

В.С. Блиндюк, І.Е. Мартинов, В.С. Меркулов

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТНО-
КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У
ВАГОНОБУДУВАННІ ТА ВАГОННОМУ
ГОСПОДАРСТВІ**

Навчальний посібник

Харків 2016



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

В.С. Блиндюк, І.Е. Мартинов, В.С. Меркулов

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТНО-
КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У
ВАГОНБУДУВАННІ ТА ВАГОННОМУ
ГОСПОДАРСТВІ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів напряму підготовки
«Рухомий склад залізниць» вищих навчальних закладів*

Харків 2016

УДК 681.3.06
ББК 39.275+39.24
А 224

транспорту, 2016.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів напряму підготовки
«Рухомий склад залізниць» вищих навчальних закладів
(№ 1/11-20835 від 31.12.2013 р.).*

Навчальний посібник

Рецензенти:

професори В.М. Самсонкін (ДНДЦ Укрзалізниці),
В.Г. Маслієв (НТУ «ХП»),
А.П. Фалендиш (УкрДУЗТ)

Блиндюк Василь Степанович,
Мартинів Ігор Ернстович,
Меркулов Віктор Сергійович
та ін.

Авторський колектив:

В.С. Блиндюк, І.Е. Мартинів, В.С. Меркулов,
І.Г. Бізюк, Т.М. Морозова

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКОЇ
ДІЯЛЬНОСТІ У ВАГОНБУДУВАННІ ТА ВАГОННОМУ
ГОСПОДАРСТВІ

А 224 Автоматизація проектно-конструкторської діяльності у вагонобудуванні та вагонному господарстві: Навч. посібник / В.С. Блиндюк, І.Е. Мартинів, В.С. Меркулов та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2016. – 208 с., рис.. 217, табл. 3.
ISBN 978-617-654-048-9

У навчальний посібник включено матеріали лекцій і лабораторно-практичних занять; результати досліджень виконано співробітниками Українського державного університету залізничного транспорту при викладанні дисципліни «Системи автоматизованого проектування рухомого складу».

Наведено основні принципи побудови САПР, їхню класифікацію, роль САПР у виробничому циклі. Розглянуто методологію автоматизації проектування, методи створення моделей геометричних об'єктів, засоби двовимірного креслення та 3D-моделювання оптимізації проектних рішень при автоматизованому проектуванні в застосуванні до вагонобудування та вагонного господарства. Розглянуто різні аспекти роботи з Компас-3D. Посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів і викладачів.

УДК 681.3.06
ББК 39.275+39.24

Відповідальний за випуск Меркулов В.С.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку 21.05.15 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друкарк. 11,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту

ISBN 978-617-654-048-9

© Українська державна
академія залізничного

61050, Харків - 50, майдан Фейсрбаха, 7
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ВВЕДЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....	13
1.1. Поняття і стадії інженерного проектування.....	13
1.2. Етапи розвитку й градації САПР.....	19
1.3. Склад і структура САПР.....	22
1.4. Основні принципи побудови САПР.....	28
1.5. Компоненти видів забезпечення САПР.....	30
1.6. Класифікація САПР.....	45
1.7. Взаємодія САПР із іншими автоматизованими системами.....	52
1.8. Роль САПР/АСТПВ у виробничому циклі.....	55
1.9. Інформація про виріб і етапи життєвого циклу виробу..	59
1.10. Технологія паралельного проектування.....	61
1.11. САПР у конструюванні виробів.....	78
1.12. Системи автоматизованого аналізу. Метод скінчених елементів.....	99
1.13. Види конструкторських документів.....	103
1.14. САПР вагона.....	105
РОЗДІЛ 2. ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ КОМПАС-3D.....	109
2.1. Принципи введення й редагування об'єктів.....	109
2.2. Об'єктні прив'язки.....	110
2.3. Моделювання тіла обертання на прикладі вала.....	113
2.4. Моделювання простого корпусу.....	123
2.5. Моделювання підшипника.....	128
2.6. Моделювання циліндричного зубчастого колеса.....	136
2.7. Моделювання конічного зубчастого колеса.....	147
2.8. Створення складання вузла механізму.....	150
2.9. Створення креслення корпусу за моделлю.....	160
2.10. Створення креслення зубчастого колеса.....	170
2.11. Створення складального креслення й специфікації.....	175
ВИСНОВКИ.....	184
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	185

Додаток 1. Приклади виконання креслень, складального креслення, специфікації.....	187
Додаток 2. Приклад виконання розрахункової частини курсової роботи.....	192

ПЕРЕДМОВА

Розвиток нових технологій постійно висуває все більш жорсткі вимоги до сучасного інженера-конструктора. Вже давно залишилися в минулому ті часи, коли всі конструкторські розрахунки, креслення й документація виконувалися вручну, а головними інструментами проектувальника були олівець і кульман. Точність таких креслень і документації залежала від багатьох суб'єктивних факторів, таких як старанність виконання графічного зображення, кваліфікація проектувальника та ін. Найгірше, що такі креслення практично неможливо було редагувати. У результаті проєктований об'єкт міг бути далеким від досконалості.

За останні десятиліття інформаційні технології докорінно змінили принципи конструювання, прискоривши при цьому процес розроблення виробу, підвищивши його точність і надійність у десятки разів. Існує помилкова думка, що графічні й розрахункові системи — це лише цифрова заміна проектування вручну. Хоча на самому початку, звичайно, так і було. Перші версії програм зарубіжних авторів для роботи з інженерною двовимірною графікою були ні чим іншим, як електронним варіантом олівця й кульмана. Однак завдяки високим технологіям сфера конструювання розвивалася, і в результаті з'явилася окрема самостійна галузь — автоматизоване проектування. Поступово в графічних редакторах стало можливим повторно використовувати раніше спроектовані вироби, легко й швидко створювати типові елементи, самостійно оформляти креслення й іншу документацію. Потім з'явився механізм параметризації графічного зображення.

Переворотом у промисловому проектуванні стало застосування в конструюванні тривимірної графіки. Спочатку в будівництві, потім у важкому машинобудуванні, а за ними й в інших галузях почали активно шукати застосування можливостям об'ємної комп'ютерної графіки. Не можна сказати, що перехід на тривимірну графіку був безболісним. По-перше, через вимоги стандартів (ДЕРЖСТАНДАРТ, СНП і т. п.), що стосується тільки плоскої графіки, і, по-друге, через негнучкість мислення багатьох інженерів, що вперто відштовхують все нове. Однак іншого

шляху не було. Проектна організація, що активно використовує сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) і розрахункові комплекси, встигала виконати й представити кілька повноцінних рішень певного проекту, тоді як за той же час інша організація, що не застосовує САПР, навряд чи встигала підготувати один ескізний проект. Крім кращого візуального подання проєктованих виробів, 3D-графіка на порядок підвищує точність проектування особливо складних (складових) об'єктів, дозволяє легко редагувати тривимірну модель. Асоціативний зв'язок, встановлюваний в інженерних 3D-системах між моделлю виробу, його кресленнями, а також документацією на виріб (наприклад, специфікацією), дозволяє при внесенні змін в 3D-модель автоматично відобразити всі ці зміни в інших документах, пов'язаних з моделлю. Саме за рахунок цього й досягається колосальна економія часу й витрат праці на проектування. Подальший розвиток САПР дав можливість зібрати воедино всі дані про проєктований об'єкт у системах керування життєвим циклом і інженерними даними, а також гнучко управляти цими даними залежно від потреб кожного конкретного підприємства.

Іншою галуззю розвитку комп'ютерних систем для проектування є інженерні розрахунки. Цей клас програм почав бурхливо розвиватися з появою 3D у конструюванні й на даний момент дуже затребуваний. Тривимірне подання напруг від діючих навантажень, тривимірний розподіл (поле) температур, міцнісний, кінематичний, динамічний аналіз тощо стали доступними інженерам, що використовує такі системи. Дуже багато розрахунків, які раніше навряд чи можна було виконати або які вимагали суперкваліфікованих фахівців, зараз легко вирішуються за допомогою таких додатків.

Призначення книги

Книга призначена для студентів технічних вузів, а також інженерів-конструкторів, що використовують автоматизоване проектування на своїх підприємствах. Вона складається з двох розділів і додатків. У розд. 1 наведено основні принципи побудови САПР, їхню класифікацію, роль у виробничому циклі. Також розглянуто методологію автоматизації проектування,

методи створення моделей геометричних об'єктів, засоби двовимірного креслення та 3D-моделювання. Звернуто увагу на характерні риси САПР вагонів.

У розд. 2 послідовно розглянуто різні аспекти роботи з Компас-3D - практично все, що може знадобитися в роботі. Відмінною рисою даного видання є його насиченість практичними прикладами достатньої складності, щоб навчитися професійно працювати. Вони досить великі (висвітлюють більшість функцій, які найчастіше використовуються на практиці), узяті з реального життя, тому не є абстрактними. У дод. 1 наведено приклади виконання креслень, складального креслення, специфікації, у дод. 2 – приклад виконання розрахункової частини курсової роботи.

ВСТУП

У 1990-ті роки підприємства захопилися автоматизацією бухгалтерського й фінансового обліку, корпоративного управління. Поза полем зору керівників найчастіше залишався виробничий сектор, але ж саме він є основою функціонування підприємства й найважливішим джерелом прибутку.

На сучасному ринку все помітнішими стають важливі структурні зміни: підприємства переходять від автоматизації розрізнених ділянок конструкторсько-технологічної підготовки виробництва до створення єдиного інформаційного простору як у рамках заводу, так і в рамках холдингових структур.

Дана тенденція, хоча й з деяким запізненням, починає відповідати загальносвітовій практиці.

Діаграма часових і матеріальних витрат промислового підприємства (рисунок) показує, що не менше 70 % витрат припадає на виробничі функції. Саме у сфері виробничої діяльності можуть бути приховані основні резерви, що сприяють скороченню строків випуску нової продукції й підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

А що таке виробництво? Звичайно 5-10 % часу, що приділяється для самого процесу, займає безпосередньо випуск виробу, а все інше — підготовчі роботи.

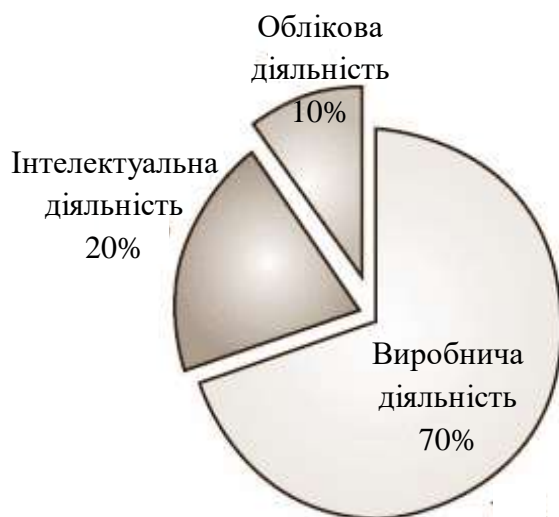


Рис. Діаграма часових і матеріальних витрат промислового підприємства

Прогрес науки й техніки, потреби суспільства в нових промислових виробках обумовлені необхідністю виконання проектних робіт. Вимоги до якості проектів, строків їхнього виконання стають усе більш суворими зі збільшенням складності проєктованих об'єктів. Крім того, темпи морального старіння виробів сьогодні такі, що поставлені на конвеєр нові зразки часто вже не відповідають сучасним вимогам.

Здійснення цих вимог стало можливим на основі широкого застосування *інформаційних технологій* на всіх етапах виробництва:

- контроль проєктування, де зароджується вихідна модель виробу, технологічне проєктування;
- проєктування організації керування виробництвом з формуванням даних про матеріальні й інформаційні потоки виробництва;
- виготовлення виробів шляхом виконання операцій над матеріальним об'єктом на основі створеної на попередніх етапах інформації;
- оцінка якості виробу на основі порівняння необхідних і реальних характеристик.

До числа найбільш ефективних технологій належать САПР, які на сьогодні є основним інструментом автоматизації конструкторських і технологічних підрозділів. Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 23501.0-79 система автоматизованого проєктування (САПР) — організаційно-технічна система, яка складається з комплексу засобів автоматизації проєктування, що взаємодіє з підрозділами проектної організації, і виконує автоматизоване проєктування.

Зараз терміном САПР позначають процес проєктування з використанням складних засобів машинної графіки, підтримуваних пакетами прикладних програм для вирішення на комп'ютерах аналітичних, кваліфікаційних, економічних і ергономічних проблем, пов'язаних із проектною діяльністю.

Мета автоматизації проєктування:

- підвищення якості;
- зниження матеріальних витрат;
- скорочення засобів проєктування;

- зменшення або ліквідація збільшення кількості проектувальників і конструкторів;
- підвищення продуктивності праці проектувальників.

Переваги САПР:

1. Більш швидке виконання креслень (до 3 разів). Дисципліна роботи з використанням САПР прискорює процес проектування в цілому, дозволяє в стислий термін випускати продукцію й швидше реагувати на зміну ринкових кон'юнктур.

2. Підвищення точності виконання. На кресленнях, побудованих за допомогою САПР, місце будь-якої точки визначено точно, а для поліпшення перегляду елементів є засіб, так званий наїзд (zooming), що дозволяє збільшувати або зменшувати будь-яку частину креслення в будь-яку кількість раз. На зображення, над яким виконується наїзд, не накладається практично ніяких обмежень.

3. Підвищення якості.

4. Можливість багаторазового використання креслення. Креслення, що запом'ятовано, може бути використане повторно для проектування, коли до складу креслення входить ряд компонентів, що мають однакову форму. Пам'ять комп'ютера є також ідеальним засобом зберігання бібліотек, символів, стандартних компонентів і геометричних форм.

5. САПР має креслярські засоби (сплайни, сполучення, шари).

6. Прискорення розрахунків і аналізу при проектуванні. Існує велика розмаїтість програмних засобів, що дозволяє виконувати на комп'ютерах частину проектних розрахунків заздалегідь. Потужні засоби комп'ютерного моделювання, наприклад метод скінчених елементів, звільняють конструктора від використання традиційних форм і дозволяють проектувати нестандартні геометричні форми.

7. Зниження витрат на відновлення. Засоби аналізу й імітації в САПР дозволяють різко скоротити витрати часу й грошей на тестування й удосконалення прототипів, які є дорогими етапами процесу проектування.

8. Великий рівень проектування. Потужні засоби комплексного моделювання. Можливість проектування нестандартних геометричних форм, які швидко оптимізуються.

9. Інтеграція проектування з іншими видами діяльності. Інтегровані обчислювальні засоби забезпечують САПР більш тісну взаємодію з інженерними підрозділами САПР.

Доведено, що автоматизація проектування технічних об'єктів є об'єктивною необхідністю.

На прикладі проектування пристроїв

Статистичні обстеження загальномашинобудівних і верстатобудівних підприємств показують розподіл часу на виконання проектних процедур (див. таблицю). З таблиці видно, що в прямих витратах часу, які безпосередньо складають процес, креслярські роботи складають більше 30 %, у той час як «духовно-творчі» елементи проектних робіт (проектування/конструювання) — тільки 15 %. Так звані «непрямі проектні» роботи займають приблизно 1/3 сумарного часу конструктора. Це рутинні етапи.

Таблиця 1

Структура й співвідношення часових витрат на виконання процедур проектування

Проектні процедури	Час, %	Характер витрат часу
Проектування / конструювання	15	«Прямі витрати» (проектні роботи)
Розрахунки	4	
Креслення	33	
Інші роботи	10	
Складання специфікацій	5	«Непрямі витрати»
Контроль креслень	6	
Пошук повторюваних деталей	2	
Складання описів	12	
Нормування	3	
Пошук аналогів проекту	1	
Переписка	3	
Інші роботи	6	

Звідси випливає, що першим напрямком раціоналізації процесу проектування є автоматизація виконання «рутинних» етапів за допомогою засобів обчислювальної техніки.

Найбільші успіхи досягнуто при автоматизації:

- розрахунків;
- розроблення текстової й технічної документації;
- пошуку аналогів;
- виконання креслярсько-графічних робіт.

На прикладі проектування технологій

Більше 80 % всіх машин виготовляють на заводах із серійним характером виробництва.

Багатоваріантність можливих технологічних рішень, вибір найкращого (оптимального) рішення, великий обсяг канцелярсько-оформлювальної частини робіт, підготовка керуючих програм робить технологічне проектування досить трудомістким.

Таким чином, необхідність автоматизації проектних рішень полягає у вирішенні протиріччя між скороченням строків на проектування об'єктів (у зв'язку з частою зміною об'єктів виробництва) і підвищенням якості проектування й обмежених трудових ресурсів.

Автоматизоване проектування — це процес або сукупність заходів, спрямованих на виконання проектних рішень за допомогою ЕОМ. При цьому має бути передбачений раціональний розподіл функцій між людиною (проектувальником) і ЕОМ: людина вирішує творчі завдання, а комп'ютер — завдання, що допускають формалізований опис у вигляді алгоритмів.

Автоматичне проектування — це такий вид проектування, при якому проектування виконується за допомогою ЕОМ без участі людини, тобто проектувальник повністю «виключений» зі сфери проектування й не бере участі у процесі прийняття рішень.

Неавтоматизування — проектування, при якому ЕОМ не використовується.

РОЗДІЛ 1

ВВЕДЕННЯ В АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Поняття і стадії інженерного проектування

Проектування (від лат. *projectus*, тобто кинутий уперед) — процес створення проекту, тобто прототипу, прообразу пропонуваного або можливого об'єкта. Проектування технічного об'єкта пов'язано зі створенням, перетворенням і поданням у прийнятій формі образу цього об'єкта.

Результат проектування – це повний комплект документації, що містить відомості, достатні для виготовлення об'єкта.

Перетворення вихідного опису ще не існуючого об'єкта в остаточний (рис. 1.1) породжує проміжні описи, які є предметом розгляду з метою визначення закінчення проектування або вибору шляхів його продовження. Такі описи називають *проміжними рішеннями*.

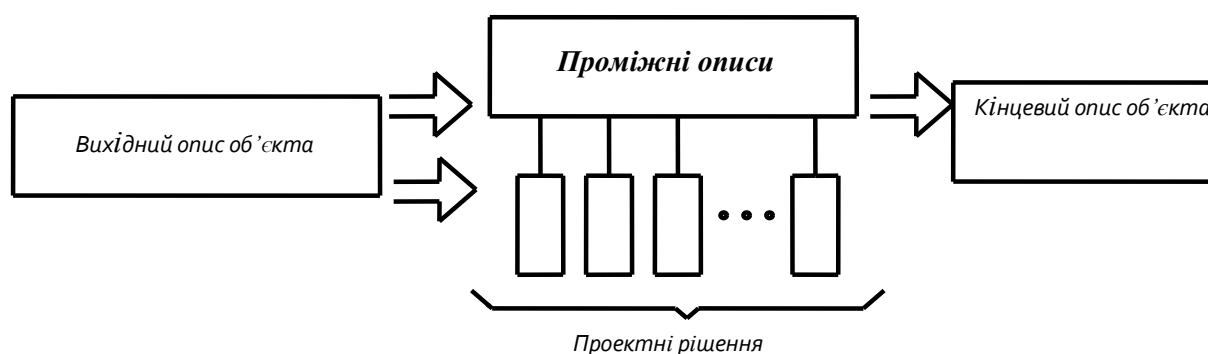


Рис. 1.1. Процес проектування технічного об'єкта

Етап *конструювання* – один з найбільш важливих етапів проектування машинобудівних виробів. На цьому етапі формується концептуальний вигляд майбутнього виробу, створюються математично точні геометричні моделі як окремих деталей, так і всього виробу.

Проектування передувє конструюванню і являє собою пошук науково обґрунтованих, технічно здійсненних і економічно доцільних інженерних рішень. Результатом проектування є *проект виробу*, що розробляється. У результаті конструювання створюється конкретна, однозначна конструкція виробу.

Стадії проектування — найбільші частини проектування як процес, що розвивається в часі (рис. 1.2).

Розрізняють *зовнішнє* й *внутрішнє* проектування. До зовнішнього проектування відносять передпроектні дослідження, розроблення, затвердження технічного завдання. До внутрішнього проектування відносять такі стадії: розроблення технічної пропозиції, ескізного проекту, технічного проекту, робочого проекту, виготовлення, налагодження, випробування, введення в дію.

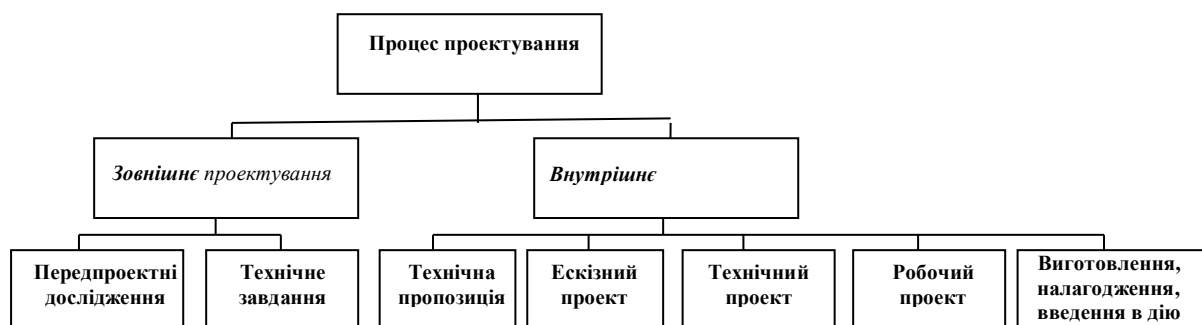


Рис. 1.2. Стадії проектування технічного об'єкта

1. ПЕРЕДПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ — проводиться обстеження предметної сфери майбутнього проектованого об'єкта. Обстеження передбачає такі заходи:

- оцінка можливості створення об'єкта;
- збір даних, опис і аналіз існуючих аналогів об'єкта;
- збір пропозицій щодо створення об'єкта.

2. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ (ТЗ) є первинним, основним документом, яким керуються, приступаючи до розроблення нового виробу. Воно відображує технічні, техніко-економічні характеристики майбутнього виробу, визначає основні характеристики конструкції й принципи роботи. Вимоги ТЗ ґрунтуються на сучасних досягненнях науки й техніки, на виконанні науково-дослідних і експериментальних робіт.

Після узгодження і затвердження ТЗ замовником воно стає документом, на підставі якого виконуються всі інші стадії розроблення.

Зміст технічних завдань на проектування:

- підстава для проектування;
- призначення об'єкта;
- умови експлуатації;
- вимоги до вихідних параметрів — величин, які характеризують властивості об'єкта, що цікавлять споживача.

Поряд з якісними характеристиками (представленими у вербальній формі) є числові параметри, названі зовнішніми параметрами, для яких зазначено області припустимих значень, наприклад температура навколишнього середовища, навантаження, електричні напруги та ін.

3. ТЕХНІЧНА ПРОПОЗИЦІЯ – початковий етап проектування. Основне завдання цього етапу — перевірка сумісності вимог *ТЗ* із можливостями реалізації технічних рішень. Технічна пропозиція містить аналіз можливих варіантів технічних рішень і обґрунтування пропонованого варіанта рішення.

Технічна пропозиція передбачає:

- вишукування або розроблення принципів побудови системи;
- розроблення структурної схеми;
- вибір технічних засобів;
- вибір параметрів системи;
- математичний опис об'єкта;
- математичне моделювання проектованої системи;
- проведення оптимізації;
- розрахунок;
- аналіз результатів і порівняння з *ТЗ*.

4. ЕСКІЗНИЙ ПРОЕКТ – конструкторське опрацювання оптимального варіанта виробу до рівня принципів конструкторських рішень, що дають загальне уявлення про пристрій і принципи роботи виробу. В ескізному проекті закладаються основи застосування типових, стандартизованих і уніфікованих складових частин розроблення, формуються вимоги до спеціальних комплектуючих.

Ескізний проект включає пояснювальну записку, ескізну технічну документацію, висновок про відповідність отриманих результатів вимогам технічного завдання.

Ескізне проектування передбачає:

- уточнення структурної схеми;
- уточнення складу підсистем, їхніх функцій, характеристик, взаємозв'язку;
- аналіз характеристик технічних засобів, проведення оптимізації, скорочення номенклатури технічних засобів;
- моделювання (математичне, імітаційне, фізичне);
- ескізму документацію (схемну, конструкторську, текстову);
- виготовлення експериментальних зразків, розроблення документації на них.

5. ТЕХНІЧНИЙ ПРОЕКТ — проект, у якому зафіксовано технічні рішення, технічний образ нового об'єкта у вигляді описів, схем, креслень, розрахунків. Технічний проект виконують на основі погодженого й затвердженого ескізного проекту, а в тих випадках, коли останній не розробляється, — на основі погодженого й затвердженого технічного завдання (затвердженої технічної пропозиції), а потім конкретизують у робочому проекті. Розроблення технічного проекту здійснюють відповідно до Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

Технічне проектування передбачає поглиблення і деталізацію отриманих результатів в умовах, близьких до експлуатаційних, проведення випробувань.

6. РОБОЧИЙ ПРОЕКТ — сукупність конструкторських документів для виготовлення та випробування дослідного зразка виробу. Розроблення робочої документації є заключним етапом проектування, завдання – повна деталізація проектних рішень, що забезпечує можливість здійснення всіх виробничих операцій, пов'язаних з реалізацією цих рішень і створенням виробу.

7. ВИГОТОВЛЕННЯ НЕСЕРІЙНИХ КОМПОНЕНТІВ ОБ'ЄКТА

Створення працездатного виробу, що забезпечує виконання функцій, передбачених технічним завданням:

- виготовлення компонентів об'єкта;
- автономне налагодження й випробування компонентів об'єкта.

8. ВВЕДЕННЯ В ДІЮ

Забезпечення можливостей промислового функціонування виробу; визначення фактичних техніко-економічних показників виробу; відповідність його технічному завданню й вимогам нормативно-технічної документації.

У загальному випадку *процес проектування* можна уявити таким чином:

- розроблене технічне завдання видають конструкторам для пошуку рішення і розроблення ескізів виробу;
- дані ескізного проектування передають розраховувачам для виконання інженерних розрахунків, і виріб перевіряють на відповідність виконуваних функцій;
- результатом цих робіт є оформлення конструкції, яка передана в групу стандартизації для опрацювання можливого застосування стандартних і уніфікованих вузлів і деталей, що у свою чергу потребує додаткових розрахунків;
- після виконання графічних робіт із розроблення технічного проекту перевіряють вузли на технологічність і приступають до деталізації;
- потім складають специфікації, розробляють інструкції і передають проект на розроблення технологам.

На рис. 1.3 в якості прикладу подано узагальнену схему процесу автоматизації проектування.

На будь-якій стадії або етапі проектування може бути виявлено помилковість або неоптимальність раніше ухвалених рішень і, отже, необхідність або доцільність їхнього перегляду. Подібні повернення типові для проектування й обумовлюють його ітераційний характер.

Зокрема може бути виявлена необхідність коректування технічного завдання. У цьому випадку чергуються процедури зовнішнього й внутрішнього проектування.

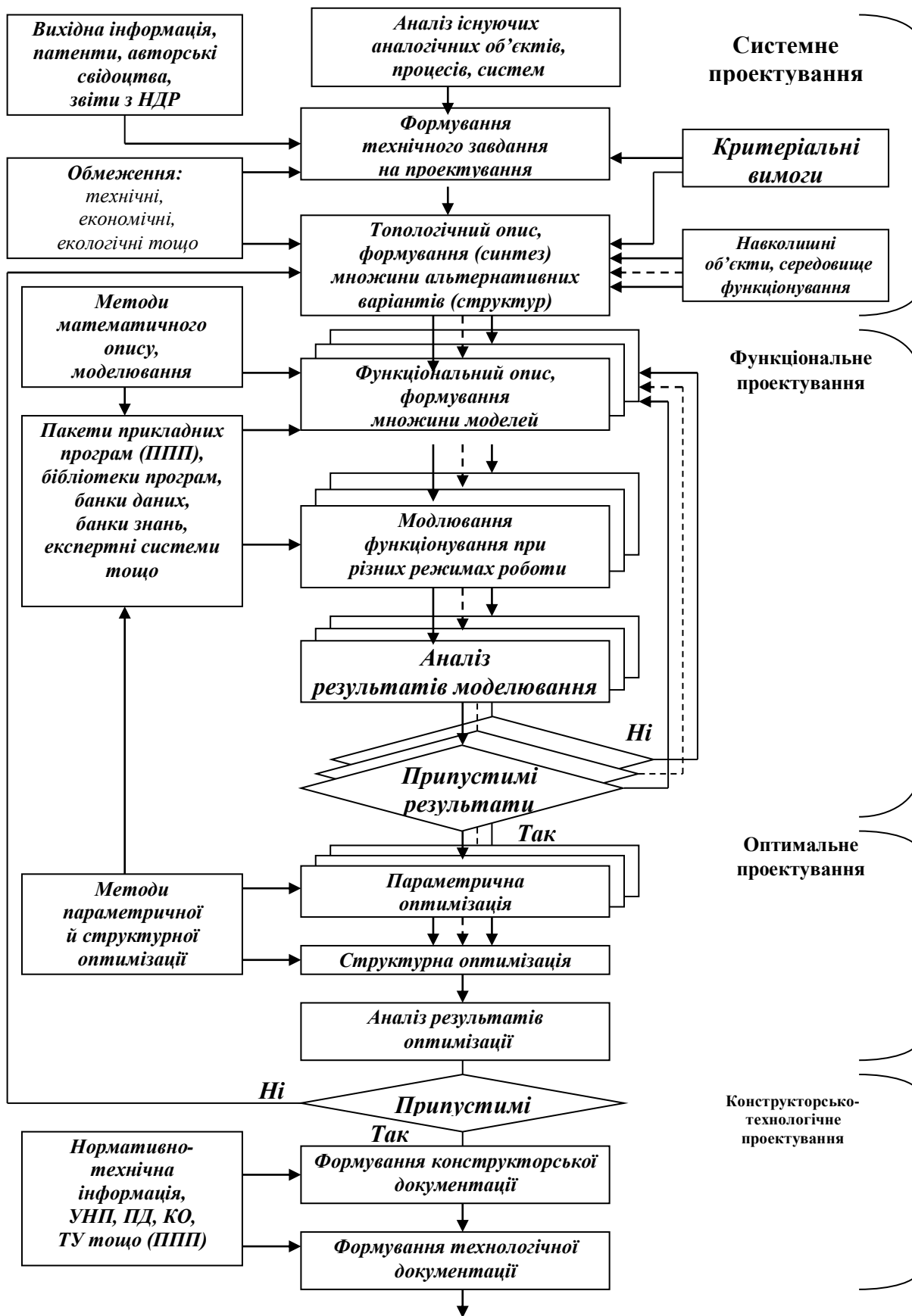


Рис. 1.3. Схема процесу автоматизації проектування

1.2. Етапи розвитку й градації САПР

У 1970-х роках були отримані окремі результати, які показали, що область проектування в принципі піддається комп'ютеризації. Відповідно до віянь часу в цей період основна увага приділялася системам автоматичного креслення.

У 1980-х роках впровадилися мікро- й суперкомп'ютери, і системи автоматичного креслення стали доступними навіть малим фірмам. Коли стіл для креслення замінюється на дисплей, то підвищується швидкість роботи досвідченого кресляра в 3-3,5 разу. У цей час застосовували не тільки автоматичне проектування, але й моделювання 3D. Спочатку в 3D були прості поверхні, потім твердотілі зображення.

1990-ті роки — період зрілості, усвідомлення більшої реальних завдань практики, виправлення більшої помилок при розробленні, інтеграції можливостей. Все це дозволимо передбачати про автоматизацію всього процесу проектування, конструювання. Зараз найактуальнішими стали питання, пов'язані з інтеграцією різноманітних можливостей, що передбачає автоматизацію не окремих елементів, а всього процесу проектування, конструювання й виробництва. Бурхливе зростання функціональності САПР із одночасним ускладненням ряду функцій призвело до того, що на першому плані опинилися проблеми користувальницького інтерфейсу.

Надзвичайно актуальними є методи відкоту назад, що дозволяють відновити коректний проект, незважаючи на допущені помилки, що відбуваються через власні неадекватні дії й через некоректні проектні дані.

Останнім часом акцент знову зсувається у бік більш автоматизованих САПР підвищеною потужністю й ефективністю окремих фаз проектування з використанням таких методів, як генетичні алгоритми, нейронні мережі й системи баз даних.

Серед досягнень останнього 10-річчя слід відзначити більш виразне розшарування класів систем. Стало зрозуміло, що оскільки в промисловості є великі, середні і взагалі дрібні підприємства, то й автоматизація для них повинна бути різною. Зараз на ринку існує велика гама систем, що розрізняються за вартістю, функціональністю й ступенем охоплення проектно-технологічної й виробничої сфери підприємства.

Відомо три градації систем (табл.1.1)

Таблиця 1.1

"Класовий" склад ринку САПР

Клас САПР	Продукт	Компанія
Важкий	Unigraphics NX	UGS PLM Solutions(EDS)
	CATIA	Dassault Systemes/IBM
	PRO/Engineer	PTC
Середній	Зарубіжні системи	
	SolidEdge SolidWorks	UGS PLM Solutions(EDS) SolidWorks
	Inventor й Mechanical Desktop	Autodesk
	Cimatron	Cimatron
	Think3	Think3 S.p.A.
	CadKey	CadKey
	PowerSolutions	Delcam
	Вітчизняні продукти	
	КОМПАС(CAD/CAM/CAE/PDM)	Аскон
	T-Flex(CAD/CAM/CAE/PDM)	Топ Системи
КРЕДО(CAE)	НИЦ АСК	
Легкий	AutoCAD	Autodesk
	SurfCAM 2D	Surfware
	DataCAD	DataCAD
	IntelliCAD	CADopia
	TurboCAD	IMSI
Спеціалізовані САПР		
Промислове проектування	AutoPlant	Rebis(Bentley)
Будівельне проектування	RobotMillennium	RoboBat
Архітектурне проектування	Architectural Desktop	Autodesk

Креслярсько-орієнтовані системи (з'явилися першими в 1970-ті роки й продовжують використовуватися). Це легкі системи для користувачів-початківців, вони мають обмежений набір функцій. Ціна до 1000 дол. Використовуються на ПК. До них належать AutoCad, ArchiCad, GraphicsCad, IsiCad, CadKey. В основному працюють із 2D-об'єктами.

Системи середнього рівня (до 8000 дол.), вимагають ПК високого класу зі спеціальним графічним устаткуванням або молодші моделі робочих станцій, або PISE-процесори. Це системи, які дозволяють створювати електронну модель об'єкта в 3D-просторі, що дає можливість вирішення завдань моделювання аж до моменту його виготовлення, наприклад Mechanical Desktop (Autodesk), PTI Modeler (Parametric Technology), Personal Designer (ComputerVision).

Personal Designer – пакет програм (ПП) із широким набором функцій для автоматичного проектування й підготовки конструкторської документації у сферах механічних додатків з достатніми можливостями для подальшого розширення. За допомогою цього пакета можна розробити 3D геометричні моделі, синтезувати й моделювати моделі за допомогою NURB-поверхонь і поверхонь Безьє, відтворювати й контролювати розроблені конструкції, документувати розроблені вироби за рахунок створення високоякісних технічних креслень для процесу виробництва й монтажу у відповідності зі стандартами DIN, ANSI, ISO. Цінність цього пакета збільшується за рахунок значної кількості ПП третесторонніх постачальників, що розширюють функціональність.

Наприклад Personal Machinist доповнює цей пакет функціями для НК-програмування (верстати зі числовим програмним керуванням (ЧПК)). Обидві системи базуються на загальній базі даних (БД) і використовують той самий користувальницький інтерфейс. Ці два пакети разом являють собою єдине повністю інтегроване CAD/CAM-рішення серед свого класу.

Системи старшого рівня. Звичайно працюють на робочих станціях і графічних серверах RISC/UNIX/NT Windows. Підтримують повний електронний опис об'єкта, тобто розроблення й підтримку електронної інформаційної моделі протягом усього життєвого циклу об'єкта (включаючи маркетинг, концептуальне й робоче проектування, технологічну підготовку, виробництво, експлуатацію, ремонт і утилізацію). Тому ці системи можна називати CAD/CAM/CAE/PDM-системами. До таких належать I/EMS (Intergraph), CATIA(IBM), Pro/Engineer (Parametric Technology), CADD5 (Computer Vision), Euclid.

CADDS5 – інтегроване інструментальне програмне середовище для автоматизації процесів проектування й технологічної підготовки виробів, що містить у собі більше 85 окремих програмних пакетів, функціонально охоплює ескізне й робоче проектування, синтез геометричних моделей, інженерний аналіз, розроблення креслярсько-конструкторської документації, підготовку до виробництва.

Завдяки своїм функціональним можливостям CADDS5 дозволяє виконувати розроблення багатьох типів технічних об'єктів, починаючи від машинобудівних деталей, конструкцій і окремих виробів до таких виробів, як автомобілі, бурова платформа. Ця система належить до ряду тих систем, які здатні функціонувати практично на будь-яких технологічних платформах апаратних засобів і взаємодіяти з іншими прикладними програмами, що належать до областей CAD/CAM/CAE/PDM і ЧПК-устаткування. У CADDS5 підтримуються всі основні стандарти обміну (IGES, STEP, SET, DxF, AP1203/2/4 та ін. спеціалізовані стандарти). Є прямі транслятори для обміну з іншими САПР (CATIA і ін.). CADDS5 підтримує технологію паралельної роботи різних проектно-технологічних груп, що узгоджено виконують у рамках єдиної інформаційної моделі операції проектування, складання, аналізу, тестування, перевірки коректності моделі й підготовки її до виробництва. Дозволяє в масштабах підприємства логічно поєднувати інформацію про виріб, забезпечуючи швидку обробку й доступ до неї користувача.

1.3. Склад і структура САПР

САПР включає:

- колектив проектувальників, які вміють працювати з новими методами проектування, спеціально орієнтованими на широке застосування обчислювальної техніки з розвинутою мережею термінальних пристроїв;
- технічні засоби: обчислювальні машини, мережі обчислювальних машин, термінальні пристрої (алфавітно-цифрові і графічні дисплеї, графопобудовники, автоматизовані робочі місця), машинні носії інформації, лінії та пристрої зв'язку, розмножувальна техніка і т. д.;

- нову організаційну структуру, пристосовану ефективно експлуатувати і обслуговувати технічні засоби і програмне забезпечення САПР;

- машинно-орієнтовані методики, інструкції і нормативні матеріали, розвинуте програмне забезпечення, операційні системи і спеціальне математичне забезпечення технічних засобів, а також спеціальні проблемно-орієнтовані мови.

