

Донбаська державна машинобудівна академія

Кафедра Підйомно-транспортних машин

Розглянуто і схвалено  
на засіданні кафедри підйомно-  
транспортних машин  
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Дорохов М.Ю.

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни  
«Автоматизоване проектування ПТМ»

галузь знань 13 – «Механічна інженерія»

спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»

ОПП «Галузеве машинобудування»

Професійне спрямування Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, мелі-  
оративні машини та обладнання

Факультет Машинобудування

Розробник: Бережна О.В., доц. кафедри ПТМ, д.т.н,

Краматорськ – 2019 р.

## Лекція 1. Введення

### 1.1. Введення в САПР

Автоматизація проектування займає особливе місце серед інформаційних технологій. По-перше, автоматизація проектування - синтетична дисципліна, її складовими частинами є багато інших сучасні інформаційні технології. Так, технічне забезпечення систем автоматизованого проектування (САПР) засновано на використанні обчислювальних мереж і телекомунікаційних технологій, в САПР використовуються персональні комп'ютери і робочі станції.

Математичне забезпечення САПР відрізняється багатством і різноманітністю використовуваних методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту. Програмні комплекси САПР відносяться до числа найбільш складних сучасних програмних систем, заснованих на операційних системах Unix, Windows 95 / NT, мовах програмування C, C++, Java і інших, сучасних CASE технологіях, реляційно-орієнтованих системах управління базами даних (СКБД), стандартах відкритих систем і обміну даними в комп'ютерних середовищах.

По-друге, знання основ автоматизації проектування і вміння працювати із засобами САПР потрібно практично будь-якому інженеру розробнику. Комп'ютерах терміни насичені проектні підрозділи, конструкторські бюро та офіси. Робота конструктора за звичайним кульманом, розрахунки за допомогою логарифмічної лінійки або оформлення звіту на друкарській машинці стали анахронізмом. Підприємства, що ведуть розробки без САПР або лише з малим ступенем їх використання, оказують неконкурентоспроможними як через великих матеріальних і тимчасових затрат на проектування, так і з за невисокої якості проектів. Поява перших програм для автоматизації проектування за кордоном і в СРСР відноситься до початку 60-х рр. Тоді були створені програми для вирішення завдань будівельної механіки, аналізу електронних схем, проектування друкованих плат.

Подальший розвиток САПР йшло по шляху створення апаратних і програмних засобів машинної графіки, підвищення обчислювальної ефективності програм моделювання та аналізу, розширення областей застосування САПР, спрощення пользовательського інтерфейсу, впровадження в САПР елементів штучного інтелекту.

До теперішнього часу створено велику кількість програмно методичних комплексів для САПР з різними ступенем спеціалізації і прикладної ориєнтацією. Внаслідок автоматизація проектування стала необхідною складовою частиною підготовки інженерів різних спеціальностей; інженер, який не володіє знаннями і не вміє працювати в САПР, не може вважатися повноцінним спеціалістом.

Підготовка інженерів різних спеціальностей в області САПР включає базову і спеціальну компоненти. Найбільш загальні положення, моделі та методики автоматизованого проектування входять в програму курсу, присвяченого основам САПР, більш детальне вивчення тих методів і програм, які специфічні для конкретних спеціальностей, передбачається в профільних дисциплінах.

### 1.2. Поняття інженерного проектування

Проектування технічного об'єкта - створення, перетворення і пред-дання в прийнятій формі образу цього ще не існуючого об'єкта. Про раз об'єкта або його складових частин може створюватися в уяві людини в ре-док творчого процесу або генеруватися відповідно до деякими ал-горітмами в процесі взаємодії людини і ЕОМ. У будь-якому випадку інженерне проектування починається при наявності вираженої потреби суспільства в неко-торих технічних об'єктах, якими можуть бути об'єкти будівництва, примушує-лені вироби або процеси. Проектування включає в себе розробку технічної пропозиції і (або) технічного завдання (ТЗ), що відображають ці потреби, і реалізацію ТЗ у вигляді проектної документації.

Зазвичай ТЗ подають як деяких документів. Результатом проекти-вання, як правило, служить повний комплект документації, який містить доста-точні відомості для виготовлення об'єкта в заданих умовах. Ця документація та є проект або точніше опис об'єкта. Більш коротко, проектування - про-процес, що полягає в отриманні і перетворенні вихідного опису об'єкта в остаточне опис на основі виконання комплексу робіт дослідницького, розрахункового і конструкторського характеру.

Перетворення вихідного опису в остаточне породжує ряд переможе-точних описів, що підводять підсумки рішення деяких завдань і використовуваних для обговорення і прийняття проектних рішень для закінчення або продовження про-ек-тування.

Проектування, при якому всі проектні рішення або їх частину отримують шляхом взаємодії людини і ЕОМ, називають автоматизованим на відміну від ручного (без використання ЕОМ) або автоматичного (без участі людини на проміжних етапах). Система, яка реалізує автоматизоване проектування, являє собою систему автоматизованого проектування (в англійській мові написано CAD System - Computer Aided Design System).

Автоматичне проектування можливо лише в окремих приватних випадках для порівняно нескладних об'єктів. Переважаючим в даний час є автоматизоване проектування.

Проектування складних об'єктів засноване на застосуванні ідей і принципів, викладених у ряді теорій і підходів. Найбільш загальним підходом є системний підхід, ідеями якого пронизані різні методики проектування складність них систем.

### 1.3. Системний підхід до проектування

Основні ідеї та принципи проектування складних систем виражені в системному підході. Для фахівця в області системотехніки вони є очевидний-ними і природними, проте, їх дотримання і реалізація найчастіше пов'язані з певними труднощами, обумовлює особливості проектування. Як і більшість дорослих освічених людей, правильно використовують рідну мову без залучення правил граматики, інженери використовують системний підхід без звернення до посібників з системного аналізу. Однак інтуїтивний підхід без застосування правил системного аналізу може виявитися недостатнім для вирішення все більш ускладнюються, інженерної діяльності.

Основний загальний принцип системного підходу полягає в розгляді частей явища або складної системи з урахуванням їх взаємодії. Системний підхід

виявляє структуру системи її внутрішні та зовнішні зв'язки.

Системи автоматизованого проектування і управління відносяться до числа найбільш складних сучасних штучних систем. Їх проектування та опору-водіння неможливі без системного підходу. Тому ідеї і положення системо-техніки входять складовою частиною в дисципліни, присвячені вивченню сучасних автоматизованих систем і технологій їх застосування.

## 1.1 Необхідність застосування САПР

Інтегрування РБ в світову економіку неможливо без підвищення еф-ності виробництва за рахунок впровадження нових прогресивних технологій і організації праці. Здійснити це можливо лише за умови впровадження різних систем автоматизації, як розробки, так і виготовлення та впровадження виробів.

Крім того, постійне посилення вимог до електронної апаратури (ЕА) по точності, перешкодозахищеності, чутливості, надійності веде до значного ускладнення виробів та, в кінцевому рахунку, - до виникнення суперечності між вимогами до ЕА і конкретним виробничим можливостям їх задоволення:

1. чим складніше ЕА, тим більш трудомістка її розробка (Терміни розробки збільшуються);

2. збільшується ймовірність отримання негативного результату (Швидке моральне старіння ЕА, при тривалій розробці ЕА може застаріти до закінчення її розроблення).

Зниження термінів розробки досягається 2 шляхами:

1. Збільшення кількості розробників

недоліки:

а) Кількість фахівців обмежена;

б) зменшується питома продуктивність праці;

в) знижується ефективність управління процесом проектування і виробництва;

г) Збільшується вартість розробки;

д) Збільшується число помилок в проекті (додаються помилки узгодження між-ду окремими частинами проекту).

## 2. Застосування автоматизованого проектування

Проектування - процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об'єкта, на основі первинного опису цього об'єкта і (або) алгоритму його функціонування.

Модель задоволення суспільних потреб у výroбах (рисунок 1.1). На всіх стадіях можливе застосування автоматизованих систем.

Етапи «народження», «життя» і «смерть» виробу взаємопов'язані і рішення задач по їх оптимального проектування і виробництва має здійснювати-ся комплексно на основі врахування всіх етапів. Необхідно цілісне всебічне розширення всіх питань проектування і виробництва виробів з урахуванням їх розвитку на інших етапах у процесі взаємодії з навколишнім середовищем і людським суспільством. Такий підхід до проектування і виробництва називається системним.

Для позбавлення розробників від значного обсягу «нетворчу» роботи при проектуванні ЕОМ використовують автоматизацію проектування, тому що є можливість формального математичного опису деяких конструкторських завдань та їх уніфікація, а також рівень розвитку сучасних ЕВС дозволяє створювати САПР.

При застосуванні АПР відбувається поділ сфер діяльності між людиною (інженером) і ЕОМ.

Інженеру, як правило, залишаються такі види діяльності:

- прийняття рішень і інженерне творчість;
- осмислення цілей, проблем і змісту проекту;
- постановка завдань проектування;
- вибір критеріїв оцінок при вирішенні завдань;
- вибір найкращого рішення і т. П.

Основні завдання конструювання виробів ЕА, досить легко можуть бути вирішені автоматизованим способом:

1. оптимальне проектування топології і фотошаблонів ІМС, мікросборок і друкованих плат;
2. проектування проводового монтажу;
3. компоновка (розміщення) різних модулів нижчого ієрархічного рівня в модулі вищого ієрархічного рівня (наприклад, ІМС на друковані вузли, осередків в панелі і т. Д.);
4. випуск графічної і текстової конструкторської документації.

