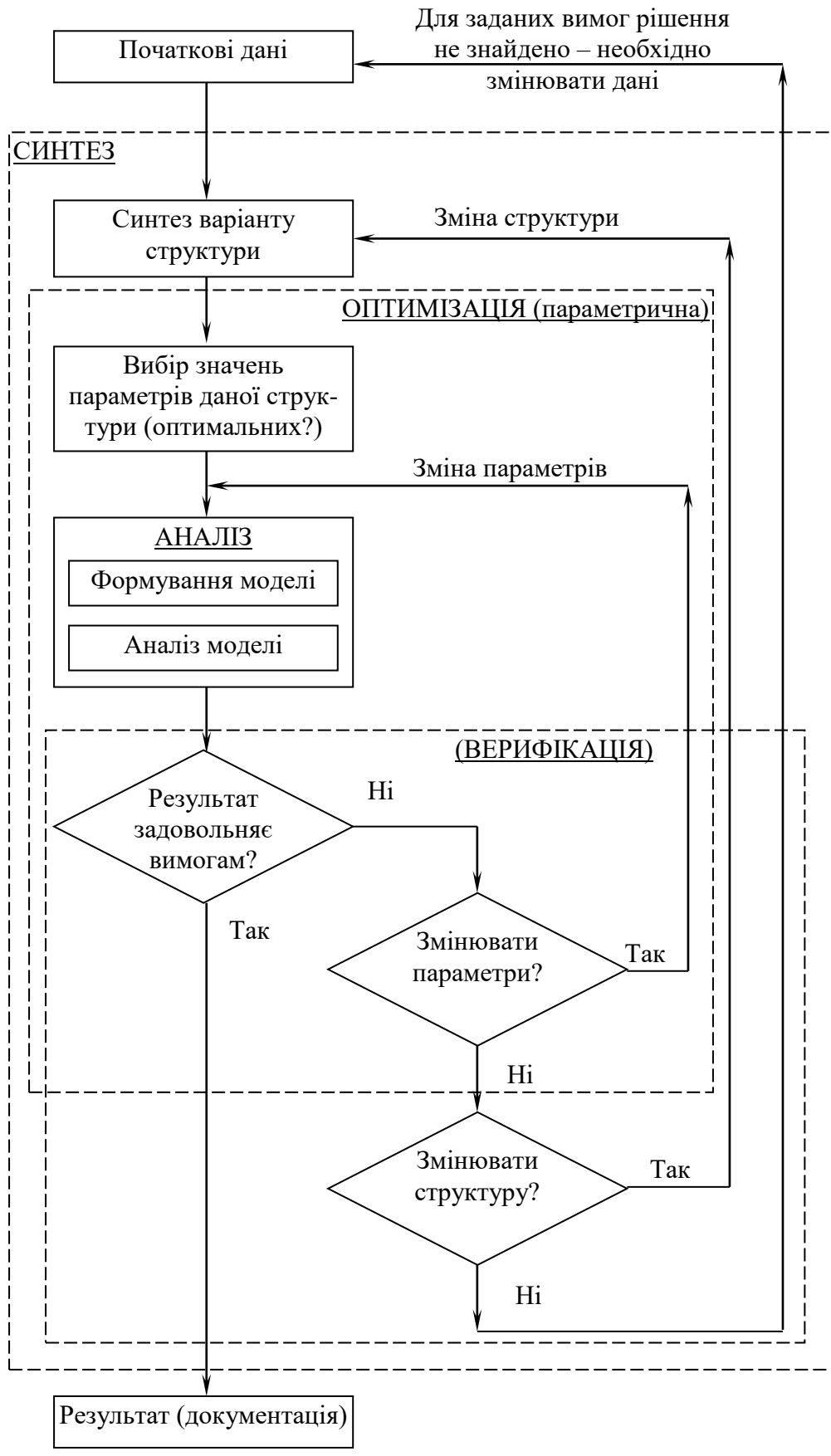
Верифікація – перевірка на відповідність вимогам та обмеженням, що висуваються до результату проектування.

Оптимізація – процедура пошуку найкращого за певними показниками (критеріями) варіанту.

Синтез може бути структурний та параметричний. Структура визначає набір складових (елементів) та зв'язків між ними. Параметри визначають кількісні характеристики елементів та зв'язків. Наприклад, для підсилювача: структура – кількість каскадів, параметри – коеф. підсилення кожного з каскадів. Для технол. процесу механообробки: структура – кількість операцій, параметри – режими різання на кожній операції.