Складовими частинами САПР, жорстко пов'язаними з організаційною структурою проектної організації, є підсистеми, у яких за допомогою спеціалізованих комплексів засобів вирішується функціонально закінчена послідовність завдань САПР.

За призначенням підсистеми поділяють на *такі, що проектують*, і *такі, що обслуговують*.

Підсистеми, що проектують, мають об'єктну орієнтацію й реалізують певний етап (стадію) проектування або групу безпосередньо пов'язаних проектних завдань.

Приклади підсистем, що проектують: ескізне проектування виробів, проектування корпусних деталей, проектування технологічних процесів механічної обробки.

Обслуговуючі підсистеми мають загальносистемне застосування й забезпечують підтримку функціонування підсистем, що проектують, а також оформлення, передачу й виведення отриманих у них результатів.

Приклади обслуговуючих підсистем: автоматизований банк даних, підсистеми документування, підсистема графічного введення-виведення.

Формування й використання моделей об'єкта проектування в прикладних завданнях здійснюється *комплексом засобів автоматизованого проектування (КЗАП)* системи (або підсистеми).

Структурними частинами КЗАП системи є різні комплекси засобів, а також компоненти організаційного забезпечення.

Види комплексів засобів і компонентів САПР зображені на рис. 1.4. Комплекси засобів поділяють на комплекси засобів одного виду забезпечення (технічного, програмного, інформаційного) і комбіновані.

Комбіновані КЗАП поділяються на *програмно-методичні* (ПМК) і *програмно-технічні* (ПТК).

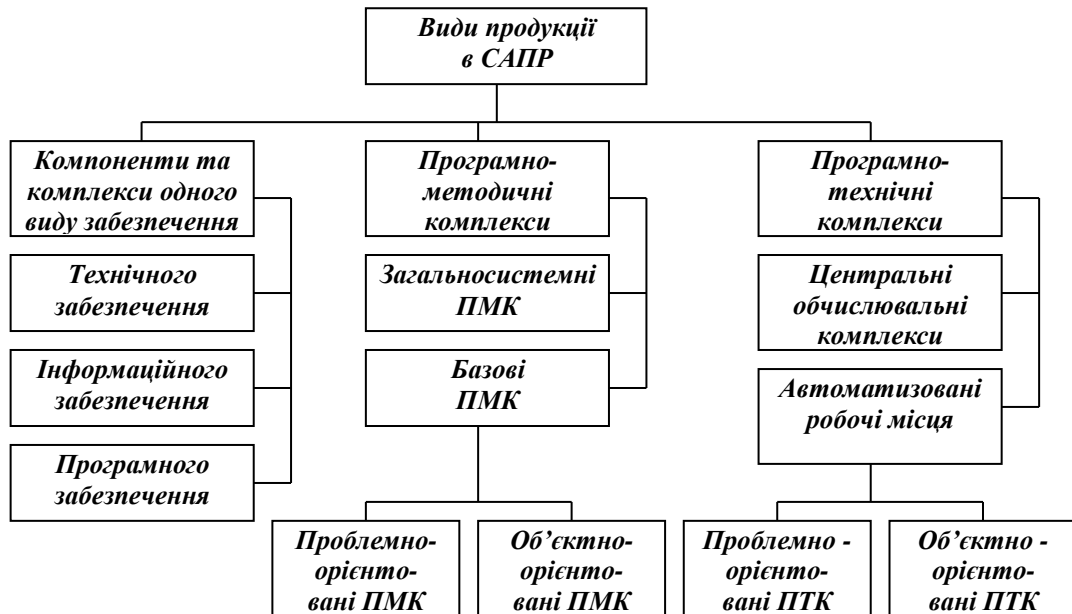


Рис. 1.4. Види комплексів і компонентів САПР

Програмно-методичний комплекс являє собою взаємозалежну сукупність компонентів програмного, інформаційного й методичного забезпечення (включаючи компоненти математичного й лінгвістичного забезпечення), необхідну для одержання закінченого проектного рішення щодо об'єкта проектування (однієї або декількох його частин або об'єкта в цілому) або виконання уніфікованих процедур. Залежно від призначення ПМК поділяють на загальносистемні й базові.

Загальносистемні ПМК спрямовані на об'єкти проектування й разом з комп'ютерними операційними системами є операційним середовищем, у якому функціонують базові комплекси.

Базові ПМК можуть бути *проблемно-орієнтованими* й *об'єктно-орієнтованими* залежно від того, реалізують вони проектні процедури уніфіковані або специфічні для певного класу об'єктів.

Проблемно-орієнтовані ПМК можуть включати програмні засоби, призначені для автоматизованого впорядкування вихідних даних, вимог і обмежень до об'єкта проектування в цілому або до складальних одиниць; вибір фізичного принципу дії об'єкта проектування; вибір технічних рішень і структури об'єкта проектування; оцінку показників якості (технологічності) конструкцій, проектування маршруту обробки деталей.

Об'єктно-орієнтованими ПМК відображують особливості об'єктів проектування як сукупної предметної області. До цих ПМК, наприклад, відносять такі, що підтримують автоматизоване проектування складальних одиниць; проектування деталей на основі стандартних або запозичених рішень; деталей на основі синтезу їх з елементів форми; технологічних процесів за видами обробки деталей і т. п.

Програмно-технічний комплекс являє собою взаємозалежну сукупність компонентів технічного забезпечення.

Залежно від призначення ПТК розрізняють *автоматизовані робочі місця (АРМ)* і *центральні обчислювальні комплекси (ЦОК)*. Комплекси засобів можуть поєднувати свої обчислювальні й інформаційні ресурси, створюючи *локальні обчислювальні мережі*. Структурними частинами комплексів засобів є компоненти програмного, інформаційного, методичного, математичного, лінгвістичного й технічного видів забезпечення.

Компоненти видів забезпечення виконують задану функцію й являють собою найменший (неподільний) самостійно розроблюваний (або покупний) елемент САПР (наприклад, програма, інструкція, дисплей і т. п.).

КЗАП обслуговуючих підсистем, а також окремі ПТК цих підсистем можуть використовуватися при функціонуванні всіх підсистем.

Загальносистемні ПМК містять у собі програмний, інформаційний, методичний і інший види забезпечення. Вони призначені для виконання уніфікованих процедур керування, контролю, планування обчислювального процесу, розподілу ресурсів САПР і реалізації інших функцій, що є загальними для підсистем або САПР у цілому.

Приклади загальносистемних ПМК: моніторні системи, системи керування БД, інформаційно-пошукові системи, засоби машинної графіки, підсистема забезпечення діалогового режиму та ін.

Моніторні системи керування функціонуванням технічних засобів у САПР (тут монітор - це керуюча програма). Основними функціями моніторних систем є формування завдань із контролем пакета завдань, необхідних і наявних ресурсів, права доступу до бази даних із установленням пріоритету й номера черги; обробка

директив мов керування завданнями, а також реакція на переривання з перехопленням керування, аналізом причин і їхньою інтерпретацією в термінах, зрозумілих проектувальникові; обслуговування потоків завдань із організацією діалогового й інтерактивно-графічного супроводу в умовах паралельної роботи підсистем; керування проектуванням в автоматичних режимах з аналізом якості виконання проектних операцій, перевіркою критеріїв повторення етапу або продовження маршруту, вибором альтернативних варіантів маршруту; ведення й оптимізація статистики експлуатації системи; розподіл ресурсів САПР із урахуванням пріоритетів завдань, планових завдань і поточних вказівок і запитів; захист ресурсів і даних від несанкціонованого доступу й непередбачених впливів.

Інформаційно-пошукові системи (ІПС) у САПР виконують такі функції, як заповнення інформаційного фонду (інфотеки) відомостями; арифметична обробка цифрових даних і лексична обробка текстів; обробка інформаційних запитів з метою пошуку необхідних відомостей; обробка вихідних даних і формування вихідних документів. Особливості ІПС полягають у тім, що запити до них формуються не програмним шляхом, а безпосередньо користувачами й не формальною мовою, зрозумілою монітору, а природною мовою у вигляді послідовності ключових слів — дескрипторів.

Система керування базами даних (СКБД) — програмно-методичний комплекс для забезпечення роботи з інформаційною базою, організованою у вигляді структури даних, реалізує функції створення бази даних, її відновлення, зберігання, захисту й вибірки даних.

База даних (БД) — це спеціальним образом організована сукупність даних і їхніх описів. База даних є найбільш високою формою організації інформації в великих САПР. Вони являють собою проблемно-орієнтовані інформаційно-довідкові системи, що забезпечують введення необхідної інформації і видачу необхідної інформації з запитів користувачів або програм.

СКБД виконує такі основні функції: визначення баз даних, тобто опис концептуального, зовнішнього й внутрішнього рівнів схем; запис даних у базу; організація зберігання з виконанням зміни, доповнення, реорганізації даних; надання доступу до даних (пошук і видача їх).

Для визначення даних і доступу до них у СКБД є мовні засоби. Так, визначення даних, що лежить в описі їхніх структур, забезпечується за допомогою мови визначення даних. Функції доступу до даних реалізуються за допомогою мови маніпулювання даними й мови запитів.

Програмно-методичні комплекси машинної графіки забезпечують взаємодію користувача з комп'ютером при обміні графічною інформацією, розв'язання геометричних задач, формування зображень і автоматичне виготовлення графічної інформації. Графічна взаємодія користувача з комп'ютером (так званий графічний метод доступу) базується на підпрограмах введення-виведення, які забезпечують приймання і обробку команд від пристрою введення-виведення й видачу керуючих впливів на ці пристрої. Розв'язання геометричних задач (геометричне моделювання) зводиться до перетворення графічної інформації, що являє собою виконання в тій або іншій послідовності елементарних графічних операцій типу зсув, поворот, масштабування й т. п. Для геометричного моделювання використовується ПМК, у якому крім окремих елементарних графічних операцій можуть бути реалізовані графічні перетворення тривимірних зображень, процедури побудови проєкцій, перетинів і т. п. У ПМК графічних перетворень звичайно передбачаються засоби для формування деяких часто використовуваних зображень, управління графічною базою даних, налагодження графічних підпрограм.

Діалоговий режим забезпечується програмно-методичними комплексами, що здійснюють введення, контроль, редагування, перетворення й виведення графічної й/або символічної інформації. Діалогове віддалене введення завдань забезпечує введення й редагування завдань через канали зв'язку, виконання завдань у пакетному режимі й виведення результатів через лінії зв'язку на віддалені термінали.

1.4. Основні принципи побудови САПР

1. Принцип людино-машинної системи. Роль людини:

- вирішення завдань, формалізація яких не досягнута;
- вирішення завдань евристичними методами (тобто завдань, вирішення яких на основі евристичних здатностей є більш ефективним, ніж вирішення за допомогою ЕОМ).

Тісна взаємодія людини й ЕОМ у процесі проектування — один із принципів побудови й експлуатації САПР.

2. Ієрархічний принцип. Підсистеми САПР повинні бути зв'язані між собою. Побудова САПР за ієрархічним принципом полягає в співвідпорядкованості підсистем і пов'язана з принципом блочно-ієрархічного підходу до проектування.

Блочно-ієрархічний підхід до проектування заснований на поділі описів проєктованих об'єктів на ієрархічні рівні.

Ієрархічний принцип побудови САПР варто розуміти як поєднання двох принципів:

Принцип включення — забезпечує розроблення САПР на основі вимог, що дозволяють включити цю САПР у САПР більш високого рівня.

Принцип системної єдності — полягає в тому, що при створенні, функціонуванні й розвитку САПР зв'язки між підсистемами повинні забезпечувати цілісність системи.

Приклади блочно-ієрархічної структури

Ієрархічний принцип опису конструкції.

1. Комплект — сума технологічного встаткування — автоматична лінія, автомобіль.

2. Агрегат — верстат, прес.

3. Складальна одиниця.

4. Деталь.

Ієрархічний принцип опису технології.

1. Принципова схема.

2. Маршрут.

3. Операційна технологія.

4. Керуючі програми.

Блочно-ієрархічний підхід у побудові САПР проявляється в поділі процесу проектування на групи проектних процедур.

Проектна процедура — частина процесу проектування. Складові частини проектних процедур — *проектні операції*.

Приклади:

- структурний аналіз;
- структурний синтез;
- оптимізація номінальних значень параметрів.

3. Принцип інформаційної єдності й сумісності (інформаційної погодженості). Інформаційна погодженість означає, що всі або більшість завдань проектування обслуговуються інформаційно-погодженими програмами. Інформаційна погодженість проявляється в тім, що результати одного завдання будуть вихідними даними для вирішення іншого. Недостатність вихідних даних для вирішення такого завдання означає інформаційну непогодженість.

Якщо для узгодження програм потрібна участь людини (наприклад, для знаходження відсутніх параметрів; для переробки масиву інформації), то програми погано погоджені.

Принцип інформаційної єдності полягає у використанні в підсистемах, компонентах і засобах забезпечення САПР єдиних умовних позначок, термінів, символів, проблемно-орієнтованих мов, способів подання інформації (відповідних прийнятим нормативним документам).

Принцип сумісності полягає в тому, що мови, символи, коди, інформаційні й технічні характеристики структурних зв'язків між підсистемами, засобами забезпечення й компонентами повинні забезпечувати спільне функціонування підсистем і зберігати відкриту структуру системи в цілому.

4. Принцип розвитку. Розвиток САПР передбачає її вдосконалювання, модернізацію, поліпшення. Економічно вигідно вводити САПР в експлуатацію частинами у зв'язку зі складністю системи взаємодії. Прогрес обчислювальної техніки й математики викликає необхідність замінити старі, менш удалі аналоги. Відповідно до принципу розвитку САПР повинна створюватися й функціонувати з урахуванням поповнення, удосконалювання й відновлення підсистем і компонентів.

5. Принцип стандартизації. Для зниження витрат на розроблення спеціалізованих САПР необхідно використовувати

уніфіковані підсистеми (складові частини). Необхідна умова уніфікації — пошук загальних рис і положень у моделюванні, аналізі, синтезі різнорідних технічних об'єктів.

Тобто принцип стандартизації полягає у використанні уніфікованих, типових і стандартизованих підсистем і компонентів, які інваріантні (незалежні) до проєктованих об'єктів і галузевої специфіки.

1.5. Компоненти видів забезпечення САПР

Засоби автоматизації проєктування можна згрупувати за видами забезпечення автоматизованого проєктування (рис. 1.5).

Математичне забезпечення (МЗ). Основу математичного забезпечення САПР становлять алгоритми, за якими розробляється програмне забезпечення САПР. Елементи математичного забезпечення в САПР надзвичайно різноманітні.

Основи автоматизації проєктування машин					
<i>Математичне забезпечення</i>					
<i>Методи опису об'єкта, процесу</i>	<i>Експериментально-статистичні методи моделювання</i>	<i>Аналітичні, чисельні та імітаційні методи і системи моделювання</i>	<i>Методи оптимізації</i>	<i>Алгоритми вирішення завдань проєктування</i>	
<i>Програмне забезпечення</i>					
<i>Базові програми, операційні системи</i>	<i>Мови і системи програмування</i>	<i>Пакети прикладних програм</i>	<i>Бібліотеки прикладних програм</i>	<i>Діалогові системи</i>	<i>Системи машинної графіки</i>
<i>Технічне забезпечення - технічні засоби (ТЗ)</i>					
<i>ТЗ програмної обробки даних</i>	<i>ТЗ підготовки і введення даних</i>	<i>ТЗ відображення і документування</i>	<i>ТЗ архіву проєктних рішень</i>	<i>ТЗ передачі даних</i>	
<i>Інформаційне забезпечення</i>					
<i>Інформаційно-пошукові системи</i>	<i>Автоматизовані системи баз даних</i>	<i>Системи керування базами даних</i>	<i>Бази знань</i>	<i>Експертні системи</i>	

Рис. 1.5. Складові частини САПР

Серед них є інваріантні елементи — принципи побудови функціональних моделей, методи чисельного розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь, постановки екстремальних задач, пошуки екстремуму. Розроблення математичного забезпечення є найскладнішим етапом створення САПР, від якого найбільшою мірою залежать продуктивність і ефективність функціонування САПР у цілому.

За призначенням й способами реалізації МЗ САПР поділяється на дві частини:

- математичні методи й побудовані на їхній основі математичні моделі, що описують об'єкти проектування;
- формалізований опис технології автоматизованого проектування.

Засоби реалізації першої частини математичного забезпечення найбільш специфічні в різних САПР і залежать від особливостей об'єктів проектування. Що стосується другої частини математичного забезпечення, то формалізація процесів автоматизованого проектування в комплексі виявилася більше складним завданням, ніж алгоритмізація й програмування окремих проектних завдань.

При вирішенні цього завдання повинна бути формалізована вся логіка технології проектування, у тому числі логіка взаємодії проектувальників один з одним на основі використання засобів автоматизації.

Математичне забезпечення САПР повинне описувати у взаємозв'язку об'єкт, процес і засоби автоматизації проектування.

У процесі автоматизованого проектування можна виділити певну кількість процедур, інваріантних до об'єктів проектування.

Перспективним для вдосконалювання й типізації технології процесів автоматизованого проектування є централізоване розроблення математичного апарата моделювання типового процесу проектування й випуск базових програмно-методичних комплексів, що реалізують такі моделі.

Програмне забезпечення (ПЗ) САПР являє собою сукупність всіх програм і експлуатаційної документації до них, необхідних для виконання автоматизованого проектування (рис. 1.6). Програмне забезпечення поділяється на загальносистемне й спеціальне (прикладне).

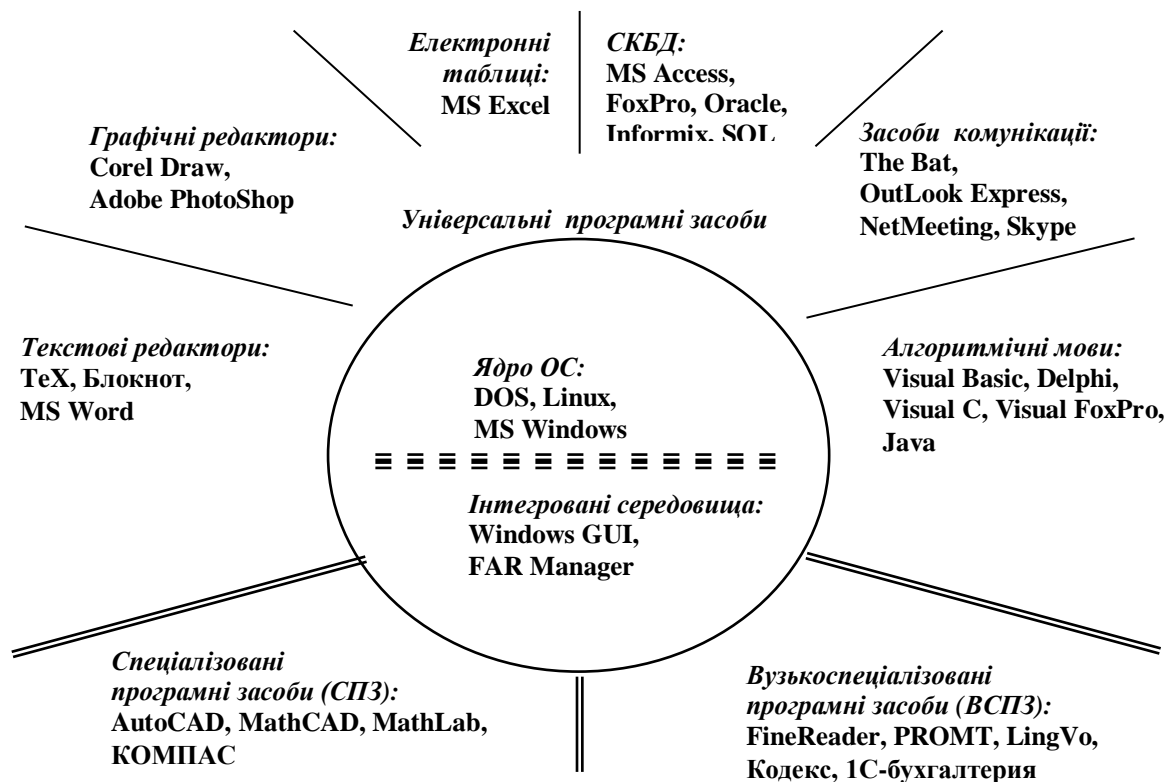


Рис. 1.6. Програмне забезпечення автоматизованого проектування

Загальносистемне ПЗ призначено для організації функціонування технічних засобів, тобто для планування й керування обчислювальним процесом, розподілу наявних ресурсів, і представлено операційними системами обчислювальних комплексів (ОК). Загальносистемне ПЗ звичайно створюється для багатьох додатків і специфіку САПР не відображує.

У спеціальному (прикладному) ПЗ (рис. 1.7) реалізується математичне забезпечення для безпосереднього виконання проектних процедур.



Рис. 1.7. Прикладне ПЗ

Прикладне ПЗ звичайно має форму *пакетів прикладних програм* (ППП), кожний з яких обслуговує певний етап процесу проектування або групу однотипних завдань усередині різних етапів.

Прикладне ПЗ, створене користувачем (додаток):

- генерація параметричних форм;
- обчислення розмірів компонентів по заданих параметрах з наступною передачею форми, що генерована, у САПР;
- складання календарних планів і обчислення витрат за атрибутивними даними проекту, отриманими з САПР.

Логічним розвитком встановленого інтерфейсу користувальницьких програм із САПР є розроблення засобів, що дозволяють користувачеві самому шукати прийоми, що працюють у рамках ПЗ САПР. Наприклад, пакет Автокад дає можливість користувачеві створювати параметричні макроси й функції з використання мови AutoLisp.

З розвитком обчислювальної техніки все більшого значення набуває такий компонент загальносистемного ПЗ, як *операційні системи* (ОС).

Важливим компонентом загальносистемного ПЗ є базове ПЗ. Базове ПЗ не є об'єктом розроблення при створенні програмного забезпечення САПР. Прикладом може служити базове ПЗ для обробки геометричної й графічної інформації, для формування й використання баз даних.

Використання АРМ, до складу яких включене подібне базове ПЗ, що реалізує стандартні проектні процедури, істотно знизить трудомісткість створення програмного забезпечення САПР. Однак у всіх випадках за творцями САПР залишиться розроблення прикладного ПЗ. З розширенням сфери застосування обчислювальної техніки й ускладненням завдань автоматизації процесів проектування зростають складність і трудомісткість програмування.

Інформаційне забезпечення (ІЗ). Основу інформаційного забезпечення САПР становлять дані, якими користуються проектувальники в процесі проектування безпосередньо для вироблення проектних рішень. Ці дані можуть бути представлені документами на різних носіях, що містять відомості довідкового характеру про матеріали, що комплектують вироби, типові

проектні рішення, параметри елементів, про стан поточних розробок у вигляді проміжних і остаточних проектних рішень, структур і параметрів проєктованих об'єктів і т. п.

При цьому дані, що є результатом одного процесу перетворення, можуть бути вихідними для іншого процесу. Сукупність даних, використовуваних всіма компонентами САПР, становить інформаційний фонд САПР. Основна функція ІЗ САПР — ведення інформаційного фонду, тобто забезпечення створення, підтримки й організації доступу до даних. Таким чином, ІЗ САПР є сукупністю інформаційного фонду й засобів його ведення.

До складу інформаційного фонду САПР входять:

- програмні модулі, які зберігаються у вигляді символічних і об'єктних текстів; як правило, ці дані мало змінюються протягом життєвого циклу САПР, мають фіксовані розміри й з'являються на етапі створення інформаційного фонду; споживачами цих даних є монітори різних підсистем САПР;

- вихідні й результуючі дані, які необхідні при виконанні програмних модулів у процесі перетворення; ці дані часто змінюються в процесі проєктування, однак їхній тип постійний і повністю визначається відповідним програмним модулем; при організації проміжних даних можливі конфліктні ситуації в процесі узгодження між собою даних різних типів;

- нормативно-довідкова проєктна документація (НДПД), що включає в себе довідкові дані про матеріали, елементи схем, уніфіковані вузли і конструкції; ці дані, як правило, добре структуровані; до НДПД належать також державні й галузеві стандарти, матеріали, що керують, і вказівки, типові проєктні рішення, що регламентують документи (слабо структуровані документальні дані);

- поточна проєктна інформація, що відображує стан і хід виконання проєкту; як правило, ця інформація слабо структурована, часто змінюється в процесі проєктування й подається у формі текстових документів.

При виборі способів ведення інформаційного фонду САПР важливо сформулювати принципи й визначити засоби ведення інформаційного фонду, структурування даних, вибрати способи керування масивами даних.

Розрізняють такі способи ведення інформаційного фонду САПР: використання файлової системи; побудова бібліотек; використання банків даних; створення інформаційних програм адаптерів.

Використання файлової системи й побудова бібліотек дуже поширено в організації ІЗ обчислювальних систем, тому що підтримується засобами ОС. У додатках до САПР ці способи застосовують при зберіганні програмних модулів у символічних і об'єктних кодах, діалогових сценаріїв підтримки процесу проектування, початкового введення великих масивів вихідних даних, текстових документів. Однак вони малоприматні при забезпеченні швидкого доступу до довідкових даних, зберіганні даних, що змінюються, веденні поточної проектної документації, пошуку необхідних текстових документів, організації взаємодії між різномовними модулями.

Автоматизовані бази даних являють собою сукупність БД і СУБД.

Виділяють чотири типи організації структури бази даних: ієрархічна, мережна, реляційна й об'єктно-реляційна.

Ієрархічна структура бази даних — це така структура, у якій існує впорядкований за рівнями запис елементів об'єкта (рис. 1.8). У кожній групі записів один елемент вважається головним, а інші елементи носять підпорядкований характер стосовно головного. Групи записів упорядковуються впорядковано за рівнями в певній послідовності.



Рис. 1.8. Ієрархічна деревоподібна модель бази даних

Мережна структура бази даних — це така структура, у якій елементарні дані й відношення між ними подаються у вигляді орієнтованої мережі: вершини — дані, дуги — відношення, зв'язки (рис. 1.9). Така структура дозволяє користувачеві одержати доступ до потрібного файлу без звертання до всіх інших файлів більше високого рівня інтеграції.

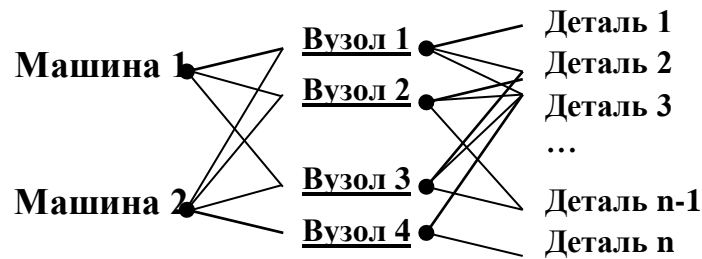


Рис. 1.9. Мережна структура бази даних

Реляційна й об'єктно-реляційна бази даних — це такі БД, у яких елементарні дані (об'єкти) і відношення, взаємозв'язки між ними подаються у вигляді таблиць (рис. 1.10). Стовпці таблиці — це атрибути даних, а рядки — записи. Основними позитивними якостями реляційних баз даних є простота, більша гнучкість і доступність; недоліком — менша продуктивність порівняно з ієрархічною й мережною структурами бази даних.

Ідентифікаційний номер	Прізвище
246	Іванов
344	Петров
... ..	
422	Сидоров

Рис. 1.10. Реляційна база даних

Основні функції СКБД: створення схеми БД; організація зберігання даних; захист цілісності БД; керування доступом до БД шляхом розмежування доступу; надання користувачам доступу до БД; підтримка завантаження БД і технологічних процесів їхнього функціонування. Для здійснення цих функцій СКБД повинна мати власне ПЗ, що включає різні компоненти. Для зберігання даних документального типу в САПР використовують СКБД типу інформаційно-пошукових систем.

Створення інформаційних програм адаптерів було викликано проблемою організації міжмодульного інтерфейсу, що призвело до розроблення спеціалізованих систем і програмної технології.

До таких систем належать, наприклад, система, орієнтована на побудову великих програмних комплексів з готових модулів. У цій системі проміжні дані уніфікуються за допомогою єдиного процесора й побудови спеціалізованих міжмодульних інформаційних програм-адаптерів, які виконують сукупність операцій з організації інформаційної взаємодії між програмними модулями.

Технічне забезпечення САПР. Використання комп'ютерної техніки дозволило значно знизити трудомісткість і тривалість обчислювальних робіт. Але в процесі проектування виробів і технологічних процесів частка безпосередньо обчислювальних робіт не перевищує 15 %. Автоматизація проектування зажадала випуску спеціалізованих засобів САПР. Технічне забезпечення САПР являє собою сукупність взаємозалежних і взаємодіючих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування.

Технічне забезпечення разом з ПЗ є інструментальною базою САПР, у середовищі якої реалізуються інші види забезпечення САПР.

Компоненти технічного забезпечення:

- ОТ;
- оргтехніка;
- засоби передачі даних;
- вимірювальні й інші пристрої.

Функції технічних засобів (вирішувані завдання):

- введення вихідних даних опису об'єкта проектування (введення зображення за допомогою пристрою введення – виведення: клавіатура, миша);
- відображення введеної інформації з метою її контролю й редагування (одержання зображення на екрані);
- перетворення інформації (зміна форми подання даних, перекодування, трансляція, виконання арифметичних і логічних операцій, зміна структури даних і т. д.);
- відображення підсумкових і проміжних результатів вирішення;
- документування проектної інформації (оформлення креслень відповідно до ЄСКД);

▪ оперативне спілкування проектувальника з системою в процесі вирішення завдання.

Будь-які обчислювальні комплекси САПР, у тому числі й АРМ, повинні включати необхідну кількість периферійних пристроїв для введення й відображення інформації: графічні дисплеї з високою розв'язувальною здатністю, високоточні рулонні й планшетні графобудовники різного формату, кодувальники векторної графічної інформації (дигітайзери), пристрої зняття растрової копії з зображення (сканери), накопичувачі на переносних магнітних і оптичних дисках, накопичувачі на жорстких дисках, функціональні клавіатури, пристрої зв'язку з іншими комп'ютерами по локальній мережі, телефонній лінії (модеми) і через Інтернет (рис. 1.11).

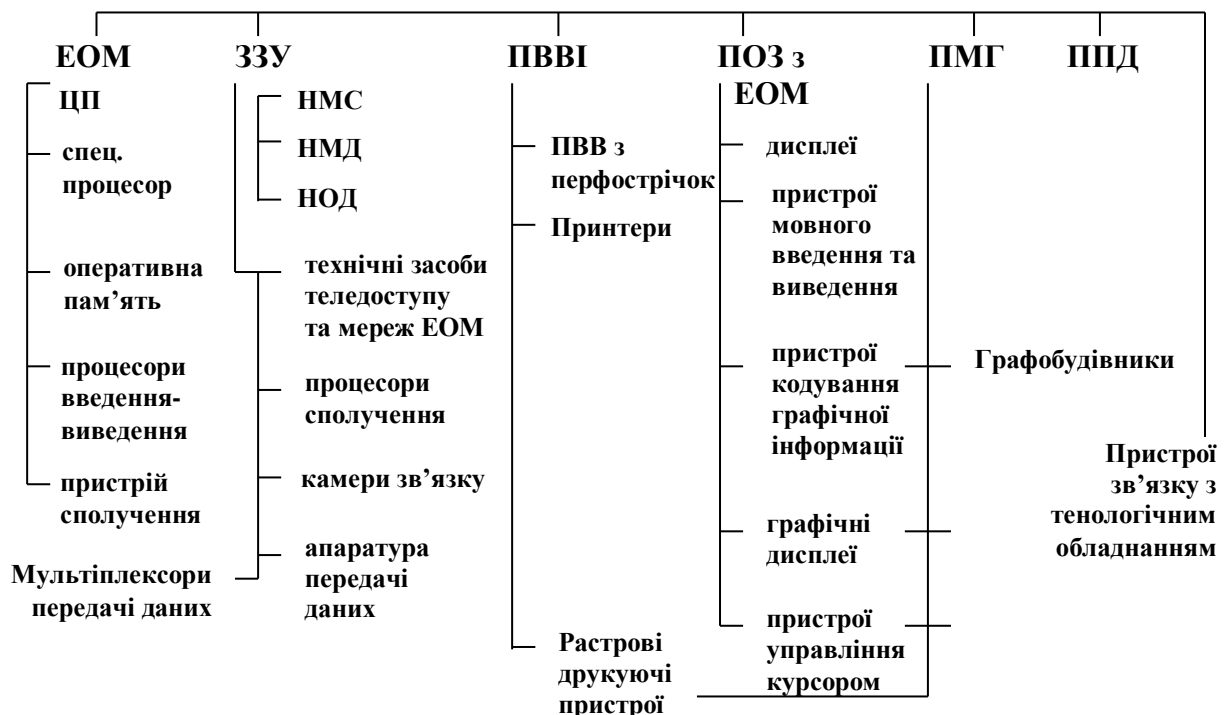


Рис. 1.11. Склад технічних засобів САПР:

ВЗП - зовнішні запам'ятовувальні пристрої; ПВВІ - пристрої введення - виведення інформації; ПОЗ - пристрої оперативного зв'язку; ПМГ - пристрої машинної графіки; ППД - пристрої підготовки даних; НМД, НГМД, НМС - накопичувачі на магнітних дисках, на гнучких магнітних дисках, на магнітних стрічках

За необхідності створення зв'язку САПР із технологічним устаткуванням до складу технічних засобів повинні бути включені пристрої, що перетворюють результати проектування в сигнали керування верстатами, різними технологічними комплексами.

У перспективі передбачається перехід до магістрально-модульної архітектури АРМ, що припускає, зокрема, стандартизацію апаратно-програмних інтерфейсів; у модифікаціях АРМ буде використана стандартна конструктивна база, побудована на міжнародних стандартах. Програмне забезпечення АРМ намічено проводити централізовано й поставляти за замовленнями користувачів у складі ПТК через Інтернет. Основу перспективного технічного забезпечення САПР складуть типові ПТК, вимоги до яких встановлені Держстандартами.

Лінгвістичне забезпечення САПР. Основу лінгвістичного забезпечення САПР становлять спеціальні мовні засоби (мови проектування), призначені для опису процедур автоматизованого проектування й проектних рішень (рис. 1.12). Основна частина лінгвістичного забезпечення — мови спілкування людини з комп'ютером.

Проблемно-орієнтовані мови (ПОМ) проектування аналогічні універсальним алгоритмічним мовам програмування (ПАСКАЛЬ, СІ й ін.), але відрізняються функціональною термінологією операторів. В одних випадках ПОМ будують таким чином, що опис будь-якого завдання для його вирішення в основному містить оригінальні терміни фізичного й функціонального змісту. Перехід від фізичного й функціонального опису задачі до комп'ютерних програм реалізується далі автоматично за допомогою транслятора. В інших випадках, наприклад при розв'язанні геометричних задач інженерного типу, ПОМ з'єднує в собі засоби алгоритмічної мови високого рівня для розв'язання обчислювальних математичних задач і спеціальні мовні засоби моделювання геометричних об'єктів. Транслятор алгоритмічної мови високого рівня доповнений необхідними спеціальними програмами.

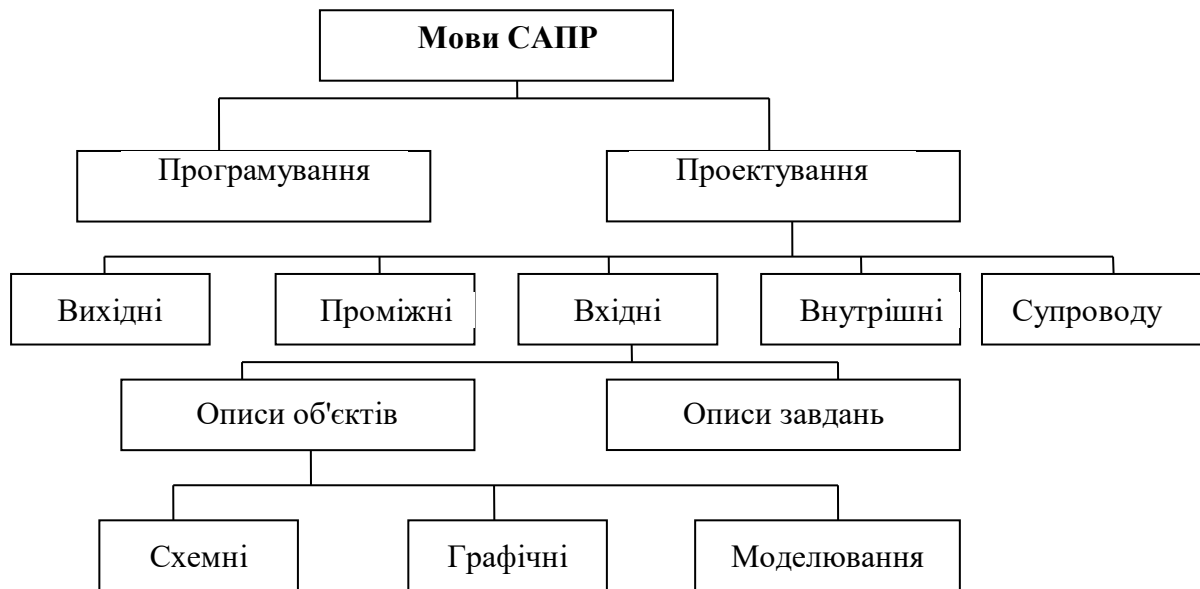


Рис. 1.12. Мовні засоби САПР

Очевидно, що ПОМ, хоча й називаються мовами, насправді являють собою комплекси лінгвістичних і програмних засобів, які повинні включати набір термінальних символів ПОМ; інтерпретатор з ПОМ; засоби синтаксичного аналізу; засоби пакетування директив; бібліотеки базових функцій ПОМ; інтерфейс для зв'язку СУБД.

Можливості ПОМ мають винятково важливе значення в автоматизованому проектуванні. Вони не тільки впливають на продуктивність і рівень автоматизації проектування, але й визначають складність і характер робіт проектувальників із засобами САПР, можуть зробити ці роботи більш привабливими або навпаки. В останньому випадку проектувальники будуть явно й неявно протидіяти автоматизації. Зараз у світовій і вітчизняній практиці існують спеціальні методики й програмні засоби, що значно скорочують трудомісткість створення ПОМ. Зокрема при розробленні образотворчих засобів ПОМ може використовуватися метасистема, що дозволяє на підставі заданої формальної граматики одержувати відповідний програмний інтерпретатор. При розробленні програмних модулів бібліотеки базових функцій можуть застосовуватися будь-які алгоритмічні мови високого рівня.