Переваги застосування автоматизованого проектування

1. скорочення трудомісткості і термінів розробки конструкцій ЕА,
2. підвищення продуктивності праці інженерів в проектних організаціях,
3. поліпшення якості та технологічного рівня виробів ЕА,
4. зниження вартості розробки.
5. Зменшення кількості розробників
6. Використання вже готових правильних рішень (з баз даних)
7. Використання новітніх досягнень (полегшення обміну інформацією між базами + Internet ...).

Система автоматизованого проектування (САПР) - комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозв'язаних з необхідними підрозділами проектною організації або колективом фахівців (пользователем системи), що виконує автоматизоване проектування.

САПР (по ГОСТ 23.501.0-79) - організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизованого проектування, пов'язаних з підрозділами проектних організацій, і виконує автоматизоване проектування.

САПР - інструмент проектування, що включає різні забезпечення та пред-

призначений для автоматизованого проектування на всіх етапах від видачі ТЗ до ви-пуску готового виробу.

Основна функція САПР - виконання автоматизованого проектування на всіх або окремих стадіях проектування об'єктів та їх складових частин.

У сфері виробництва ЕА можна виділити наступні системи автоматизації праці:

1. Автоматизовані системи наукових досліджень
2. Системи автоматизованого проектування
3. Автоматизовані системи ТПП
4. Автоматизовані системи управління виробництвом
5. Автоматизовані системи комплексних випробувань

Конструкторська і технологічна підготовка виробництва

В процесі розробки складних ЕО пристроїв розрізняють наступні етапи:

1. Системне проектування,
2. Структурний проектування,
3. функціональне,
4. схемотехническое,
5. конструкторське,
6. технологічний синтез.

При системному проектуванні використовуються ідеї і методи системного аналізу. На основі багатофакторного аналізу проводиться дослідження ТЗ на розробку виробу і приймаються рішення щодо методики побудови і шляхів реалізації про-процесу (Використовуються системи автоматизації наукових досліджень).

При структурному проектуванні на підставі технічного завдання розроб-бативає структурна схема, яка визначає основні структурні частини ЕА (пристрої, блоки і т. П.), Їх призначення та взаємозв'язку. Вибираються системи команд, діагностики і контролю, вирішуються питання обміну інформацією між ЕА та зовнішніми пристроями і абонентами процесу (Використовуються системи автоматизації наукових досліджень).

Тут ви швидко етапах в основному використовуються творчі можливості людини (ЕОМ - як помічник в дослідженнях).

При функціональному проектуванні розробляються докладні функціо-нальні схеми пристроїв проектованої ЕОМ, які роз'яснюють певні про-процеси, що проті-кають в окремих функціональних колах або пристроях в цілому і деталі--зірують обмін інформацією між ними.

В результаті отримують функціональні схеми пристроїв. Критерії оптиміза-ції:

- мінімізація числа типів вузлів
- досягнення максимальної однорідності блоків - по-зможності ефективного моделювання
- простота діагностування
- максимальне врахування вимог До і ТП.

Результат - отримання математичної або фізичної моделі пристрою. Для ЕА - частіше математичної.

Робота з моделями дозволяє створити пристрій необхідної якості з мінімальними тимчасовими і матеріальними витратами (за допомогою САПР).

При схемотехнічному (логічному) проектуванні розробляються докладні принципіві схеми пристроїв, орієнтовані на певні системи елементів. Схемотехнічне проектування ЕА характеризується великою трудомісткістю і, сле-послідовно, вимагає великої кількості розробників. Основні завдання схемотехні-чеського про-ектування добре формалізуються і дозволяють використовувати машинні методи вирішення (автоматизація проектування).

завдання:

- Покриття функціональної схеми осередками із заданого набору.

При конструкторському проектуванні (або, інакше, конструюванні) вибирають-ться структура просторових, енергетичних і тимчасових взаємозв'язків частин конс-трукція, зв'язків з навколишнім середовищем і об'єктами, визначаються мате-ріали і види об-ництва; встановлюються кількісні норми (для зв'язків, матеріалів і обробок), за якими можна виготовити виріб, що відповідає заданим вимогам (часто вико-льзується САПР).

Вхідна інформація - функціональна і принципова схеми пристрою.

На цьому етапі необхідно вирішувати наступні завдання:

1. Компонування елементів схеми в ТЕЗи, в панелі, в рами ... (компоновка вищого ієрархічного рівня елементами нижчого)

2. Розміщення елементів в конструктивах за різними критеріями

3. Розподіл ланцюгів по верствам плати. Трасування з'єднань. Контроль пра-ності отримання топології.

4. Моделювання і розрахунок ЕМ і теплових полів, механічної міцності, на-дійність-ності, вибропрочности ...

5. Автоматизоване отримання конструкторської документації на виготовлен-ня ЕА.

При технологічному синтезі виготовляють окремі пристрої, блоки, відбува-ється із-дит їх налагодження, загальне складання пристрою і випробування (САПР ТП).

мета:

- автоматизоване отримання технологічної документації

- розробка алгоритмів керування технологічним обладнанням - розробка і ви-готовлення технологічного оснащення.

ГОСТ 2.103 - 68 встановлює стадії розробки виробів і випуску конструкторської документації при ОКР, а також визначає основні етапи виконання робіт на цих стадіях: 1).

- технічну пропозицію,

- ескізний проект, (САПР)

- технічний проект (САПР)

відносяться до проектних стадіях. Відповідно і документацію на виріб, випус-Каєм на цих стадіях, називають проектною.

- робочий проект (САПР).

Технічна пропозиція - сукупність конструкторських документів, які містять технічні та техніко-економічні обґрунтування доцільності розробки-ки документації виробу на підставі аналізу ТЗ і раз-особистих варіантів можливої реалізації виробу, порівняльної оцінки рішень з урахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей розроблюваного та існуючих виробів, а також патентні дослідження.

При розробці ЕА на стадії технічної пропозиції опрацьовуються наступні основні питання: огляд науково-технічної літератури, патентів і нормативно-технічних документів з даної тематики; визначення принципової по-зможності створення замовленої ЕОМ; попередні пропозиції щодо структури ЕА і її елементній базі; формулювання загальних рекомендацій з розробки декількох по-Зможний варіантів конструкції ЕА; попереднє визначення складу математичного-ського забезпечення; складання переліку організацій-співвиконавців ОКР, уточнення обсягів, вартості та термінів розробки, вироблення пропозицій щодо уточнення ТЗ. Після уточнення, узгодження і затвердження замовником ТЗ і приймання

технічної пропозиції приступають до розробки ескізного проекту. Ескізний про-ект - сукупність конструкторських документів, що містять принципові конструктивні рішення, що дають загальне уявлення про будову та принцип роботи виробу, а також дані, що визначають призначення, основні параметри і габарити виробу. На цій стадії обраний-ний варіант конструкції піддається детальному опрацюванню для виявлення можливості найбільш повного задоволення всіх пропонованих до нього вимог. Опрацьовуються в основному такі питання: теоретико-експериментальні дослідження за напрямками, намічених на стадії технічного пропозиції; вибір оптимального за рядом ознак варіанту, що підлягає далекої-шей розробці, т. е. здійснюється вибір головного на-правління конструювання ЕА і її складових частин; розробка технічних рішень, спрямованих на забезпечення покриття надійності ЕА, технологічності, стандартизації та уніфікації конструкцій, ергономіки, технічної естетики, техніки безпеки і конкурентоспроможності та ін .; обґрунтування і вибір схемної реалізації; складання технічного завдання на розробку нових компонентів, а також контроль-но-вимірної апаратури; опис ЕОМ в цілому і по пристроях; макетування для відпрацювання електричних схем, теп-лових режимів, електромагнітної сумісності; пропозиції щодо уточнення технічного завдання.

Після узгодження, захисту і утвердження ескізний проект є підставою для наступної проектної стадії - технічного проекту.

Технічний проект - сукупність конструкторських документів, що містять остаточні технічні рішення, дають повне уявлення про будову розроб-бативаєт виробу та вихідні дані для розробки робочої документації. Тут проводиться детальне відпрацювання схемних і конструкторських рішень (на рівні креслень на всі важливі вузли, блоки, пристрої), відпрацьовується система математичного забезпечення; розробляються технологія виготовлення складових частин ЕОМ і засоби автоматизації її проектування і виготовлення; виконуються просторові компоновочні ескізи і макети, що дозволяють оцінювати паразитні зв'язку, теплові режими, зручність монтажу, ремонту, експлуатації та захист від зовнішніх впливів, виготовляються вузли і блоки, які проходять необхідні контрольні випробування; перевіряють і оцінюються технологічність конструкцій, ступінь відповідності їх сучасному



рівню мікроелектроніки і комплексної мікромініатюризації, ступінь Уніфікації і стандартизації та т. д.

Після узгодження, захисту і затвердження технічного проекту переходять до робочого проектування ЕОМ.

Робочий проект - це сукупність робочої конструкторської та технологічної документації, призначеної для виготовлення та випробування дослідного зразка, дослідної партії, серійного (масового) виробництва. Робочий проект є завершальною, найбільш відповідальною стадією розробки ЕА. На стадії робочого проекту розробляється повний комплект КД, необхідних для виготовлення, перевірки, вивчення і експлуатації ЕА, технологія виготовлення окремих вузлів і ЕА в цілому, виготовляються дослідні зразки ЕА, складаються програми попередніх (заводських) випробувань основних вузлів і ЕА, проводяться ці випробування, коригується по результатах випробувань документація.