Проектування може вестися до першого задовільного варіанту (за обмеженнями) або формуватись множина задовільних варіантів, з яких обирається оптимальний за певними показниками. Розглянемо схему проектування до першого задовільного варіанту.





Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 10

В даній схемі ядром процесу проектування є процедура аналізу, яка багаторазово повторюється в ітераційному циклі процесу проектування. Процедура аналізу складається з двох компонентів: формування математичної моделі та її аналіз. Структура ММ може бути визначена наперед, але для кожного проектного варіанту формуються параметри моделі. Етап аналізу в ряді випадків називають інженерними розрахунками (коли результатом є розрахована величина – показник міцності, масоінерційні характеристики тощо). В інших випадках – моделюванням (коли треба визначити поведінку системи – побудова перехідних процесів, імітаційне моделювання виробничої ділянки тощо). В свій час саме в області аналізу ММ (як в найбільш громіздкій задачі) вперше виникла ідея застосування комп'ютерів для підвищення продуктивності розумової праці, тобто ідея автоматизації інженерних розрахунків. Пізніше ця ідея поширилась на інші складові проектування: синтез, оптимізацію та інші задачі. Так виникло поняття автоматизації проектування ТС.

Зазначимо також, що на даній схемі процедура оптимізації не охоплює задачу синтезу структури, а лише параметрів – параметрична оптимізація. Також сама сутність оптимізації тут не є очевидна, оскільки не вказані пошукові процедури, які реалізують перехід до кращих варіантів. Розуміти можна так: або формується (розраховується) початковий варіант відразу з оптимальними параметрами, які далі змінюються (варіюються) до моменту відповідності всім вимогам та обмеженням; або вимоги сформульовані так (взаємопротирічливо), що процес підлаштування під них змістовно є процедурою оптимізації (пошук компромісного варіанту).

Загалом, оптимізація, верифікація та прийняття рішень можуть бути присутні на кожному з етапів проектування.

В залежності від реалізації кожної з процедур та загальної ідеології функціонування тієї чи іншої САПР, послідовність та взаємозв'язок проектних процедур може бути досить різний (ітераційний або ні; відбувається пошук оптимального варіанту серед множини можливих або відразу синтезується оптимальний варіант певними мат. методами оптимізації).

Цей зв'язок визначає типовий маршрут (типову структуру) проектування.

Розглянемо маршрут (схему) проектування, що передбачає оптимізацію на множині згенерованих задовільних варіантів методом повного перебору.