Діалогові мови

Діалогові мови призначені для забезпечення діалогового режиму функціонування САПР. Діалогова мова поєднує в собі вхідні, вихідні й супровідні засоби, служить для оперативного обміну інформацією між людиною й ЕОМ.

Розрізняють *пасивні* й *активні* діалогові мови, які використовують для організації відповідно пасивного і активного діалогових режимів.

У пасивному діалоговому режимі ініціатива діалогу належить ЕОМ. У заздалегідь певних точках виконання програми передбачається можливість переривання обчислювального процесу й звернення системи до користувача.

Повідомлення системи будуються таким чином, що від користувача потрібні відповіді типу «так» чи «ні» або вибір відповіді з даного меню. Тому мова користувача виявляється дуже простою — вона складається з дій означаючих «так», «ні» або підтвердження чи вибір з безлічі варіантів відповіді.

Для використання пасивних мов практично не потрібно якої-небудь підготовки у сфері лінгвістичного забезпечення САПР.

Розрізняють такі *види (типи) звернень*:

- запит;
- інформаційне повідомлення;
- підказка.

Запит передбачений у двох випадках:

- коли від користувача потрібні вихідні дані;
- коли потрібно виконати вибір з безлічі можливих пропозицій проектування.

При запиті варіанта користувачеві звичайно пропонується «меню».

У багатьох системах передбачений так званий вибір «за замовчуванням», тобто автоматичний вибір деякого основного або поточного варіанта, коли, наприклад, користувачу складно дати певну відповідь.

Інформаційне повідомлення використовується для передачі користувачеві проміжних і остаточних результатів рішення, а також відомостей про стан його завдання. На ці повідомлення не потрібні реакції користувача.

Підказка — застосовується в тих випадках, коли дії користувача помилкові, наприклад при граматичних помилках користувача або при виборі варіантів з «меню» і т. п.

Діалогова взаємодія являє собою регламентований обмін інформацією між людиною й обчислювальною машиною, здійснюваний у реальному масштабі часу й спрямований на спільне вирішення завдання.

Ініціатором діалогу є людина, що вибирає мету і якоюсь мірою може впливати на способи її досягнення.

Поділ функцій між людиною й ЕОМ полягає в такому:

1. Людина ставить завдання.
2. Система представляє засоби для вирішення підзавдань.
3. Виробляється спільне вирішення підзавдань; остаточне об'єднання результатів.
4. Прийняття проектних рішень залишається за людиною.

Діалоговою системою називають систему, що забезпечує функціонування в режимі діалогу (рис. 1.13). Вони можуть бути однокористувальницькими та багатокористувальницькими з колективним доступом користувачів до ресурсів системи.

Технічною базою діалогової системи можуть бути:

- локальні й віддалені термінали в складі центрального обчислювального комплексу;
- АРМ;
- локальна мережа АРМ;
- мережа ЕОМ, що включає ЦОК, АРМ.

Обмін інформацією між партнерами діалогу здійснюється за допомогою передачі повідомлень і керуючих сигналів.

До складу повідомлення входить інформація такого виду:

- пояснення;
- попередження;
- навчання;
- вказівки т. д.

Серед безлічі діалогових повідомлень розрізняють вхідні й вихідні. Вхідні повідомлення породжуються людиною за допомогою засобів введення. Вихідні повідомлення формуються системою на екрані терміналу у вигляді тексту або зображення.

Діалоговий обмін — це елементарний крок (квант, частина) діалогу, що включає такі фази:

- видача вихідного повідомлення;
- аналіз повідомлення користувачем;
- введення вхідного повідомлення в ЕОМ;
- виконання обробки введеної інформації.

Діалоговий обмін зв'язує вихідні, вхідні повідомлення й обробляючі програми. Більш вагомим компонентом діалогу є *розмова* — це інформаційно зв'язана послідовність діалогових обмінів, спрямована на виконання деякої функції системи.

Ще більш загальним компонентом діалогу є *діалогова процедура* (рис. 1.14), що містить у собі, крім людино-машинних розмов і діалогових обмінів, також ручні операції користувача й машинних процедур.

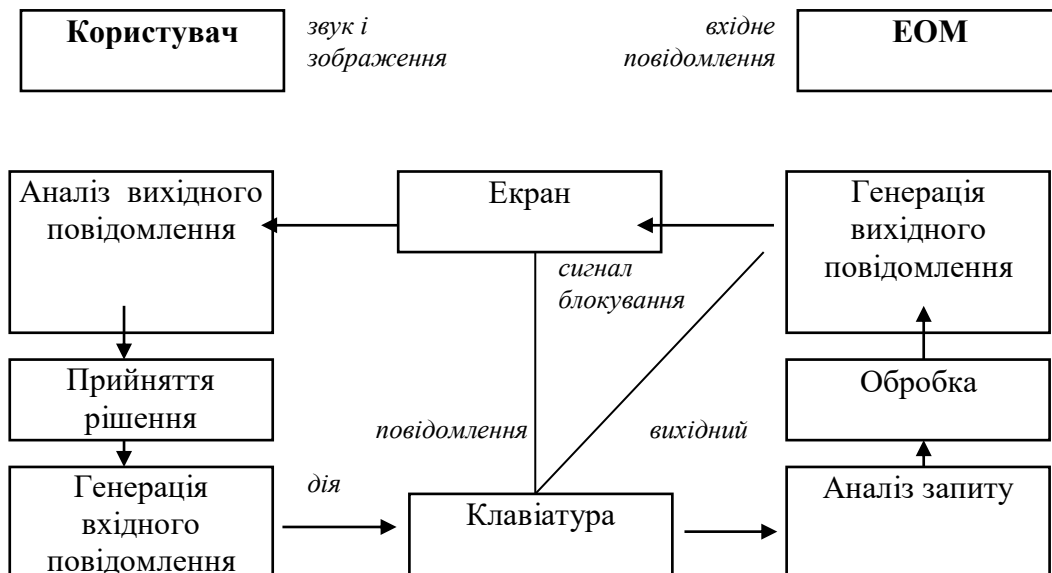


Рис. 1.13. Структурна схема діалогової взаємодії людини й ЕОМ



Рис. 1.14. Ієрархія елементів діалогу

При організації діалогу можливо синхронна й асинхронна взаємодія людини й ЕОМ.

Синхронний спосіб взаємодії характеризується тим, що партнери діалогу активізуються не по черзі.

Асинхронний спосіб взаємодії забезпечує:

- можливість видачі екстрених повідомлень від системи, які переривають процес набору вхідного повідомлення;
- введення екстрених запитів користувача, що може призупинити виведення повідомлень системи.

Варіанти асинхронного діалогу:

- двофазна обробка запитів;
- скануюче виведення системи з оперативним втручанням користувача.

В активному діалоговому режимі ініціатива початку діалогу може бути двосторонньою, тобто можливості переривання обчислювального процесу належить як ЕОМ, так і користувачеві.

Активні діалогові мови можуть бути близькими до природної мови людини, але з обмеженим набором можливих слів і фраз. Разом з тим кількість різних директив, тобто приписань для обчислювальної системи, може бути порівняно великою. Для активного діалогу потрібно істотно більш складне ПЗ, ніж для пасивного.

Методичне забезпечення САПР. Під методичним забезпеченням САПР розуміють документи, що входять до її складу і регламентують порядок її експлуатації. Причому документи, що належать до процесу створення САПР, не входять до складу методичного забезпечення. Оскільки документи методичного забезпечення носять в основному інструктивний характер і їхнє розроблення є процесом творчим, то про спеціальні способи реалізації даного компонента САПР говорити не доводиться. Останнім часом удосконалювання організації робіт у галузі автоматизації проектування спрямовано на централізоване створення типових ПМК із метою широкого тиражування. Такі ПМК повинні включати, поряд з комп'ютерними програмами й базами даних, комплекти документації. Таким чином, зазначена документація стане частиною методичного забезпечення САПР.

Організаційне забезпечення САПР. Стандарти з САПР вимагають виділення в якості самостійного компонента організаційне забезпечення, що містить у собі положення, інструкції, накази, штатні розклади, кваліфікаційні вимоги й інші документи, що регламентують організаційну структуру підрозділів проектної організації й взаємодію підрозділів з комплексом засобів автоматизованого проектування.

Функціонування САПР можливе тільки при наявності й взаємодії перерахованих засобів автоматизованого проектування.

1.6. Класифікація САПР

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ формалізований опис САПР містить у собі коди класифікаційних угруповань САПР за встановленими стандартом ознаками класифікації; найменуваннями класифікаційних угруповань, що відповідають наведеним кодам; вказівками, відповідно до яких класифікаторами, стандартами або методиками визначені коди кожного класифікаційного угруповання (рис.1.15).

САПР характеризують такі ознаки (рис. 1.16): цільове призначення; тип; різновид; складність об'єкта проектування; рівень автоматизації проектування; комплексність автоматизації проектування; характер проектних документів, що випускаються, кількість проектних документів, що випускаються; кількість рівнів у структурі технічного забезпечення САПР.

Перша ознака відображує різні аспекти проектування, три наступних — особливості об'єктів проектування, чотири наступних — можливості систем, остання — особливості технічної бази САПР. Для одержання навіть загального уявлення про конкретну САПР вона повинна бути оцінена за всіма перерахованими ознаками. Розглянемо їх докладніше.

За *цільовим призначенням* розрізняють САПР або підсистеми САПР, що забезпечують різні аспекти проектування. Так з'являються *CAD/CAM/CAE/PDM* системи.

1. Конструкторські САПР загального машинобудування. САПР-К або *CAD*-системи (Computer-Aided Design) — загальне позначення всіх аспектів проектування з використанням засобів обчислювальної техніки. Зазвичай охоплює створення геометричних моделей виробу (твердотільне, 3D), а також

генерацію креслярських виробів і їх супроводів. У вузькому розумінні — комп'ютерна допомога в дизайні, простіше кажучи, програма креслення.

2. Технологічні САПР загального машинобудування: **САПР-ТП** або **САМ**-системи (Computer Aided Manufacturing) — загальне позначення автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), загальний термін для позначення програмних засобів підготовки інформації для верстатів з ЧПК. Традиційно вихідними даними для таких систем були геометричні моделі деталей, отриманих з систем **САД**. Під терміном розуміються як сам процес комп'ютеризованої підготовки виробництва, так і програмно-обчислювальні комплекси, використовувані інженерами-технологами.

3. САПР функціонального проектування, інакше **САПР-Ф** або **САЕ**- системи (Computer Aided Engineering) — загальне позначення інформаційного забезпечення умов автоматизованого аналізу проекту, має на меті виявлення помилок (міцнісні розрахунки) або оптимізацію виробничих можливостей.

4. САПР керування виробничою інформацією, інакше **PDM**-системи (Product Data Management). Інструментальний засіб, що допомагає адміністраторам, інженерам, конструкторам тощо управляти як даними, так і процесами розроблення виробу на сучасних виробничих підприємствах або групі суміжних підприємств.

CAD/CAM/CAE/PDM = САПР.

Наведемо позначення деяких підсистем САПР.

- **ERP** — **Enterprise Resource Planning** (планування й керування підприємством);
- **MRP-2** — **Manufacturing (Material) Requirement Planning** (планування виробництва);
- **MES** — **Manufacturing Execution System** (виробнича виконавча система);
- **SCM** — **Supply Chain Management** (керування ланцюжками поставок);
- **CRM** — **Customer Relationship Management** (керування взаєминами з замовниками);
- **SCADA** — **Supervisory Control And Data Acquisition** (диспетчерське керування виробничими процесами);

- **CNC** — Computer Numerical Control (комп'ютерне числове керування);
- **S&SM** — Sales and Service Management (керування продажами й обслуговуванням);
- **CPC** — Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес).

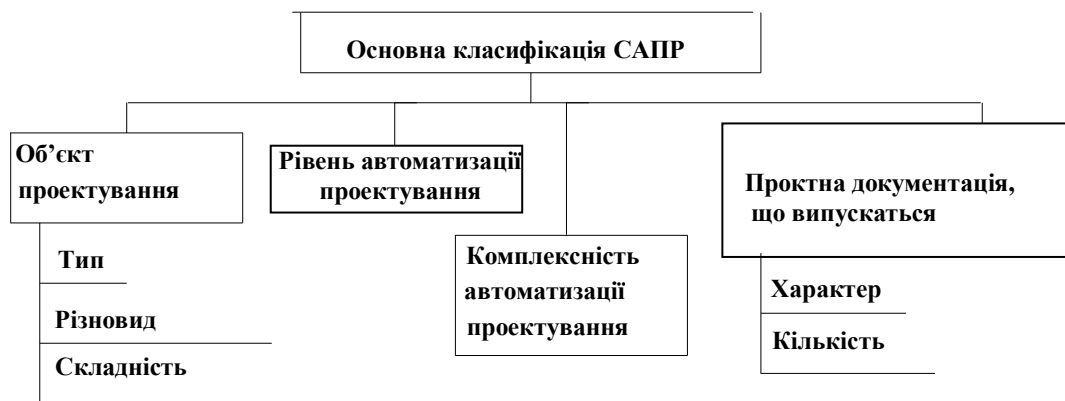


Рис. 1.16 Основна класифікація САПР

Тип об'єкта проектування. ДЕРЖСТАНДАРТ передбачає розподіл САПР на дев'ять груп (рис.1.17):

1. САПР виробів машинобудування.
2. САПР виробів приладобудування.
3. САПР технологічних процесів у машино- і приладобудуванні.
4. САПР об'єктів будівництва.
5. САПР технологічних процесів у будівництві.
6. САПР програмних виробів.
7. САПР організаційних систем.

Інші групи (8 і 9) є резервними й призначені для виділення й кодування САПР, що не належать до перерахованих угруповань.

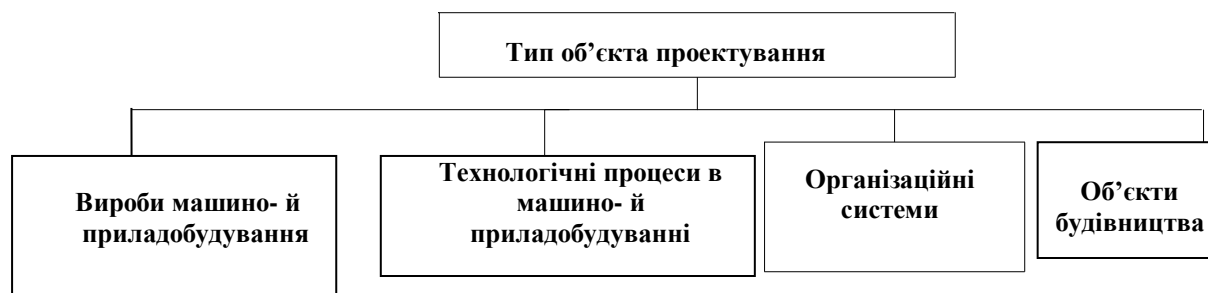


Рис. 1.17 Основні типи класифікації САПР

Різновид об'єктів проектування. ДЕРЖСТАНДАРТ не встановлює спеціальних позначень на об'єкти проектування, а вимагає їхнього зазначення й кодування відповідно до діючих у кожній галузі промисловості системам позначення документації на об'єкти, спроектовані системою.

Складність об'єкта проектування. Можна виділити САПР (рис. 1.18):

- 1) простих об'єктів із кількістю складових частин до 10^2 ;
- 2) об'єктів середньої складності ($10^2 - 10^3$);
- 3) складних об'єктів ($10^3 - 10^4$);
- 4) дуже складних об'єктів ($10^4 - 10^6$);
- 5) об'єктів дуже високої складності (кількість складових частин понад 10^6).



Рис. 1.18 Класифікація за складністю об'єкта проектування

Складовою частиною об'єкта проектування, що являє собою технічний комплекс, спорудження або виріб, є деталь. Якщо об'єктом проектування буде технологічний процес, то виділити його складові частини складніше. Існують два підходи, один із яких заснований на поділі технологічного процесу на елементарні технологічні операції, інший — на поділі об'єкта на частини умовно відповідно до номенклатури технологічної документації, що випускається.

Рівень автоматизації проектування. Виділяють системи проектування (рис. 1.19):

- 1) низькоавтоматизовані (до 25 % проектних процедур);
- 2) середньоавтоматизовані (25-50 %);
- 3) високоавтоматизовані (понад 50 %). Щоб віднести САПР до третьої групи, у ній повинні бути використані методи різноманітного оптимального проектування.

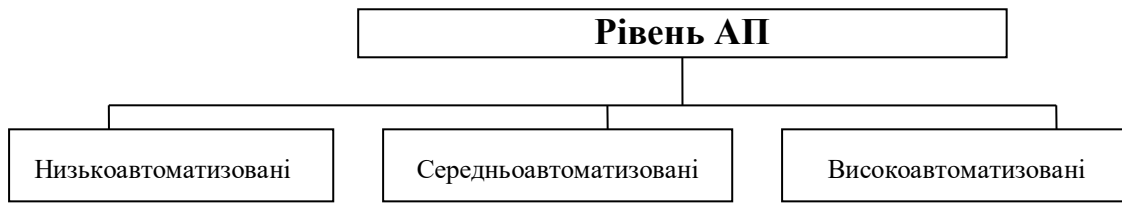


Рис. 1.19 Класифікація за рівнем автоматизації проектування

1) *Комплексність автоматизації проектування.* Розрізняють САПР (рис. 1.20): 1) одноетапні; 2) багатоетапні; 3) комплексні. Якщо система автоматизації охоплює один з етапів проектування відповідного об'єкта, то її відносять до першої групи. Під комплексною САПР розуміється автоматизація всіх етапів проектування.

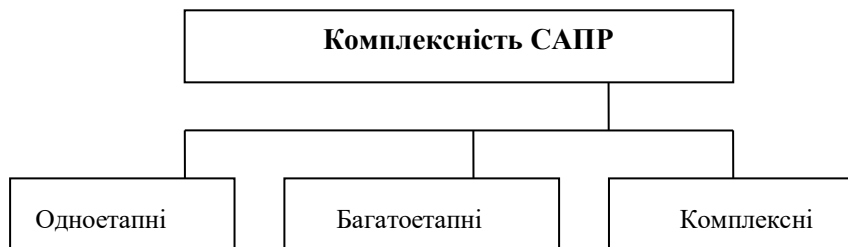


Рис. 1.20. Класифікація за рівнем комплексності автоматизації проектування

Характер проектних документів, що випускаються. Встановлено п'ять класифікаційних груп САПР, що випускають документи (рис. 1.21) 1) на паперовому носії; 2) на машинних носіях; 3) на фотоносіях (у вигляді мікрофільмів, фотошаблонів та ін.); 4) комбіновані (виконують документи на двох носіях даних або більше); 5) резервне угруповання.

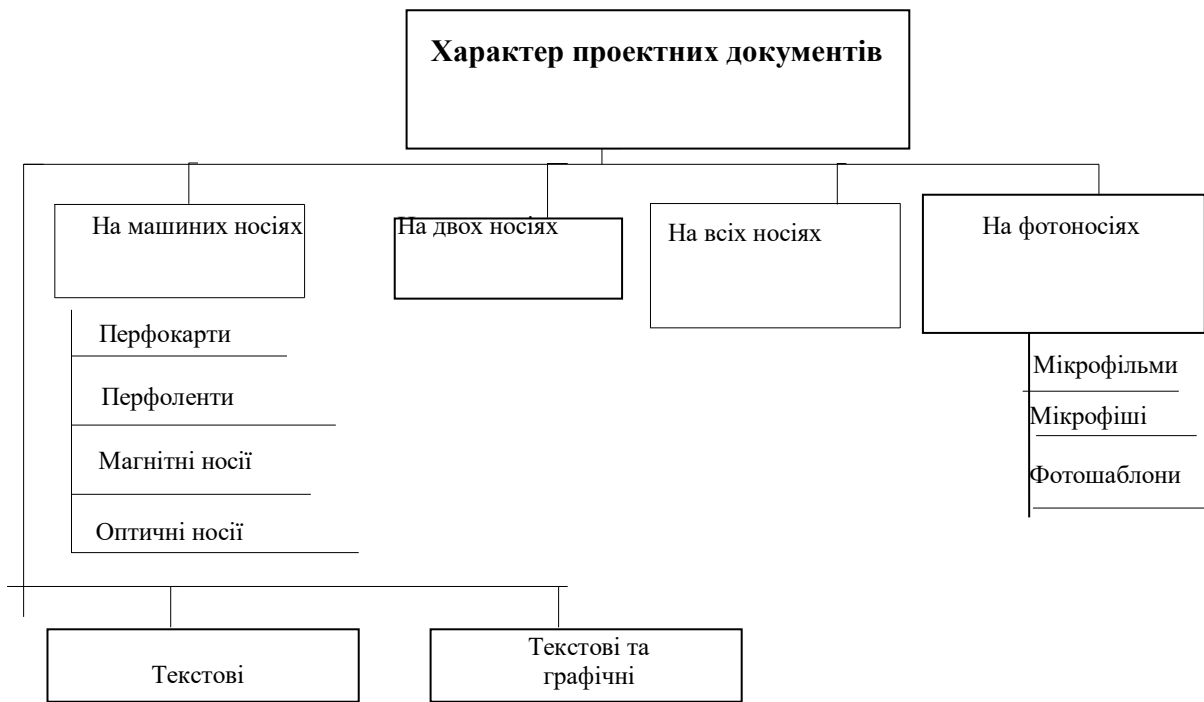


Рис. 1.21. Класифікація за характером проектних документів

Кількість проектних документів, що випускаються. Розрізняють САПР малої, середньої й високої продуктивності (рис. 1.22). При цьому кількість проектних документів у рік у перерахуванні на формат А4 коливається від 10^3 до 10^6 .



Рис. 1.22. Класифікація за кількістю проектних документів

Кількість рівнів у структурі технічного забезпечення. Виділяють САПР одно-, дво- і тривірневі.

Основу однорівневого комплексу технічних засобів (КТЗ) становлять комп'ютери середнього або високого класу, у яких виконується програмна обробка даних і здійснюється їхнє зберігання, і штатний набір периферійних пристроїв. При використанні обчислювальної техніки КТЗ називають АРМ.

В однорівневих САПР використовуються єдина моніторна система, бази даних і пакети прикладних програм, орієнтовані на більшість комп'ютерів. Термінальні мікропроцесори програмно сумісні з сервером і служать або для підготовки завдань до вирішення на сервері, або для вирішення простих завдань за допомогою тих самих програмних і інформаційних засобів. Один з рівнів САПР становлять один чи більше комп'ютерів. Цей рівень називається *центральним обчислювальним комплексом* (ЦОК).

Для ефективного зв'язку користувача з САПР і вирішення великої кількості менш складних завдань доцільно мати в САПР другий рівень, називаний *інтерактивно-графічним комплексом* (ІГК). На кожному з рівнів ЦОК і ІГК є свої ППП для виконання подібних за змістом проектних процедур, але орієнтованих на різні вимірності завдань.

Дворівневі САПР можуть мати радіальну й кільцеву структуру. Остання відповідає об'єднанню АРМ у кільцеву або ієрархічну обчислювальну мережу. У такий САПР функції моніторної системи й СУБД розподілені по вузлах обчислювальної мережі.

Трирівневі САПР, крім технічних засобів дворівневої системи, повинні включати *периферійне програмно-кероване встаткування*, наприклад креслярські графопобудовники, установки для виготовлення фотошаблонів, комплекси для контролю програм до верстатів з ЧПК.

1.7. Взаємодія САПР із іншими автоматизованими системами

В умовах реального виробництва всі види систем автоматизації (СА) тією або іншою мірою повинні взаємодіяти один з одним, а САПР — безпосередньо з автоматизованими системами наукових досліджень (АСНД), технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), керування виробництвом (АСКВ). Взаємодія зазначених систем здійснюється шляхом обміну інформацією, представленою у вигляді звичайних документів і в машинних кодах або записаної на машинних носіях.

Від АСК всі системи автоматизації повинні одержувати керуючу інформацію планового характеру, а також інформацію про фактичну наявність ресурсів. У свою чергу СА направляють в АСК дані про виконання планових завдань, про потребу в різних ресурсах, у тому числі в матеріалах, що комплектують, виробках, інструментах, енергії.

З АСНД в САПР надходить інформація про технічні вимоги до проєктованого об'єкта, важливі технічні і конструкторські рішення, вироблені у результаті математичного моделювання об'єктів. У зв'язку з розвитком робіт з комплексного моделювання проєктованих об'єктів границі між "чистими" дослідженнями й проєктуванням стираються.

Складні й трудомісткі розрахунки, здійснювані на стадії дослідницького проєктування, у багатьох випадках доцільніше виконувати на основі дослідницької моделі об'єкта й формувати дані про проєктований об'єкт для наступних проєктних робіт на машинних носіях у вигляді матриць коефіцієнтів і математичних залежностей або у вигляді чисельних значень відповідних параметрів, але більш ефективно — здійснювати у вигляді повної математичної моделі об'єкта, яку можна деталізувати, уточнювати й розвивати. З погляду ефективності автоматизації створення моделі об'єкта і її використання при проєктуванні повинні бути об'єднані.

Системна інтеграція розроблення й виробництва виробів на основі єдиних математичних моделей дозволить у рамках великих підприємств об'єднати автоматизовані системи наукових досліджень, системи автоматизованого проєктування, автоматизовані технологічні комплекси й загальний банк даних АСКВ в інтегровану *гнучку виробничу систему* (ГВС). Це дасть можливість у ряді випадків обходитися без випуску традиційної проєктно-конструкторської документації, тому що результати проєктування, отримані в САПР, будуть використовуватися безпосередньо при складанні керуючих програм для верстатів з ЧПК й роботів для виготовлення деталей і складальних одиниць.

Слід відзначити й інші важливі напрямки розвитку автоматизації проєктування: розвиток і вдосконалювання методів оптимізаційного проєктування; розвиток автоматизації

безпосередньо конструювання; удосконалювання технології автоматизованого проектування.

Інтеграція СА вимагає істотного розширення складу БД і об'єднання їх у єдину базу інтегрованої системи; створення галузевих і міжгалузевих банків даних нормативно-технічної, техніко-економічної й науково-технічної інформації; створення багаторівневих обчислювальних систем колективного користування з різними типами комп'ютерів, уніфікації структур переданих масивів інформації; розвитку операційних систем і доповнення прикладного програмного забезпечення (ППЗ) численними інтерфейсами для сполучення з новими підсистемами.

Розвиток і вдосконалювання методів оптимізаційного проектування передбачає розроблення нових математичних методів, що відповідають ППЗ, і збільшення продуктивності обчислювального комплексу САПР.

Розвиток автоматизації безпосередньо конструювання призведе насамперед до розвитку в САПР засобів обробки геометричної інформації тривимірних об'єктів, що дозволяють здійснювати складні перетворення, одержувати проекції й просторові відображення об'єктів на базі високопродуктивних комп'ютерів, графічних дисплеїв, графопобудовників і відповідного програмного забезпечення.

Удосконалювання технології автоматизованого проектування спричинить зміну розподілу на стадії проектування й перерозподіл проектних робіт між стадіями. Зокрема вирішення загальних питань повинне здійснюватися на ранніх стадіях, роботи з оформлення проектних рішень — на заключній стадії. Режим роботи проектувальника з комп'ютером повністю інтерактивний. Основний робочий інструмент користувача — комп'ютер, підключений до загальної обчислювальної мережі.

Мови спілкування проектувальників із системою повинні бути максимально наближеними до природної мови, є можливим перехід до усного спілкування. Всі проміжні проектні рішення будуть зберігатися в комп'ютері, остаточні рішення передаватися у виробництво на машинних носіях.

Удосконалювання технології проектування вимагає істотної зміни складу технічних засобів САПР, програмного й організаційного забезпечення.

Розвиток САПР позначається на змісті проектних робіт, що автоматизуються. Найбільш досконали САПР будуть автоматизувати всі проектні операції, за винятком прийняття рішень, узгодження їх зі співвиконавцем, складання пояснювальних записок і інших робіт. Більш того, у ряді випадків система буде формувати рішення, і проектувальникові залишиться тільки погодитися з ним або вимагати переробки частини проекту.

1.8 Роль САПР/АСТПВ у виробничому циклі

Сукупність видів діяльності й функцій, необхідних для здійснення проекту й виготовлення виробів, називається *виробничим циклом*. Поводження цього циклу визначається замовниками виробів і потребами ринків збуту.

Виробничий цикл може активізуватися різними шляхами залежно від особливостей тієї або іншої групи замовників-споживачів. В одних випадках функції проектування виконує сам замовник, а виготовлення виробу — сторонні фірми, в інших й проектування й виробництво виконує та сама фірма. Однак, як би це не відбувалося, виробничий цикл завжди починається з вироблення концепцій нового виробу (тобто виникнення певної ідеї). Спочатку концепція нового виробу проробляється, потім у деталях уточнюється, аналізується, удосконалюється й після конструктивного розроблення втілюється в план виконання нового виробу. Цей план підкріплений документацією у вигляді набору конструктивних креслень, що показують, як має виготовлятися виріб і сукупність технічних описів, специфікацій, що відображають принципи функціонування виробу. Цим завершується діяльність з проектування, якщо не змінювати конструкцію виробу протягом усього життєвого циклу.

Наступним видом діяльності стає виготовлення виробу, що починається складанням плану, що визначає послідовність операцій, необхідних для виконання виробу. Іноді можуть знадобитися нове обладнання, інструмент і оснащення.

На етапі складання графіка обраного плану виробництва фірма фактично бере на себе зобов'язання випустити певну кількість виробів у конкретний термін. Після того як сформовані плани-графіки по всіх виробках, вони запускаються у виробництво, і потім проходять через операції контролю якості й відвантаження замовникові.

Об'єктом автоматизації проектування є вся сукупність дій проектувальників, що розробляють виріб або технологічний процес, таких, що оформляють результати розробок у вигляді конструкторської, технологічної й експлуатаційної документації. Проектування технології виготовлення спроектованого або такого, що підлягає ремонту, об'єкта пов'язане з процесом технологічної підготовки виробництва виробу або його вузлів і деталей на даному підприємстві. Результатами проектування є роздрукування технологічної документації у вигляді маршрутної й операційної карти; відомості оснащення; карти технічного контролю. Карти технологічних процесів виконуються відповідно до маршрутно-операційних описів технологічних процесів. Макросхема алгоритму САПР технологічних процесів наведена на рис. 1.23.

Здійснюється введення оперативної інформації, з якої вибираються й формуються групові (типові) операції, переходи за їхніми кодами у вихідних даних і типових маршрутах з нормативно-довідкової інформації. Припуски розраховуються за нормами підприємства. Пошук оснащення й інструмента, включених технологом у вихідні дані, здійснюється за універсальними блок-схемами і таблицями. При розробленні алгоритмів і програм, а також у процесі експлуатації автоматизованої системи проектування технологічних процесів механічної обробки необхідно мати дані, зазначені на рис. 1.24.

При розробленні алгоритму САПР технологічних процесів особлива увага приділяється універсальності, надійності в роботі, вірогідності розроблюваних технологічних процесів, спрощенню й скороченню часу на адаптацію алгоритму до конкретних виробничих умов і на створення єдиної бази даних для вирішення всіх технологічних завдань і скорочення часу на її розширення й зміну.



Рис. 1.24. Структурна модель САПР технологічних процесів

1.9. Інформація про виріб і етапи життєвого циклу виробу

Основні етапи життєвого циклу (ЖЦ) виробу (рис. 1.25):

- маркетингові дослідження потреб ринку;
- науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи (НДДКР);
- підготовка виробництва виробу на заводі-виготівнику серійної продукції;
- виробництво й збут;
- експлуатація й обслуговування виробів;
- утилізація виробів.
-

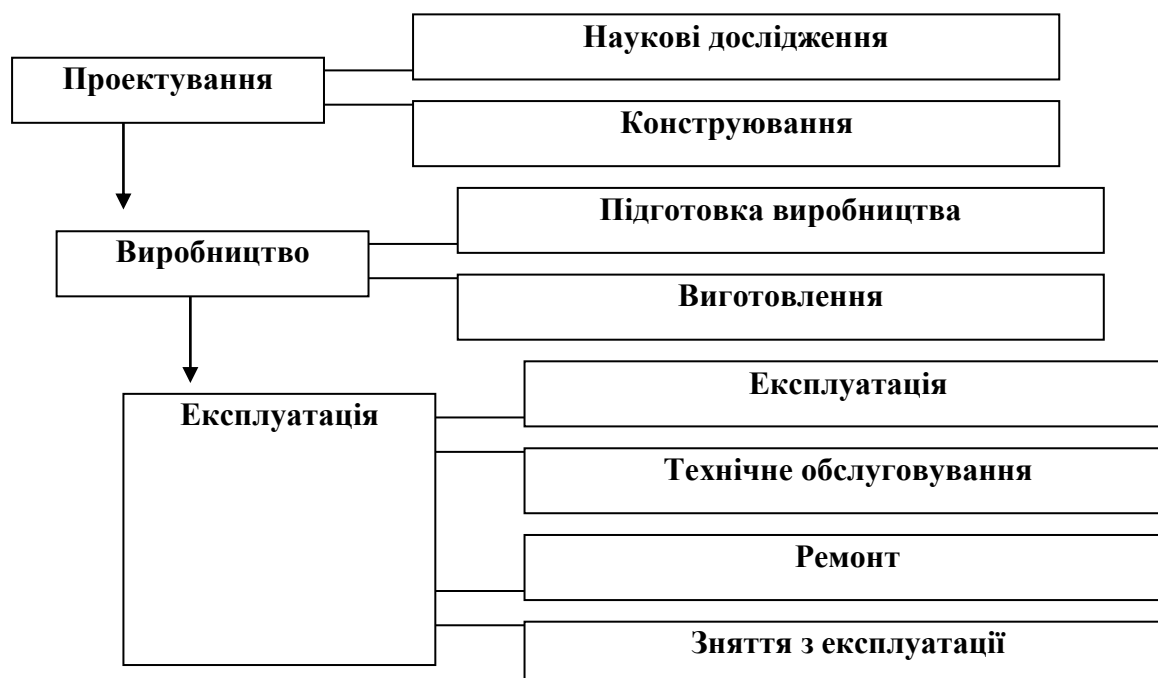


Рис. 1.25. Основні стадії життєвого циклу складних технічних об'єктів

Інформація про виріб – це набір даних, які породжуються й використовуються на всьому його ЖЦ і включають:

- інформацію про конфігурацію й структуру виробу;
- характеристики й властивості;
- організаційну інформацію (опис процесів, пов'язаних зі зміною даних про виріб, необхідні ресурси — люди, матеріали і т. д.);
- інформацію про проведені контрольні випробування;

▪ документи, якими обростає виріб з моменту його проектування до його продажу й подальшого обслуговування, і т. д.

1. *Конструкторські дані про виріб* — сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних у процесі проектування й розроблення виробу, що містить відомості:

- про склад виробу;
- геометричні моделі виробу;
- його компоненти і їхні технічні характеристики;
- співвідношення компонентів у структурі виробу;
- результати розрахунків і моделювання;
- допуски на виготовлення деталей і т. д.

2. *Технологічні дані про виріб* – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних на стадії технологічної підготовки виробництва й асоційованих з інформаційними об'єктами, що описують виріб і його компоненти. Містять відомості:

- про способи виготовлення й контролю виробу;
- опис маршрутних і операційних технологій;
- норми часу й витрати матеріалів;
- керуючі програми для верстатів з ЧПК;
- дані для проектування оснащення.

3. *Виробничі дані про виріб* – відомості про статус конкретних екземплярів виробу і його компонентів у виробничому циклі.

4. *Дані про якість виробу* – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних при виконанні всіх видів контролю. Містять відомості про ступінь відповідності виробу заданим технічним вимогам, стандартам і т. ін.

5. *Логістичні дані про виріб* з'являються в процесі проектування й розроблення, містять відомості про просторово-часову ув'язку планування взаємодії всіх суб'єктів і для підтримки виробу на післявиробничих стадіях ЖЦ.

6. *Експлуатаційні дані про виріб* з'являються в процесі проектування й розроблення, містять інструкцію з експлуатації, відомості для організації обслуговування, ремонту й інших дій, що забезпечують працездатність виробу.

Стадії життєвого циклу в загальному випадку наведені на рис. 1.26.

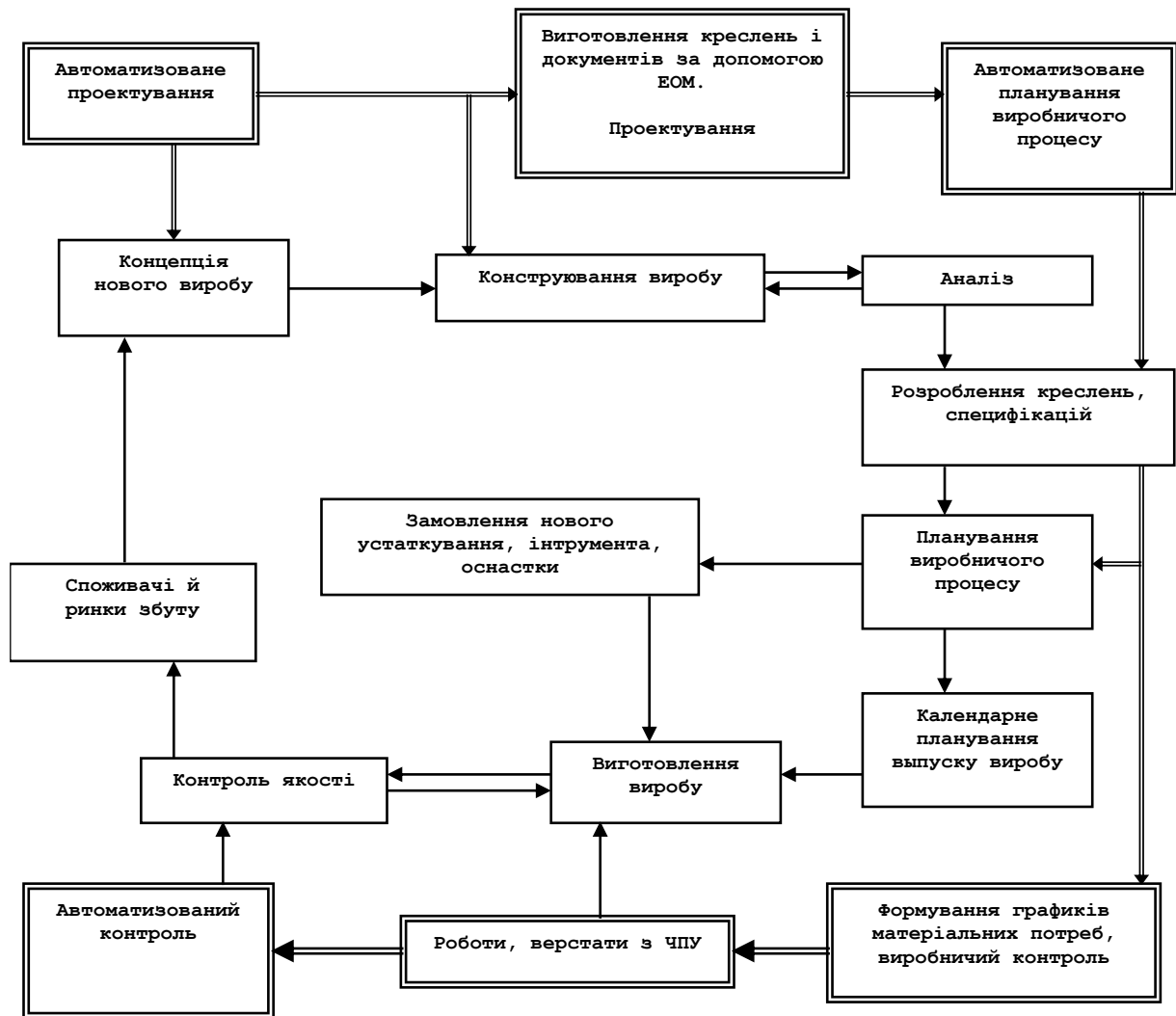


Рис. 1.26. Стадії життєвого циклу виробу

1.10. Технологія паралельного проектування

У хронологічному порядку стадії життєвого циклу мають вигляд, наведений на рис. 1.27.