При цьому під дослідним зразком розуміють зазвичай ЕА, виготовлену по знову розробленій робочій документації для перевірки його відповідності технічним завданням, перевірки конструкторських рішень, визначення обсягу і характеру наступної і необхідної коригування конструкторських документів і підготовки технологічного оснащення виробництва.

Для оцінки якості дослідженого зразка ЕА створюється державна або міжвідомча комісія. Вона оцінює ступінь відповідності розробки всім вимогам технічного завдання, повноту і якість виконання конструкторської і технологічної документації, дає рекомендації щодо доцільності передачі нових ЕА в серійне виробництво. При необхідності визначається перелік потрібних доробок і проводяться додаткові випробування ЕОМ. Прийняттям дослідного зразка ОКР практично скінчену завершується, і комплекти конструкторської та технологічної документації передаються на виробництво для організації серійного або масового випуску ЕОМ.

У серійному або масовому виробництві виконується також ряд етапів конструкторських і технологічних робіт: виготовлення та випробування дослідної (настановної) серії виробів; коригування конструкторських і технологічних документів по результатах виготовлення і випробування складових частин ЕОМ дослідної серії; виготовлення головної (контрольної) серії ЕОМ по повністю оснащеному технологічному процесу; коригування конструкторських і технологічних документів за результатами виготовлення і випробування головної серії; безпосередньо виробництво ЕА.

Для всіх етапів проектування виробу можна виділити типові операції обробки інформації:

1. Пошук і вибір з різних джерел інформації
2. Аналіз
3. Розрахунок
4. Прийняття проектних рішень
5. Оформлення проектних рішень

Автоматизація 1-5 на всіх стадіях проектування - сутність сучасної САПР.

## 1.2 Класифікація САПР (по ГОСТ 23501.8-80)

За типом об'єкту проектування.

- 1) САПР виробів машинобудування;
- 2) САПР виробів приладобудування;
- 3) САПР технологічних процесів в машино- і приладобудуванні;
- 4) САПР об'єктів будівництва;
- 5) САПР технологічних процесів в будівництві;
- 6) САПР програмних виробів;

7) САПР організаційних систем.

За складністю об'єкта проектування.

- 1) простих об'єктів з числом складових частин до 102;
- 2) об'єктів середньої складності (102-103);
- 3) складних об'єктів (103-104);
- 4) дуже складних об'єктів (104-106);
- 5) об'єктів дуже високої складності (число складових частин понад 106).

За рівнем автоматизації проектування.

- 1) нізкоавтоматизовані (до 25% проектних процедур);
- 2) середнеавтоматизовані (25-50%);
- 3) високоавтоматизовані (понад 50%).

За комплексності автоматизації проектування.

- 1) одноетапні;
- 2) багатоетапні;
- 3) комплексні (всі етапи).

За характером випускаються проектних документів.

САПР, що випускають документи:

- 1) на паперовій стрічці та (або) аркуші;
- 2) на машинних носіях;
- 3) на фотоносіїв (у вигляді мікрофільмів, мікрофіш, фотошаблонів і ін.);
- 4) комбініровані (виконують документи у двох різних місцях даних або більше).

і т.д.

## 1.3 Складові частини САПР (забезпечення) (ГОСТ 22487-77)

1. математичне,
2. програмне,
3. лінгвістичне,
4. інформаційне,
5. методичне,

6. організаційне,

7. технічне.

1-4 - програмно-інформаційне 5,6 - організаційно-методичне

Математичне забезпечення САПР - це сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів проектування, необхідних для його виконання.

В даний час для АПР ЕОМ широко застосовуються

- моделі та алгоритми розбиття схем на підсхеми меншої складності,

- алгоритми розміщення конструктивних модулів (перестановки, сило-ші і ін.),

- алгоритми розводки (трасування) межсоединений різного рівня і т. Д.

Програмне забезпечення САПР - сукупність всіх програм і експлуатаційної документації до них, необхідних для виконання АПР і представлених в заданій формі.

розрізняють

1) Общесистемное ПО (забезпечує введення, висновок і визначення інформації в про-процесі функціонування САПР),

2) Спеціальне (прикладне) ПО

У спеціальному ПО реалізуються методи автоматизованого проектування. Воно визначає спеціалізацію системи, характер і ступінь використання ЕОМ в процесі конструювання, забезпечують можливість модернізації і перебудови конкретної САПР.

Для підготовки і використання програмних засобів необхідно лінгвістичне забезпечення.

Лінгвістичне забезпечення САПР - це сукупність мов проектування, включаючи терміни та визначення, правила формалізації природної мови і методи стиснення і розгортання текстів, необхідних для автоматизації проектування.

виділяють:

а) Мови програмування

б) Мови проектування

в) Мови управління

Інформаційне забезпечення САПР - сукупність відомостей, необхідних для виконання автоматизованого проектування в заданій формі.

Тобто основна функція ІС - забезпечення створення, підтримки і організації доступу до даних.

Методичне забезпечення САПР - комплект документів, що встановлюють состав і правила відбору і експлуатації засобів забезпечення проектування.

Як правило, воно включає методичні матеріали по САПР, що дозволяють проводити єдину технічну політику по автоматизації проектування на міжгалузевому, галузевому рівнях, рівні підприємства і т. Д.

Організаційне забезпечення САПР - комплект документів, що встановлюють сос-тав проектної організації і її підрозділів, зв'язки між ними, їх функції, а також форму представлення результату проектування і поря-док розгляду проектних до-кументів.

Технічне забезпечення САПР включає універсальні і спеціалізовані техні-етичні засоби електронно-обчислювальної техніки для автоматизації процесів про-екти-вання, виготовлення і контролю.

До універсальних технічних засобів відносяться засоби обробки інформа-ції, тобто ЕОМ, а також засоби введення-виведення інформації (принтери, сканери, плотери, графопостроители, маніпулятори, кодувальники і т.п.).

До спеціалізованих технічних засобів САПР відносять: Автоматизовані робо-чі місця (АРМ) (за кордоном використовується

термін «робоча станція»),

-пункт випуску документації,

Автоматизовані засоби для виготовлення і контролю конструкцій ЕОМ (су-часні САПР дозволяють крім КД виготовляти макети проєктованих пристроїв, ПЗ для ГАП і т.п.).

#### 1.4 Підсистеми САПР

Спеціалізація частини САПР на обслуговуванні проектних завдань одного етапу про- ектированні призводить до виділення цієї частини як п / системи САПР. Спеціалізація САПР зачіпає, в основному, МО, ПО, ЛО, ТО.

Для САПР ЕА виділяють підсистеми (вказувалося раніше):

1. Системотехнічне проектування
2. схемотехнічного проектування
3. Конструкторського проектування
4. Технологічного проектування

Для кожної п / системи є свої пакети прикладних програм. В даний час праг-нуть розробляти комбіновані ППП, що включають більшість п / систем.

П / системи САПР можна розділити на 2 групи:

1. Проектуючі
2. Обслуговуючі
  - 1) - забезпечують виконання проектних робіт
  - 2) - призначені для підтримки працездатності проектують систем.

Залежно від ставлення до об'єкта проектування САПР поділяються на:

1. об'єктні (виконують одну або кілька процедур безпосередньо залежать від об'єкта проектування)
2. інваріантні (уніфіковані об'єктні процедури і операції)

## 1.5 Основні вимоги та принципи створення САПР

Необхідною і достатньою умовою створення САПР на підприємстві є кількісний або якісний виграш від її застосування з урахуванням додаткових витрат, які вона викликає. САПР повинна мати можливості (вимоги):

1. послідовного розширення і вдосконалення системи
2. активного зв'язку фахівців - система
3. оперування оптимальними взаємозамінними алгоритмами
4. спеціалізацію системи на проектування (ЕА, РЕА, ІМС, ...)
5. збільшення потужності системи
6. легкої настрайованості
7. стикування зі спеціальними пристроями
8. зміни критеріїв оптимізації
9. розширення і доповнення бібліотек програм
10. вільного доступу до даних на всіх етапах проектування
11. виготовлення КД і ТД

Працездатність САПР залежить від:

1. Рівня уніфікації вхідної і вихідної інформації
2. Єдності методів запису інформації на носіях
3. правильності розподілу пам'яті ЕОМ
4. правильності вибору алгоритмічного мови

Для задоволення вимог до САПР при її створенні необхідно дотримуватися таких основних принципів:

1. Принцип системності.

Полягає в тому, що при створенні САПР взаємні зв'язки між її п / системами повинні забезпечувати працездатність і цілісність САПР як єдиної системи.

2. Принцип включення.

Його реалізація дозволяє включати дану САПР в систему більш високого рівня.

3. Принцип розвитку (відкритості).

Необхідно передбачати можливість вдосконалення, розвитку та доповнення системи, а також оновлення основних компонентів м п / систем.

4. Принцип комплексності.

Дозволяє забезпечити взаємозалежне проектування, як окремих елементів, так і всього об'єкта в цілому. На всіх стадіях здійснити узгодження, ув'язку та контроль характеристик проєктованих елементів м системи в цілому.

5. Принцип модульності.

Відноситься до ПО і передбачає побудову ПО САПР у вигляді окремих програмних модулів.