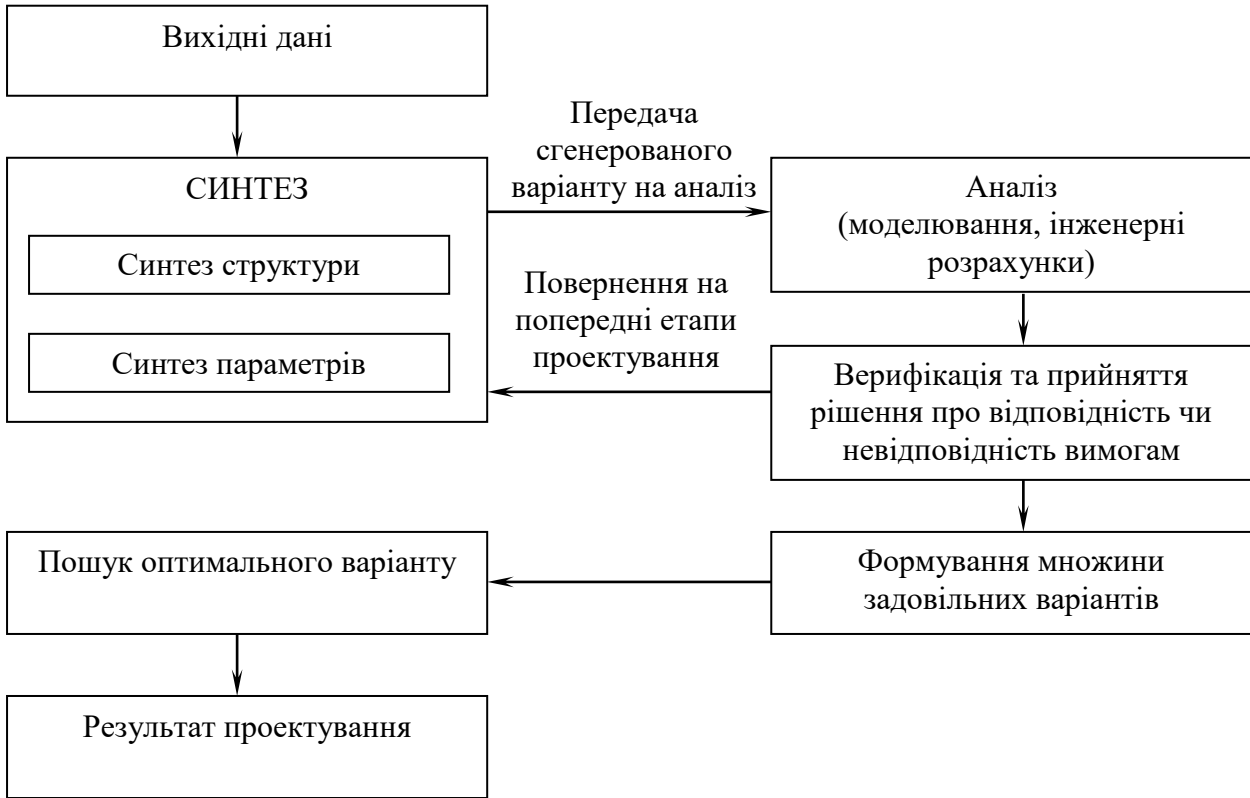
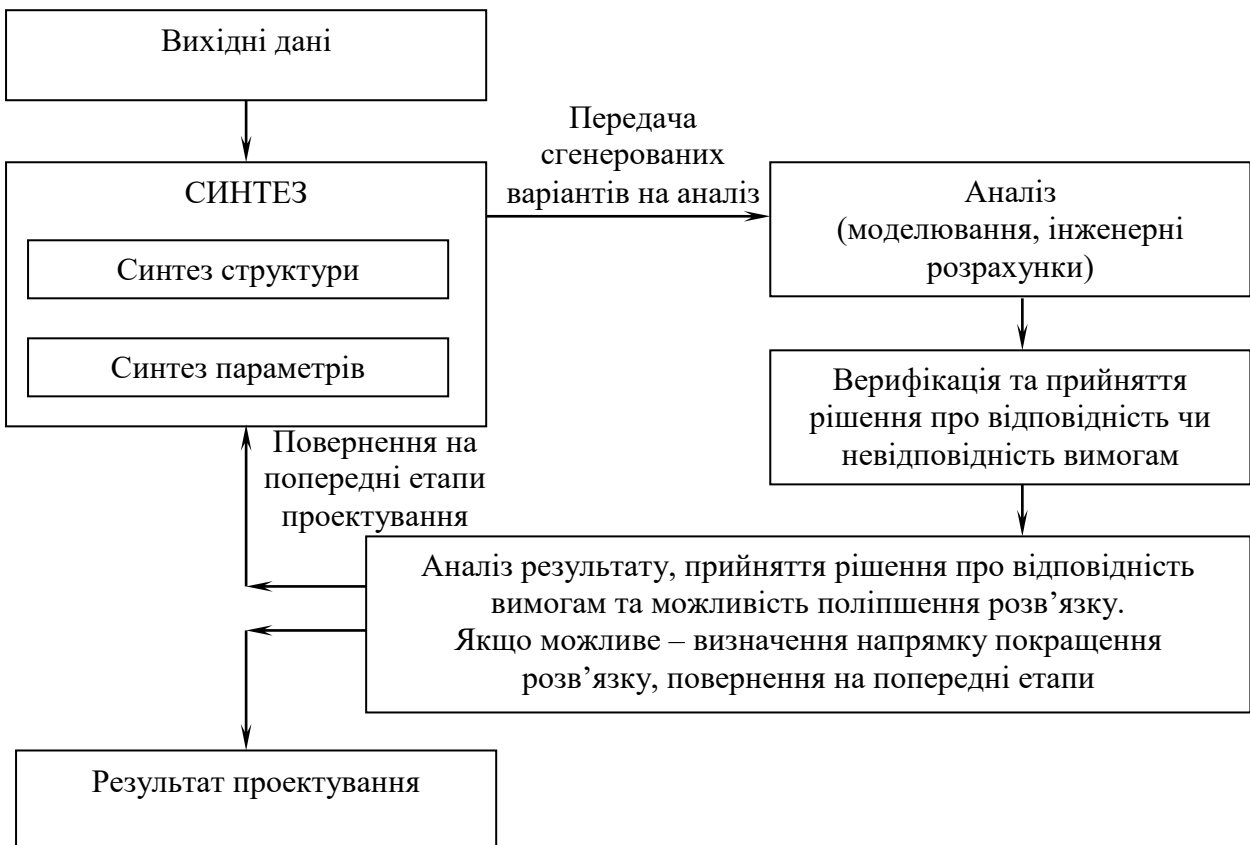