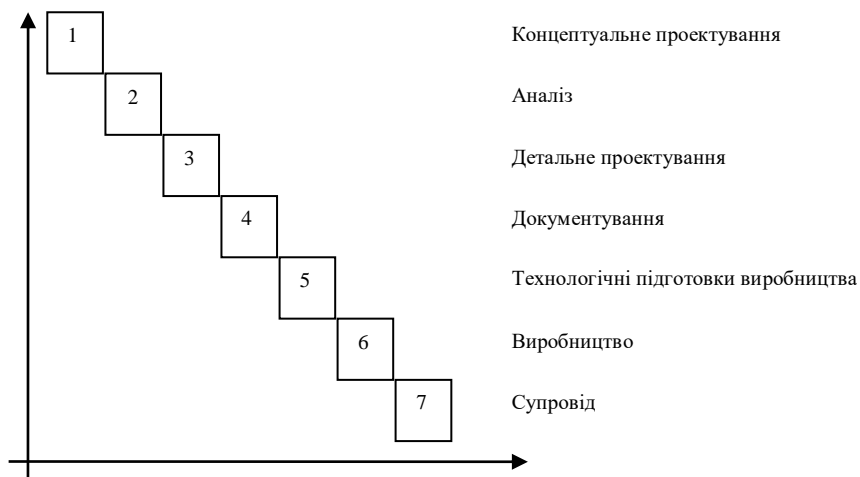


Рис. 1.27. Найменування стадій життєвого циклу

1.10.1. Послідовне проектування

Традиційний послідовний підхід у розробленні нових виробів включає послідовність робіт із проектування, складання, випробування, аналізу, аналізу з ітеративним повторенням циклу до одержання потрібного результату. Виробничий цикл, що охоплює всі стадії ЖЦ, починається з вироблення концепції нового виробу. На першому етапі розробляються спеціальні основні вимоги до виробу (зовнішній вигляд, технічні характеристики). Потім опрацьовуються різні варіанти рішення, здійснюється аналіз варіантів і вибір остаточного рішення. Далі це рішення в деталях уточнюється, аналізується, удосконалюється й втілюється в план випуску нового виробу й документації. Ітеративне повторення цього циклу дороге й забирає багато часу. До того моменту, поки почнеться промисловий випуск, проблемами розроблення пов'язані з проблемами підготовки виробництва.

1.10.2. Концепція паралельного проектування

Зараз паралельне проектування з успіхом розвивається провідними американськими й західноєвропейськими фірмами. Зокрема в США дослідницькі проекти в рамках цієї технології розробляються за замовленням перспективних військових проектів Пентагона.

Відомі дослідницькі системи - (Gernet, DAISIE, CATIA, PRO/ENGINEER, INITGRAPHICS).

C-технологія — принципово новий інтегрований підхід до розроблення виробу. В основі технології лежить сполучення проектування виробу з плануванням його виготовлення й супроводом, що координуються спеціально призначеним для цього розподіленим інформаційним середовищем. Подібна технологія дозволяє використовувати проектні дані з ранньої стадії одночасно різним групам фахівців. Фактично при використанні *C-технології* вдається досягти перекриття практично всіх стадій ЖЦ виробів.

Розвиток *C-технологій* пов'язаний, насамперед, з підвищенням для споживача таких нецінових факторів конкурентоспроможності, як якість, здатність швидкого виконання індивідуального замовлення.

Використання організації проектування виробу, що орієнтована на застосування нових інформаційних технологій і інтеграцію знань із різних областей ЖЦ, дозволяє заощаджувати не тільки час, причому час скорочується на 20-25 %, але й економічні засоби за рахунок підвищення якості виробу, спрощення сервісного обслуговування, скорочення змін, внесених у конструкцію на стадії виготовлення.

C-технологія забезпечує усунення недоліків послідовного проектування, зокрема коли помилки проектування знезацька виявляються на останніх його стадіях. Як показує вітчизняний досвід, 50-70 % наявних дефектів готової продукції машинобудування виникають через помилки в конструкційній роботі, 20-30 % через недостатню технологічність виробу, 5-15 % — з вини працівників.

Усунення першої групи дефектів здійснюється в основному за рахунок сполучення проектування складових технологічної системи «виріб - технологія - устаткування» і раннього обліку можливих при цьому обмежень.

Особливості C-технологій:

- охоплення всіх умов і факторів підвищення ЖЦ виробу;
- утворення інтегрального ефекту, більш тісний зв'язок між групами фахівців;
- *C-технологія* індивідуалізована, тому що її конкретна реалізація враховує особливості підприємства, на якому вона впроваджується, а також вимоги замовників;

- звичайно впроваджується в рамках уже діючого підприємства, конкретні економічні параметри якого й умови функціонування впливають на результативність її впровадження;

- постійно розвивається, що припускає необхідність розширення складу врахованих факторів підвищення ефективності ЖЦ й узгодження їх з раніше врахованими факторами й отриманими результатами.

Основні складові С-технологій:

- розподілена комп'ютерна архітектура, що забезпечує синхронізацію, оптимальне планування й обробку інформації на окремих стадіях ЖЦ;

- сукупність інструментальних програмних засобів, які забезпечують швидке прототипування й багатокритеріальну оптимізацію при проектуванні, що дозволяє досягти ефективного співвідношення проекту, виробництва й ціни виробу при дотриманні життєво важливих обмежень;

- уніфіковане й всебічне подання всієї необхідної при проектуванні й виробництві інформації, що може бути різнобічно проаналізована відповідно до потреб користувача.

Проблеми впровадження С-технологій

1. Обґрунтованість економічної ефективності С-технології. Ефективність впровадження С-технологій не вписується в нормативи ефективності нововведень, тому що вона оцінюється єдино з позиції одержання на підприємстві ефекту від капітальних вкладень без адекватного порівняння з державними інтересами.

2. Організація й керування всім комплексом діяльності, пов'язаної з впровадженням С-технології. Впроваджувана технологія має принципово нові характеристики. Тому можливі вимоги проведення споживачем технології організаційних і технічних заходів (зміна технологічного процесу, модифікація організаційної структури). Іншими словами, необхідність забезпечити створення організації виробництва, що була б найбільш адекватною специфіці С-технології. В іншому випадку досягнення результату буде неможливим.

3. Розроблення стратегії планування, розвитку й впровадження С-технології, що вимагає для свого вирішення комплексного розгляду завдання дослідження виробництва,

проектування, доставки, монтажу й пуску в експлуатацію його складових, підготовки кадрів і обслуговування.

У рамках вирішення цієї проблеми потрібно визначити бажаний рівень ефективності ЖЦ й намітити шляхи її досягнення, орієнтуючись на стратегію поетапного наростання С-технології.

Залежно від мети впровадження й обсягу інвестування можливі такі шляхи впровадження:

1. Закупівля й установлення системи «під ключ».
2. Закупівля існуючої типової системи за кордоном і адаптація її до місцевих умов, зокрема для прив'язки до діючих стандартів.
3. Розроблення й впровадження С-технології не на всіх стадіях ЖЦ, а тільки там, де для цього є як технічні, так і економічні передумови.

Найбільшу віддачу дають методи, орієнтовані на вдосконалення організації ЖЦ на початковій стадії С-технології — стадії концептуального проектування.

Витрати на концептуальне проектування становлять до 3 % загальних витрат протягом ЖЦ, і правильність прийнятих на цій стадії рішень впливає на весь проект, тому що 75 % вартості майбутнього виробу закладається саме на цій стадії.

Успішність впровадження С-технології визначається рівнем технічних засобів (10 %), якістю програмного й інформаційного забезпечення (40 %) і людським фактором (50 %). Найбільшою мірою місцеві конструкторські, технічні й виробничі традиції й стандарти проявляються у сфері інформаційного й кадрового забезпечення. Впровадження С-технології вимагає залучення фахівців при її адаптації в умовах конкретного підприємства.

1.10.3. Моделювання виробів з технологічними атрибутами

Геометричний опис об'єкта виробництва – основа інформаційного, електронного супроводу виробу на всіх стадіях його життєвого циклу. Носіями геометричної інформації є, наприклад, креслення деталі, операційний ескіз і т. п.

Методи геометричного опису об'єкта:

1. Плоске геометричне моделювання.
2. Об'ємне геометричне моделювання.
3. Структурно-параметричне моделювання.

На кресленнях і ескізах геометрична інформація, яка представляє конструктивні параметри деталі, є носієм технологічної інформації. Фахівець-технолог, вивчаючи креслення деталі й асоціативно сприймаючи геометричну й технологічну інформацію, може подумки змінювати положення деталі в просторі, додаючи або виключаючи з зображення деталі необхідні комплекси поверхні.

Прийняття будь-якого технологічного рішення пов'язане з переробкою геометричної інформації, що супроводжує виконання всіх функцій і завдань технологічної підготовки виробництва.

Технологічні атрибути – це технологічні параметри об'єкта (точність розмірів, форми, взаємне розташування, шорсткість поверхонь і т. д.).

Особливу складність викликає значна кількість і специфічність технологічних атрибутів, які, у принципі, можуть мати відношення до кожної з поверхонь або будь-якого комплексу поверхонь.

Структурне моделювання – завдання, що важко формалізується; виконується людиною. Включає структурний аналіз (аналіз структури наявного об'єкта), структурний синтез (синтез нового об'єкта, його структури).

Параметричне моделювання – відпрацьований метод, заснований на обчислювальній математиці. При цьому задаються варіантні значення параметрів, що характеризують структурні елементи об'єкта.

Основні функції параметричного моделювання:

- визначення значень параметрів;
- оптимізація значень параметрів.

Вибір базової конструкції. Одним з вирішальних моментів конструкторської підготовки виробництва (КПВ) є вибір базової конструкції об'єкта, що виготовляється.

Базова конструкція – це деталь (машина або прилад), що має найбільшу кількість загальних ознак, властивих всім видам

того самого призначення. Вибір базової конструкції — базова ланка *КПВ*. Модифікаціями базової конструкції є всі інші конструкції даного виду.

Формування комплексної деталі

В умовах серійного й дрібносерійного виробництва найбільшого поширення одержав метод групування деталей за застосовуванним для обробки типом устаткування, єдністю технологічного оснащення, спільністю настроювання верстата з використанням комплексної деталі. Після уточнення складу групи створюють її представника – комплексну деталь (рис. 1.28).

Комплексна деталь є основою при розробленні групового технологічного процесу й інструментальних групових налагоджень. Вона створюється шляхом додавання до моделі найскладнішої деталі конструктивних елементів, поверхонь, наявних на інших деталях групи.

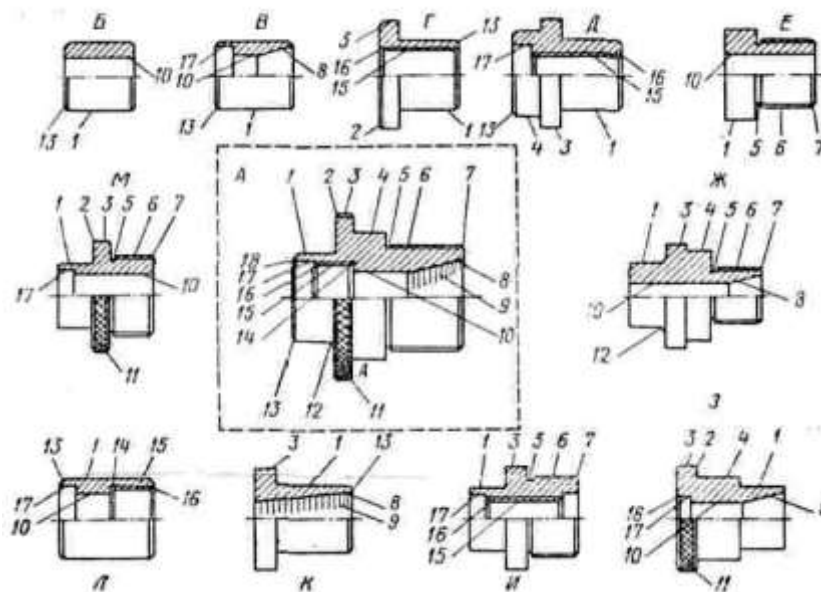


Рис. 1.28. Деталі групи й комплексна деталь

1.10.4. Способи задавання параметризованої геометричної моделі

Параметризована геометрична модель є основою сучасної технології виконання проектно-конструкторських робіт.

Існують 3 підходи до створення параметризованої геометричної моделі виробу:

1. Параметричне конструювання.

2. Асоціативна геометрія (АГ).

3. Об'єктно-орієнтоване конструювання з використанням базових операцій додавання (видалення) матеріалу.

Параметричне конструювання буває:

- з твердим (повним) набором зв'язків;
- неповним набором зв'язків (м'яке).

Об'єктно-орієнтоване конструювання - це:

- макрооперації;
- асоціативні базові операції.

Параметричне конструювання. Визначити мету конструювання досить просто, але процес пошуку раціонального рішення складний і вимагає гармонічного поєднання різних методів автоматизованого конструювання виробів.

Параметричне конструювання як методологія автоматизованого розроблення є основною для паралельного ведення проектно-конструкторських робіт і дозволяє уточнити кінцеву мету конструювання вже на ранніх стадіях розробки (реалізації) проекту, що визначає ефективність поєднання процесів конструювання, інженерного аналізу й виробництва на єдиному інтервалі часу і їхній взаємній інтеграції.

Параметризація передбачає використання різних видів взаємодій між компонентами моделей і додатками, які використовують дану модель. Використання технології параметричного конструювання дозволяє за необхідності легко змінити форму моделі, у результаті чого користувач має можливість швидко й ефективно одержувати альтернативні конструкції або переглянути концепцію виробу в цілому. За відсутності засобів забезпечення параметричного конструювання модель однозначно визначена тільки своєю геометрією, тому внесення найменших змін вимагає значних трудових витрат.

Параметризація — це концепція, що охоплює всі методи для вирішення завдань конструювання. Важливою особливістю сучасної концепції параметричного конструювання є можливість створення геометричних моделей з використанням зв'язків і правил, які можуть перевизначатися й доповнюватися на будь-якому етапі її створення.

Зв'язки визначається у вигляді розмірних, геометричних, алгебраїчних співвідношень. Правила визначаються як умови виконання базової операції.

Параметричне конструювання з повним набором зв'язків

Тверда параметризація — режим параметричного конструювання, при якому конструктор повністю задає всі необхідні зв'язки, однозначно визначаючи форму геометричної моделі виробу.

У цьому випадку зміна будь-якого параметра або перевизначення зв'язків спричиняє автоматичну зміну геометричної моделі й не вимагає від конструктора виконання будь-яких дій з модифікації геометричної моделі.

Опис процесу геометричного моделювання — у ході побудови система накопичує конструкційні параметри й співвідношення між ними, а також створює протокол, дозволяючи легко моделювати.

Для режиму твердої параметризації характерна наявність випадків, коли при зміні параметрів геометричної моделі рішення взагалі не може бути знайдено, тому що частина параметрів і встановлені зв'язки вступають у протиріччя одне з одним.

Іншим словами, така технологія дозволяє за необхідності керувати зміною форми конструкції в деяких рамках, які визначаються інтервалом взаємної несуперечності всієї сукупності параметрів і накопичених зв'язків.

Існує багато способів задавання параметрів і зв'язків для однієї і тієї самої конструкції. Отже, при використанні цієї технології дуже важливим є порядок визначення й характер накладених зв'язків, які будуть керувати зміною форми конструкції, тому що для будь-якого способу накладення зв'язків інтервали несуперечності будуть різними.

Параметричне конструювання з неповним набором зв'язків

М'яка параметризація — це режим параметричного конструювання, що дозволяє конструкторові працювати не замислюючись про порядок, у якому визначено або враховано зв'язки, а також про їхню достатність для повного опису геометрії конструкції.

Такий підхід дозволяє користувачеві вирішувати проблеми, рухаючись інтуїтивним найбільш природним шляхом. Ключова перевага використання м'якої параметризації при конструюванні — можливість вирішення геометрично недовизначених завдань шляхом надання користувачеві можливості виявлення невідомих факторів у вигляді зв'язків і знаходження потрібного рішення.

З погляду практичної реалізації м'яка параметризація — це метод для знаходження необхідних розмірів і уточнення орієнтації елементів, певних форм геометричних об'єктів. В основі методу лежить принцип розв'язання нелінійних рівнянь, які описують систему зв'язків, підкріплених формулами. Використовуючи механізм розв'язання таких рівнянь, конструктор може оптимізувати такі параметри, як маса, об'єм, площа, центр ваги й т. д.

Ці всі процедури дозволяють або оптимізувати втрати матеріалу, або зробити розроблювану деталь більш легкою у виготовленні, забезпечити підтримку необхідних експлуатаційних показників.

Параметризація корисна не тільки для моделювання. Вона також автоматизує ітераційне налагодження конструкції. Працюючи в середовищі параметричного конструювання, користувач вказує змінювані параметри, задає зв'язуючі умови, визначає цільову функцію й запускає процес оптимізації. Особливо ефективна така задача: на вхід задається наближена геометрія, а як цільова функція — умови розміщення в заданому габариті.

Асоціативна геометрія (АГ) — це узагальнююча назва технології параметричного конструювання, що забезпечує єдиний і двосторонній інформаційний взаємозв'язок між геометричною моделлю, розрахунковими моделями, програмами для виготовлення виробів на верстатах ЧПУ, конструкторської БД і т. д.

Технологія АГ — це технологія асоціативного конструювання, що базується на безпосередньому взаємозв'язку між об'єктами, це параметризація більш об'єктивна й незалежна від дій користувачів. Вона створюється на таких поняттях, як паралельність, ортогональність і перпендикулярність.

Перевага АГ: швидкість. Недолік АГ: користувач повинен повністю визначити розміри й орієнтацію елемента, перш ніж приступити до створення наступних.

Об'єктно-орієнтоване моделювання (ООМ). Цей підхід реалізований на основі певного набору правил і атрибутів, що задаються при виконанні базової операції як додаткові до вже заданих зв'язків і асоціативної геометрії.

ООМ надає користувачеві макрофункції, раніше визначені як послідовність дій, що виконують булеві операції (приклад: наскрізний отвір — вирахування, причому під наскрізним отвором розуміється правило, що визначає наскрізний прохід у заданому місці через тіло моделі незалежно від того, змінювалася форма моделі чи ні).

До базових операцій висуваються такі вимоги:

1. Базова операція, що використовується, повинна бути повністю визначена.

2. Після виконання базової операції її топологія повинна зберегтися і розпізнатися як базова операція (отвір, паз, скруглення), а також надавати можливість зміни її визначальних геометричних параметрів.

3. Визначення базової операції повинне містити в собі правила, що визначають поводження геометричної форми, а також засоби контролю за дотриманням цих правил після виконання операції.

4. Для підвищення ефективності процесу паралельного розроблення додатка для інженерного аналізу виготовлення повинен бути доступ до опису об'єкта, не вимагаючи від користувача інформації про об'єкт, використаний раніше при виконанні базової операції.

Поява в практиці такого важливого методу моделювання, як *фічерс*, можна пов'язати з появою компанії РТС.

Фічерси – інтелектуальне конструювання елементів, які пам'ятають про своє середовище незалежно від внесених змін. Це звичні користувачеві конструкційно-технічні елементи, такі як отвори, фаски, скруглення, ребра жорсткості, центральні отвори, канавки.

Фічерси є параметризованими об'єктами, певним чином прив'язаними до певного геометричного контексту. При

модифікації моделі прив'язка зберігається з відповідним коригуванням фічерсів. Конструкційні елементи можуть приймати будь-які обриси, набуваючи майбутньої геометрії. Вони містять також знання про своє середовище, тобто інформацію про те, як вони співвідносяться один з одним. Оскільки конструкційні форми пам'ятають про своє середовище, при зміні кожної з них можуть змінюватися геометрія й топологія моделі в цілому. Це означає, що можна автоматично створювати будь-який об'єкт і елемент (фаски, скруглення), просто вказуючи їхнє місце розташування. Після цього воно залишається прив'язаним до грані при будь-якому її переміщенні.

Фічерси – інтелектуальні конструкції, об'єктно-орієнтовані операції, об'єкти, методи або категорії.

Параметричні моделі, на відміну від жорстко-розмірних, не стандартизовані. Нинішні транслятори IGES і STEP не працюють із описами обмежених умов і історій. Ця інформація губиться при перенесенні з однієї системи в іншу, і оскільки параметризація моделі заснована на історії побудови, наступне редагування створених об'єктів стає важким.

Програми з реалізацією фічерсів: Pro/Engineer (PTC), CADD5(CV), T-Flex.

1.10.5. Системи керування виробничою інформацією. PDM-системи

Проектування виробів — прискорений процес, що вимагає швидкого доступу до великомасштабної погодженої проектно-інженерної інформації. Щоб полегшити вирішення проблем, викликаних сучасними засобами проектування, і прискорити розроблення виробів, з'явилися системи PDM, що забезпечують доступ до проектно-інформації та управляють процесами проектування.

Система керування виробничою інформацією – інструментальний засіб, що допомагає адміністраторам, конструкторам і іншим фахівцям керувати як даними, так і виробничими розробленнями виробу на сучасних виробничих підприємствах або групі підприємств. *PDM-системи* стежать за великими постійними відновленнями машинних даних і

інженерно-технологічною інформацією, необхідних на етапах проектування, виробництва або будівництва, а так само за підтримкою експлуатації, супроводом і утилізацією технічних виробів.

PDM-системи працюють із файлами й записами БД на всіх етапах циклу розроблення, виготовлення й підтримки виробу: конфігурації виробу, опис деталей, специфікації, креслення, геометричні моделі, зображення, моделі інженерного аналізу й результату розрахунків, плани маршруту процесу виготовлення, програми виготовлення деталей, збережені в електронному вигляді документи, замітки, кореспонденція, аудіо- й відеопосилання на паперові документи, проектні плани й ін.

PDM відрізняється від БД тим, що інтегрує інформацію будь-яких форматів і типів, яка надходить від різних джерел, надає її користувачам уже в структурованому вигляді, причому структуризація прив'язана до особливостей сучасного промислового виробництва. PDM відрізняються від інтегрованих систем офісного документообігу, тому що тексти — далеко не найпотрібніше у виробництві. Важливіше геометрична модель, дані для функціонування автоматичних ліній, верстатів з ЧПК і т. д.

Системи PDM узагальнюють такі відомі технології, як керування інженерними даними (EDM); керування документами (інформація про виріб-РІМ); керування технічними даними (TDM); керування технологічною інформацією (ТІМ); керування зображеннями, та інші системи, які використовуються для маніпулювання інформацією, що всебічно визначає конкретний виріб.

Таким чином, будь-яка інформація, використовувана на тому або іншому етапі життєвого циклу виробу, може керуватися системою PDM, що надає коректні дані всім користувачам і всім промисловим інформаційним системам за потреби.

Поряд з даними система PDM керує й проектом, тобто процесом розроблення виробу, контролюючи інформацію про виріб, про стан об'єкта, про дані по цьому об'єкту, про затвердження внесених змін, здійснюючи авторизацію й інші операції, які впливають на дані про виріб і режим доступу до них кожного конкретного користувача.

Початок 1980-х років — перша система PDM фірми Computer Vision Optegra — Optimal integration. Появі цієї системи передувала поява системи автоматизації процесів. До цього часу в рамках САПР корпорація мала пакет моделювання великих складань CAMU і багатофункціональні гібридні моделі. Ув'язавши всю структуру виробу цілком і модельні дані з CAMU з можливостями занесення в цю структуру будь-якої інформації, отриманої в електронному вигляді, доповнивши все це механізмом відстеження одержуваних варіантів і автоматизацією генерації звітних документів до специфікації, було одержано програмний продукт, що належить до класу PDM-систем. В основу своїх рішень корпорація поклала принцип повного електронного опису виробу. Відповідно до такого принципу вся інформація, що належить до одного виробу, структурується за типом, призначенням й погоджується з послідовною технологією виробничих процесів, причому у відповідності зі структурою самого виробу.

1.10.6. Повний електронний опис виробу

Поява концепції повного електронного опису виробу (EPD) викликана потребою сучасних великих підприємств у засобах паралельного створення, керування, поділу й кількарязового використання всієї електронної інформації, що випускається підприємством протягом усього життєвого циклу виробів, з можливістю інтеграції даних про всіх учасників цього циклу (постачальників і т. д.).

Реалізована в серії програмних продуктів і служб концепція EPD забезпечує:

- створення інтерактивного середовища спільного розроблення, охоплює різні дисципліни;
- створення структури електронного опису виробу, що інтегрує всю інформацію і може бути використана в масштабах розширення підприємства, у т. ч. постачальниками й сервісними організаціями;
- електронне визначення всіх етапів ЖЦ, формулювання потреб у матеріалах, концептуальне проектування, виробництво, поширення й підтримка;

- захист даних і гарантований доступ до інформації про виріб для кожного користувача з відповідними правами доступу;
- керування внесенням змін.

ERP включає інформацію від всіх дисциплін, залучених у процес його створення й забезпечує зв'язок структури проекту з прикладними системами й необхідною діловою інформацією. ERP дозволяє перетворити електронні дані про виріб у найважливіший бізнес-ресурс корпорації, що забезпечує розроблення й супровід конкурентоспроможної продукції, зменшує час її виходу на ринок, збільшує якість і зменшує витрати на проектування, виробництво й підтримку.

Розроблення систем ERP стало причиною переходу, що відбувається в індустрії, від розрізнених додатків, здатних підвищити ефективність інженерної праці до інтегрованого корпоративного середовища спільної роботи над виробом. У процесі розроблення продукту виникає ряд проблем, що впливають на успішне введення корпоративного бізнесу: необхідність організації спільної роботи колективу фахівців із залученням компаній, що поставляють основні компоненти для розроблюваного виробу; тривалість часу, а отже, суми, які витрачені на реалізацію складання, а так само труднощі розуміння таких складань у цілому. Занадто пізно вдається виявити проблему внаслідку дезінтеграції процесів розроблення виробу й функцій підтримки його ЖЦ. Рівень складності конструкції виробів зростає, і в результаті доводиться відкладати ухвалення певного рішення про виріб на можливо більш пізні строки.

CALS — протокол цифрової передачі даних про виріб. Забезпечує стандартні механізми доставки цифрових даних. Використовує як основу стандарти IGES, а як формати обміну графічними даними – STEP.

Формат IGES — стандарт на передачу й обмін графічних даних між різними CALS-системами.

STEP — міжнародний стандарт ISO 10303, покликаний полегшити зберігання й обмін всіх типів інформації, що має відношення до виробу. STEP визначає форму даних про конкретний тип виробу для всіх типів інформаційних середовищ, а також для специфічних секторів промисловості. Передбачено поступову заміну IGES на STEP.

EPD — технологія, що інтегрує всі дані про виріб і пов'язані з ним процеси, забезпечуючи розроблення й підтримку повної електронної моделі виробу протягом усього ЖЦ, реалізується в системі керування проектними й виробничими даними (CADDSS5 Optegra, CATIA, Euclid).

Euclid Design Manager — це об'єктно-орієнтована PDM, призначена для розміщення на рівні підрозділу. Вона має за мету забезпечити інформаційну підтримку окремих груп розробників у середовищі паралельного проектування. Функціональні можливості PDM системи розпадаються на функції користувача й утиліти.

Перші забезпечують доступ користувача до можливостей PDM і поділяються на такі категорії:

- зберігання даних і керування документами;
- керування потоком завдань або процесом;
- керування структурою виробу;
- класифікація й пошук.

З метою схоронності й несуперечності даних, коли над проектом працює група користувачів, прикладні дані дублюються у вигляді метаданих, які розмежовані за місцями розміщення й за рівнями доступу. Метадані можуть бути розбиті на ієрархію папок, для навігації в які використовується спеціальний браузер. На відміну від прикладних даних, оброблюваних додатками, метадані зберігаються в окремій БД. З метаданими оперує додаток адміністратора. Права доступу до файлів і документів надаються окремим особам і групам, причому особа може входити в кілька груп. Весь процес розроблення виробу йде під керуванням PDM-системи, що фіксує й розміщає в сховище всі інженерні й проектні дані. Підтримується розподілене зберігання й керування документацією по мережі з прозорим доступом користувачів.

Існують три рівні зберігання:

- 1) вищий (область зберігання — репозиторій);
- 2) середній (рівень робочої групи);
- 3) нижчий (рівень користувача)

Ієрархія зберігання визначає, які документи можуть бачити окремі особи. Документи на рівні робочої групи бачать її члени. Документи в області зберігання видимі всім. Використання

ієрархії зберігання й статус документа дозволяють керувати видимістю. Наприклад, користувач заносить файл в область робочої групи, і він стає видимим для групи. Це дозволяє членам бригади розробників створювати альтернативні проекти, вводячи дані зі своїх індивідуальних областей у проміжну область робочої групи, не чекаючи остаточного утвердження даних. Всім членам бригади надано паралельний доступ до інформації з проміжної області. Користувач одержує повну волю для модифікації деталей і складань у межах групи. Як тільки дані затверджені, вони надходять в область сховища, завершуючи цикл перевіркою погодженості на всіх робочих рівнях.

Утиліти включають зв'язок і оповіщення, перенесення і трансляцію даних, засоби візуалізації, адміністрування. Засоби адміністрування забезпечують визначення фізичного розміщення даних, визначення логічної ієрархії даних, визначення сімейств даних, визначення користувачів і груп користувачів, забезпечення прав і контроль доступу до даних, архівування даних.

Центральна частина всіх PDM-додатків — структура виробу, що забезпечує повнофункціональне прикладне середовище, дозволяє керувати всіма ресурсами в контексті розроблюваного виробу. Це не тільки організує дані в максимально зручному для користувача вигляді, але й створює кістяк, на який будуть нарощуватися документи з певного виробу протягом усього його ЖЦ.

Сімейство програм Optegra є об'єктно-орієнтованим пакетом, який використовує технологію клієнт-сервер, що дозволяє співробітникам цілого підприємства не тільки одержувати доступ до опису продукту, але й керувати потоками інформації й, відповідно, даними по супроводу продукту.

SATIA (IBM). Електронний цифровий макет виробу в системі SATIA пропонує впорядковану логічну схему: історія побудови, геометрія, механічні зв'язки, властивості, посилання, обґрунтування. Причому властивості повинні бути систематизованими.

1.11. САПР у конструюванні виробів

1.11.1. Методологія автоматизації проектування. Види виробів

Методологія будь-якої діяльності — це вчення про структуру, логічну організацію, методи і засоби цієї діяльності.

Оскільки САПР припускає використання багатьох методів, то виникає необхідність у вживанні більше строгих понять.

На технічну систему можна дивитися з трьох сторін:

- 1) як на виріб;
- 2) пристрій;
- 3) процес.

1. **Виріб.** Складальні одиниці (СО) і деталі (умовно-монолітні деталі — МД). Це результат виготовлення й складання (попередметна декомпозиція) (рис. 1.29).

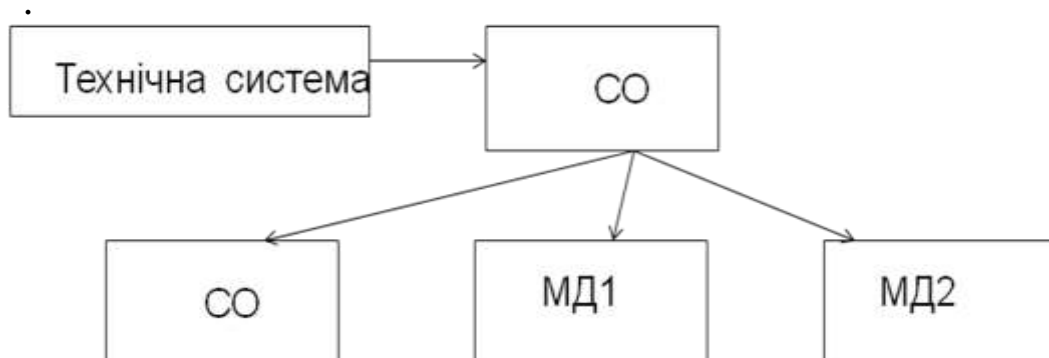


Рис. 1.29. Приклад структури технічної системи як виробу

ДЕРЖСТАНДАРТ встановлює такі *види виробів*:

- деталі;
- складальні одиниці;
- комплекси;
- комплекти.

Деталь — виріб, що не має складових частин і виготовлений з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без застосування складальних операцій. До деталей також належать вироби, виготовлені з застосуванням місцевого паяння, зварювання, склеювання і т. п.

Складальна одиниця — виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню на підприємстві-виготівнику складальними операціями (згвинчуванням, зчленуванням, клепкою, зварюванням, пресуванням, розвальцюванням і т.п.).

Комплекс — два або більше специфікованих виробів взаємозалежного з'єднаних, не сполучених на підприємстві-виготівнику складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій (наприклад, комплекс приладів).

Комплект — два або більше виробів, не з'єднаних на підприємстві-виготівнику складальними операціями, що являють собою набір виробів, які мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (наприклад, запасні інструменти).

2. **Пристрій.** Готовий зробити корисний ефект. Доцільний розподіл на функціональні елементи (функціональна декомпозиція).

3. **Процеси.** Зміна станів. Функціонує технічна система. Процеси взаємодії технічної системи з середовищем.

1.11.2. Автоматизація розроблення й виконання конструкторської документації в САПР

Під конструюванням умовимося розуміти розроблення конструкції за попередніми розрахунками, реалізоване в конструкторську документацію, що є однією з важливих і найбільш трудомістких завдань у САПР. Його вирішення здійснюється за допомогою графічної підсистеми автоматизації розроблення й виконання конструкторської документації (АКД) або у вигляді автономної (локальної) системи АКД зі структурою й принципами побудови, аналогічними САПР.

Засоби реалізації систем АКД надає комп'ютерна графіка, що забезпечує створення, зберігання й обробку моделей *геометричних об'єктів* (ГО) і їхніх *графічних зображень* (ГЗ) за допомогою комп'ютера. Використання комп'ютера в конструкторській діяльності як електронного кульмана значно полегшує підготовку конструкторських і інших графічних документів, пов'язаних з виготовленням виробів, скорочує строки

їхнього розроблення з поліпшенням якості. Особливо це ефективно при конструюванні пристроїв на базі параметрично керованих уніфікованих і типових елементів конструкцій, що забезпечують їхню багатоваріантність.

Автоматизація процесу конструювання й підготовки виробництва виробу на основі створення тривимірних геометричних моделей проєктованих виробів включає міцнісні й кінематичні розрахунки, компоновання й технологічні процеси складання виробів, виготовлення деталей і т. д. Таким чином, модель ГО, що містить інформацію про геометрію об'єкта, використовується як для одержання двовимірної геометричної моделі, так і для розрахунку різних характеристик об'єкта й технологічних параметрів його виготовлення. Із цього випливає, що геометричне моделювання є ядром автоматизованого конструювання й технологічної підготовки виробництва.

Система АКД виконує введення, зберігання, обробку й виведення графічної інформації у вигляді конструкторських документів (КД). Для реалізації системи необхідні документи, що регламентують роботу системи АКД — вихідна інформація для формування інформаційної бази; інформаційна база, що містить моделі ГО, ГЗ, елементи оформлення креслення за ДЕРЖСТАНДАРТОМ ЄСКД; технічні й програмні засоби створення моделей ГО й ГЗ і їхнього виведення; інтерфейс користувача у вигляді графічного діалогу з комп'ютером.

Всі перераховані складові утворюють методичне, інформаційне, технічне, програмне й організаційне забезпечення системи АКД.

Ефективність застосування АКД при розробленні КД забезпечується такими її можливостями: наявність *засобів перетворень*: поворот, перенесення, симетрування, масштабування, побудова дзеркального зображення й ін.; використанням *готових фрагментів креслень*: конструктивних і геометричних елементів, уніфікованих конструкцій, стандартних виробів; веденням *діалогу з комп'ютером у звичних для конструктора термінах* і зі звичними для нього об'єктами (графічними зображеннями); наявність *мовних засобів опису типових моделей-представників креслень* об'єктів, коли процес створення конкретного креслення виробу зводиться до задавання

розмірів; одержанням *креслень високої якості*, оформлених за стандартами ЄСКД шляхом виведення на графопобудовники, принтери й інші пристрої.

Побудову таких систем доцільно виконувати у *вигляді систем-надбудов* над базовою графічною системою, що містить всі необхідні можливості.

Основними принципами побудови систем АКД є:

- *адаптованість* системи АКД до різних САПР, тобто розширення можливостей її використання;

- *інформаційна єдність* всіх частин АКД і САПР, що припускає єдність бази даних для різних призначень (використання моделі ГО й ГЗ як для формування креслень, так і для розрахунків, наприклад використання системи для автоматизації розбиття об'єкта на елементи й наступну передачу даних у програмне забезпечення з застосуванням методу скінчених елементів);

- *інваріантність* — максимальна незалежність складових частин і системи АКД у цілому стосовно орієнтованих систем АКД і САПР, наприклад система електронних пристроїв може бути використана як графічна підсистема в системі керування робототехнічним комплексом і як графічна підсистема в системі керування контрольно-вимірювальним пристроєм;

- *можливість розширення* системи АКД шляхом доповнення новими складовими частинами й розвитку наявних.