Це забезпечує можливість включення або виключення окремих програм, що реалізують ті чи інші процедури, без порушення функціонування всієї системи САПР.

## 6. Принцип інформаційної єдності.

Відділення всіх видів даних від програм і використання в п / системах

САПР єдиних умовних позначень, термінів і способів подання інформації відповідно до діючої нормативної документації.

Реалізація даного принципу передбачає створення і функціонування самостійно-котельної БД.

## 7. принцип сумісності.

Використання мов, кодів, символів, інформаційних і технічних характеристик зв'язків між п / системами, які повинні забезпечити їх спільне функціонування, а також можливість розвитку всієї системи САПР в цілому.

## 8. Принцип стандартизації.

Здійснення уніфікації, типізації та стандартизації п / систем і компонентів, інваріантних до проєктованих об'єктів і проєктним процедурам.

### 1.5. Види забезпечення: САПР

Структурування САПР з різних аспектів зумовлює появу видів забезпечення: В САПР. Прийнято виділяти сім видів забезпечення:

Технічне (ТО), що включає різні апаратні засоби (ЕОМ, периферійні пристрої, мережеве комутаційне обладнання, лінії зв'язку, вимірювальні кошти);

Математичне (МО), що об'єднує математичні методи, моделі та алгоритми для виконання проєктування;

Програмне (ПО), що представляється комп'ютерними програмами САПР;

Інформаційне (ІС), що складається з баз даних (БД), систем управління базами даних (СКБД), а також інших даних, що використовуються при проєктуванні; відзначимо, що вся сукупність використовуваних при проєктуванні даних називається інформаційним фондом САПР, а БД разом з СУБД носить назву банку даних (БНД);

Лінгвістичне (ЛО), яке виражається мовами спілкування між проєктувальниками і ЕОМ, мовами програмування і мовами обміну даними між технічними засобами САПР;

Методичне (мето), що включає різні методики проєктування, іноді до методів відносять також математичне забезпечення;

Організаційне (ГО), що представляється штатними розкладами, посадові особи, ск-ними інструкціями та іншими документами, що регламентують роботу проєктно-го підприємства.

## Лекція 2. ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

### 2.1. Технічне забезпечення САПР

З точки зору системної моделі САПР, технічне забезпечення представляє собою найнижчий рівень, в який "занурюється" і реалізується операційно-програмне та інші види забезпечень САПР.

Завдання проектування технічного забезпечення, таким чином, може бути сформульована як задача оптимального вибору складу технічних засобів САПР. Вихідною інформацією при цьому є результати аналізу завдань внутрішнього проектування і ресурсні вимоги до технічних засобів у вигляді критеріїв і обмежень.

Основні вимоги до технічних засобів САПР полягають у наступному:

- ефективність;
- універсальність;
- сумісність;
- надійність.

Технічні засоби (ТЗ) в САПР вирішують завдання:

- введення вихідних даних опису об'єкта проектування;
- відображення введеної інформації з метою її контролю і редагування;
- перетворення інформації (зміни форми і структури представлення даних, перекодування і ін.);
- зберігання інформації;
- відображення підсумкових і проміжних результатів рішення;
- оперативного спілкування проектувальника з системою в процесі вирішення завдань.

Для вирішення цих завдань ТЗ повинні містити:

- процесори,
- оперативну пам'ять,
- зовнішні пристрої, що запам'ятовують,
- пристрої введення-виведення інформації,
- технічні засоби машинної графіки,
- пристрої оперативного спілкування людини з ЕОМ,
- пристрої, що забезпечують зв'язок ЕОМ з віддаленими терміналами та дружинами машинами.

При необхідності створення безпосереднього зв'язку САПР з виробничим обладнанням до складу ТЗ повинні бути включені пристрої, що перетворюють результати проектування в сигнали управління верстатами.

ТС САПР можуть одно- і багаторівневими.

ТС, до складу яких входить одна ЕОМ, оснащена широким набором периферійного обладнання, звуться однорівневих. Вони широко застосовуються при проектуванні виробів загальнопромислового застосування з усталеною конструкцією, мають вузькоспеціалізовані математичні моделі і фіксовану послідовність етапів проектно технологічних робіт.

Розвиток САПР передбачає розширення набору термінальних пристроїв, уявлення кожному проектувальнику можливості взаємодії з ЕОМ, оброблення те-

хнічної інформації безпосередньо на робочих місцях. З цією метою термінальні пристрої забезпечуються міні - і мікроЕОМ, які мають спеціальний математичне забезпечення інтелектуальні термінали. Вони з'єднуються з ЕОМ високою продуктивністю за допомогою спеціальних або звичайних телефонних каналів.

Для використання інформації окремих ЕОМ розподілених на відносно-кові великій території особливий ефект дає застосування обчислювальних мереж.

Відмінні ознаки обчислювальної мережі полягають у наступному:

- велика кількість взаємодіючих між собою обчислювальних машин, що виконують функції збору, зберігання, передачі, обробки та видачі ін-формації;
- надзвичайно великі обчислювальні потужності;
- розподілена обробка інформації;
- надійна і гнучка зв'язок користувача з обчислювальними потужностями;
- можливість взаємного обміну інформацією між обчислювальними махай-нами;
- розширення до будь-якої потужності і протяжності.



## Лекція 3. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

### 3.1. загальні положення

Математичне забезпечення (МО) об'єднує в собі математичні моделі проєктованих об'єктів, методи і алгоритми виконання проєктних процедур, використовує при автоматизованому проєктуванні.

Елементи МО надзвичайно різноманітні, серед них є інваріантні елементи, широко застосовуються в різних САПР.

До них відносяться принципи побудови функціональних моделей, методи чисельно-го рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь, постановки екстремали-них завдань, пошуку екстремуму.

Специфіка предметних областей проявляється, перш за все, в математичних моделях (ММ) проєктованих об'єктів, вона помітна також у способах вирішення завдань структурного синтезу. Форми подання МО також різноманітні, але його практичні використання відбувається після реалізації ПО.

### 3.2. математичні моделі

#### 3.2.1.Требования до математичних моделей

Вимоги до математичних моделей:

- універсальність;
- адекватність;
- точність;
- економічність.

Ступінь універсальності ММ характеризує повноту відображення в моделі властивостей реального об'єкта.

Точність ММ оцінюється ступенем збігу значень параметрів реального об'єкта і значень тих же параметрів, розрахованих за допомогою оцінюваної ММ.

Наприклад, нехай  $\mathbf{y}$  - вектор вхідних параметрів, тоді відносительная похибка розрахунку  $j$ -го параметра може бути оцінена по формулі

$$\varepsilon_j = (y_{jm} - y_{j\text{н\text{д}}}) / y_{j\text{н\text{д}}}, \quad (3.1)$$

де  $y_{jm}$ ,  $y_{j\text{н\text{д}}}$  - значення вихідного параметра справжнє і розраховане по математичного-ської моделі.

Адекватність ММ - здатність відобразити задані властивості об'єкта з похованням-шністю не вище заданої. Адекватність ММ, як правило, має місце лише в обмеженій області зміни зовнішніх параметрів - в області адекватності (ОА):

$$OA = \{Q_{\varepsilon_m} \leq \delta\}, \quad (3.2)$$

де  $\delta > 0$  - задана константа, рівна гранично допустимій похибки ММ;  $Q$ - вектор поза-шніх параметрів.

Економічність моделі характеризується витратами обчислювальних ресурсів (часу і пам'яті) на її реалізацію.

#### 3.2.2. Класифікація математичних моделей

ММ класифікуються за такими ознаками:

- характер відображуваних властивостей об'єкта;

- приналежність до ієрархічним рівнем;
- ступінь деталізації опису всередині одного рівня;
- спосіб отримання моделі.

За характером відображуваних властивостей об'єкта ММ діляться на структурні і функціональні.

Розрізняють структурні топологічні і геометричні ММ.

У топологічних ММ відображають склад і взаємозв'язку елементів об'єкта. Ці ММ частіше застосовують для опису об'єктів, що складаються з великої кількості елементів, наприклад, при вирішенні задач прив'язки конструктивних елементів до певних просторовим позиціях або відносним моментів часу при розробці технологічних процесів.

У геометричних ММ відображаються геометричні властивості об'єктів, в них додатково до відомостей про взаємне розташування об'єктів містяться відомості про форму деталей. Геометричні моделі можуть виражатися, наприклад, сукупносно-ма рівнянь ліній і поверхонь.

Функціональні математичні моделі призначені для відображення фізичних і інформаційних процесів, що протікають в об'єкті при його функціонує-рванні або виготовленні.

Використання блочно-ієрархічного підходу до проектування призводить до появи ієрархії математичних моделей проєктованих об'єктів.

Залежно від місця в ієрархії описів математичні моделі діляться на ММ мікро-, макро - і метауровня.

Особливістю ММ на мікрорівні є відображення фізичних процесів, що протікають в безперервних просторі і часі. Типовими ММ цього рівня є диференціальні рівняння в приватних похідних. У них незалежним перемінними є просторові координати і час.

ММ на макрорівні використовують укрупнену дискретизацію простору за функціональною ознакою, що призводить до подання ММ на цьому рівні в віде систем звичайних диференціальних рівнянь.