Схема проектування з направленою оптимізацією:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/***/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 12

Процес проектування може бути багатоетапним/багатостадійним (містити процедури синтезу, аналізу та верифікації окремо на кожному з етапів). Тоді на кожному з етапів можуть відкидатися ті варіанти, що заздалегідь (апріорно) не задовольняють вимогам, а подальші стадії проектування виконується лише на основі придатних рішень.

### **Сутність автоматизованого проектування та види забезпечень САПР**

Згідно ГОСТ 22487-77, автоматизованим проектуванням (АП) називається проектування, при якому окремі перетворення опису об'єкта та (або) алгоритму його функціонування або процесу, а також перетворення описів різними мовами відбувається у взаємодії людини та комп'ютера.

Системою автоматизованого проектування (САПР) називається комплекс засобів автоматизованого проектування, взаємопов'язаних з необхідними підрозділами проектної організації чи колективом спеціалістів, який виконує автоматизоване проектування.

Загалом можна вважати, що САПР є організаційно-технічним комплексом, призначеним для автоматизації проектування об'єктів на всіх етапах: від видачі технічного завдання до отримання технічної документації.

Якщо цей процес автоматизований лише на певних етапах, маємо часткові випадки: системи автоматизованого моделювання, системи автоматизованої підготовки документації тощо.

Побудова і функціонування САПР базується на певних засобах, які називають компонентами або видами забезпечення САПР.

Згідно з ГОСТ 2248-77 до САПР входять наступні компоненти: технічне, програмне, лінгвістичне, інформаційне, математичне, методичне та організаційне забезпечення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10-05.01/***/***-20
	Екземпляр № 1	Арк ___ / 13

Технічним забезпеченням АП називається сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування. – апаратна частина САПР, тобто комп'ютери та комп'ютерні мережі.

Програмним забезпеченням АП називається сукупність програм, представлених у заданій формі і призначених для виконання автоматизованого проектування.

Інформаційним забезпеченням АП називається сукупність даних, необхідних для виконання АП. – технічні характеристики, таблиці і бази даних тощо. Іноді включають також формалізовані описи та моделі.

Лінгвістичним забезпеченням АП називається сукупність мов програмування, включаючи терміни та означення, правила формалізації природної мови та методи стиснення та розгортання текстів, необхідних для виконання АП в заданій формі. – термінологія, правила формалізації, принципи створення моделей та записів формалізованих описів.

Математичним забезпеченням (МЗ) АП називається сукупність математичних методів, математичних моделей та алгоритмів проектування, необхідних для виконання автоматизованого проектування і представлених у заданій формі. Як правило, це формалізовані описи, моделі, методи оптимізації, методи розв'язку задач.

Часто з МЗ окремо виділяють алгоритмічне забезпечення – сукупність алгоритмів розв'язку задач, безпосередньо готових до використання в САПР.

Методичним забезпеченням АП називають сукупність документів, що встановлюють склад та правила вибору та експлуатації засобів забезпечення АП, необхідних для виконання АП (вказівки, як працювати з програмами САПР, як готувати вихідні дані, як інтерпретувати результати).

Організаційним забезпеченням АП називається сукупність документів, що встановлюють склад проектної організації та її підрозділи, зв'язок між ними, їх функції, а також форму подання результатів проектування та порядок розглядання проектних документів, необхідних для виконання АП (Правила використання САПР та організації роботи працівників із САПР).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф20.10- 05.01/**/***_ 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 14

\* різні види забезпечень вивчалися в різних предметах.