Побудова таких систем значно спрощується, якщо вони створюються на базі універсального, відкритого середовища проектування для реалізації графічних можливостей САПР.

Прикладами такого середовища є системи "Автокад", "Компас", "Проінженер" — універсальні графічні системи, в основу структури яких покладено принцип відкритої архітектури, що дозволяє адаптувати й розвивати багато функцій стосовно конкретних завдань і вимог.

Прикладами систем АКД є системи-надбудови для формування креслень типових машинобудівних деталей, складальних креслень механічних пристроїв, анімаційних кінематичних схем та ін.

1.11.3. Класифікація завдань конструкторського проектування

Основне завдання конструкторського проектування — реалізація принципів схем, отриманих на етапі функціонального проектування.

При цьому виконується конструювання окремих деталей, компонування вузлів із деталей і конструктивних елементів, агрегатів із вузлів, після чого оформляється технічна документація на об'єкт проектування.

Одна група завдань конструкторського проектування визначає чисто геометричні параметри конструкції (задачі геометричного проектування).

Інша група завдань призначена для синтезу структури (топології) конструкції з урахуванням її функціональних характеристик (задачі топологічного проектування).

Геометричне проектування містить у собі задачу геометричного моделювання, геометричного синтезу й оформлення конструкторської і технологічної документації. Елементарними геометричними об'єктами в математичних моделях є точка, пряма, коло, площина і т. п.

Геометричне моделювання включає розв'язання позиційних і метричних задач на основі перетворення геометричних моделей.

До типових позиційних задач належать: визначення приналежності точки плоскій області, яка обмежена замкнутими контурами; визначення координат точки перетину прямої з криволінійним контуром; установлення перетину контурів і обчислення координат їх точок перетину і т. ін. На основі типових позиційних задач розв'язуються такі конструкторські задачі: визначення факту торкання або стикання деталей, що рухаються, перевірка умов сполучення деталей, перевірка гарантованих зазорів між деталями та ін.

До метричних задач належить обчислення довжини, площі, периметра, центра мас, моментів інерції.

Геометричний синтез включає розв'язання задач двох груп.

Перша група задач — формування (компонування) складних геометричних об'єктів з елементарних геометричних об'єктів.

Друга група задач забезпечує одержання оптимальної форми (образу) деталей, вузлів або агрегатів.

Задачі формування образу виникають на ранніх стадіях проектування при визначенні конфігурації вагона, корабля, автомобіля, літака і т. ін.

Основними завданнями топологічного проектування є задачі компоновання, розміщення і трасування.

Задача компоновання складається з двох частин: ескізної і робочої.

При розв'язанні ескізної частини задачі компоновання за функціональною схемою розробляють загальну конструкцію вузла.

На основі ескізного компоновання складають робоче компоновання з більш детальним опрацюванням конструкції.

Наприклад, процес компоновання редуктора виконується за його кінематичною схемою. Попередньо розраховуються передатні числа щаблів.

Задача компоновання полягає в установленні валів і зубцюватих коліс, що забезпечують задані передатні числа, установленні підшипників, ущільнень і т. д.

Задача розміщення полягає у визначенні оптимального просторового розташування елементів в обмеженій області (проектування генеральних планів підприємств, розміщення технологічного устаткування в цеху і т. п.). Критеріями оптимальності є компактність, термін обслуговування, довжина транспортних шляхів та ін.

Задача трасування полягає у визначенні геометрії з'єднань окремих елементів (трасування транспортних потоків цеху, прокладання повітропроводів, мастилопроводів та інших комунікацій, прокладання доріг, проектування електричних і гідравлічних систем машин та ін.).

1.11.4. Підходи до конструювання

Можна виділити два підходи до конструювання на основі комп'ютерних технологій.

Перший підхід базується на двовимірній геометричній моделі — графічному зображенні і використанні комп'ютера як

електронного кульмана, що дозволяє значно прискорити процес конструювання й поліпшити якість оформлення КД. Центральне місце в цьому підході до конструювання займає *креслення*, яке служить засобом подання виробу, що містить інформацію для вирішення графічних завдань, а також для виготовлення виробу (рис. 1.30).

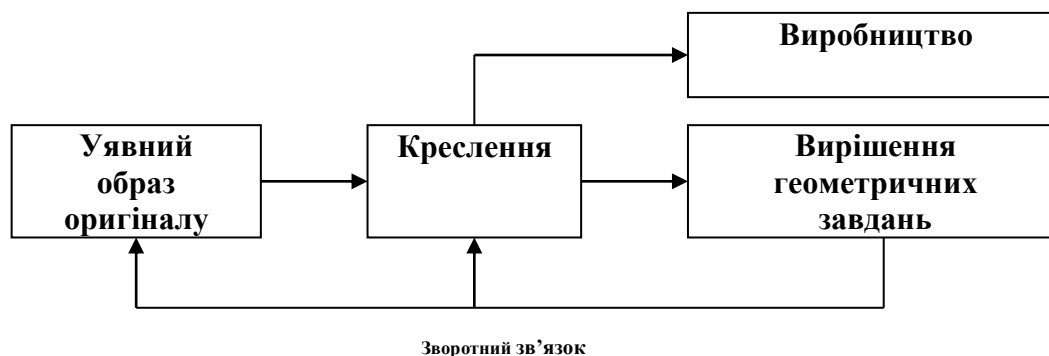


Рис. 1.30. Схема традиційної технології конструювання

При такому підході отримання графічного зображення на комп'ютері буде раціональним і досить ефективним, якщо створене ГЗ використовується багаторазово.

В основі *другого підходу* лежить *просторова геометрична модель* (ПГМ) виробу (рис. 1.31), що є більше наочним способом подання оригіналу й могутнішим і зручним інструментом для вирішення геометричних завдань. Креслення в цих умовах відіграє допоміжну роль, а способи його створення засновані на методах комп'ютерної графіки, методах відображення просторової моделі.

При першому підході (традиційний процес конструювання) обмін інформацією здійснюється на основі конструкторської, нормативно-довідкової й технологічної документації; при другому — на основі машинного подання ГО, загальної бази даних, що сприяє ефективному функціонуванню програмного забезпечення САПР конкретного виробу.

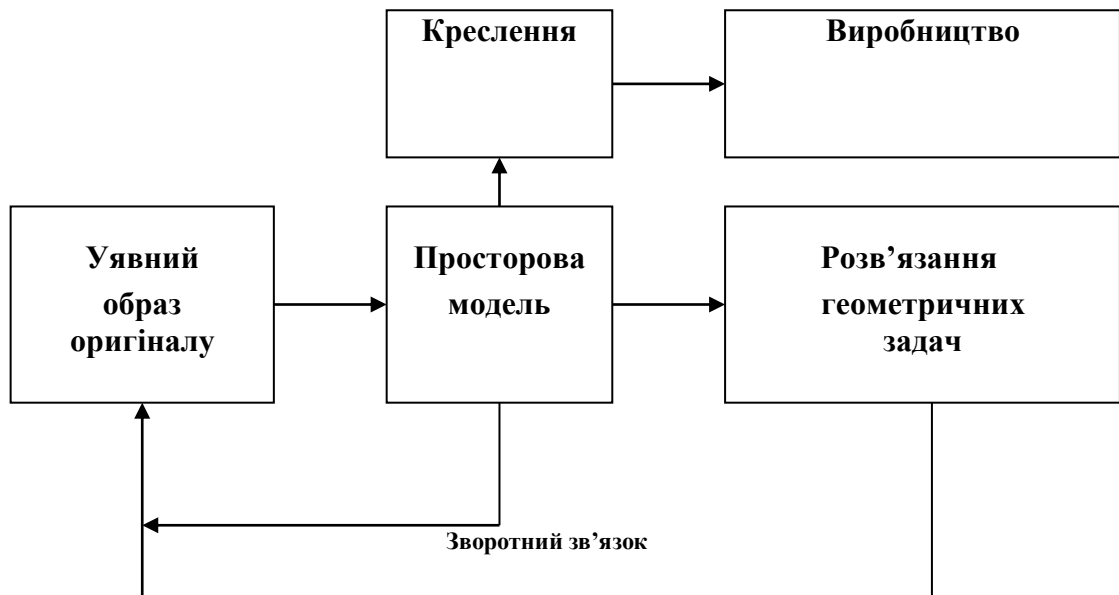


Рис. 1.31. Схема нової технології конструювання

1.11.5. Геометричне моделювання й організація графічних даних

Під *геометричним моделюванням* розуміють створення моделей ГО, що містять інформацію про геометрію об'єкта.

Під моделлю ГО будемо розуміти сукупність відомостей, що однозначно визначають його форму. Наприклад, точка може бути представлена двома (двовимірною моделлю) або трьома (тривимірною моделлю) координатами; коло — координатами центра й радіусом і т. д.

Об'ємні тіла й ГЗ, утворені з більш простих об'єктів з використанням логічних операцій об'єднання, перетинання, вирахування, називаються *складовими ГО*. Операція складання ГО здійснюється з використанням їхнього подання у вигляді ієрархічної структури у формі дерева побудови (рис. 1.32).

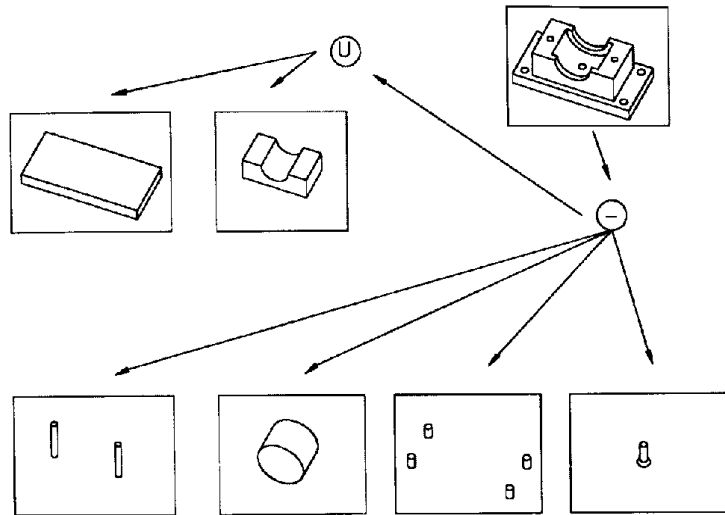


Рис. 1.32. Побудова складового ГО з елементарних ГО з використанням логічних геометричних операцій

На рис. 1.33 наведено приклад формування моделей ГЗ й ПГМ графічного зображення деталі.

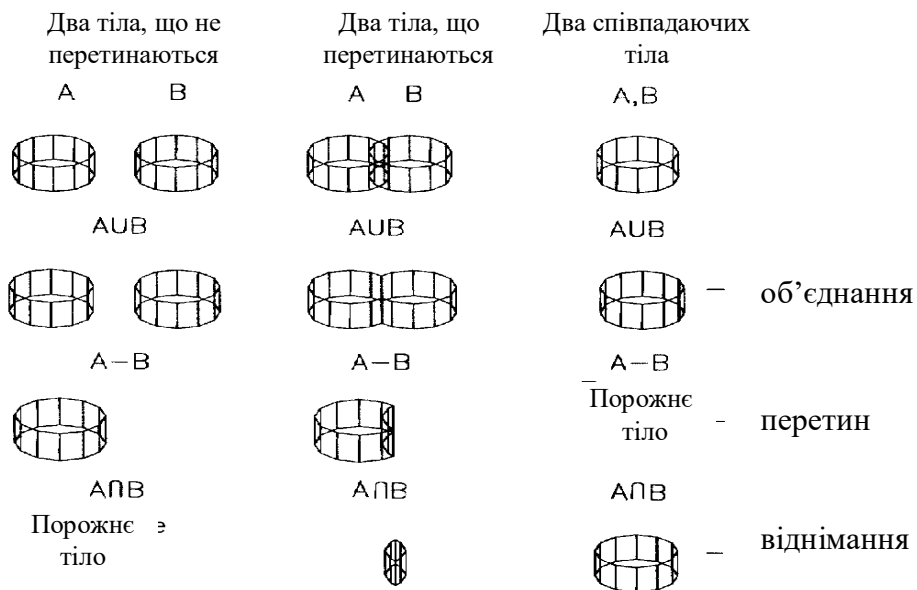


Рис. 1.33. Графічна інтерпретація операцій об'єднання, перетину та віднімання

На першому етапі реальний об'єкт (у прикладі деталь) піддається абстракції, у результаті якої визначається інформаційна модель.

На другому етапі в інформаційній моделі виділяють рівні структуризації даних і їхнього взаємозв'язку, найчастіше з урахуванням процесів обробки інформації в завданні проектування. У такий спосіб здійснюється уточнення й структурування інформації з логічної точки зору. Істотним моментом у цьому поданні є те, що воно має відображати характеристики не однієї деталі, а цілого класу деталей на різних стадіях проектування, що фіксуються в технічній документації.

При формуванні інформаційної моделі передбачається використання безлічі *конструктивних елементів* для одержання деталей довільної форми, *геометричних елементів* (точок, контурів, поверхонь, елементарних і складних об'єктів), які забезпечують обробку геометричної інформації для всіх процесів автоматизованого проектування. У такий спосіб будується модель даних, що відображує логічну структуру даних.

На третьому етапі здійснюється процес відображення моделі даних у машинне подання — формування моделі доступу (або розміщення), що орієнтована на фізичне розміщення даних у комп'ютері в *моделі зберігання*.

На четвертому етапі визначається модель зберігання, що задає відображення даних, заданих у моделі доступу, на фізичну пам'ять і керування ними.

1.11.6. Методи створення моделей геометричних об'єктів і їхніх графічних зображень

Можна виділити два основних види ГО:

- *постійний* — з постійними розмірами й геометричною формою, наприклад ГЗ умовних графічних позначень деталей, стандартний виріб з постійними розмірами;

- *параметрично заданий* — зі змінними розмірами й геометричною формою, наприклад виріб, що залежить від типорозміру; типові й уніфіковані конструкції; конструктивні елементи типових деталей та ін.

Постійні ГО можуть бути сформовані з використанням графічного редактора, наприклад "Автокад", "Компас".

Методи опису параметрично заданих ГО — створення моделей виробів (далі методи створення моделей) —

характеризуються великими витратами на формування машинного подання. Щоб скоротити ці витрати, при описі деяких груп технічних об'єктів можна користуватися одним принципово різних методів: *варіантним* або таким, *що генерує*.

Варіантний метод заснований на тому, що для певного класу виробів є *модель-представник*, за допомогою якої можна одержати всі геометричні форми цього класу виробів. Представника класу виробів називають *типовою моделлю* (або *комплексною моделлю*), а отримані з неї форми – *варіантами* (виконаннями).

Виконання виробу визначається заданими параметрами, обнуління яких призводить до виключення складених елементів ГО. У найпростішому випадку змінюють тільки розміри, а конструкція окремих варіантів сімейства виробів залишається незмінною. Такий вид конструювання називають *принциповим* (тобто зі збереженням принципу конструкції).

При принциповому конструюванні дані технологічної документації не підготовляються щораз заново, а закріплені – за вже наявними принциповими кресленнями. Застосування такого методу припускає, що вже зроблено вибір геометрії для проєктованого виробу. Сфери застосування: проєктування окремих деталей (пружин), комплексних функціональних вузлів (підшипників), готових виробів (трансформаторів, інструменту). Витрати на опис типової моделі великі порівняно з витратами на одержання варіантів, тому багато систем використовують *принцип вкладеності моделей*: один раз описані типові моделі використовуються для опису інших типових моделей як макрокоманди.

Стосовно технології обробки в цьому випадку можна говорити про типовий технологічний процес. За необхідності відновлення комплексної інформації про типовий технологічний процес або креслення на групу виробів у систему вводяться нові варіанти сполучень різних вихідних параметрів.

На противагу варіантному методу при *методі, що генерує*, визначаються різні сполучення конструктивних (інакше – конструкційних) і технологічних елементів і вибирається найкраще рішення. Принцип роботи системи, що використовує метод, що генерує, заснований на поділі ГО на елементи й

створенні нових ГО з наявних елементів. Розрізняють такі групи елементів: *основні (функціональні), допоміжні (конструктивні геометричні й елементи форми) і технологічні.*

Раніше був наведений приклад (рис. 1.33) поділу деталі на елементи. За допомогою основних елементів створюється геометрична форма деталі (зовнішні й внутрішні поверхні), проточування (внутрішнє й зовнішні). Це дає насамперед загальний опис деталі. З використанням допоміжних елементів, які безпосередньо пов'язані з основними, здійснюється більш докладний опис деталі, що дозволяє повністю передати її геометричну форму. Технологічні елементи або характеристики належать і до основних, і до допоміжних елементів. Вони також впливають на проставляння розмірів.

САПР, що працюють за принципом, що генерує, мають високу гнучкість і придатні для вирішення різних завдань. Використання цього методу ефективно, бо досвід показує, що більшість конструкторських розробок, названих новими конструкціями, створюється шляхом раніше не використовуваних сполучень елементів, давно відомих як за принципом функціонування, так і за виконанням.

Засоби двовимірного креслення

Двовимірні моделі дозволяють формувати й змінювати креслення; тривимірні моделі (ПГМ) служать для подання виробу в трьох вимірах.

За допомогою 2D-пакетів створюється більшість конструкторських креслень виробів в ортогональних проекціях.

Відносними обмеженнями на 2D системи САПР є:

- системи 2D-моделювання розпізнають геометричні форми, визначені точками, кривими або прямими *тільки на площині.*
- не вміючи обробляти 3D-форми, 2D-інструменти не вміють автоматично генерувати додаткові види. Довільний вигляд компонента можна виконати лише як окрему форму, що розглядається системою поза зв'язком з іншими зображеннями видів.

Основне призначення САПР, що включають обробку 2D-інформації, - це виготовлення креслень за допомогою ЕОМ. Залежно від принципу обробки геометричних елементів

розрізняють варіантні системи й системи, що генерують. Сьогодні використовуються системи, побудовані на базі комбінації обох принципів.

Варіантний метод припускає, як необхідну умову, опис комплексної деталі. Для цього з групи геометрично схожих деталей складається штучна комплексна деталь, якій властиві геометричні ознаки деталей групи. У найпростішому випадку змінюються тільки розміри, а конструкція окремих варіантів деталей сімейства залишається незмінною. Такий вид проектування називається принциповим, тобто зберігається принцип конструкції. Використання цього методу припускає, що вже зроблено вибір геометрії для проєктованого виробу. Сферами використання є проектування окремих деталей (пружини, гайковий ключ), проектування комплексних функціональних вузлів, проектування готових виробів.

Далі визначається, на базі яких параметрів можна створити окремі елементи групи. Для цього виду проектування створюється ряд спеціальних (VABCOS) і неспеціальних (PROPEN1, COMDRAW, COMVAR) систем.

В основі методу генерування лежить використання певних геометричних елементів, введених у систему проектування, і таких, що піддаються переробці. Такими елементами можуть бути відрізки, кола, дуги, площини. Опис деталі виконується розкладанням реальних об'єктів на елементи, які можуть бути оброблені тією або іншою системою. Ці елементи за їхніми назвами викликаються з БД, позиціонуються й одержують розміри.

За допомогою основних елементів описується геометрична форма (загальний опис деталі). За допомогою допоміжних елементів, які пов'язані з основними елементами, здійснюється більш докладний опис деталі, що дозволяє повністю передати геометричну форму деталі.

Поряд з 2D САПР для виготовлення креслень були створені системи, елементарними об'єктами яких є символічні образи. Ці системи використовуються головним чином там, де потрібно представляти функціональні вузли в символічному виді (CADSYM — програмна система для створення схем у режимі графічного діалогу. Система дає користувачеві можливість

формувані будь-які символи, маніпулювати ними й зв'язувати їх за заданою логікою).

Серед систем 2D-моделювання можна виділити:

- Graphics CAD Professional 3.0 (можливе створення подоби рельєфності 2D-об'єктів);
- Microsoft Design (для архітекторів, художників, що ілюструють технічні документи).

3D-моделювання

3D-системи забезпечують таку дисципліну роботи з 3 координатами, при якій будь-яка зміна одного виду автоматично призводить до відповідних змін на всіх інших видах.

Послідовність побудов може бути такою: спочатку будується 3D-вид, а потім автоматично генеруються 2D-види. Деякі системи здатні перетворювати складальні креслення механізму ортогональної проекції в 3D-вид цього виробу в розібраному стані.

3D особливо успішно застосовується для створення складних креслень при проектуванні розміщення заводського встаткування, трубопроводів, різних будівельних споруджень.

Неоцінено 3D там, де потрібно забезпечити адекватні зазори між компонентами. Можливість генерувати траєкторії руху інструмента й імітацію функціонування роботів робить 3D-моделювання невід'ємною частиною інтеграції САПР/АСТПВ. У деяких системах 3D є засоби автоматичного аналізу фізичних характеристик, таких як вага, моменти інерції й засоби вирішення геометричних проблем складних сполучень і інтерпретації. Оскільки в 3D-системах існує автоматичний зв'язок між даними різних геометричних видів зображення, 3D-моделювання корисно в тих додатках, де потрібне багаторазове редагування 3D-образу на всіх етапах процесу проектування.

Методи 3D-моделювання поділяються на три категорії:

1. Каркасні (дротові).
2. Поверхневі (полігональні).
3. Твердотільні (суцільне, об'ємне моделювання).

Каркасні моделі

Задаються координатами вершин і з'єднуючих їхніх ребер. Ця модель проста, але за її допомогою можна зобразити в просторі тільки обмежений клас деталей, у яких апроксимуючі поверхні переважно є площинами. За допомогою дротових моделей не завжди можливо одержати правильні зображення, а також автоматично аналізувати процеси видалення невидимих ліній і одержання різних перетинів.

Каркасна модель повністю описується в термінах точок і ліній. Це моделювання найнижчого рівня. Має ряд серйозних обмежень, більшість із яких виникає через нестачу інформації про грані, укладені між лініями, і неможливість виділити внутрішню й зовнішню область зображення твердого об'ємного тіла. Однак каркасна модель вимагає менше пам'яті й цілком придатна для вирішення простих завдань.

Каркасне подання часто використовується не при моделюванні, а при відображенні моделей як один з методів візуалізації.

Воно широко використовуються для імітації траєкторії руху інструментів, що виконують нескладні операції обробки деталей по 2,5 або 3 осях.

"2,5 осі" — більше прості системи можуть моделювати форми тільки з постійним поперечним перерізом. Таку форму можна побудувати так: спочатку вводиться вид (X,Y), а потім будь-якій точці приписується третя координата, що характеризує глибину зображення. Такі форми належать до так званої "2,5 геометрії".

Обмеження каркасної моделі

Неоднозначність

Цей ефект може призвести до непередбачених результатів. Неможна відрізнити видимі грані від невидимих. Операцію з видалення невидимих ліній можна виконати тільки вручну з застосуванням команд редагування кожної окремої лінії, але результат цієї роботи рівносильний руйнуванню всієї створеної каркасної конструкції, тому що лінії невидимі в одному вигляді й видимі в іншому. Видалення ж будь-якої лінії на якому-небудь вигляді неминуче спричинить видалення її на всіх інших виглядах.

Неможливість розпізнавання криволінійних граней

Бічні поверхні циліндричної форми реально не мають ребер, хоча на зображенні є силуети деяких уявних ребер, які обмежують такі поверхні. Розташування цих уявних ребер у просторі змінюється залежно від напрямку вигляду, тому ці силуети не розпізнаються як елементи каркасної моделі й не відображуються на них.

Можна спробувати представити криволінійні грані поздовжніми "тіньовими лініями", розташованими через регулярні інтервали. Наявність несучих ліній може внести ще більше плутанини в креслення, що і так уже сповнене неоднозначностями.

Неможливість виявити взаємний вплив компонентів

Каркасна модель не несе інформації про поверхні, що обмежують форму, що спричиняє неможливість виявлення небажаних взаємодій між гранями об'єкта й істотно обмежує використання каркасної моделі при імітації траєкторії руху інструмента або імітації функціонування робота, тому що при такому моделюванні не може бути виявлено на стадії проектування багато колізій, що з'являються при механічному складанні.

Труднощі при обчисленні фізичних характеристик є наслідком нестачі даних про поверхні. Існує вірогідність того, що коректно побудована геометрична форма, а отже, і об'єм тіла, що відрізняється від базових стандартних компонентів, можуть бути визначені неточно. Таким чином, значення фізичних характеристик (наприклад, маса, площа поверхні, центр тяжіння або моменти інерції) будуть недостовірними.

Відсутність засобів виконання тонових зображень

Забезпечення плавних переходів різних кольорів і нанесення світлотіні (рендеринг) складають ту необхідну техніку, якою повинні володіти не лише кожен художник, але і пакет тривимірного моделювання. Основним принципом цієї техніки є те, що "затінюванню" піддаються грані, а не ребра. Таким чином, вона не може бути застосована до моделей, що не мають поверхонь.

Поверхневі моделі

Визначаються поверхнями (площинами, поверхнями обертання й ін.). За їх допомогою можна описати будь-яку поверхню технічного об'єкта. Це реалізується шляхом апроксимації поверхонь багатогранником. Чим більше кількість граней, тим менше відхилення від дійсної форми об'єкта. Якщо об'єкт представлений полігональною моделлю, то завжди можна визначити область між контурними елементами цього об'єкта. Над поверхневими моделями можна виконувати логічні операції.

При побудові поверхневої моделі передбачається, що технічні об'єкти обмежені поверхнями, які відокремлюють їх від навколишнього середовища. Така оболонка зображується графічними поверхнями. Поверхня технічного об'єкта знову стає обмеженою контурами, але ці контури вже є результатом 2-х дотичних або поверхонь, що перетинаються.

Точки об'єктів — вершини, можуть бути задані перетинами трьох поверхонь.

Поверхнєве моделювання має такі переваги перед каркасним:

- здатність розпізнавати й зображувати складних криволінійних граней;
- здатність розпізнавати грані для одержання тонових зображень;
- здатність розпізнавати особливі побудови на поверхні (отвори).

Типи поверхонь

Базові геометричні поверхні. Плоскі поверхні, які можна одержати, накресливши спочатку відрізок прямої, а потім ввівши команду, що розгортає в 3D-просторі образ цього відрізка на задану відстань (отримують площину або двогранник). Подібним чином розгортанням кіл або дуг можуть бути отримані циліндричні й канонічні поверхні, області поверхонь також можуть бути розгорнуті в 3D-об'єкт (область усередині граней залишається порожньою).

Поверхні обертання можуть бути отримані за командою, що створює поверхню обертання плоскої грані навколо певної осі (кругове розгортання).

Поверхня сполучення й перетинів. Плавне сполучення однієї поверхні з іншою (часто використовується).

Можливість побудови плавного сполучення двох поверхонь є найбільш потужним і часто використовуваним на практиці засобом поверхневого моделювання. Крім того може бути доступним засіб визначення перетину поверхні. Наприклад, можна побудувати плавне сполучення бічних поверхонь паралелепіпеда й циліндра. Проблема породження результуючої поверхні в цьому випадку зводиться до завдання побудови методом сплайн-інтерполяції особливих кривих у 3D-просторі, що виходять із квадрата й входять у криву, яка автоматично генерується на поверхні циліндра й по якій задані криві повинні перетинатися.

Аналітичні поверхні визначаються одним математичним рівнянням з невідомими X , Y , Z . Ці невідомі означають шукані координати поверхонь, тобто щоб зобразити будь-яку аналітичну поверхню, необхідно знати математичне рівняння, яким вона описується.

Скульптурні поверхні (СП) дуже складні. Це поверхні вільних форм або довільні поверхні. Методи ГМ скульптурної поверхні складної форми застосовують в областях, де проектується динамічні поверхні, тобто поверхні, до яких висуваються підвищені естетичні вимоги. Використовуються при проектуванні корпусів машин, літаків.

СП використовують в основному каркасно-кінематичний метод, заснований на переміщенні деяких утворюючих каркасів по напрямній або шляхом побудови сплайнів поздовжніх утворюючих кривих між 3D-точками. Каркас задається або безліччю точок, або ламаними через ці точки, координати яких обчислюються в прикладній програмі. При вирішенні завдань подання скульптурних поверхонь і гладких сплайнових кривих виникають завдання апроксимації, інтерполяції й згладжування вихідних даних. Завдання апроксимації, тобто наближеного подання, виникають при заміні кривої або поверхні, описуваних складними функціями, іншими об'єктами, описуваними більш простими рівняннями без втрати необхідної точності. Завдання інтерполяції, тобто наближеного відновлення, пов'язана з пошуками гладких кривих — сплайнів, або поверхонь, що

проходять через безліч заданих точок. Завдання згладжування виникають, коли необхідно, щоб шукана крива або поверхня описувалися функцією, що забезпечує, наприклад, необхідний ступінь диференціювання.

У системах автоматизації проектування найбільший інтерес представляють методи інтерполяції, що забезпечують необхідну точність задавання проєктованих поверхонь. Для інтерполяції кривих використовують різні методи, серед яких найбільшого поширення одержали методи інтерполяції локальними сплайнами непарних ступенів і кубічними сплайнами, за допомогою В-сплайнів, апроксимації кривих методом Безьє. Перераховані способи засновані на припущенні, що відомо набір функцій або точок, що описують вихідні дані про об'єкт проектування. Ці дані можуть бути сформованими евристично на основі досвіду проєктувальників, отриманими в результаті фізичних експериментів або обчисленими в результаті вирішення проміжних завдань.

Методи відображення скульптурних поверхонь значною мірою пов'язані з можливостями графічних пристроїв. Слід зазначити, що відображення самої поверхні не відіграє істотної ролі, тому що основне призначення цих методів — візуальна перевірка коректності, гладкості, естетичності отриманої поверхні. Моделі скульптурних поверхонь широко використовуються при проєктуванні й виробництві корпусів автомобілів, літаків, предметів домашнього побуту.

Складені поверхні. У розвинених системах поверхневого моделювання складену поверхню можна повністю визначити, покривши її сіткою чотирикутних осередків, тобто ділянками обмеженими поздовжніми й поперечними лініями на поверхні. Кожен осередок має геометричну форму топологічного прямокутника, що відрізняється від звичайного тим, що його сторони не обов'язково прямі й попарно перпендикулярні. Границі осередків являють собою безперервні криві, що забезпечує гладкість поверхні, натягнутої на сітку. Внутрішня область кожного осередку визначається методом інтерполяції. Зображення складеної поверхні, реалізоване зазначеним способом, може бути отримано на екрані дисплея або за допомогою побудови по точках сплайнових кривих, або шляхом створення багатогранного каркаса, на який система буде автоматично апроксимувати натяг гладкої криволінійної поверхні.

Твердотіле моделювання (ТМ)

Об'ємні (твердотілі) моделі — формуються з елементарних об'єктів (базисних тіл) з використанням логічних операцій об'єднання, віднімання, перетину (рис. 1.32). Об'ємні моделі представляють об'єкти з віднімання логічної зв'язаності інформації, зокрема завдяки введенню поняття про матеріал і його фізичні властивості (щільність, теплопровідність й ін.). По таких моделях можна побудувати не тільки графічні зображення (види, розрізи, перетини), необхідні для креслення виробу, але й розрахувати його масові й інерційні характеристики, такі як маса, об'єм, центр інерції, моменти інерції та ін.

ТМ — єдиний засіб, що забезпечує повний однозначний опис 3D геометричні форми.

Переваги ТМ моделей:

- повне визначення об'ємної форми з можливістю розмежовувати внутрішню й зовнішню області об'єкта, що необхідно для виявлення небажаного взаємовпливу компонентів;
- забезпечення автоматичного видалення прихованих ліній;
- автоматична побудова 3D-розрізів компонентів, що особливо важливо при аналізі складних складальних виробів;
- застосування методів аналізу з автоматичним одержанням зображення точних вагових характеристик методом скінчених елементів;
- одержання тонових ефектів, маніпуляції з джерелами світла.

Методи твердотілого моделювання, які звичайно використовуються в прикладних системах, поділяються на 2 класи:

1. Метод конструктивного подання (C-REP).
2. Метод граничного подання (B-REP).

Вони близькі, але відрізняються способами зберігання даних у пам'яті машини.

C-REP. Цей метод передбачає побудову твердотілих моделей з базових складових елементів, названих твердотілими примітивами і обумовлених формою, розмірами, точкою прив'язки й орієнтацією. Типові приклади: паралелепіпеди, сфери.

Булеві операції є існуючим інструментарієм для побудови моделі C-REP при визначенні відношень між сусідніми примітивами. Булеві операції базуються на поняттях алгебраїчної теорії множин і мають звичайний сенс, коли застосовуються до твердотілих об'єктів. Найчастіше використовуються такі операції: перетин, об'єднання й віднімання.

Модель конструктивної геометрії являє собою бінарний деревоподібний граф $G=(V,U)$, де V — безліч вершин — базові елементи форми — примітиви, з яких конструюється об'єкт, а U — безліч ребер, які позначають теоретико-множинні операції, виконувані над відповідними базовими елементами форми. Кожний примітив моделі заданий безліччю атрибутів $A=\langle x, y, z, a_x, a_y, a_z, S_x, S_y, \dots, S_n \rangle$, де x, y, z — координати точки прив'язки локальної системи координат примітива до системи координат синтезованого об'єкта, a_x, a_y, a_z — кути повороту примітива навколо відповідних осей координат, S_x, S_y, \dots, S_n — метричні параметри об'єкта.

B-REP (метод граничного подання). Опис тіла за допомогою подання границь або точного аналітичного задавання граней, що обмежують тіло. Цей метод дозволяє створювати точно, а не наближене подання геометричного твердого тіла. B-REP вимагає, щоб користувач задав контури або границі об'єкта, а також ескізи різних видів об'єкта, указавши лінії зв'язку між ними, щоб можна було встановити взаємооднозначну відповідність.

Кожний із двох названих методів має свої переваги і недоліки порівняно з іншими. Системи в C-REP поданні мають значні процедурні переваги при початковому формуванні моделей, оскільки побудувати точну об'ємну модель із об'ємних примітивів правильної форми за допомогою булевих операцій порівняно нескладно. Цей метод забезпечує також більш компактний опис моделі в БД. У той же час системи з B-REP поданням мають свої переваги. Одна з них стає очевидною, коли зустрічаються незвичайні форми, які не перекриваються наявним набором примітивів методу C-REP. Прикладом ситуації такого роду може служити форма фюзеляжу й крил літака. Друга відмінність полягає в такому: у C-REP методі модель зберігається у вигляді комбінації даних і логічних процедур. При цьому

потрібно менше пам'яті, але більшим виявляється обсяг обчислень при відтворенні моделі та її зображенні.

Система з B-REP поданням зберігає точний опис границь моделі. Тут і більше пам'яті, але не потрібно майже ніяких обчислень для створення зображення.

Відносною перевагою систем з B-REP є порівняльна простота перетворення граничного подання у відповідну каркасну модель і назад. Причина такої простоти полягає в тому, що опис границь подібний опису каркасної моделі, а це полегшує перетворення моделі з однієї форми в інші, що робить системи в B-REP поданні сумісними з уже наявними системами.

Прикладами пакетів 3D-моделювання є Power Shape, Solid Edge.

З урахуванням відносного характеру переваг і недоліків C-REP і B-REP були розроблені гібридні системи, які поєднують у собі обидва методи (CADD5, UnitGraph/Solid Modeling, Euclid, CATIA). Ці системи дозволяють поєднати каркасну, поверхневу й тверdotілу геометрію й використовувати комбінації жорстко розмірного моделювання, тобто використовувати гібридне моделювання.

Краще було б шукати стратегію моделювання для всіх продуктів, але:

- часто доводиться використовувати раніше напрацьовані дані або дані, введені з інших систем, а вони можуть мати різне походження;
- у якісь моменти ефективніше працювати з дротовими моделями або 3D-геометрією, описаною поверхнею;
- часто простіше мати різні подання для різних компонентів.

1.12. Системи автоматизованого аналізу. Метод скінчених елементів

Головна сфера використання методу скінчених елементів (МСЕ) — аналіз на міцність і розрахунок деформації. Однак цей метод швидко завоював популярність і для вирішення інженерних завдань, пов'язаних з гідро-, аеродинамікою, електронікою, радіоаналізом. За його допомогою можна вирішити завдання: механіки рідини, суцільних середовищ, статички, динаміки,

наприклад розрахунок реакції ракети на імпульс ваги, аналіз навігаційної системи в умовах вібрації.

Зараз МСЕ є одним з найбільш популярних інструментів дослідження характеристик інженерних конструкцій, що піддаються різним навантаженням. Традиційні методи, що припускають строге теоретичне обґрунтування, можуть використовуватися тільки для обмеженого класу задач і особливих умов навантаження. Вони часто мають потребу в модифікації, причому доводиться контролювати їхню застосовність до вирішення поставленого завдання. Непевність конструкторів у вірогідності отриманих результатів змушує їх підвищувати граничні навантаження, що призводить до включення в конструкцію додаткових кріпильних секцій, перевитрати матеріалів і підвищення загальної вартості виробу.

МСЕ дозволяє конструкторові вирішувати завдання розрахунку складних деталей шляхом розбиття їх на більш дрібні частини — кінцеві елементи. Ці елементи іноді називають дискретними, процес їхнього виділення - дискретизацією форми деталі.

Після розбиття подальші розрахунки проводяться для окремих скінчених елементів, кожний з них робить свій внесок у характеристику міцності деталі. Точки, що обмежують елемент, називаються вузлами, і разом з лініями, що проходять через них, утворюють кінцеву елементну сітку.

Для 2D-областей найчастіше використовуються елементи у формі трикутника й чотирикутника. При цьому елементи можуть мати як прямо-, так і криволінійні границі, що дозволяє з достатнім ступенем точності апроксимувати границю будь-якої форми. Для 3D-областей найбільш використовувани елементи у формі тетраедра й паралелепіпеда, які також можуть мати прямо- і криволінійні границі.

У загальному випадку МСЕ складається з 5 етапів:

1. Виділення скінчених елементів.

Це один з найважливіших етапів МСЕ, оскільки від якості розбиття залежить точність отриманих результатів.

Наприклад, розбиття на двовимірні елементи, близькі за формою до рівносторонніх трикутників, забезпечує кращі результати порівняно з розбиттям на витягнуті трикутники.