На метауровне як елементи приймають досить складні сукупність-ності деталей. Метауровень характеризується великою різноманітністю типів використовуються ММ. Тут ММ також представляються у вигляді систем звичайних диференціальних рівнянь. У цих моделях не описуються внутрішні для елементів фазові змінні, а фігурують тільки фазові змінні, що відносяться до вза-імним зв'язків елементів.

За способом подання властивостей об'єктів функціональні моделі діляться на аналітичні та алгоритмічні.

Аналітичні ММ являють собою явні вирази вихідних параметрів як функцій вхідних і внутрішніх, тобто мають вигляд:

$$Y=F(X, Q), \quad (3.3)$$

де  $Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$  - вектор вихідних параметрів;  
 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  - вектор внутрішніх параметрів;  
 $Q=(q_1, q_2, \dots, q_l)$  - вектор зовнішніх параметрів.

Аналітичні моделі характеризуються високою економічністю, однак їх напів-чення можливо лише в окремих випадках і, як правило, при прийнятті суттєвих припущень і обмежень, що знижують точність і звужують адекватність моделі.

Алгоритмічні моделі висловлюють зв'язку вихідних параметрів з параметрами внутрішніми і зовнішніми у формі алгоритму.

Для отримання моделей використовують неформальні і формальні методи.

Неформальні методи використовують на різних ієрархічних рівнях для отримання ММ елементів. Формальні методи застосовують для отримання ММ систем при відомих математичних моделях елементів.

### 3.2.3. Методика отримання математичних моделей

У загальному випадку методика отримання ММ включає в себе наступні операції:

1. Вибір властивостей об'єкта, які підлягають відображенню в моделі;
2. Збір вихідної інформації об'єкта;
3. Синтез структури ММ;
4. Розрахунок числових значень параметрів ММ. Це завдання ставиться як задача мінімізації похибки моделі заданої структури, тобто

$$\min_{X \in X_d} \varepsilon_M(X),$$

де  $X$ - вектор параметрів ММ;  $X_d$ - область варіювання параметрів;  $\varepsilon_M$ - похибка ММ(см.3.1);

5. Оцінка точності і адекватності ММ.

## Лекція 4. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

### 4.1. Алгоритми виконання проектних процедур

Як зазначалося раніше схема процесу проектування в САПР може бути представлена сліду-нього схемою рис.4.1.

### 4.2. Постановка і вирішення завдань аналізу

Розглянемо математичну постановку типових проектних завдань аналізу.

Аналіз динамічних процесів виконується шляхом розв'язання звичайних диференціальних рівнянь (з відомими початковими умовами) виду:

$$F(dU/dt), V, t)=0 \quad (4.1)$$

де  $V=(U,W)$ - вектор фазових змінних;  $U$  - вектор, який характеризує запаси енергії в об'єктах;  $t$ - час.

Рішення ОДУ дозволяє отримати залежність вектора фазових змінних  $V = (U, W)$  від  $t$  в табличній формі.

Більшість вихідних параметрів  $Y$  проєктованих об'єктів є функціоналами залежностей  $V(t)$ , наприклад певних інтегралами, екстремальними значеннями і ін. Рішення системи (4.1) і розрахунок вихідних параметрів- функціоналов складають зміст процедури аналізу перехідних процесів.

Аналіз статичних станів об'єктів також може бути виконано шляхом інтегрування рівнянь типу (4.1), але, оскільки в статистиці  $dU / dt = 0$ , такий аналіз може бути зведений до вирішення систем алгебраїчних рівнянь

$$F(V)=0 . \quad (4.2)$$

При проектуванні САУ важливе значення має завдання аналізу устойчивости.

Аналіз чутливості полягає у визначенні внутрішніх і зовнішніх параметрів  $x_i$  на вихідні  $y_j$ . Кількісна оцінка цього впливу являв собою таблицю чутливості  $A$  с елементами

$$a_{ij}=dy_j/dx_i.$$

Статистичний аналіз виконується з метою отримання тих чи інших про распределение параметрів  $y_j$  при завданні статистичних відомостей про параметри  $x_i$ . Ре-зультати статистичного аналізу можуть бути представлені у вигляді гістограм распределение  $y_j$ , оцінок числових характеристик розподілів мат. очікування, ДСП-рсії і т.д.

### 4.3 Постановка і рішення задач синтезу

#### 4.3.1.Класифікація задач параметричного синтезу

До завдань параметричного синтезу відноситься сукупність завдань, пов'язаних з визначенням вимог до параметрів об'єкта, номінальних значень параметрів і їх допусків. Завдання параметричного синтезу можуть бути класифіковані на 3 групи:

- призначення технічних вимог;
- розрахунок параметрів елементів;

- ідентифікація математичних моделей.

Група 1 задач параметричного синтезу пов'язана з призначенням технічних вимог до вихідних параметрів об'єкта.

Група 2 задач параметричного синтезу пов'язана з розрахунком параметрів елементів об'єкта при заданій структурі об'єкта.

Група 3 задач параметричного синтезу пов'язана з визначенням параметрів використовуваних в САПР математичних моделей і визначенням областей їх адекватності.

Більшість завдань параметричного синтезу елементів зводиться до вирішення завдань математичного програмування.

Завдання математичного програмування формулюється у вигляді:

$$\begin{aligned} \text{extr } F(X), \\ X \in XD \end{aligned} \quad (4.2)$$

тобто потрібно знайти екстремум цільової функції  $F(X)$ , яка називається функцією якості, в межах допустимої області  $XD$  зміни керованих параметрів  $X$ .

Область  $XD$  може здаватися сукупністю обмежень типу нерівності

$$\varphi(x) \geq 0$$

і

$$\psi(x) = 0.$$

#### 4.3.2. Класифікація задач структурного синтезу

Завдання структурного синтезу класифікують за такими ознаками:

- в залежності від стадії проектування, на якій проводиться синтез;
- в залежності від можливостей формалізації;
- за типом синтезованих структур.

Розглянемо ці завдання більш детально.

Залежно від стадії проектування, на якій проводиться синтез, ра-злічають процедури:

- вибір основних ознак функціонування майбутнього об'єкта;
- вибір технічного рішення в рамках заданих принципів функціонування;
- оформлення технічної документації.

Залежно від можливостей формалізації задачі синтезу діляться на якіськільки рівнів складності.

До 1-го рівня складності відносять задачі, в яких слід дотримуватися лише параметричного синтезу, а структура об'єкта визначена або специфікою ТЗ, або результатами процедур, виконаних на попередніх етапах Проектування.

До 2-го рівня складності відносять задачі, в яких можливий повний перебір відомих рішень, тобто це комбінаторні завдання вибору елементів в кінцевих множинах малої потужності.

До 3-го рівня складності відносять комбінаторні задачі, які при сущес-твующого технічних і програмних засобах не можуть бути вирішені шляхом пов-но-го перебору за прийнятний час.

До 4-го рівня складності відносять задачі пошуку варіантів структур в ра-хункових множинах невідомої або необмеженої потужності. Формалізація цих

завдань створює найбільші труднощі, але містить потенційну можливість отримання нових оригінальних патентоспроможних рішень.

До 5-го рівня відносять завдання синтезу, вирішення яких є проблематичним. Головна проблема тут полягає в знаходженні принципово нових основ побудови цілого класу технічних об'єктів.

## Лекція 5. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

### 5.1. Характеристика вхідного і вихідного інформаційного масиву

Процес проектування може бути представлений організованою послідовністю перетворення інформації.

Вихідна (вхідні) інформація включає велику кількість даних: стандарт, нормалізує обмін речовин, каталоги комплектуючих виробів і матеріалів, методики проектування, відомості, що містяться в ТЗ, результати передпроектних досліджень.

З метою систематизації та полегшення аналізу вихідна інформація групується за класами, наприклад:

- інформація довідкового характеру (стандарти, каталоги, довідково-ки, книги, звіти);
- дані прототипів об'єктів проектування;
- методики проектування;
- специфічні умови і вимоги до конкретного об'єкта проектування.

Перші три класи є незмінними на порівняно тривалому відрізку часу, що значно перевищує тривалість процесу проектування. Інформація четвертого класу змінюється від об'єкта до об'єкта.

Вихідна інформація охоплює всі дані проекту, отримані на проміжних і кінцевих етапах проектування. Вона визначає конструкторсько-технологічну та монтажну реалізацію об'єкта проектування; параметри, процеси і режими його функціонування і т.п. З іншого боку, вихідна інформація повинна містити критеріальні оцінки проекту, необхідні для введення корекцій в прийняті рішення.

### 5.2. Інформаційне забезпечення та інформаційний фонд САПР

Інформаційний фонд (ІФ) - сукупність даних, які використовуються усіма компонентами САПР.

Призначення інформаційного забезпечення (ІЗ) САПР- реалізація інформаційних потреб всіх складових компонентів САПР. Основна функція ВО САПР - ведення інформаційного фонду, тобто забезпечення створення, підтримки і організації доступу до даних. Таким ІС САПР є сукупність інформаційно-го фонду та засобів її ведення.

### 5.3.Состав інформаційного фонду САПР

Програмні модулі зберігаються у вигляді символічних і об'єктних текстів їх споживачами є монітори різних підсистем САПР.

Вихідні і результуючі дані необхідні при виконанні програмних модулів в процесі перетворення.

Нормативно-довідкова проектна документація, як правило являє собою добре структурований фактографический матеріал.

Зміст екранів дисплеїв - являє собою пов'язану сукупність даних, які задають форму кадру і, отже, дозволяють відобразити на екран дисплея інформацію з метою організації діалогового взаємодії в ході проектування. Зазвичай ці дані

мають фіксований розмір, і займаю переможе-точне місце між програмними модулями і вихідними даними; використовуються діалоговими системами САПР.

Поточна проектна документація відображає стан і хід виконання про-екта.

#### 5.4.Способи ведення інформаційного фонду САПР

Розрізняють такі способи ведення інформаційного фонду САПР:

1. використання файлової системи;
2. побудова бібліотек;
3. використання банків даних (БНД);
4. створення інформаційних програмних адаптерів.

Способи 1 і 2 широко поширені в організації інформаційного фонду обчислювальних систем, оскільки підтримуються засобами операційних систем (ОС). Однак для забезпечення швидкого доступу до довідкових даних, зберігання мінливих даних, організації взаємодії між різномовних модулями ці способи малопридатні.

Спосіб 3 використання БнД (рис.5.1) дозволяє:

- централізувати інформаційний фонд САПР;
- провести структурування даних в формі зручній для проек-тіровщика;
- забезпечити пошук інформаційно довідкової та проектної доку-ментації;
- спростити організацію межмодульного інтерфейсу шляхом Унифи-кації проміжних даних.

Спосіб 4 передбачає використання спеціальних систем і програмних ті-хнологій для організації межмодульного інтерфейсу і побудови великих програ-мних комплексів з готових модулів.

#### 5.5. Принципи побудови банків даних (БНД)

Банк даних (БНД) - сукупність бази даних (БД) і системи управління ба-зами даних (СКБД).

База даних - структурована сукупність даних. Найменша одиниця опису да-них називається елементом опису. Сукупність елементів описа-ня, об'єднаних ставленням приналежності до одного об'єкту, називається запи-сом.

СУБД - складається з мовних і програмних засобів, призначених для со-будівлі та використання бази, даних прикладними програмами, а також безпосе-реднім-ного користувачами- непрограмістів.

Застосування БД дозволяє вирішити наступні проблеми організації і веде-ня великих масивів інформації:

1. скорочення надмірності;
2. забезпечення цілісності;
3. розмежування доступу;
4. забезпечення незалежності представлення даних.

Надмірність викликається наявністю різних форм представлення одних і тих же даних, розмноженням частини даних для подальшого використання прик-лад-ними програмами, повторними записами однакових даних на різних носите-лях інформації.



Цілісністю називається властивість БД в будь-який момент містити лише досто-вірні дані. Наявність надлишкових даних, суперечливих і невірних складених даних порушує цілісність БД.

Для скорочення надмірності проводиться об'єднання однакових за змістом, але мають різний тип даних в єдину БД з приведенням до загального, стандартизованого виду. Процес об'єднання даних, використовується різними користувачами, в одну загальну БД - називається інтеграцією бази даних.

Кожен конкретний користувач отримує доступ до деякого підмножества даних з БД, необхідних для виконання своїх прикладних програм. Одночасово з цим забезпечується режим секретності і підвищується ступінь захищеності даних від несанкціонованого доступу.

Одним з найважливіших переваг застосування БД є можливість обидвіспікання незалежності представлення даних в прикладних програмах від типів запам'ятовуючих пристроїв і способів їх фізичної організації. В основному це досягається побудовою двох рівнів подання даних:

- логічного;
- фізичного.

На логічному рівні дані представляються у вигляді, зручному для використання в прикладних програмах або безпосередньо проектувальниками.

Фізичний рівень представлення даних відображає спосіб зберігання і структуру даних з урахуванням їх розташування на носіях інформації в запам'ятовуючих пристроях ЕОМ. Найважливішим поняттям в БД є модель даних - формалізоване опис, що відображає склад і типи даних, а також взаємозв'язку між ними. Моделі даних класифікуються по ряду ознак.

Залежно від обсягу описуваної інформації на логічному рівні розрізняють зовнішню і внутрішню моделі даних.

Зовнішня модель (або логічна підсхема) - описує структуру інформації, що відноситься до конкретної процедури або групі споріднених процедур.

Внутрішня логічна модель даних об'єднує всі зовнішні моделі (логі-етичні підсхеми) БД.

За способами відображення зв'язків між даними на логічному рівні розрізняють моделі - ієрархічну, мережеву та реляційну. Модель називають сеті-вою, якщо дані і зв'язку між ними мають структуру графа. Якщо структура відпрацьовано-вантажують зв'язків представляється у вигляді дерева, то модель називають ієрархічною. Представлення даних у вигляді таблиць відповідає реляційної моделі даних.

Завдання моделі даних в БД здійснюється на спеціальній мові опису даних (МОД). Прикладні програми, що використовують

БНД, записуються на деякому алгоритмічній мові (наприклад, Паскаль, Сі), званому включає мовою. Для забезпечення взаємодії-дії з БНД в ці програми повинні бути введені оператори звернення до СУ-БД. Сукупність операторів звернення до СУБД- мова маніпулювання даними (ЯМД).

Основні операції з даними, виконуваними на ЯМД наступні:

- пошук інформації по заданим пошуковим ознаками в БД;
- включення в БД нових записів;

- видалення з БД зайвих або непотрібних надалі записів;
- зміна значень елементів даних в записах.

Банк даних - складна інформаційно програмна система, функціонування якої неможливо виконати повністю в автоматичному режимі. Контроль за її станом і управління режимами здійснюється людиною-адміністратором банку даних.

Взаємозв'язок БД з прикладними програмами представлена на рис.6.1. Прикладні програми користувачів а і б звертаються із запитом до СУБД, яка, користуючись інформацією про конкретну зовнішню модель і ґрунтуючись на описі логічної схеми БД, формує звернення до програмних засобів методу доступу ОС.

Отримані дані надходять спочатку в системний буфер, а потім надходять в доступну користувачеві робочу область.

Сукупність моделі даних і операцій, визначених над даними, називається підходом. Відповідно до моделями даних розрізняють реляційний, мережевий і ієрархічний підходи. Так як підхід лежить в основі СУБД, розрізняють реляційних, мережеві і ієрархічні СУБД.

### 5.6. Ієрархічний і мережевий підходи

Для організації пошуку потрібних записів використовуються поняття ключа і зв'язку.

Ключ - унікальне ім'я записи. За допомогою ключа проводиться ідентифікація кожної конкретної записи, а також впорядкування записів у файлі. Упередження по ключу може бути або прямим, або виконано за допомогою хеш-функції.

Пряме впорядкування передбачає лексикографічне розташування записів: записи можуть бути записані в порядку збільшення ключа. При цьому простий ключ можна розглядати як деяке число.

Хеш-функція виробляє перерахунок ключа на адресу записи на файлі. Ця операція здійснюється СУБД щоразу при пошуку нового запису по ключу.

### 5.7. реляційний підхід

Реляційні моделі даних останнім часом набули широкого розповсюдження внаслідок простої форми представлення даних, а також завдяки розкриттю теоретичного апарату, що дозволяє описувати різні перетворення реляційних даних. Основу реляційної моделі даних становить поняття відносини, що представляє собою підмножина декартова твору доменів. Домен - це деяка безліч елементів, наприклад безліч цілих чисел або безліч допустимих значень, які може приймати об'єкт по деякому властивості.

Декартових твором доменів  $D_1, D_2, \dots, D_k$

$D_1 * D_2 * \dots * D_k$ ,

где

$D_1 = \{d_{1,1}, d_{1,2}, \dots, d_{1,i}, \dots, d_{1,n}\}$ ,

$D_2 = \{d_{2,1}, d_{2,2}, \dots, d_{2,i}, \dots, d_{2,n}\}$ ,

.....

$D_k = \{d_{k,1}, d_{k,2}, \dots, d_{k,i}, \dots, d_{k,n}\}$ ,

називається безліч всіх кортежів довжини  $k$ , тобто що складаються з  $k$  елементів - по одному з кожного домена  $\langle D_i \rangle (d_{1i1}, d_{2i2}, \dots, d_{k,ik1})$ .

Таким чином, декартовий твір

$$D = \left\{ \begin{array}{l} (d_{.1.1}, d_{2.1}, \dots, d_{(k-1).1}, d_{k.1}), \\ (d_{.1.1}, d_{2.1}, \dots, d_{(k-1).1}, d_{k.2}), \\ \dots\dots\dots \\ (d_{.1.1}, d_{2.1}, \dots, d_{(k-1).3}, d_{k.2}), \\ (d_{.1.n1}, d_{2.n2}, \dots, d_{(k-1).n(k-1)}, d_{k.nk}) \end{array} \right\}$$

### 5.8. реляційне числення

Реляційне числення базується на теоретичних засадах обчислення предикатів. Предикат  $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$  це функція, що приймає значення «Істина» або «брехня», від аргументів, визначених у конкретних областях  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . При побудові висловлювань використовуються логічні зв'язки

## Лекція 6. ЛІНГВІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

Лінгвістичне забезпечення САПР представлено сукупністю мов, застосовуваних для опису процедур автоматизованого проектування та проектних рішень. Основна частина лінгвістичного забезпечення САПР- мови спілкування людини з ЕОМ.

Відповідно до прийнятої класифікації мов САПР (рис.7.1) розрізняють мови програмування і проектування.

### 7.1. Мови програмування

Мови програмування-мови, призначені для написання програмного забезпечення. Ці мови - засіб розробника САПР.

До мов програмування пред'являють вимоги зручності використання, універсальності і ефективності об'єктних програм (тобто програм отриманих після трансляції на машинну мову).