Можливість легко змінювати розміри елементів дозволяє враховувати концентрацію напруги, температурні градієнти, властивості матеріалів і т. д. Розбиття області на елементи звичайно починають від її границі з метою найбільш точної апроксимації форми границі, потім виконують розбиття внутрішніх областей. Часто розбиття області на елементи виконують у кілька етапів. Спочатку область ділиться на досить великі підобласті, границі між якими проходять там, де змінюються властивості матеріалів, геометрія, прикладене навантаження й ін.

Потім кожна підобласть ділиться на елементи, причому різкої зміни розмірів скінчених елементів на границях підобластей намагаються уникати.

2. Нумерація вузлів елементів.

Порядок нумерації має в цьому випадку істотне значення, оскільки впливає на ефективність послідовних обчислень. Справа в тому, що матриця коефіцієнтів системи безлічі алгебраїчних рівнянь, до яких призводить МСЕ, – сильно вироджена матриця стрічкової структури. Ненульові елементи матриці розташовуються паралельно головній діагоналі. Ціле число, що є максимальною різницею між номерами ненульових елементів у рядку, називається шириною смуги.

Чим менше ширина смуги, тим менший об'єм пам'яті потрібний для зберігання матриці при реалізації МСЕ й тим менше витрати машинного часу на розв'язання результуючої системи рівнянь. Ширина смуги залежить від кількості ступенів свободи вузлів і способу нумерації останніх. При нумерації вузлів кращим є спосіб, що забезпечує максимальну різницю між номерами вузлів у кожному окремому елементі.

Якщо максимальну різницю між номерами вузлів для окремого елемента позначити через N , а кількість ступенів свободи через M , то $L=(N+1)*M$. У деяких випадках зменшення числа N може бути досягнуто послідовною нумерацією вузлів при русі в напрямку мінімального розміру розглянутої області.

Раціональна нумерація зменшує необхідний об'єм пам'яті майже в 3 рази.

Інформація про спосіб розбиття області на кінцеві елементи й нумерація вузлів є вихідною для всіх наступних етапів

алгоритмів МСЕ при реалізації методів САПР. При цьому потрібно вказувати не тільки номер, але й координати кожного вузла й приналежність його до певних скінчених елементів. Такого роду інформація називається топологічною й містить приблизно в 6 разів більше цифр, ніж кількість вузлів системи. При описі області, розбитої на кінцеві елементи, необхідно задавати тип кінцевого елемента, його порядковий номер, номери вузлів елемента, координати вузлів, інформацію про з'єднання елементів, значення фізичних параметрів об'єкта в межах кінцевого елемента.

3. Визначення апроксимуючої функції для кожного елемента (визначення функції елемента).

На цьому етапі шукана безперервна функція апроксимується кусково-безперервною, визначеною на безлічі скінчених елементів. Цю процедуру потрібно виконати один раз для типового елемента області безвідносно до його топологічного положення в ній. Отримана функція використовується для всіх інших елементів області того самого виду. Ця особливість є важливим аспектом МСЕ. Завдяки їй елементи з один раз визначеними функціями легко включаються в бібліотеку елементів відповідного програмного комплексу й далі використовуються для розв'язання різноманітних граничних задач. Як апроксимуюча функція елементів найчастіше використовуються поліноми, які обираються так, щоб забезпечити безперервність шуканої функції у вузлах і на границях елементів.

4. Об'єднання скінчених елементів в ансамбль.

На цьому етапі рівняння, що стосуються окремих елементів, поєднуються в ансамбль, тобто в систему алгебраїчних рівнянь. При цьому виконується перенумерація вузлів.

5. Розв'язання отриманої системи алгебраїчних рівнянь.

Реальна конструкція апроксимується сотнями скінчених елементів, і отже з'являються системи рівнянь із сотнями й тисячами невідомих, які потрібно розв'язати. Розв'язання таких систем — головна проблема реалізації МСЕ. Методи розв'язання залежать від розміру системи рівнянь, що розв'язується. У зв'язку з великою розмірністю й сильною розряженістю матриці коефіцієнтів для реалізації МСЕ САПР розроблено спеціальні способи зберігання матриці твердості, що дозволяє зменшити

необхідний для цього об'єм пам'яті. Матриці твердості використовуються в кожному методі міцнісного розрахунку, використовуючи кінцеву елементну сітку. Назва матриці твердості прийшла з будівельної механіки, де МСЕ почав використовуватися раніше, ніж в інших галузях техніки.

До числа фірм, що пропонують на ринку комплексні ПП інженерного дослідження, належать: CAE/MSC — MacNeal-Shcwonder Corporation, MDI — Mechanical Dynamic Inc.

Головний ПП — MSC — MSE/Nastran. Ця система забезпечує повний набір розрахунків включаючи розрахунок напружено-деформованого стану, власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, вирішення завдань теплопередачі, спектральний аналіз. Тісний зв'язок цього ПП із MSC/AKIES і MSE/PATRAN дозволяє формувати повністю інтегроване середовище для моделювання й аналізу результатів. Всі провідні САПР передбачають прямі інтерфейси з цим середовищем.

Компанія MDI відома як розробник програмного комплексу імітаційного моделювання механічних систем ADAMS. Сьогодні продукція ADAMS становить близько 65 % світового ринку програмних засобів кінематичного й динамічного аналізу механічних систем.

Система ADAMS знайшла широке застосування в таких додатках, як дослідження динаміки польоту літальних апаратів, аналіз функціонування стрічкопротягувального механізму відеомагнітофона, оптимізація техніки наведення понтонних мостів, функціонування роботів і маніпуляторів, розслідування ДТП.

Ще один інтегрований комплекс - I_DFACMASTER Series (SDRC - Structural Dynamics Research Corporation). Він дозволяє створювати кінцево-елементні моделі як окремих деталей, так і складань. Навантаження й граничні умови зв'язуються з геометричною моделлю й сіткою, що дозволяє обновляти їх автоматично зі зміною моделі або сітки.

1.13. Види конструкторських документів

Креслення деталі — зображення деталі і дані, необхідні для її виготовлення і контролю.

Складальне креслення (СК) — зображення виробу з даними, необхідними для його складання і контролю.

Креслення загального вигляду (ВЗ) — зображення конструкції виробу, що дає уявлення про взаємодію його складових частин і принципи роботи.

Габаритне креслення (ГК) — контурне (спрощене) зображення виробу з габаритними, установними і приєднувальними розмірами.

Монтажне креслення (МК) — контурне зображення виробу, що містить дані, необхідні для його встановлення (монтажу) на місці застосування.

Схема — умовне зображення або позначення складових частин виробу і зв'язку між ними.

Специфікація — склад складальної одиниці, комплексу або комплекту.

До текстових конструкторських документів належать:

Пояснювальна записка (ПЗ) — обґрунтування побудови і принципу дії розроблюваного виробу, а також обґрунтування прийнятих при його розробленні техніко-економічних рішень.

Технічні умови (ТУ) — експлуатаційні показники виробу і методи контролю його якості.

Програма і методика випробувань (ПМ) — технічні дані, які підлягають перевірці при випробуванні виробу, а також порядок і методи контролю його якості.

Розрахунки (РР) — розрахунки величин і параметрів.

Відомості: специфікацій (ВС), покупних виробів (ВП), документів, на які посилаються, (ВД) і т. п.

Види схем позначаються такими буквами: Е — електрична, Г — гідравлічна, П — пневматична, К — кінематична, С — комбінована, Л — оптична, В — вакуумна, Х — газова, А — автоматизації.

Типи схем позначаються такими цифрами: 1 — структурна, 2 — функціональна, 3 — принципова, 4 — з'єднань, 5 — підключень, 6 — загальна, 7 — розташування, 8 — інші схеми (наприклад, схема електрична функціональна позначається Е2).

1.14. САПР вагона

Метою САПР вагона є автоматизоване одержання в найкоротший термін проектної документації, необхідної для виробництва конкурентоспроможної конструкції вагона.

За задачами і функціональними можливостями можна розділити на такі групи:

- системи автоматизованого проектування ходових частин вагонів;
- системи автоматизованого проектування конструкцій кузовів вагонів;
- розрахунково-оптимізаційні системи;
- графічні системи;
- системи підготовки технічної документації;
- системи автоматизованого проектування технологічних процесів виробництва елементів вагонів.

Системи автоматизованого проектування ходових частин вагонів передбачають визначення оптимальних параметрів підвішування включаючи параметри гасників коливань, а також розмірів несучих елементів візків.

Системи автоматизованого проектування конструкцій кузовів вагонів призначені для автоматизованого визначення габаритних розмірів вагона й оптимізації параметрів несучих елементів кузова вагона.

Розрахунково-оптимізаційні САПР включають комплекс пакетів прикладних і керуючих програм, призначених для виконання нормативних розрахунків вагонів і визначення оптимальних параметрів елементів конструкції.

Графіка в таких системах використовується для перевірки правильності формування розрахункових моделей і наочного відображення результатів розрахунку й оптимізації. Графічні системи призначені для автоматизованого креслення складальних одиниць і деталей вагона. У них передбачається графічна база даних і система керування базою даних.

Технічне забезпечення САПР, крім ЕОМ, включає графопобудовники різних типів, які виконують креслення.

Системи підготовки технічної документації дозволяють одержувати текстові конструкторські документи в автоматизованому режимі.

Стосовно об'єктів рухомого складу *конструкція* – взаємне розташування частин і елементів виробу, що визначається його призначенням. Конструкція передбачає спосіб з'єднання, взаємодію частин, а також матеріал, з якого повинні бути виготовлені окремі елементи.

Найважливішою особливістю вагонного парку є його масовість, що вимагає проектування вагонів, що мають раціональну конструктивно-технологічну схему й компоновання з використанням стандартних, типових і уніфікованих складальних одиниць, агрегатів і деталей для швидкої їхньої взаємозамінності при ремонті.

При створенні конструкції вагонів ураховують екстремальні умови їхньої експлуатації, технологічність і зручність у ремонті й технічному обслуговуванні, вимоги екології, наявність пристроїв і умов для забезпечення правил техніки безпеки, протипожежних вимог, санітарно-гігієнічних норм для пасажирів і обслуговуючого персоналу.

Створення нових типів і моделей вагонів передбачає (рис. 1.34) етапи проектування, виготовлення й експериментальних досліджень дослідних зразків або дослідних партій, освоєння серійного виробництва з урахуванням коригування робочої документації за результатами випробувань і дослідної експлуатації. На всіх етапах проектування враховують вимоги, пропоновані до рухомого складу стандартами й іншою законодавчою й нормативною документацією.

Стосовно сфери автоматизації проектування й ремонту вагонів можна виділити такі основні джерела економічної ефективності САПР: зростання продуктивності праці проектувальників, конструкторів і технологів; підвищення якості проектування технології виробництва й ремонту вагонів; вплив соціально-психологічних факторів автоматизації на привабливість праці конструкторів і технологів; економію виробничих ресурсів - жива праця, сировина, матеріали, паливо, електроенергія, капітальні вкладення у виробництво й ремонт вагонів.

Етапи розроблення вагонів		
Проектування	Попередні дослідження	Робочі креслення
	Оптимізація параметрів	
	Технічне завдання	
	Технічні вимоги	
	Технічний проект	
Дослідні зразки	Ходові частини	Зборка вагонів
	Кузов	
	Автосцепний пристрій	
	Автогальма	
	Контроль по вузлах	
Випробування	Заводський	Серійне виробництво
	Статичний	
	Динамічний	
	Гальмовий	
	Експлуатаційний	

Рис. 1.34. Етапи розроблення нових конструкцій вагонів

Зростання продуктивності праці забезпечується за рахунок уніфікації й стандартизації методів проектування, оптимізації проектних і технологічних рішень, автоматизації виконання креслярсько-графічних робіт і формування текстової документації, скорочення обсягу технологічних робіт і зниження трудомісткості технологічних операцій у сфері виготовлення й ремонту вагонів та ін.

Підвищення якості технологічної підготовки виробництва й ремонту вагонів у результаті використання САПР досягається використанням математичних методів різноманітного оптимізаційного розрахунку; забезпеченням технологічності, високих експлуатаційних якостей і надійності проєктованих і ремонтваних вагонів; підвищенням якості оформлення проєктної, конструкторської й технологічної документації, точності розрахунків за рахунок використання засобів обчислювальної техніки; автоматизованою підготовкою й контролем керуючих програм для встаткування з числовим програмним керуванням; зниженням впливу суб'єктивних факторів у процесі розрахунків та ін.

Застосування ЕОМ і графічних програм у процесі технологічної підготовки виробництва й ремонту вагонів істотно полегшує працю, але висуває підвищені вимоги до кваліфікації проектувальників, конструкторів і технологів. Якість виконуваних робіт залежить також від характеристик технічних засобів і програмного забезпечення САПР, від конструктивної особливості вагона й прийнятої технології його виготовлення й ремонту, організації робіт на вагонобудівному й вагоноремонтному підприємстві, а також від уміння фахівців працювати з засобами автоматизованого проектування.

РОЗДІЛ 2

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ КОМПАС-3D

2.1. Принципи введення й редагування об'єктів

Основне завдання, вирішуване за допомогою будь-якої САПР, - створення й випуск різної графічної документації. Швидкість вирішення цього завдання, а отже, і ефективність роботи з системою в основному визначається тим, наскільки зручні засоби введення й редагування об'єктів вона надає користувачеві.

Будемо використовувати таку послідовність випуску конструкторської документації:

1. Побудова тривимірних моделей деталей.
2. Побудова тривимірного складання.
3. Створення креслень деталей, складального креслення й специфікації шляхом проектування моделей на різні площини.

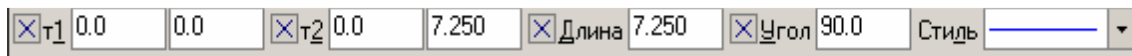
При розробленні моделей виробів за допомогою Компас-3D доступні різноманітні прийоми створення й зміни об'єктів.

Оскільки будь-яка операція моделювання починається з побудови ескізу (двовимірне зображення якогось контуру, докладніше дивитися нижче), розглянемо коротко можливості точних побудов, надаваних користувачеві системою Компас-3D. Найбільш простим і зрозумілим способом побудови є пряме указання курсором точок на місце введення. Наприклад, при створенні відрізка виконується послідовна фіксація його початкової точки, а потім кінцевої точки. Для позиціонування в потрібну точку можна використовувати всі надавані в Компас-3D функції прив'язок.

Іншим способом є указання точних значень координат для переміщення в потрібну точку і її наступну фіксацію. Для відображення й введення координат призначено спеціальні поля координат курсора, відображувані на панелі **Текущее состояние**.



Найбільш широкі можливості керування креслярськими об'єктами надає **Панель свойств** (наприклад, властивості відрізка).



Тут t_1 – координати початкової точки; t_2 – координати кінцевої точки; Длина – довжина відрізка; Угол – кут нахилу відрізка; Стиль – відображення відрізка певним стилем лінії.

Для задавання відповідного параметра можна натиснути комбінацію клавіш <Alt>+гаряча клавіша (назви параметра — підкреслений символ), після введення значення необхідно натиснути клавішу <Enter>.

2.2. Об'єктні прив'язки

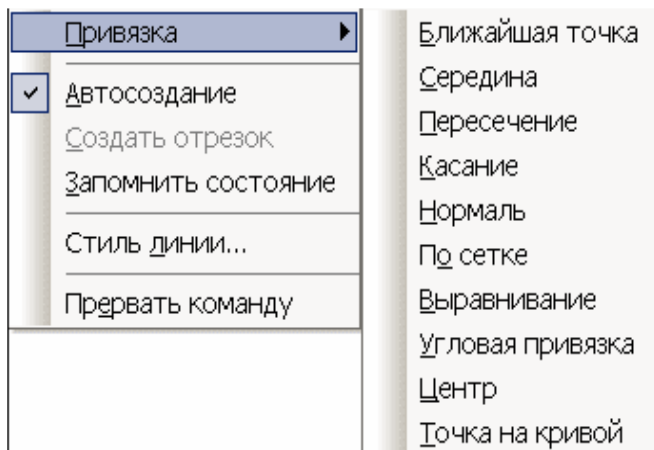
У процесі роботи над документами (звичайно графічними) часто виникає необхідність точно встановити курсор у різні характерні точки елементів, іншими словами, виконати прив'язку до точок або об'єктів.

Компас-3D надає різноманітні можливості прив'язок до характерних точок (перетин, граничні точки, центр і т. д.) і об'єктів (по нормалі, по напрямках осей координат).

Об'єктні прив'язки поділяються на локальні (діють разово під час виконання певної операції) і глобальні, дія яких постійна.

2.2.1. Локальна прив'язка

Всі варіанти локальних прив'язок об'єднані в меню, яке можна викликати при створенні, редагуванні або виділенні графічних об'єктів по натисканням правої кнопки миші.



Для виклику потрібного способу прив'язки слід вибрати його назву з меню. Залежно від обраного варіанта прив'язки змінюється зовнішній вигляд курсора. Форма й розмір курсора можуть бути настроєні користувачем у відповідному діалозі.

Коли в процесі створення або редагування об'єктів використовується меню прив'язок або клавіатурні комбінації, щоб точно встановити курсор у потрібну точку, застосовується так звана локальна прив'язка. Однак після того як був обраний варіант локальної прив'язки з меню, система не запам'ятовує, який саме це був варіант. Коли буде потрібно зробити таку саму прив'язку до іншої точки, доведеться знову викликати меню й вибрати потрібну команду. Це незручно в тому випадку, якщо потрібно виконати кілька однотипних прив'язок підряд.

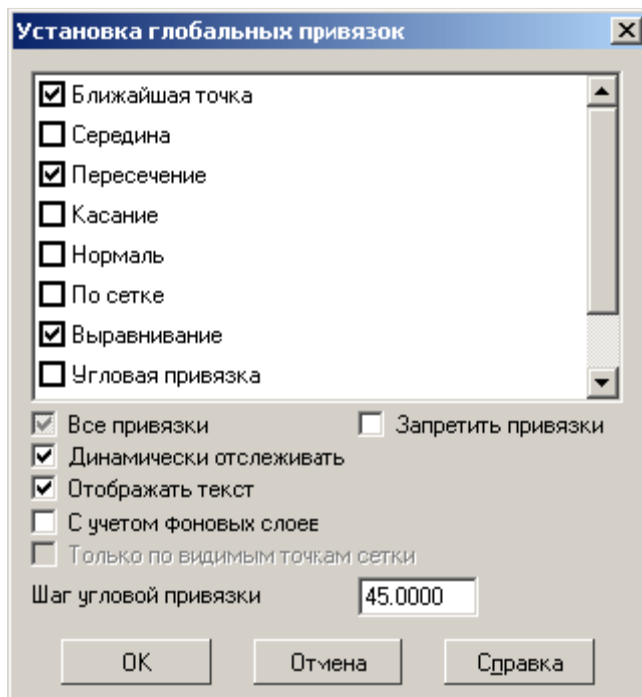
2.2.2. Глобальна прив'язка

На відміну від локальної, глобальна прив'язка (якщо вона встановлена) завжди діє за замовчуванням при виконанні операцій введення й редагування.

Наприклад, якщо обрано варіант глобальної прив'язки до перетинів, то при введенні точки система автоматично буде виконувати пошук найближчого перетину в межах «пастки» курсора. У тому випадку, якщо перетин буде знайдено, точка буде зафіксована саме в цьому місці.

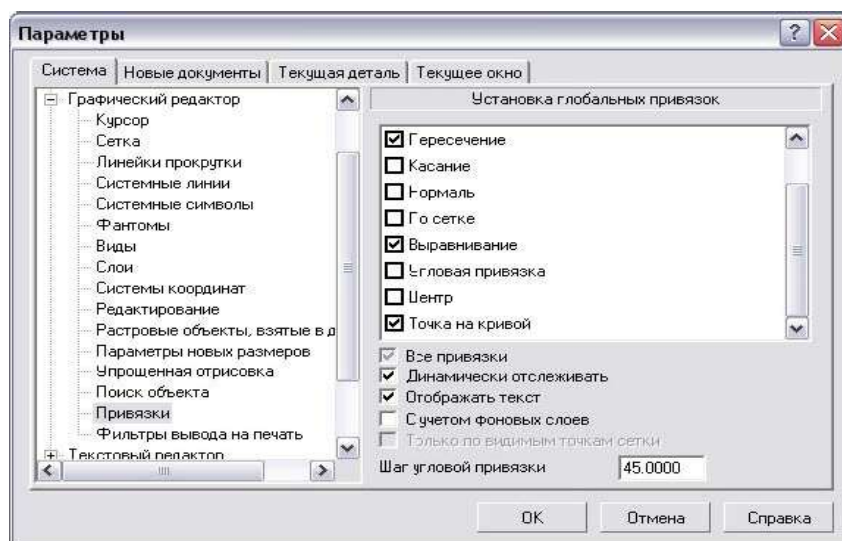
Можна включати кілька різних глобальних прив'язок до об'єктів, і всі вони будуть працювати одночасно. При цьому розрахунок точки на екрані відображається фантомом, що відповідає цій точці, і текст на ім'я діючої в цей момент прив'язки. Колір відображення фантома й тексту відповідає кольору, встановленому для збільшеного курсора.

Для виклику цього діалогу служить кнопка **Установка глобальных привязок**  на **Панели текущего состояния**.



Зроблене настроювання буде дійсним тільки для поточного вікна до кінця сеансу роботи.

Для встановлення дії глобальної об'єктної прив'язки на наступні документи слід вибрати команду меню **Сервис – Параметры** на вкладці **Система – Графический редактор – Привязки**.



2.3. Моделювання тіла обертання на прикладі вала

Будь-який процес моделювання в програмі «Компас» починається з побудови ескізу.

Ескіз являє собою перетин об'ємного елемента. Рідше ескіз є траєкторією переміщення іншого ескізу — перетину. Основні вимоги, пропоновані до ескізу:

- контури в ескізі не перетинаються й не мають загальних точок;
- контур в ескізі зображується стилем лінії **Основная**.

Під контуром розуміється будь-який лінійний графічний об'єкт або сукупність послідовно з'єднаних лінійних графічних об'єктів (відрізків, дуг, сплайнів, ламаних і т. д.).

Зауваження. Іноді для побудови контуру в ескізі (особливо параметричному) потрібні допоміжні об'єкти, що не входять у контур. Їх можна зображувати іншими стилями ліній; такі об'єкти не будуть враховуватися при виконанні операцій тривимірного моделювання.

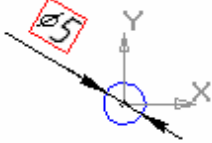

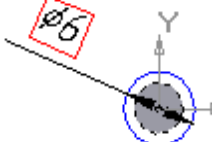

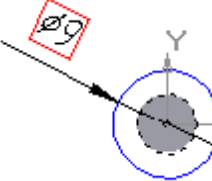

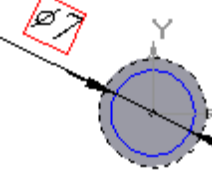

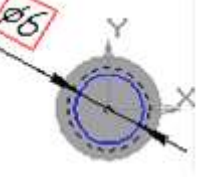
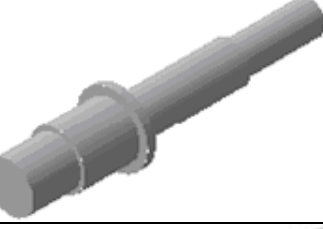
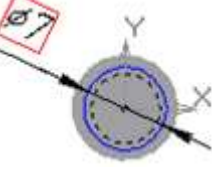

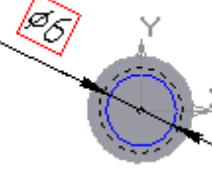

Вимоги до ескізу елемента обертання:

- вісь обертання повинна бути зображена в ескізі відрізком зі стилем лінії **Осевая**;
- вісь обертання повинна бути одна;
- в ескізі основи деталі може бути один або кілька контурів;
- якщо контур один, то він може бути розімкнутим або замкнутим;
- якщо контурів декілька, всі вони повинні бути замкнутими;
- якщо контурів декілька, один з них повинен бути зовнішнім, а інші — вкладеними в нього;
- допускається один рівень вкладеності контурів;
- жоден з контурів не повинен перетинати вісь обертання (відрізок зі стилем лінії **Осевая** або його продовження).

Існує два підходи до моделювання тіла обертання.

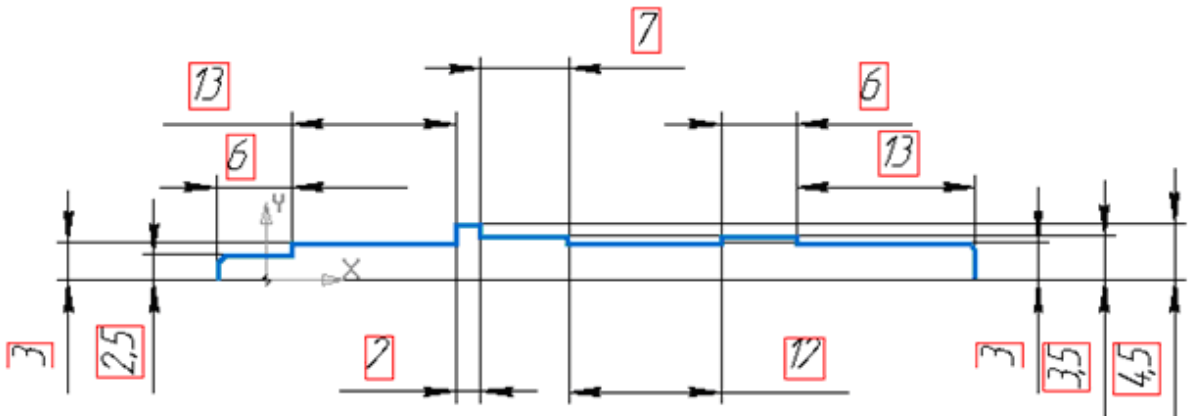
Перший – видавлювання ескізу у вигляді кіл на певну величину. Далі приклеювання видавлюванням наступного ескізу, побудованого на одній з торцевих поверхонь циліндра (конуса), і т. д. (табл. 2.1)

Таблиця 2.1

Ескіз 1	Метод 2	Модель 3
	Операція видавлювання на 6 мм	
	Приклеєно видавлюванням на 13 мм	
	Приклеєно видавлюванням на 2 мм	
	Приклеєно видавлюванням на 7 мм	
	Приклеєно видавлюванням на 12 мм	
	Приклеєно видавлюванням на 6 мм	
	Приклеєно видавлюванням на 13 мм	

Другий – більше раціональний, обертання потрібного профілю майбутнього тіла обертання навколо певної осі.

Ескіз



Модель




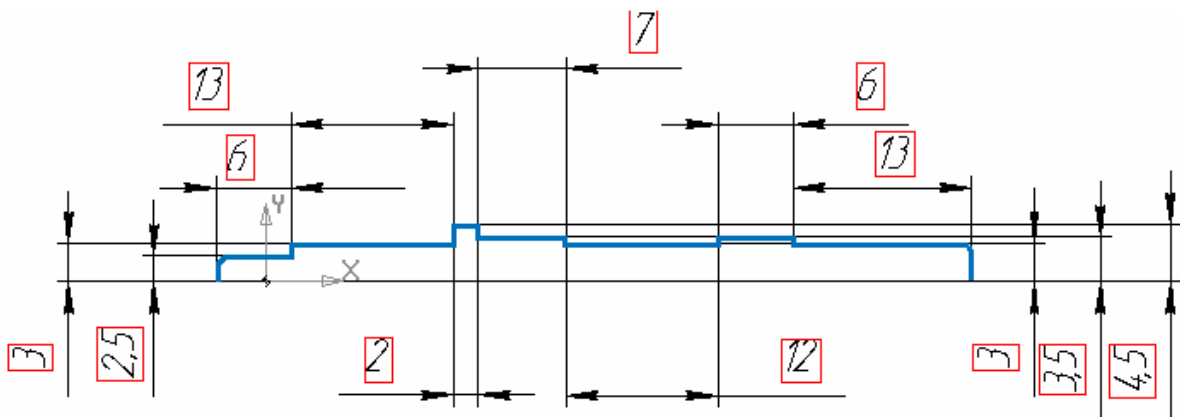
Для нашого прикладу вибираємо другий спосіб як раціональніший.

2.3.1. Моделювання вала

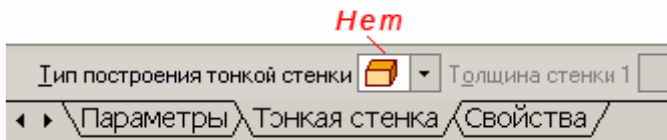
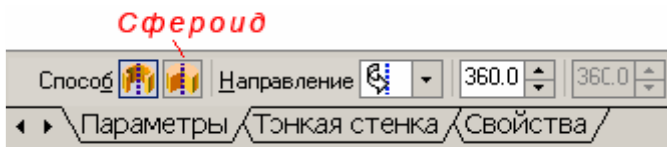
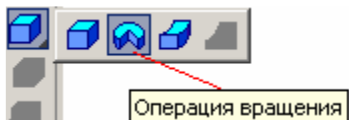
1. Створіть ескіз на площині **XУ**, для чого укажіть натисканням миші в дереві побудови площину **XУ**, виберіть команду **Ескиз**. Використовуючи команди **Геометрия** (зручніше за все для даного прикладу скористатися командою **Непрерывный ввод объектов**), нарисуйте профіль контуру (тип лінії – **Основная**, на рисунку буде відображений синьою лінією). Профіль повинен тільки повторювати контур потрібного тіла обертання. Один з кутів, що примикають до осьової лінії (осі обертання), повинен бути прив'язаний до початку координат для наступної зручності роботи. Виберіть команду **Отрезок** і нарисуйте вісь обертання, попередньо змінивши стиль лінії на **Осевая** на панелі властивостей.



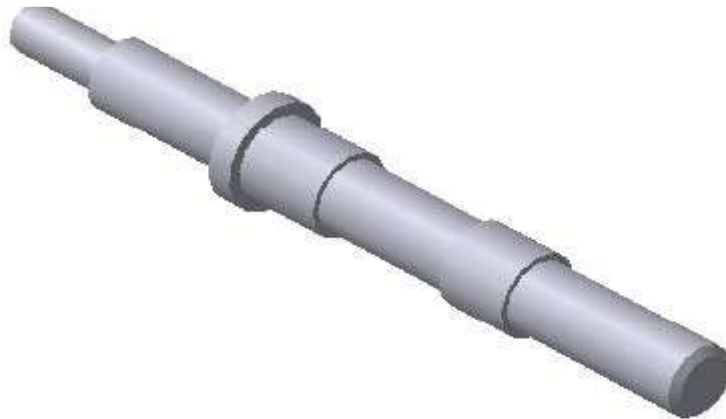
2. Після цього нанесіть розміри, що визначають ескіз, вибравши команду **Инструментальной панели Размеры – Лнейный размер**. Вийдіть із режиму побудови ескізу, відтиснувши кнопку .



3. Використовуючи команду **Операция вращения**, поверніть ескіз навколо осі. Тонку стінку не створюйте. Для цього виберіть на панелі властивостей: на вкладці **Параметры** спосіб створення – **Сфероид** і на вкладці **Тонкая стенка** виберіть **Нет**.




4. У результаті одержимо модель вала.

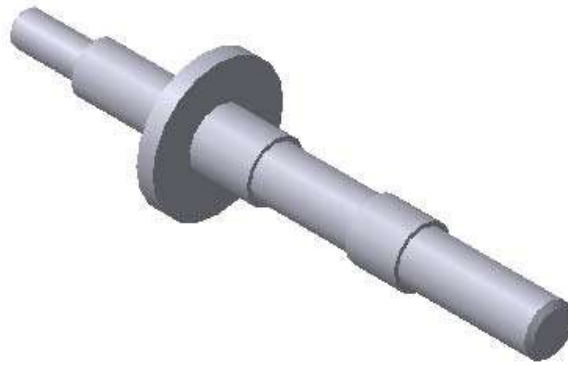


Проставлені розміри, обведені на ескізі в прямокутники, створюють параметричні зв'язки між примітивами. Змінюючи значення якого-небудь розміру, змінюється ескіз, дані зміни позначаються й на моделі.

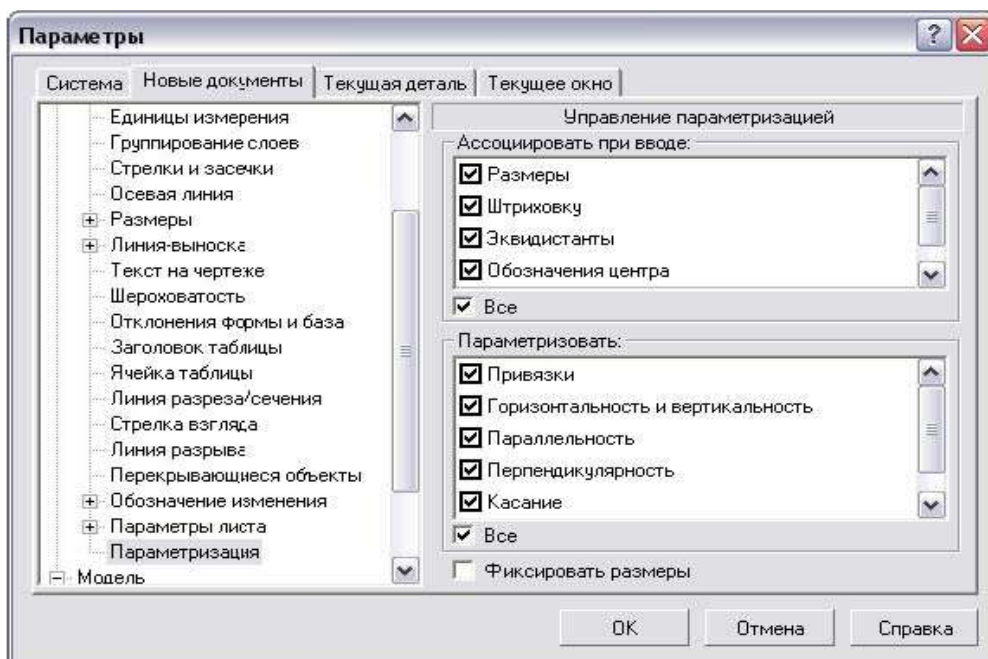
5. Увійдіть у режим редагування ескізу. Для цього наведіть курсор на операцію обертання в дереві побудови й натисніть праву кнопку миші. Виберіть із контекстного меню команду **Редактировать эскиз**.

6. Як експеримент. Двічі натисніть ліву кнопку миші на розмірі 4,5 і змініть це значення на 8. У результаті цих дій ескіз повинен змінитися відповідно до нових розмірів. Вийдіть із режиму редагування ескізу, відтиснувши кнопку .

7. У результаті модель перебудується залежно від нових параметрів.



Зауваження. Іноді горизонтальні лінії після зміни розмірів можуть перетворитися в похилі, тим самим зміниться потрібний нам профіль. Це можливо через те, що ескіз будували без прив'язок, тобто на примітив не накладено обмеження по положенню (у випадку прив'язок ці обмеження накладаються автоматично, якщо параметризація ввімкнена (Сервіс-Параметри)).



У цьому випадку необхідно накласти обмеження вручну, примусово. Для цього ввійдіть у режим редагування ескізу, активізуйте **Инструментальную панель Параметризация**, виберіть потрібну команду установлення обмеження й послідовно вкажіть об'єкти, на які потрібно накласти обмеження. (Для нашого прикладу виберіть за необхідності команду **Горизонталь** або **Вертикаль** і вкажіть примітив, натиснувши на нього.)

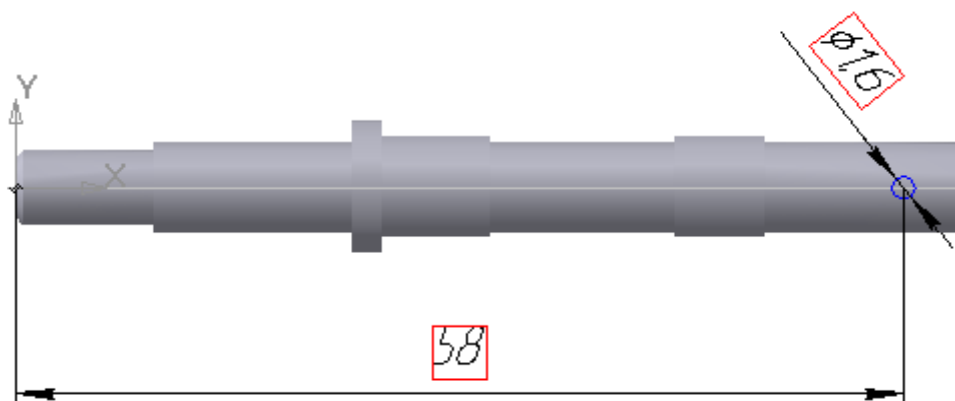
Для перегляду списку накладених обмежень на який-небудь примітив викличте команду **Показать/Удалить ограничения** на **Инструментальной панели Параметризация** й виділіть примітив натисканням миші.

Закрийте файл без збереження.

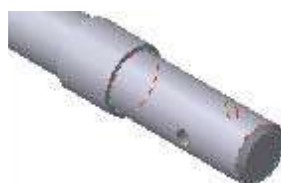
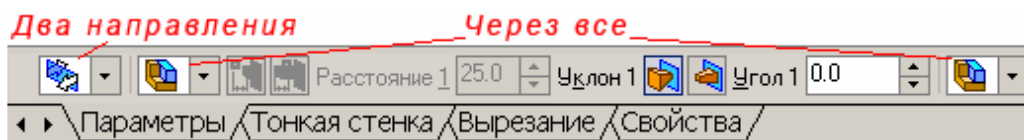
2.3.2. Моделювання штифтового отвору

Завдяки тому, що при створенні ескізу моделювання основи деталі ми прив'язали вісь обертання до початку координат, можна вибрати одну з координатних площин у дереві побудови як площину побудови ескізу (виберіть площину **ZX**).

1. Відкрийте збережений файл. Виберіть команду **Эскиз** і створіть коло потрібного радіуса, центр якого перебуває на осі **X** (використовуючи прив'язку – **Выравнивание**). Проставте необхідні розміри. Після цього вийдіть із режиму редагування ескізу.




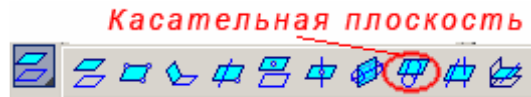
2. Виберіть команду **Вырезать выдавливанием** і виріжте у двох напрямках з параметром **Через все**.



2.3.3. Моделювання призматичного шпонкового паза

Шпонковий паз вирізьблюється на поверхні обертання на певну глибину, тому спочатку необхідно створити площину, дотичну до цієї поверхні.