Зручність використання виражається у витратах часу програміста на освоєння мови і головним чином на написання програм на ньому.

Універсальність визначається можливостями мови для опису різноманітних алгоритмів, характерних для програмного забезпечення САПР.

Ефективність об'єктних програм визначається властивостями використовуваного транслятора, які в свою чергу залежать від властивостей мови. Ефективність оцінюється витратами машинного часу і пам'яті на виконання програм.

З позицій універсальності і ефективності об'єктних програм найкращими властивостями володіють машинно-орієнтовані мови. Близькість до машинних кодів (мови машинних команд) обумовлюють простоту і ефективність трансляції на машинну мову званих асемблер. Однак мови асемблера неуподібнені для людини, їх використання знижує продуктивність праці програмістів. Тому їх застосовують для розробки лише тих модулів програмного забезпечення САПР, які працюють в реальному масштабі часу або вимагають для свого виконання надмірно великих обчислювальних ресурсів.

Серед алгоритмічних мов високого рівня, створених на ранніх етапах розвитку обчислювальної техніки, найбільшого поширення набув Фортран. Він легкий в освоєнні і дуже ефективний при вирішенні задач чисельного аналізу. Програмне забезпечення таких систем як PARIS, ModAPT-Caspa, APT-СМ написані на мові Фортран. Однак Фортран має обмежені можливості для описання складних алгоритмів логічного характеру. Тому при створенні таких програм, як монітори або мовні процесори, використовують або мови асемблера, або мови високого рівня з більш розвиненими можливостями необчислювальних процедур- C, Pascal, Pl-1, Ada.

### 7.2. мови проектування

Мови проектування-мови, призначені для опису інформації про об'єкти та завдання проектування. Більшість цих мов відноситься до засобів користувача САПР.

Серед мов проектування виділяють

- вхідні;
- вихідні;
- впровадження,;
- управління;
- проміжні;
- внутрішні.

вхідні мови

Вхідні мови служать для завдання вихідної інформації про об'єкти і заду-  
чах проектування і включають в себе мови опису об'єктів (ЯОО) і мови опису за-  
вдань (ЯОЗ). Перші служать для опису властивостей проєктованих об'єктів, а  
другі - для опису завдань на виконання проєктних операцій і процедур. ЯОО в  
свою чергу діляться на мови схемні, графічні та моделювання.

Схемні мови широко застосовують для опису принципів електричних і  
функціональних схем. Графічні мови - основа лінгвістичного забезпе-  
чення в підсистемах машинної графіки і геометричного моделювання. Мови мо-  
делювання розвинені в підсистемах імітаційного моделювання.

Вихідні мови використовуються для вираження результатів проєктних про-  
цедур на ЕОМ.

Мови супроводу застосовують для коригування та редагування даних при  
виконанні проєктних процедур.

Мови управління служать для подання керуючої інформації для програмно-  
керованого виконавчого обладнання, наприклад для пристроїв документування.

Проміжні та внутрішні мови призначені для подання ін-формації на певних  
стадіях її переробки в ЕОМ.

Недолік проміжних вузькоспеціалізованих мов - в необхідності істотної  
перебудови пов'язаної з ними програмної системи при зраді-ванні умов проєкту-  
вання. Недолік універсальних мов пов'язаний з їх громоз-дкістю і, отже, з не-  
зручностями застосування кінцевим користувачем.

Усунення зазначених вище недоліків здійснюється за допомогою Радіо-  
ючий програм- конверторів. Тут користувач складає опис на вхідній мові, це  
опис переводиться конвертором на проміжний (спеціалізований-ний) мову і далі  
працює основний транслятор, який перекладає опис заду-чи з проміжної мови в  
об'єктну програму (приклад, GEMMA-> АРТ-> УП).

### 7.3. Мови процедурні і непроцедурного

Мови проектування, призначені для опису розвиваються під ча-мени проце-  
сів називають процедурними, а мови, призначені для опису статичних структур  
проєктованих об'єктів називають непроцедурного.

### 7.4. діалогові мови

Розрізняють пасивний та активний діалоговий режим роботи оператора з  
ЕОМ і відповідно до цього активні і пасивні діалогові мови.

У пасивному діалоговому режимі ініціатива діалогу належить ЕОМ. Пере-  
ривання обчислювального процесу і звернення до користувача в потрібних міс-  
тах здійснюється за допомогою діалогових програмних засобів включених в мо-  
ніторную систему САПР або монітор ППП. Звернення ЕОМ до користувача в

цьому випадку може бути у вигляді запиту (вихідних даних за шаблоном або варіанти даль-шого проектування по меню), інформаційного повідомлення (для виведення про-проміжних або остаточних результатів рішення) або підказки (повідомлення про помилки).

В активному діалоговому режимі ініціатива початку діалогу може бути двус-торон - можливості переривання процесу є і до ЕОМ і у користувача. Активні діалогові мови, як правило, близькі до природного людського, але з обмеженим набором слів. Очевидно, що для реалізації активного діалогового режиму потрібно більш складне ПО.

## Лекція 7. СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

### 8.1. Основні компоненти програмного забезпечення САПР

Структура ПО САПР залежить від наступних факторів:

предметна область, аспекти і рівні створюються за допомогою ПО описаний проєктованих об'єктів;

ступінь автоматизації окремих проєктних операцій і процедур;

архітектура і склад технічних засобів, режим функціонування;

ресурси, відпущені на розробку ПО.

Розглянемо варіант організації однорівневої САПР (рис.8.1).

Програмне забезпечення САПР може бути розділене на проєктують і обслуговують підсистеми.

До обслуговуючим підсистем ПО відносяться: діалогова ДП;

СУБД; інструментальна підсистема; монітор - забезпечує взаємодія всіх підсистем і управління їх виконанням.

Діалогова підсистема ПО організовує інтерактивну взаємодію користувачів САПР з керуючою і проєктують підсистемами ПО, підготовку і редагування вихідних даних, перегляд результатів проєктують підсистем, що функціонують в пакетному режимі.

Підсистема управління базами даних (СКБД) реалізує однаковий доступ до загальної бази даних САПР. Призначення БД:

зберігання відомостей нормативно довідкового характеру;

зберігання результатів виконання етапів поточного проєкту;

забезпечення інформаційної узгодженості різних підсистем САПР.

Інструментальна підсистема програмування, основу якої складає генератор прикладних програм, що синтезує нові програми з уніфікованих модулів і програм розроблених користувачем, необхідна для забезпечення відкритості ПО САПР. Генератор прикладних програм включає в себе також середовища автоматичної розробки трансляторів для вхідних мов проєктують підсистем САПР.

Проєктують підсистеми ПО можуть бути об'єктно-залежними (проблемно-орієнтування) або об'єктно-незалежними (методо-орієнтування).

Об'єктно-незалежні підсистеми ПО орієнтовані на рішення задач проєктирования при наявності попередньо виконаної математичної постановки (наприклад, підсистема структурно параметричної ідентифікації - ПАРИС, підсистема рішення рівнянь в приватних похідних або звичайних диф.уравнень і ін.). Об'єктно-незалежні підсистеми складають основу для генерації проблемно-орієнтованих підсистем САПР.

Проєктують підсистемами ПО САПР можуть бути прості програми, орієнтовані на вузький клас об'єктів і використовують аналітичні моделі. Але частіше проєктують підсистеми ПО є універсальними пакети прикладних програм складної структури, що володіють своїми моніторами, локальними БД і СУБД.

Підсистема інтерактивної машинної графіки (ПІМГ) займає проміжний місце між проєктують і обслуговуючими підсистемами ПО САПР. З одного боку, кошти машинної графіки обслуговують ряд проєктують підсистем (наприклад, для наочного подання інформації у вигляді графіків, гистограм), а з іншого боку

вони входять в багато підсистеми конструкторського про-ектирования як основна частина.

## 8.2. монітор САПР

Управління ходом обчислювального процесу і координація взаємодії підсистем САПР здійснюється монітором. В рамках пакетів ПП аналогічні функції вирішуються локальними моніторами.

У функції моніторів входять:

- прийом і інтерпретація звернених до них команд користувача;
- завантаження і активізація компонентів ПО, організація маршрутів їх виконання;

- встановлення взаємодії між підсистемами;

- динамічний розподіл пам'яті;

- обробка переривань від дисплея користувача;

- сервісні функції (реєстрація користувачів, збір статистики, обробка збоїв системи і ін.);

Мова управління монітором САПР досить простий, в його основі лежать команди виклику необхідних підсистем ПО САПР і завдання їм керуючих параметрів, а також команди, що описують спосіб інформаційного обміну між підсистемами (через ОЗУ, через зовнішню пам'ять або БД). Засоби цієї мови повинні складати макроси, що визначають маршрути виконання проектують підсистем ПО САПР.

У загальному випадку завантажені проектують підсистеми ПО можуть функціонувати або як звичайні підпрограми, підлеглі керуючої підсистемі ПО, або як паралельні виконуються підзадачі, здатні змагатися між собою і монітором за управління.

## 8.3. Взаємодія підсистем

Взаємодія керуючої підсистеми ПО і моніторів проектують пакетів здійснюється через стандартний інтерфейс, який представляє собою формальні правила передачі фактичних параметрів.

У проектують підсистеми ПО передаються:

- параметри, що задають режим функціонування;

- адреси точок входу в обслуговуючі підсистеми ПО;

- адреси динамічно розподілених областей пам'яті, призначених для інформаційного обміну між різними підсистемами ПО.