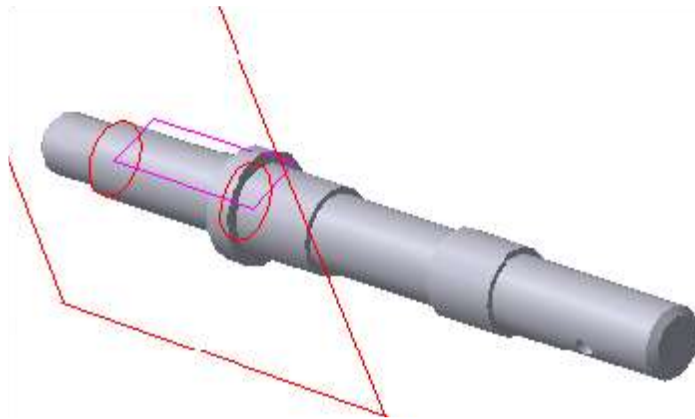
1. Виберіть на **Инструментальной панели** **Вспомогательная геометрия**  команду побудови **Касательная плоскость**.





2. Укажіть поверхню, до якої треба побудувати дотичну площину, клацнувши на ній лівою кнопкою миші, у нашій прикладі, циліндр радіусом 3 довжиною 13.

3. Далі необхідно вказати або грань, або площину, перпендикулярно якій буде побудована дотична площина, наприклад, виберіть у дереві побудови площину **ZX**.

4. Після цього з'являться фантоми двох можливих площин, з однієї або протилежної сторони поверхні обертання.

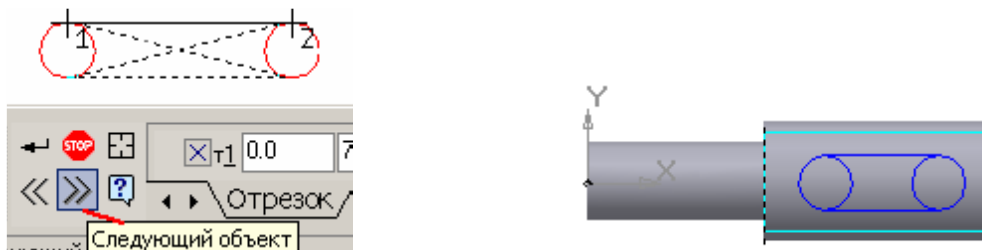


5. Для вибору на панелі властивостей будуть активними дві кнопки **Положение плоскости**  . Зупиніть на одній з них свій вибір і створіть об'єкт.

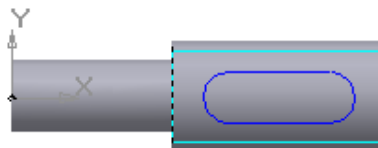
6. Оберіть дотичну площину як площину побудови ескізу й побудуйте ескіз профілю шпонкового паза, для цього побудуйте коло з центром, що лежить на осі **X** (використовуйте для цього прив'язку – **Выравнивание**).

7. Виберіть з **Инструментальной панели Редактирование** команду **Копирование** й скопіюйте коло, розташувавши його правіше й також із центром, що лежить на осі **X**.

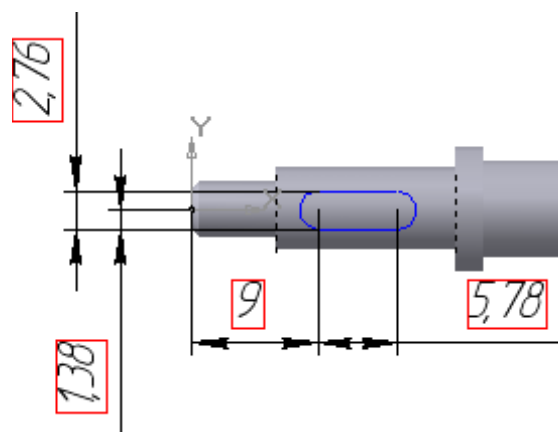
8. Виберіть команду побудови **Отрезок, касательный к 2 кривым** і побудуйте відрізки, дотичні до кіл зверху й знизу. Після виклику даної команди вкажіть дві криві (у нашому прикладі — коло), до яких будемо будувати дотичні. У результаті будуть показані всі можливі дотичні до зазначених кривих, а одна лінія буде поточною (відображається суцільною лінією). Натисніть кнопку **Создать объект**. Натискаючи декілька разів кнопку **Следующий объект**, виберіть паралельну заданій лінії й створіть об'єкт, після чого вийдіть із команди.



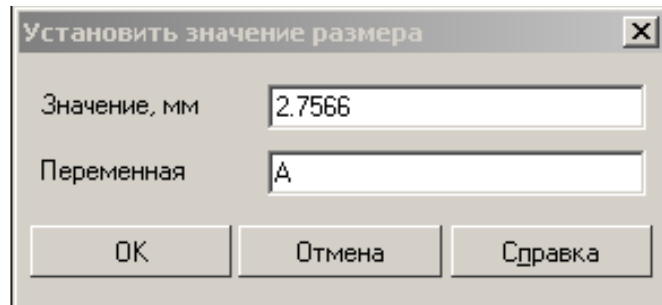
9. Для обрізання зайвих дуг кіл виберіть команду редагування **Усечь кривую**, укажіть натисканням миші на внутрішні частини кіл, після чого вони зникнуть. Одержимо такий ескіз.



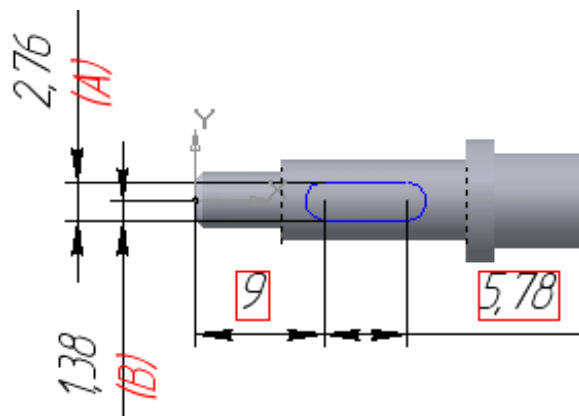
10. Нанесіть чотири розміри.



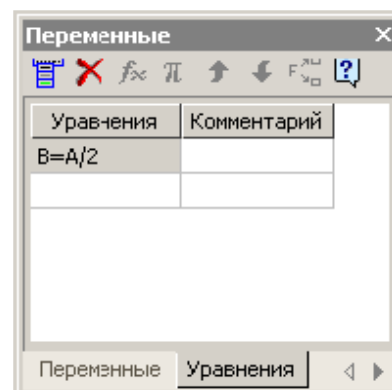
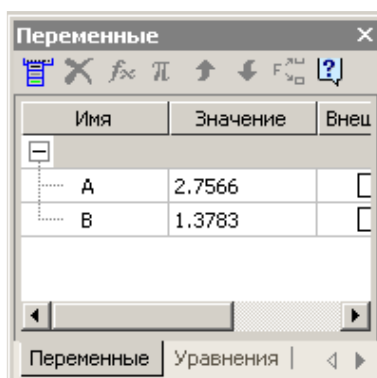
Спробуйте змінити значення ширини паза. У результаті змінюється положення верхньої сторони. Для того щоб паз завжди був центрованим відносно осі **X**, введемо змінні. Здійсніть подвійне натискання на значенні розміру ширини паза й у діалоговому вікні введіть позначення змінної, скажімо **A**.



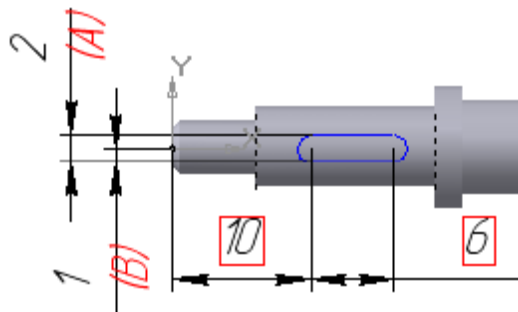
Аналогічно введіть позначення змінної для розміру, що задає положення паза відносно початку координат, наприклад **B**.




11. Задамо залежність змінної **B** відносно **A**. Для цього викличте команду **Переменные** зі стандартної панелі інструментів, у вікні, що з'явилося поруч із деревом побудови **Переменные**, відображаються поточні значення наших змінних. Ввійдіть на вкладку **Уравнения** й введіть рівняння $B=A/2$.



12. Тепер спробуйте змінити значення ширини паза, ви побачите, що координата положення не зміниться відповідно до введеного рівняння, паз завжди буде центрований відносно осі обертання. Установіть такі значення розмірів:



13. Вийдіть з ескізу, оберіть команду **Вирізати видавлюванням**  і виріжте даний контур у **Прямом напрямленні** на відстані 1,2 мм. Створить об'єкт.

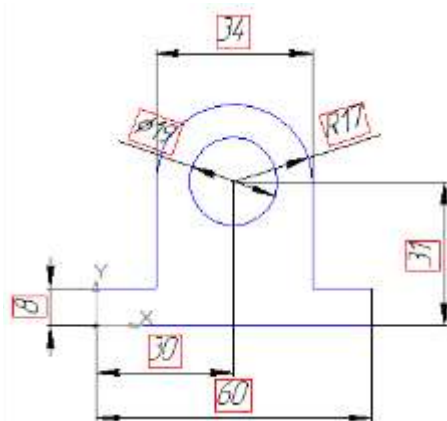


2.4. Моделювання простого корпусу

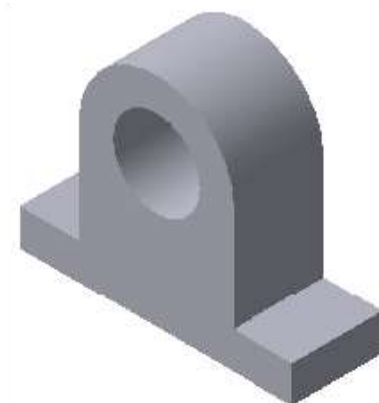
Проведіть аналіз конструкції корпусу, виявіть, з яких геометричних елементів він складається і який із всіх можливих варіантів моделювання є більш раціональним.

Оскільки в нашому прикладі ширина корпусу однакова, то раціональною буде операція видавлювання контуру на задану величину.

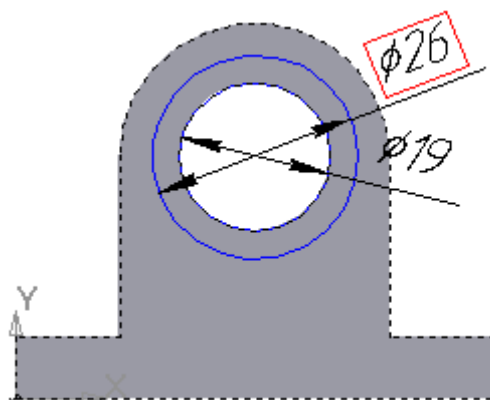
1. Створіть ескіз на площині **XY** відповідно до рисунка.



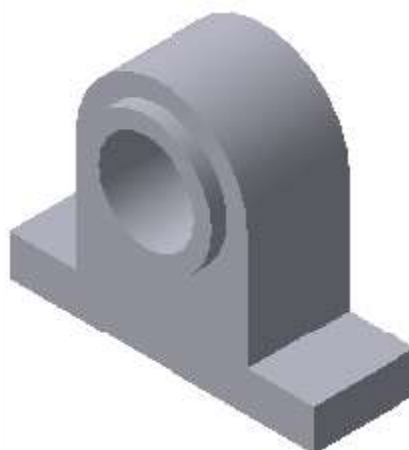
2. Видавіть цей ескіз на 20 мм. Помітимо, що вкладений контур (на ескізі — коло) створює при видавлюванні отвір заданого профілю й розміру.



3. Виберіть передню торцеву поверхню корпусу, при цьому курсор буде у вигляді хрестика зі значком поверхні, і побудуйте на ній наступний ескіз у вигляді кола діаметром 26 мм.



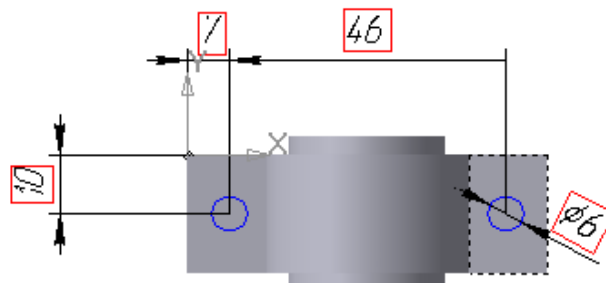
4. Приклейте видавлюванням на 3 мм.



5. Аналогічно побудуйте наплив на протилежній торцевій поверхні.



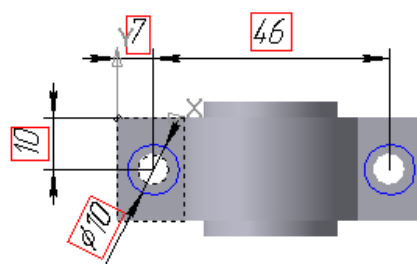
6. Виберіть верхню площину основи корпусу й побудуйте на ній такий ескіз.



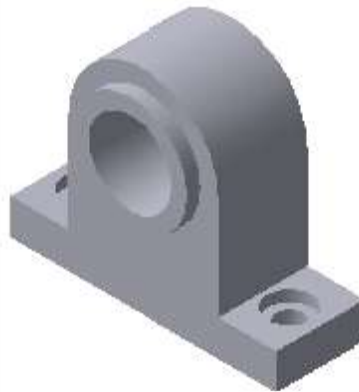
7. Виріжте видавлюванням ці отвори, вибравши опцію **Через все**.



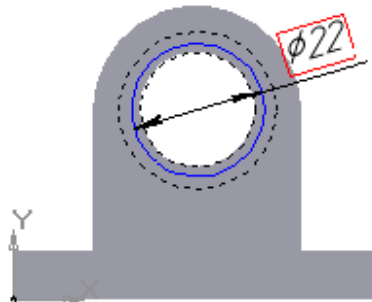
8. Ще раз виберіть верхню площину основи корпусу й побудуйте на ній такий ескіз.



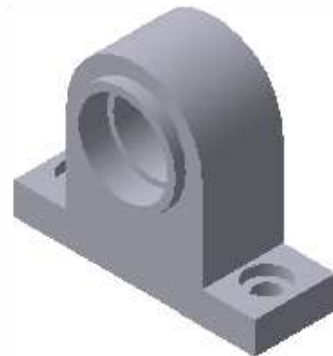
9. Виріжте видавлюванням ці кола на 2,5 мм.



10. Залишилося вирізати поглиблення в центральному отворі під підшипники. Для цього виберіть передню площину напливу корпусу й побудуйте ескіз.

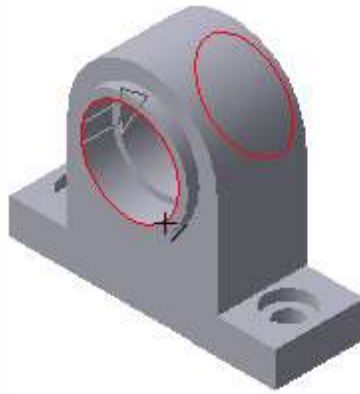


11. Виріжте видавлюванням на глибину 7 мм.

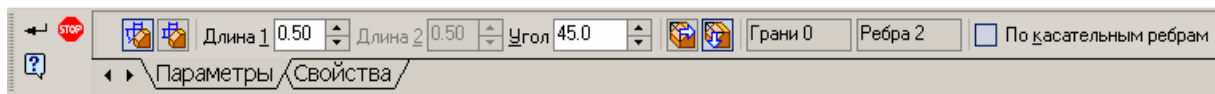


12. Повторите п. 10 і 11 для протилежної площини напливу корпусу.

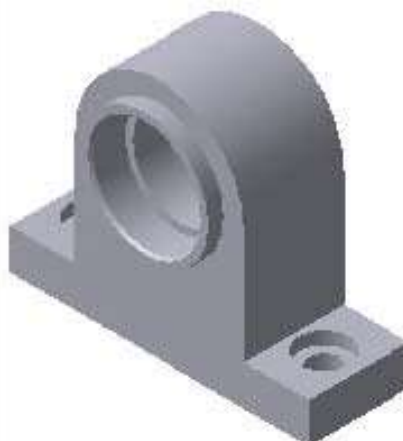
13. Для полегшення установки підшипників, «знімемо» фаску в ребра посадкових отворів. Виділите зовнішнє ребро (окружність підстави циліндра) в одного й іншого посадкових отворів, при цьому курсор повинен бути у вигляді хрестика з відрізком.



14. Виберіть команду **Инструментальной панели Редактирование детали – Фаска**. Установіть величину фаски 0,5 мм під кутом 45° і виберіть команду **Создать объект**.



15. У підсумку одержимо.

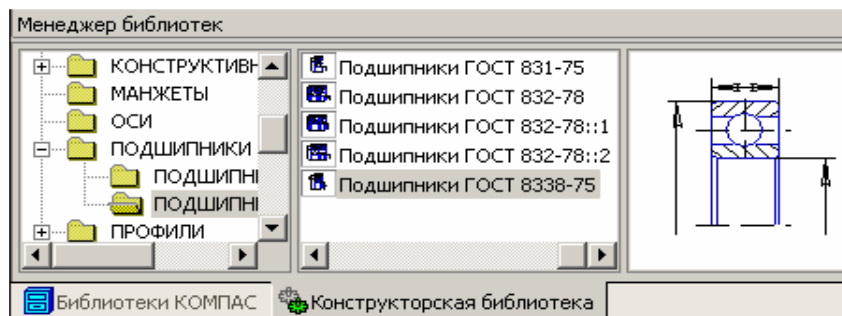
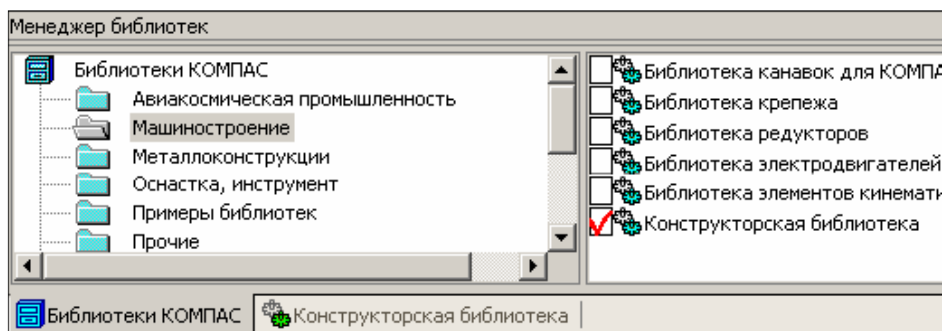


2.5. Моделювання підшипника

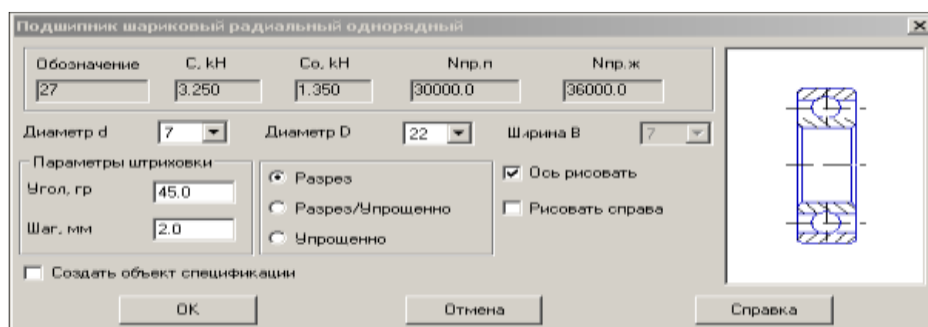
2.5.1. Моделювання складових елементів підшипника

1. Для побудови моделі підшипника скористайтесь бібліотекою програми Компас. Оскільки вона двовірвна, виберіть меню **Файл – Создать – Фрагмент**. Потім виберіть розділ **Сервис – Менеджер библиотек** або на піктографічній панелі виберіть кнопку **Менеджер библиотек**.

2. У вікні, що відкрилося, у розділі **Библиотеки Компас – Машиностроение** активізуйте **Конструкторскую библиотеку**. У **Конструкторской библиотеке** виберіть розділ **Подшипники – Подшипники шариковые** й далі підшипник з потрібним Держстандартом (ДЕРЖСТАНДАРТ 8338-75).

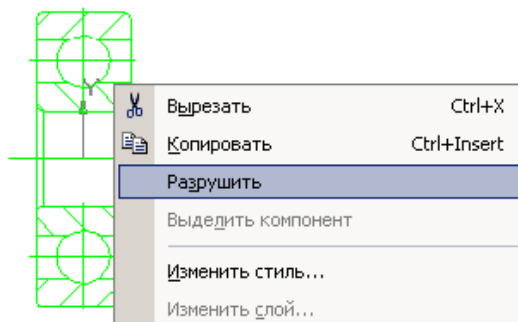


3. Виберіть параметри підшипника по посадковому діаметрі вала: внутрішній діаметр **d** і зовнішній – **D**. Натисніть **ОК**.

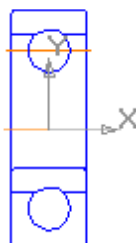


4. Помістіть зображення в будь-якому місці *Фрагмента*, вісь обертання повинна бути горизонтальною. Перевірте, щоб були ввімкнені прив'язки **Выравнивание**, **Ближайшая точка** й **Пересечение**. Для подальшої зручності роботи виберіть команду **Сдвиг**, укажіть точку, за якою будемо переміщати, натиснувши клавішею миші на перетині вертикальної осі кульки й осі обертання кілець підшипника. Перемістіть курсор у початок координат і натисніть кнопку миші.

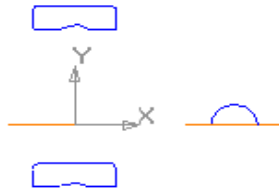
5. Виділіть зображення підшипника, натиснувши на ньому мишею, як бачите, дане зображення виділяється цілком і сприймається програмою як єдине ціле – блок. Натисніть праву кнопку миші й виберіть команду **Разрушить**. У результаті зображення перетвориться в сукупність окремих примітивів з можливістю редагування.



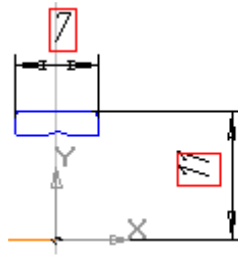
6. Із цього зображення нам треба одержати три ескізи: зовнішнє, внутрішнє кільце й кулька. Тому доцільно відредагувати зображення, видаливши непотрібні частини зображення.



7. Верхнє зображення кола (кульки) з віссю скопіюйте, використовуючи інструмент **Копирование** й розмістіть осторонь. Непотрібні частини вертикальних ліній і частини дуг обріжте, використовуючи команду **Усечь кривую**. У результаті повинна вийти такий рисунок.



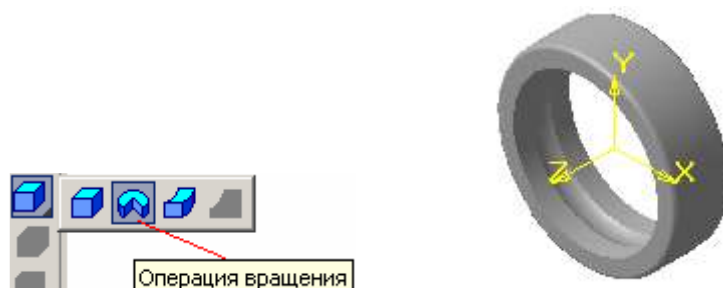
8. Виділіть отриманий ескіз зовнішнього кільця рамкою й виберіть команду **Правка – Копировать**. Укажіть базову точку (точку, за якою зручніше за все позиціонувати дане зображення) із прив'язкою до початку координат.



9. Створіть нову деталь за допомогою команди **Файл – Создать – Деталь**. У вікні **Дерево построения** виберіть фронтальну площину **XУ**, натисніть кнопку **Эскиз**.

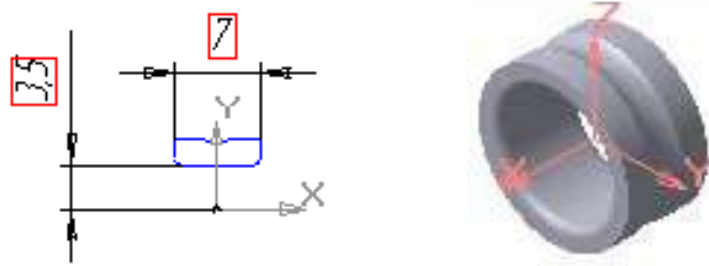
10. Виберіть **Правка – Вставить** й розмістіть зображення з прив'язкою на початку координат. Вийдіть із режиму редагування ескизу, повторно натиснувши кнопку **Эскиз**.

11. На **Инструментальной панели Редактирование детали** виберіть команду **Операция вращения** й створіть об'єкт.

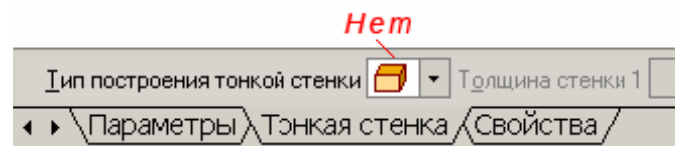
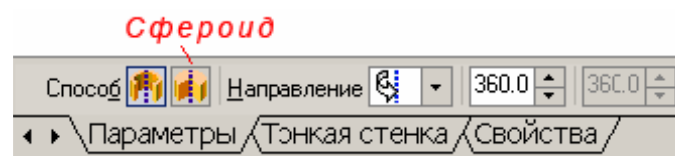


12. Збережіть файл *Зовнішнє кільце підшипника*.

13. Потім аналогічно створіть нову деталь, скопіюйте ескіз внутрішнього кільця підшипника з фрагмента, створіть модель тіла обертання, збережіть як окремий файл.

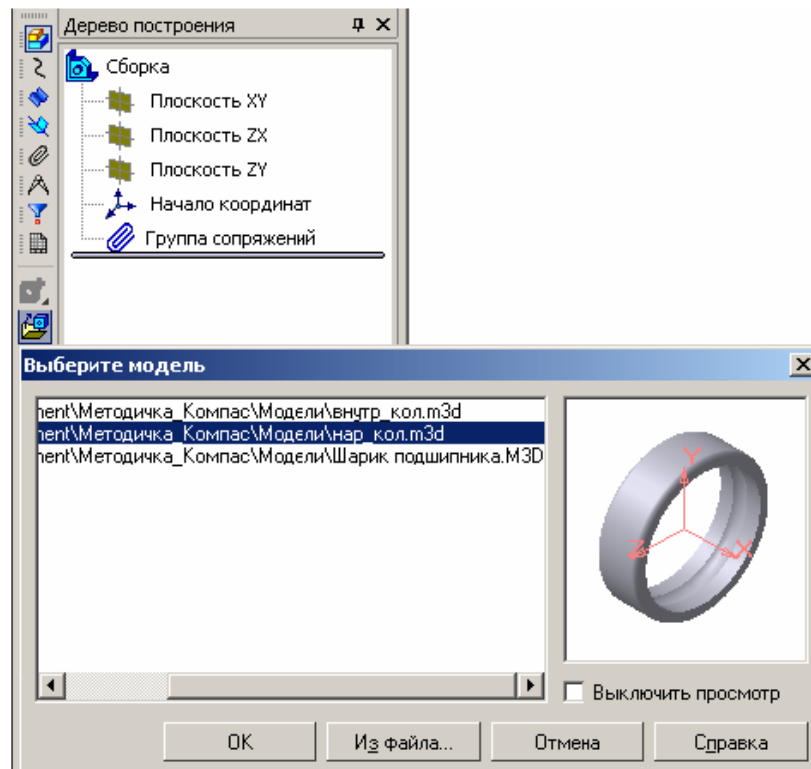


Повторіть аналогічні дії й створіть модель кульки. (При задаванні базової точки виберіть центр дуги.) На панелі властивостей операції обертання виберіть параметр **Сфероид**, не створюйте тонкої стінки, збережіть як окремий файл деталі.



2.5.2. Створення складання. Накладення обмежень

1. Виберіть команду: **Файл – Создать – Сборку**. На панелі інструментів виберіть **Добавить из файла**. Виберіть файл *Зовнішнє кільце підшипника*.

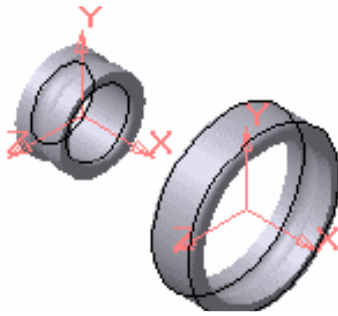


2. Укажіть положення базової точки моделі на початку координат. У дереві побудови поруч із назвою деталі з'явиться в дужках буква (Φ), що означає модель — фіксована.

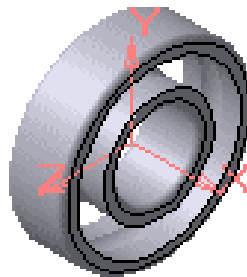
3. Потім повторіть дію й додайте в складання внутрішнє кільце. Помістіть його осторонь від зовнішнього.

Порада. Відразу після вставляння моделей у складання перейменуйте в дереві побудови назву деталі на конкретні назви моделей. Це дозволить надалі без зусиль розібратися з накладеними з'єднаннями.

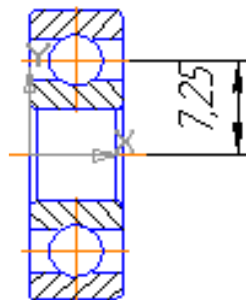
4. Для розміщення одного кільця усередині іншого необхідно накласти обмеження по положенню цих моделей одне відносно одного. Кільця повинні бути співвісними і їхні торцеві поверхні повинні лежати в одній площині. Виберіть на **Інструментальній панелі Сопряжения** команду **Соосность**. Укажіть на поверхню обертання одного кільця, потім іншого (зручніше за все вказати на зовнішню циліндричну поверхню зовнішнього кільця й поверхню отвору внутрішнього), у результаті внутрішнє й зовнішнє кільце вирівнюються по одній осі.



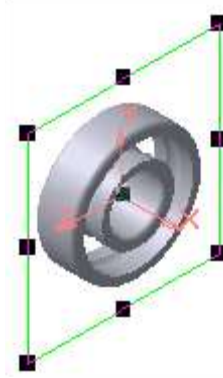
5. Далі виберіть команду **Совпадение**, укажіть на торцеві поверхні одного й іншого кільця, після чого вони будуть лежати в одній площині.



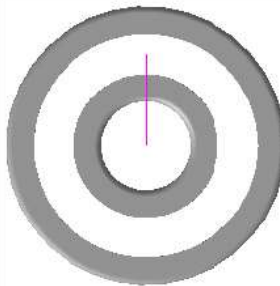
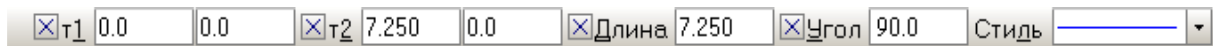
6. Для розміщення кульки, опишемо її положення: центр кульки розташовується на колі відомого радіуса (можна виміряти по зображенню, вставленому з бібліотеки (див. вище)), що лежить у поздовжній площині симетрії кільця. Виміряйте радіус даного кола.



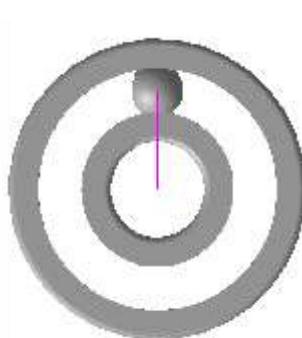
7. Виберіть площину (у нашому прикладі – **ZY**) як площину побудови ескізу. Вона ж є поздовжньою площиною симетрії кільця, завдяки тому, що при створенні ескізу кільця базова точка була обрана такою, що лежить у даній площині. В іншому випадку треба було б будувати допоміжну площину.



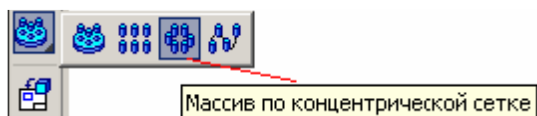
8. Побудуйте відрізок стилем лінії **Основная** від початку координат довжиною, що дорівнює обмірюваному радіусу, для чого введіть значення у відповідне поле **Длина** панелі властивостей, натисніть клавішу Enter для фіксації цього значення й створіть об'єкт.



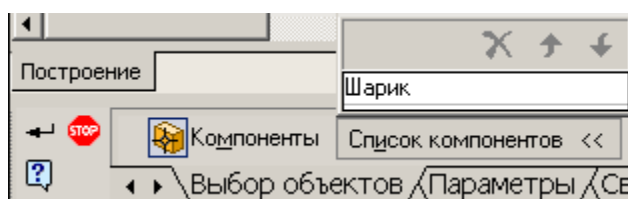
9. Додайте в складання кульку, помістіть її довільно, осторонь. Виберіть на **Инструментальной панели** **Сопряжение** команду **Совпадение**, укажіть центр кульки (при цьому значок поруч із курсором повинен бути у вигляді зірочки) і кінець відрізка.



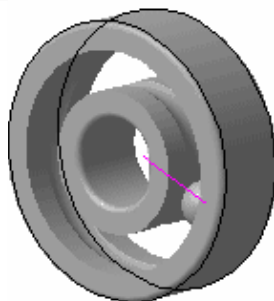
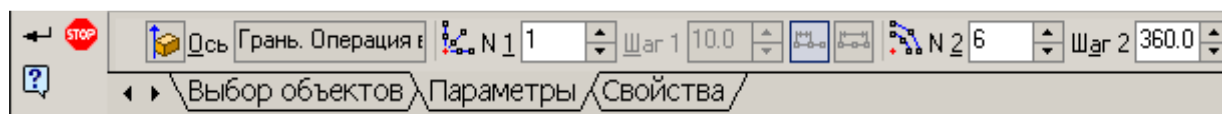
10. Створіть масив із заданою кількістю елементів (у нашому випадку — 6). Для цього виберіть операцію **Массив по концентрической сетке**.



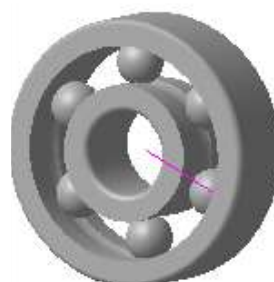
11. На вкладці **Выбор объектов** натисніть мишею кнопку **Компоненты** й у дереві побудови виберіть деталь **Шарик**.



12. На вкладці **Параметры** натисніть мишею кнопку **Ось** і вкажіть на поверхню обертання (наприклад, кільця).



13. У полі N2 задайте кількість елементів масиву — 6. Створіть об'єкт.



14. Збережіть файл.

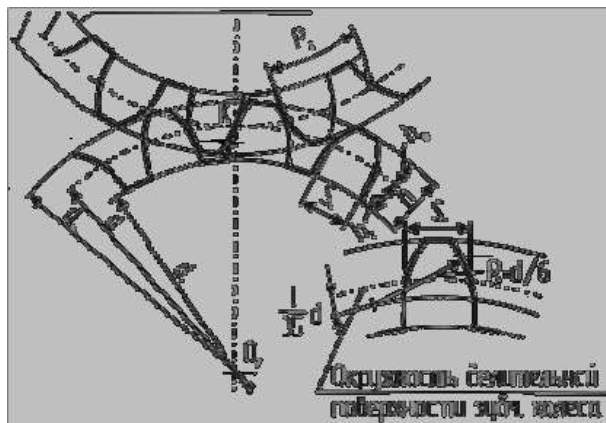
2.6. Моделювання циліндричного зубчастого колеса

2.6.1. Створення заготовки колеса

У роботі [14] є опис спрощеної побудови зуба зубчастого колеса. Якщо у вас виготовлено зубчасте колесо й не зрозуміло, які в нього параметри, можна визначити так:

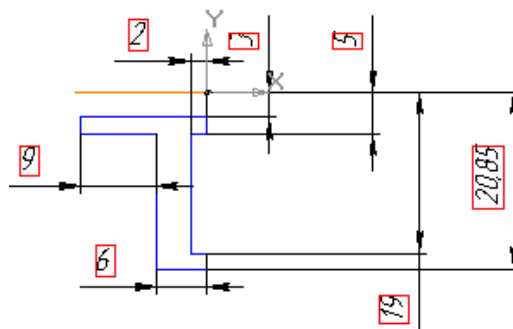
1. Порахуйте число зубів — Z .
2. Виміряйте діаметр поверхні вершин — d_a .
3. З формули $d_a = m(Z+2)$ порахуйте значення модуля — m .
4. Приведіть (за таблицею) це значення до стандартного.
5. Перерахуйте зі стандартним значенням модуля всі необхідні параметри:

$$d_a = m_{ст}(Z+2); d = m_{ст} Z; d_f = m_{ст} (Z - 2.5); S_t = 0.5m_{ст}\pi.$$



Скористаємося запропонованим методом побудови трохи пізніше. Для початку створимо заготовку зубчастого колеса.

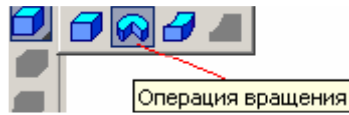
1. Виберіть площину **XY** для побудови ескізу, увійдіть у режим створення ескізу, натиснувши кнопку **Эскиз**.
2. Побудуйте ескіз відповідно до рисунка.



У нашому прикладі вісь обертання зміщена відносно контуру майбутнього колеса, у результаті при обертанні контуру буде утворений і посадковий отвір.

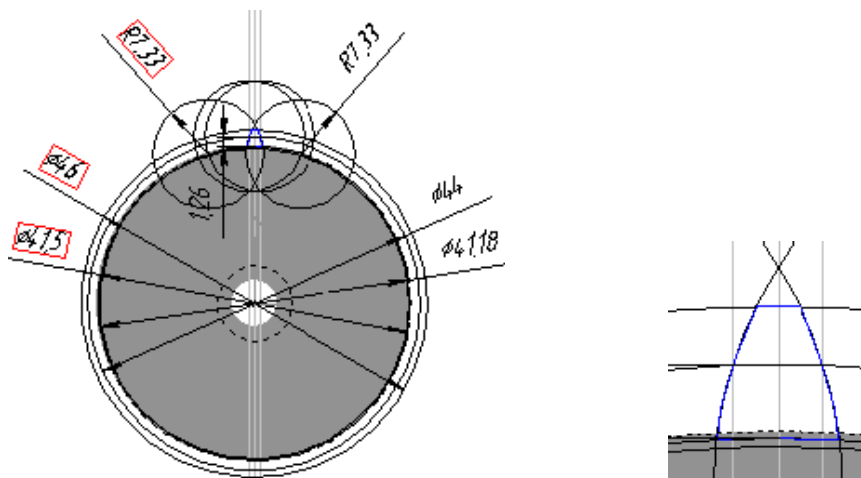
3. Вийдіть із режиму створення ескізу, відтиснувши кнопку.