Кожен проектує пакет, що входить в САПР, має паспорт, що зберігається в базі даних САПР. Паспорт містить такі відомості про проектує пакет:

- розмір займаної області ОЗУ;

- імена необхідних обслуговуючих підсистем;

- імена режимних параметрів і їх значення за замовчуванням;

- ім'я мови програмування, в стандарті якого пакет використовує передавання структур даних;

- місцезнаходження в пакеті обробника переривань від дисплея користувача;



показчики на можливі способи обміну інформацією з іншими проєктуючими підсистемами ПО (ОЗУ, СУБД, файлова система).

Монітор САПР, отримавши команду на активізацію будь-якої проєктує підсистеми ПО, зчитує з бази даних її паспорт, перевіряє коректність ко-мих фахівців і можливість завантаження підсистеми.

Далі він поміщає в ОЗУ необхідні обслуговуючі підсистеми, проєктующую підсистему, а потім в суворій відповідності з даними з паспорта будується звернення до цієї підсистеми.

Важливою функцією керуючої підсистеми САПР і моніторів проєктуючих пакетів є динамічний розподіл пам'яті, необхідне завжди, коли пакет працює з даними змінного обсягу. Засоби динамічного розбраті-ділення пам'яті-обов'язкові компоненти всіх сучасних мов програмування.

для ефективної роботи колективу користувачів необхідний множинний доступ до САПР. Цю проблему вирішує режим поділу часу, який реалізується з помістю ПО ОС ЕОМ.

## Лекція 8. РІВНІ, АСПЕКТИ І ЕТАПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

### 9.1. Ієрархічні рівні описів проєктованих об'єктів

В основі блочно-ієрархічного підходу до проєктування лежить принцип поділу опису об'єкта за ступенем деталізації його відображаються властивостей і характеристик. Це призводить до появи рівнів абстрагування.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття системи й елементів. На рівні 1 (верхньому рівні) об'єкт  $S$  розглядається як система  $S$  з  $n$  взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів  $S_i$  (рис.9.1).

Кожен з елементів в описі рівня 1 являє собою також складний об'єкт, який в свою чергу розглядається як система  $S_i$

на рівні 2. Елементами систем  $S_i$  є об'єкти  $S_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m_i$  (де  $m_i$  - кількість елементів в описі системи  $S_i$ ). Як правило, виділення елементів  $S_{ij}$  відбувається за функціональною ознакою. Розподіл елементів на рівні відбувається аж до появи елементів, які подальшого поділу не підлягають. Такі елементи по відношенню до  $S$  називаються базовими.

Прикладом ієрархічного опису об'єктів є структура технологічного процесу виготовлення деталі з рівнями: маршрут-> операція -> перехід -> прохід; іншим прикладом є декомпозиція конструкції виробу прийнята в специфікації: виріб - вузол - деталь.

Таким чином, принцип ієрархічності означає структурування уявлень про об'єкти проєктування за ступенем детальності описів, а принцип декомпозиції (блочності) - розбиття уявлень кожного рівня на ряд складових блоків з можливістю роздільного поблочного проєктування.

### 9.2. Аспекти описів проєктованих об'єктів

Крім ієрархічного опису об'єкта використовується опис за характером відображуваних властивостей, тобто аспектів описів. Найбільш важливими аспектами для технічних об'єктів є конструкторський та технологічний і функціональний аспекти.

Функціональний аспект пов'язаний з відображенням основних принципів функціонування, характеру фізичних і інформаційних процесів, що протікають в об'єкті, і знаходить вираз у принципових, функціональних, структурних, кінематичних схемах і супроводжуючих їх документах.

Конструкторський аспект пов'язаний з реалізацією результатів функціонального проєктування, тобто з визначенням геометричних форм об'єктів і їх взаємним розташуванням в просторі.

Технологічний аспект відноситься до реалізації результатів конструкторського проєктування, тобто пов'язаний з описом методів і засобів виготовлення об'єктів.

Можливо більш диференційоване опис властивостей об'єкта, а всередині кожного аспекту можливо специфічне виділення ієрархічних рівнів.

### 9.3. Составні частини процесу проєктування

Процес проектування розчленовується на стадії, етапи, проектні процедури і операції.

стадії:

- передпроектні дослідження;
- технічне завдання;
- ескізний проект;
- технічний проект;
- робочий проект;
- випробування;
- впровадження у виробництво.

Етап проектування - частина процесу проектування, що включає в себе формування всіх потрібних описів об'єкта, що відносяться до одного або кільком ієрархічних рівнях і аспектам.

Складові частини етапу проектування називають проектними процедурами. Проектна процедура-частина етапу, яка закінчується отриманням проектного рішення. Більш дрібні складові частини процесу проектування, що входять до складу проектних процедур, називаються проектними операціями. Наприклад, для проектної процедури оформлення креслення виробу проектною операцією може бути викреслення-вання типового графічного зображення зубчастого вінця і т.п.

#### 9.4. Нісходящее і висхідний проектування

Якщо рішення задач більш високих ієрархічних рівнів передують рішенням завдань більш низьких ієрархічних рівнів, то проектування називають нісходящим, в іншому випадку висхідним.

При низхідному проектуванні система розробляється в умовах, коли її елементи ще не визначені і, отже, відомості про їхні можливості і свої стани носять гаданий характер. При висхідному проектуванні елементи проектуються раніше і, отже, вимоги до системи мають припускає-ложительний характер.

На практиці, як правило, поєднують обидва зазначених виду проектування.

Наприклад, висхідний проектування має місце на всіх рівнях, на котрих використовуються уніфіковані елементи, на інших використовується нісходящее.

#### 9.5. Зовнішнє і внутрішнє проектування

При низхідному проектуванні формування ТЗ на розробку елементів k-го ієрархічного рівня відноситься до проектних процедур цього ж рівня. Однак розробка ТЗ на систему більш високого ієрархічного рівня або на систему уніфікованих елементів універсального призначення є самостійним етапом проектування, яке називають зовнішнім. Відповідно, проектування об'єкта по сформульованим ТЗ називають внутрішнім. На практиці поєднання процесів внутрішнього і зовнішнього проектування утворюють ітеративний процес коригування ТЗ.

#### 9.6. Уніфікація проектних рішень і процедур

Використання уніфікованих і типових проектних рішень спрощує і прискорює процес проектування. Однак уніфікація доцільна тільки в тих випадках, коли з порівняно невеликого числа елементів проектується велика різноманітність сис-

тем. У деяких випадках (наприклад, при багаторазовому повторенні однакових проектних процедур для різних об'єктів проектування) виникає потреба в уніфікації не тільки самих об'єктів, а й власне проектних процедур в рамках САПР.

## Лекція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 10.1. Проектування на основі методів типізації

Типові процеси розробляють на основі аналізу, систематизації та обобщення технологічних рішень, враховують передові досягнення технології машиностроєння.

Для даного класу деталей встановлюють так званий узагальнений маршрут обробки. Він включає перелік операцій характерний для певного класу деталей, має типову їх послідовність і зміст.

Якщо відомо безліч індивідуальних маршрутів  $M_1, M_2, \dots, M_n$  ( $1 \dots n$  - номери індивідуальних маршрутів для групи деталей) для даної групи деталей, то узагальнений маршрут  $M^*$  може бути формально описаний таким виразом.

Необхідною умовою включення індивідуального маршруту в узагальнений є наявність області перетину операцій як непорожньої безлічі

Важливою характеристикою (критерієм ефективності) формування узагальненого маршруту є потужність перетину множин операцій індивідуальних маршрутів /  $M_{\text{пер}}$  /, тобто кількість однакових операцій, що входять в це безліч без урахування відносини порядку елементів (операцій) безлічі.

Потужність перетину в узагальненому маршруті повинна прагнути до максимуму (рис.10.2). Це буде основною умовою об'єднання декількох індивідуальних маршрутів в узагальнений. Тоді потужність узагальненого маршруту повинна прагнути до мінімуму.

### 10.2. Логічні умови призначення операції в маршрут

При проектуванні маршруту обробки необхідно вирішувати два завдання: визначити перелік операцій і послідовність їх виконання. Логічне умова вибору операцій за своїм призначенням можна розділити на ряд груп (рис.10.3). У загальному випадку логічна функція вибору  $k$ -ї операції

$$f_k = \bigvee_{j=1}^{n^2} (\bigwedge_{i=1}^{n^1} A_i)_j$$

де  $A_i$  – умова з довідника логічних умов для групи деталей;

$i$  – кількість умов, пов'язаних кон'юнкцією;  $j$  – кількість сполучень, пов'язаних диз'юнкцією.

### 10.3. Формування узагальненого маршруту

Формування узагальненого маршруту начитають в принципі з будь-якого наявного  $M_i$ , прийнятого за базовий. У нього послідовно вставляються операції всіх приєднуються  $M_j$  маршрутів.

Для цього проводиться пошук в базовому маршруті для кожної приєднується операції еквівалентних операцій. Вставляються відсутні операції займають певні місця в базовому маршруті. Отриманий маршрут приймається як черговий базовий, до нього приєднується наступний маршрут і т.д. для рассмат-Ріва класу деталей.

Отриманий узагальнений маршрут являє собою перелік операцій, ка-ждя з яких має логічну функцію, яка визначає умови включення даної операції в індивідуальний маршрут обробки.