4. Для створення тіла обертання виберіть команду **Операция вращения** й створіть об'єкт.

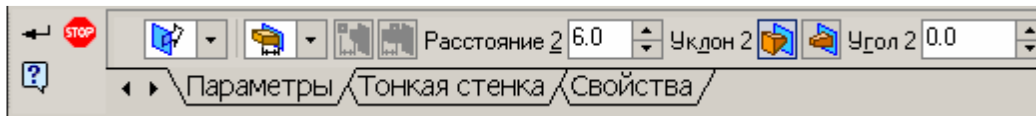


2.6.2. Спрощена побудова зображення зуба. Моделювання зуба

1. Виберіть торцеву площину й побудуйте на ній такий ескіз відповідно до схеми спрощеної побудови зуба, наведеного вище ($Z=44$, $m=1$, $d_a=46$). Лінії побудови створюйте стилем лінії **Вспомогательная**, а контур зуба – **Основная**.



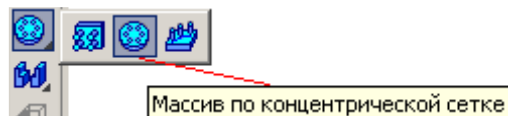
2. Вийдіть із ескізу, виберіть команду **Приклеить выдавливанием**, установіть величину видавлювання, що дорівнює ширині зубчастого вінця.



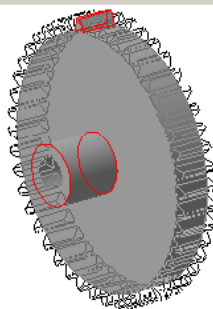
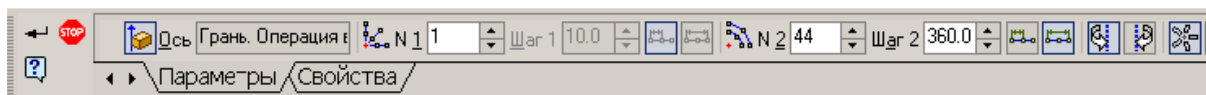
У результаті одержимо модель зуба.



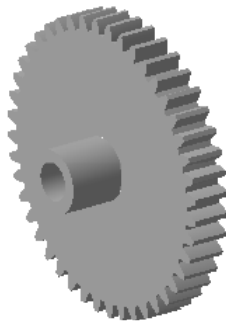
3. Виділіть зуб у дереві побудови: якщо виділення знято, виберіть команду побудови **Массива по концентрической сетке**.



4. На панелі властивостей натисніть лівою кнопкою миші на кнопку **Ось** і вкажіть, також натисканням миші, циліндричну поверхню зубчастого вінця або маточини, у результаті програма вибере вісь масиву, що співпадає з віссю тіла обертання. Задайте кількість елементів масиву (у нашій прикладі — 44).



5. Створіть об'єкт.

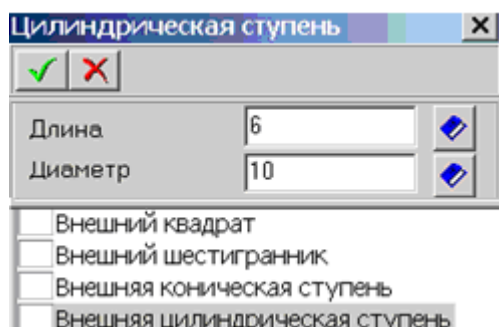


2.6.3. Використання підпрограми розрахунку Shaft 3D і створення моделі колеса за цими розрахунками

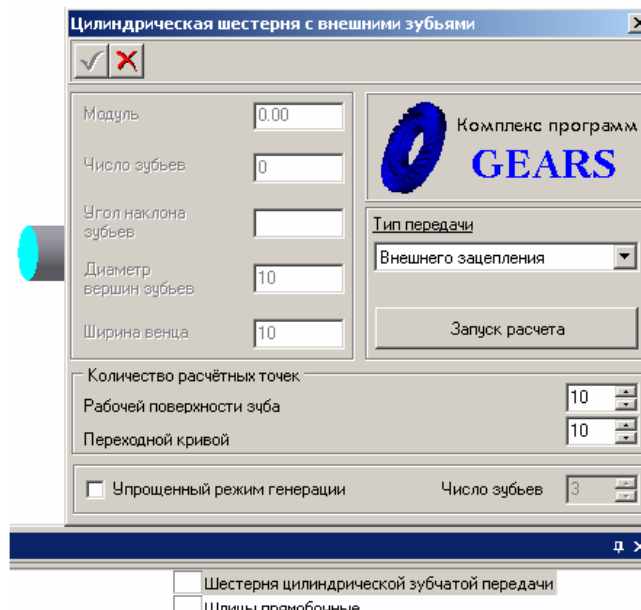
1. Створіть нову деталь. Викличте бібліотеку. Виберіть розділ **Расчет и построение** й у ньому – **Компас-SHAFT 3D**.



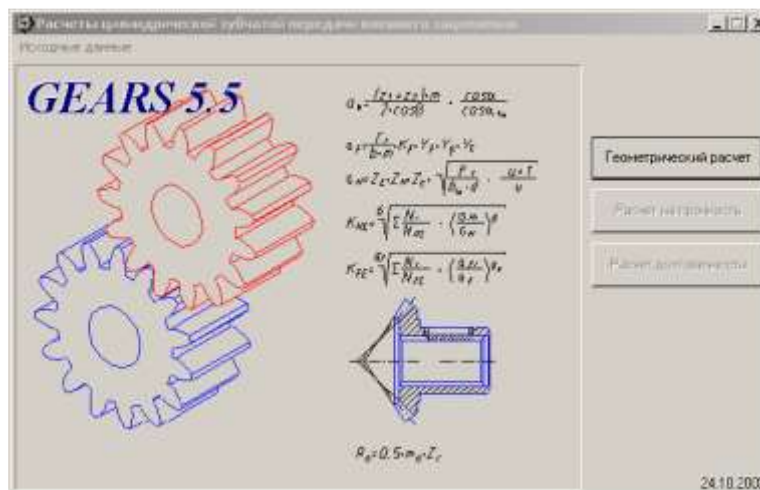
2. Створимо маточину колеса, для чого виберіть **Внешняя цилиндрическая ступень**, укажіть площину для побудови (наприклад, **Плоскость ZY**) і задайте параметри в діалоговому вікні, після чого натисніть кнопку з галочкою.



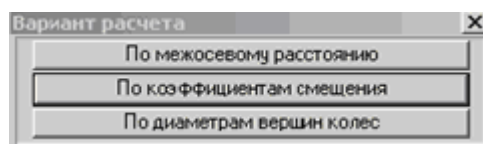
3. Далі будемо моделювати зубчастий вінець. Виберіть команду побудови **Шестерня цилиндрической зубчатой передачи**, укажіть площину побудови зубчастого вінця (торцева площина маточини – на екрані буде підсвічена зеленим кольором), у результаті з'явиться діалогове вікно.



Натисніть кнопку **Запуск расчета**. З'явиться вікно з єдиною активною кнопкою – **Геометричний розрахунок**, натисніть її.



4. У діалоговому вікні, що з'явилося, виберіть спосіб розрахунку (у нашому прикладі розглянемо розрахунок **По диаметрам вершин колес**).



5. На першій сторінці задайте кількість зубів, модуль, ширину зубчастого вінця, діаметр вершин коліс. Там, де є кнопка з калькулятором зеленого кольору (як наприклад, у п. 10).

Диаметр ролика), натисніть її й виберіть значення, що рекомендується. Після заповнення всіх полів перейдіть на вкладку **Страница 2**.

Параметры	Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Число зубьев	44	20
2. Модуль, мм	n 800	
3. Угол наклона зубьев, °	0 ° 0 ' 0 "	
4. Угол профиля зубьев, °	20 ° 0 ' 0 "	
5. Коэффициент высоты головки зуба	1	
6. Коэффициент радиального зазора	0.25	
7. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба	0.38	
8. Ширина зубчатого венца, мм	4	4
9. Диаметры вершин колес, мм	36.2	16
10. Диаметр ролика, мм	1.432	1.432
11. Вид обработки	рейка	рейка
12. Характеристика инструмента		
13. Направление спирали зуба ведущего колеса	прямое	

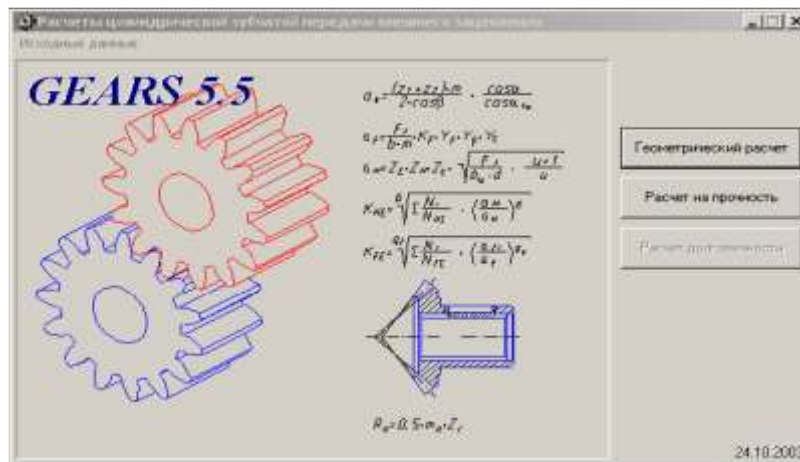
6. Натисніть на зелені кнопки з калькулятором, і програма розрахує коефіцієнти зсуву вихідного контуру для ведучого й веденого колеса. Після чого натисніть у лівому верхньому куті кнопку **Расчет**. Якщо в нижній частині діалогового вікна все буде без помилок, то натисніть кнопку **Возврат в главное окно**. Якщо все-таки будуть помилки, необхідно повернутися на вкладку **Страница 1** і змінити деякі параметри.

Параметры	Ведущее колесо	Ведомое колесо
Степень точности	7-C	7-C
Суммарный коэффициент смещения	-0	
Коэффициент смещения исходного контура	-0	0
Внешний диаметр вершин зубьев, мм	36.8	17.6
Диаметр вершин зубьев со срезом, мм	36.8	17.6

Ход расчета

Контролируемые, измерительные параметры и параметры качества зацепления в норме.....

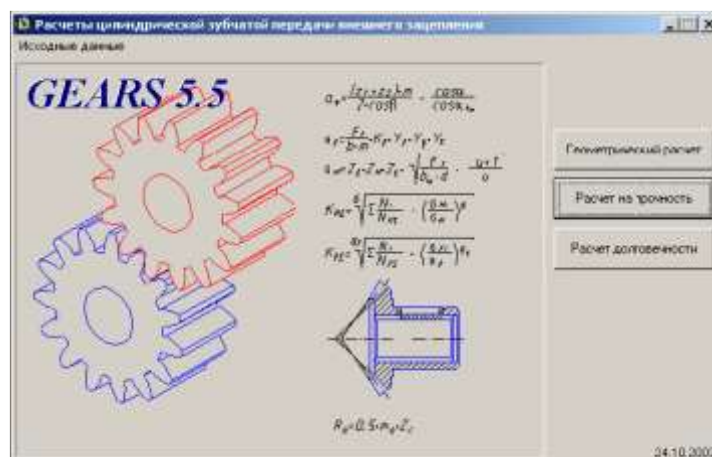
7. Після цього в головному вікні стане активною друга кнопка – **Расчет на прочность.**



8. Виберіть і задайте необхідні параметри. При натисканні на кнопку **Расчет** з'явиться текстове вікно з результатами розрахунків, зведених у таблицю, які можна зберегти. Після цього натисніть кнопку **Возврат в главное окно.**

Расчет на прочность при действии максимальной нагрузки		
Страница 1 Предмет расчета		
Параметры	Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Вариант схем расположения передачи	5	
2. Материал зубчатых колес	18ХГТ	18ХГТ
3. Допускаемые напряжения по контакту, МПа	2464	2464
4. Допускаемые напряжения по изгибу, МПа	1143	1143
5. Твердость активных поверхностей зубьев колес, НРС или HB	56	56
6. Расчетная нагрузка, Н·м	1000	
7. Число оборотов на ведущем колесе, об/мин	10000	

9. Стала активною третя кнопка – **Расчет долговечности.**



10. Задайте необхідні параметри й перейдіть на сторінку **Режимы нагружения**.

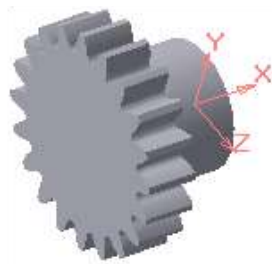
Параметры		Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Материал зубчатых колес		18-ГТ	18-ГТ
2. Предел выносливости по контакту, МПа		1200	1200
3. Предел выносливости по изгибу, МПа		820	820
4. Базовый ресурс и его размерность		50000	час
5. Тип передачи		Обычная	
6. Количество сателлитов		1	
7. Функциональное назначение ведущего колеса		Солнечная шестерня	
8. Коэффициент ограничения усталостных повреждений	контакт	0.6	
	изгиб	0.6	
9. Коэффициент безопасности	контакт	1.2	1.2
	изгиб	1.55	1.55
10. Показатель кривой выносливости	контакт	6	6
	изгиб	9	9
11. Коэффициент, учитывающий шероховатость		1	1
12. Базовое число циклов при изгибе, млн. циклов		4	4

11. Для створення параметрів режиму навантаження натисніть кнопку **Добавить**, з'явиться новий рядок, уведіть необхідні параметри. Після натискання кнопки **Расчет**, як і в попередньому випадку, з'явиться текстове вікно з результатами розрахунків, зведених у таблицю, які можна зберегти.

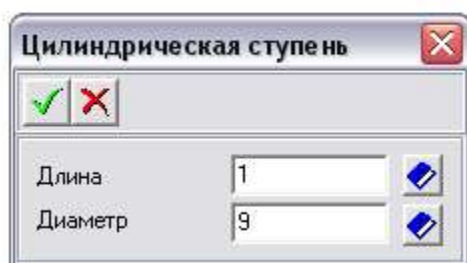
Исходная нагрузка, Н*м		Частота вращения шестерни, об/мин	Число циклов, млн. циклов
контакт	изгиб		
2000	1000	500	150

12. Після цього натисніть кнопку **Возврат в главное окно**. Збережіть файл розрахунків і закрийте вікно. З'явиться діалогове вікно вибору об'єкта побудови (у нашому прикладі виберіть побудову шестірні).

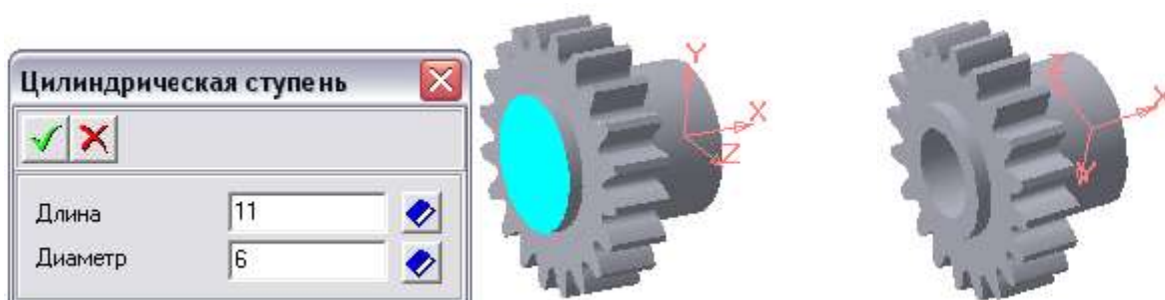
13. У результаті буде побудований зубчастий вінець.



14. Додайте на торцевій площині диска зубчастого колеса циліндричний виступ. Для цього виберіть команду **Внешняя цилиндрическая ступень**, укажіть дану торцеву площину, задайте необхідні параметри й завершіть побудову.



15. І останнє, необхідно вирізати отвір для вала. Виберіть команду **Внутренняя цилиндрическая ступень**, укажіть торцеву площину маточини, задайте параметри отвору, завершіть побудову.



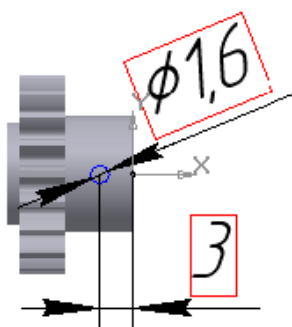
16. За необхідності дані розрахунку можна використовувати ще раз, завантаживши збережений файл у діалоговому вікні **Расчет цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления**, обравши в меню **Исходные данные – Чтение**. Після завантаження файлу якісь параметри можна змінити.

17. Для полегшення складання, створіть фаску, для чого викличте команду **Фаска**, виділіть коло основи отвору, на панелі властивостей задайте величину катета фаски 0.5 на 45° і створіть об'єкт.

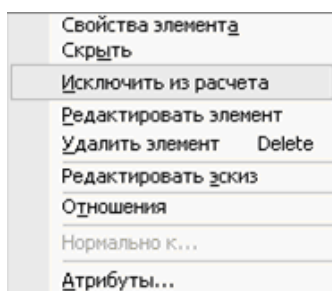


18. Змоделюємо штифтовий отвір (знадобиться нам при побудові складання), що направляє отвір під штифт (знадобиться для виконання креслення по моделі) і отвір під настановний гвинт.

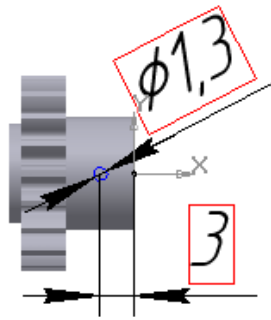
Для штифтового отвору створіть ескіз у площині **XУ**.



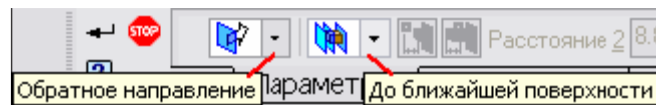
19. Вийдіть із ескізу й виріжте видавлюванням в обидва напрямки від площини ескізу до найближчої поверхні. У дереві побудови натисніть праву кнопку миші на імені даної операції й виберіть із контекстного меню команду **Исключить из расчета**.



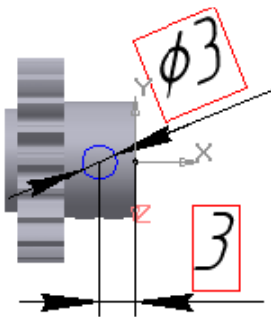
20. Для прямого отвору створіть у площині **XU** ескіз.



21. Вийдіть із ескізу й виріжте видавлюванням у зворотному напрямку від площини ескізу до найближчої поверхні.



22. Для отвору під гвинт виберіть площину **ZX** і побудуйте ескіз.



23. Вийдіть із ескізу й виріжте видавлюванням у зворотному напрямку від площини ескізу до найближчої поверхні.

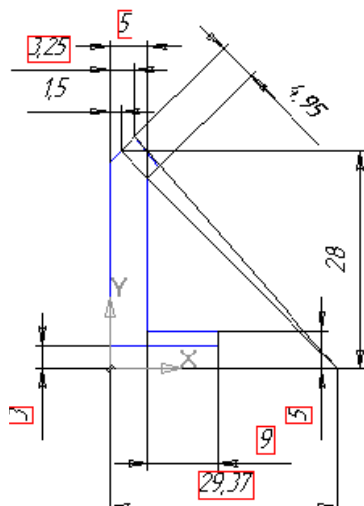


24. У такому вигляді зубчасте колесо знадобиться для побудови креслення по моделі. А для побудови надалі складання, використовуючи команду **Исключить из расчета**, відключіть побудову прямого отвору і **Включите в расчет** побудову наскрізного отвору під штифт.

2.7. Моделювання конічного зубчастого колеса

2.7.1. Створення заготовки зубчастого колеса

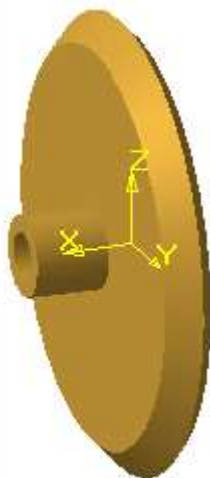
1. У площині **XU** створіть ескіз із зазначенням всіх необхідних розмірів.



2. Створіть тіло обертання за допомогою команди **Операція вращення**.



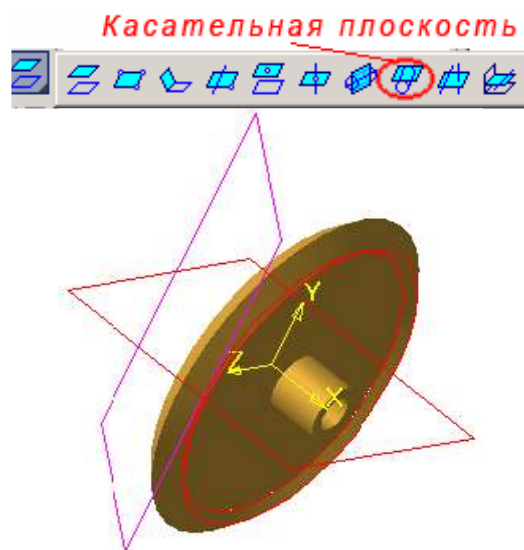
3. У результаті одержимо такий рисунок.



2.7.2. Створення дотичної площини для побудови профілю зуба

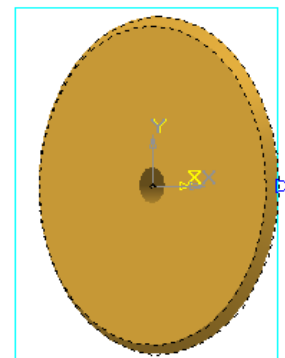
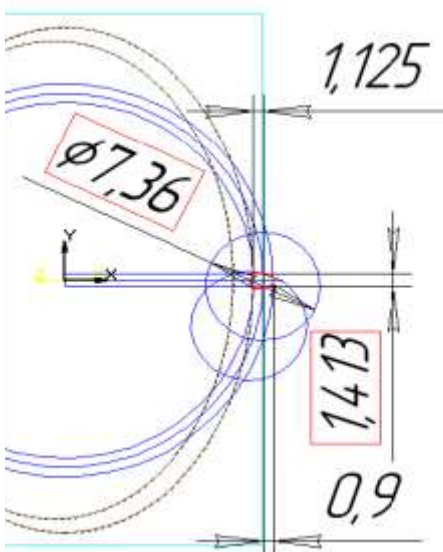
1. Виберіть в Інструментальній панелі **Вспомогательная геометрия** команду **Касательная плоскость**.

2. Укажіть поверхню, до якої будуюмо дотичну площину, потім укажіть площину, з якої буде перетинатися дотична площина (у нашому прикладі це площина **ZX**, що зручніше за все вказати в дереві побудови).

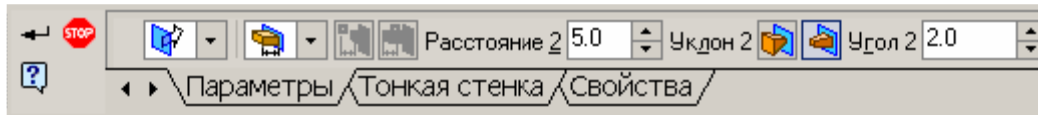


2.7.3. Створення зуба конічного зубчастого колеса

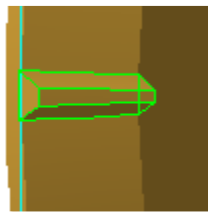
1. Виберіть дотичну площину в дереві побудови й виконайте на ній ескіз зуба, побудований спрощеним:



2. Створіть модель зуба, використовуючи операцію **Приклеить выдавливанием** на 5 мм. Оскільки в конічного колеса зуб по довжині має не постійну товщину, задайте кут ухилу 2° .

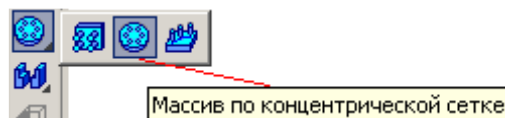


3. У результаті одержимо такий рисунок.



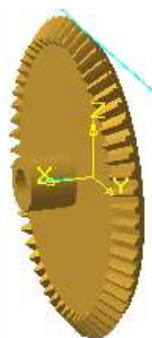
2.7.4. Створення зубів конічного зубчастого колеса

1. Виділіть зуб у дереві побудови, якщо виділення знято, виберіть команду побудови **Массива по концентрической сетке**.



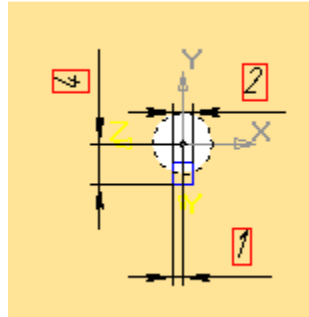
2. На панелі властивостей натисніть лівою кнопкою миші кнопку **Ось** і вкажіть, також натисканням миші, конічну поверхню зубчастого вінця або маточини, у результаті програма вибере вісь масиву, що співпадає з віссю тіла обертання. Задайте кількість елементів масиву (у нашому прикладі — 58).

3. У результаті одержимо такий рисунок.



2.7.5. Моделювання шпонкового паза

1. Виберіть торцеву поверхню маточини колеса, побудуйте ескіз.



2. Вийдіть із ескізу й виріжте видавлюванням, установивши параметр **Через все**.



3. У результаті одержимо такий рисунок.



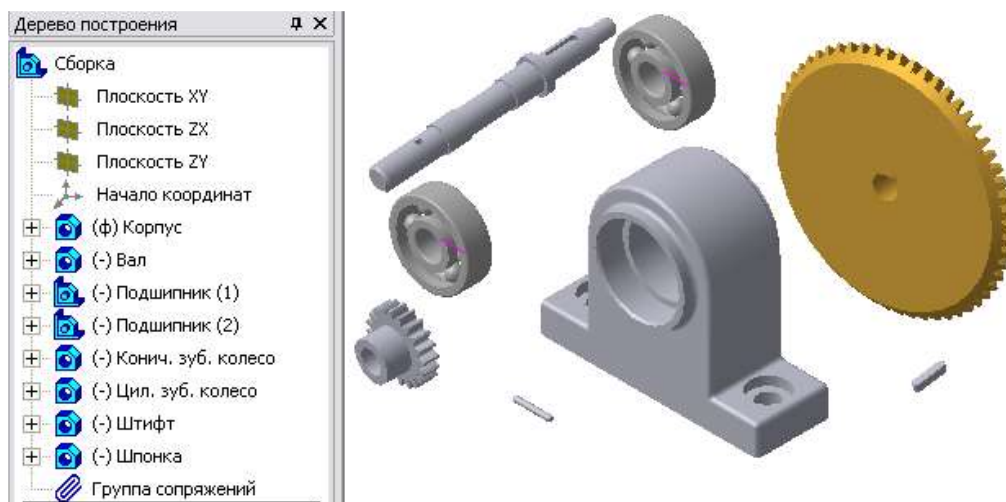
2.8. Створення складання вузла механізму

2.8.1. Створення складання. Накладення з'єднань

1. У меню **Файл** виберіть команду **Создать – Сборку**. На **Инструментальной панели Редактирование сборки** виберіть команду **Добавить из файла** й у діалоговому вікні виберіть файл **Корпус**. Вставте **Корпус**, помістивши курсор у початок координат. У дереві побудови з'явиться **Деталь**, перейменуйте для зручності

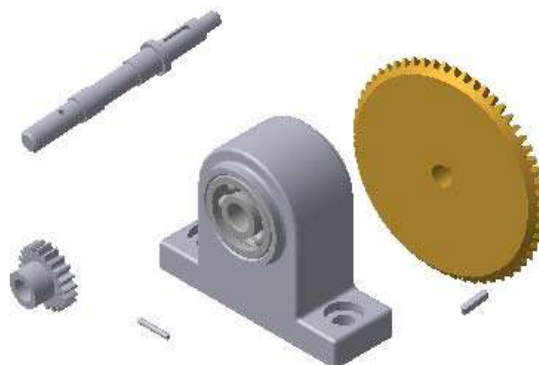
подальшої роботи в *Корпус*. Поруч із написом у дужках відобразиться буква (**Ф**), що означає — фіксована. Всі інші деталі й підскладання будемо позиціонувати відносно *Корпуса*.

2. Аналогічно додайте з файлу інші деталі, розташовуючи їх довільно, осторонь від *Корпуса*. Відразу ж перейменуйте для зручності в дереві побудови на назву самих моделей.



3. Тепер необхідно задати певні положення всім деталям, накладаючи з'єднання. Будемо діяти в тій послідовності, як при реальному складанні. Почнемо з підшипників. Виберіть на **Інструментальній панелі Сопряжения команду Соосность**. Укажіть на поверхню обертання кільця одного підшипника й отвору в *Корпусі*, потім іншого підшипника й також отвору *Корпуса*. У результаті цього осі підшипників будуть співвісними отвору в корпусі.

4. Далі виберіть команду **Совпадение**, укажіть на торцеву поверхню зовнішнього кільця одного підшипника й торцеву поверхню отвору під нього в *Корпусе*, після чого підшипник займе потрібне положення. Повторіть ці дії для другого підшипника.

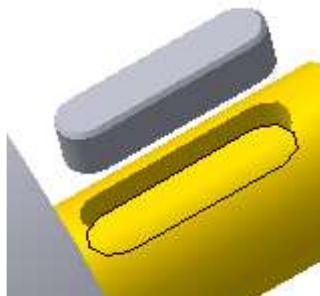


5. Тепер задайте положення вала. Призначте **Совпадение** **Соосность** поверхні вала й отвору в підшипнику й **Совпадение** торцевої поверхні циліндричного паска вала й внутрішнього кільця другого підшипника.

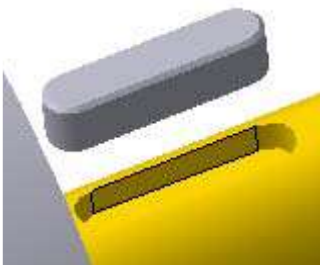


6. Вставте шпонку в паз на валу. Для цього треба накласти три з'єднання, використовуючи команду **Совпадение**.

а) укажіть торцеву площину паза й нижню площину шпонки;



б) укажіть бічну площину паза й бічну площину шпонки;



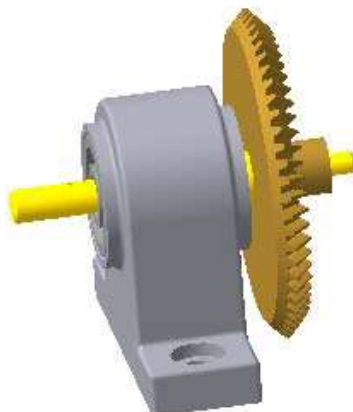
в) укажіть циліндричне скруглення шпонки й паза.



7. Надалі, при побудові вирізу чверті, нам знадобиться паралельність торцевої площини шпонки з горизонтальною площиною основи *Корпуса*, тому додамо з'єднання **Параллельность** і вкажемо торцеву площину шпонки й площину основи *Корпуса*.



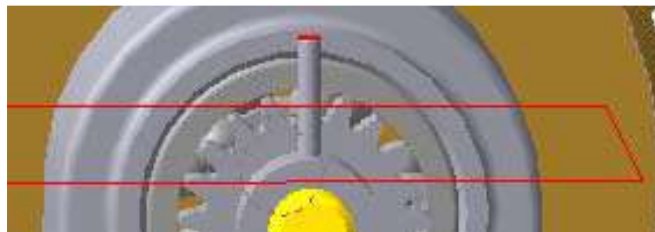
8. Установіть конічне зубчасте колесо на вал. Накладіть три з'єднання: **Соосность** отвору колеса з валом; **Совпадение** торцевої поверхні паза колеса під шпонку з торцевою поверхнею шпонки; **Совпадение** торцевої поверхні диска колеса зі сходиною вала.



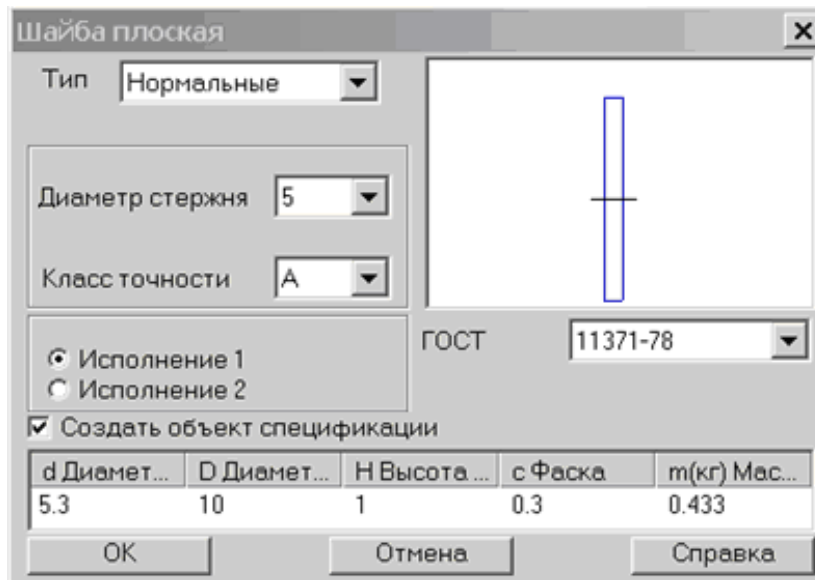
9. Установіть на валу циліндричне зубчасте колесо. Накладіть на колесо з'єднання **Соосность** посадкового отвору колеса й вала, а також **Соосность** отвору під штифт у маточині колеса й на валу.



10. Установіть штифт в отвір, накривши з'єднання **Соосность**, і оскільки при вирізання отвору під штифт у маточині колеса не будували дотичної площини, визначимо положення штифта в отворі, задавши з'єднання **На расстоянии** торцевої поверхні штифта від горизонтальної площини системи координат (**ZX**) моделі вала, що дорівнює половині довжини штифта (у нашому прикладі 5 мм).

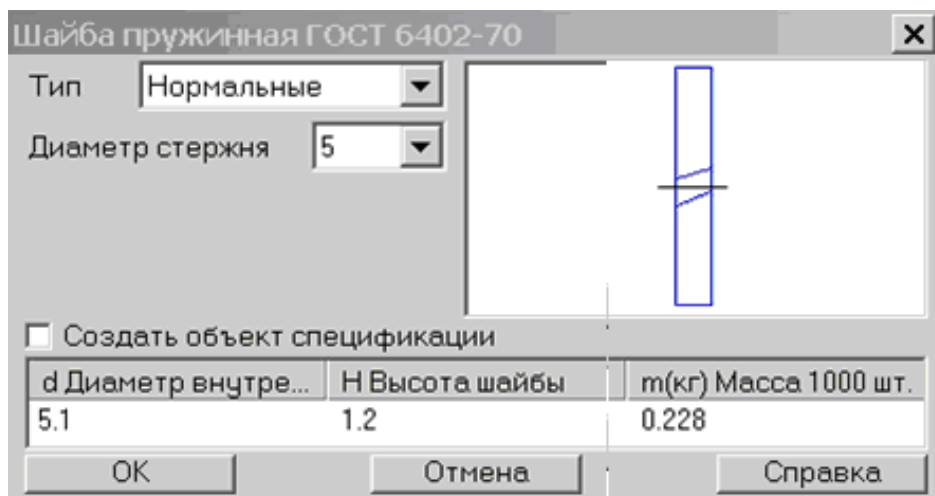


11. Для закріплення на валу кінчного зубчастого колеса вставимо стандартні кріпильні елементи з бібліотеки. Виберіть розділ **Сервис – Менеджер библиотек** або на піктографічній панелі виберіть кнопку **Менеджер библиотек**. У вікні, що відкрилося, у розділі **Библиотеки Компас – Машиностроение** активізуйте **Библиотека крепежа**. У **Библиотеке крепежа** виберіть розділ **Шайбы**. Двічі натисніть на підрозділі **Шайбы**, у діалоговому вікні задайте необхідні параметри.



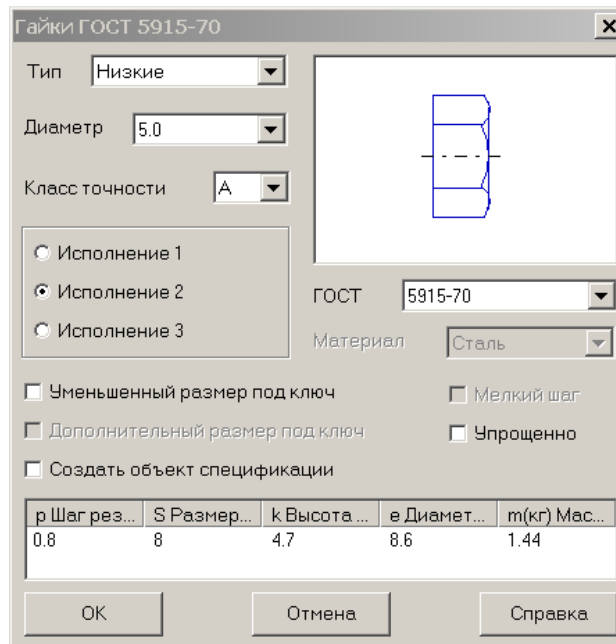
12. Натисніть **ОК** і задайте натисканням миші положення шайби осторонь від складання й створіть об'єкт.

13. У **Бібліотеке крепежа** виберіть розділ **Шайбы**. Двічі натисніть на підрозділі **Шайбы пружинные**, у діалоговому вікні задайте необхідні параметри.

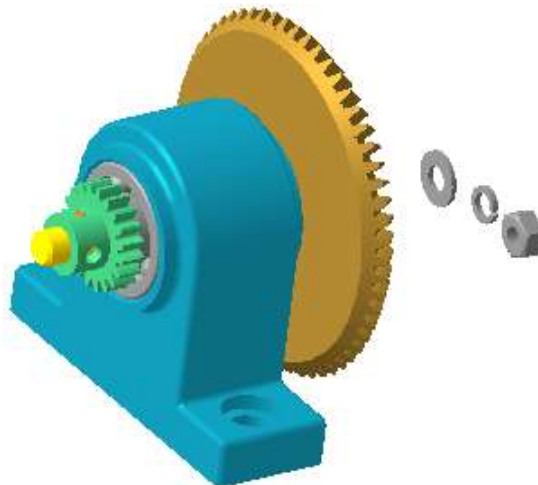


14. Натисніть **ОК** і задайте натисканням миші положення шайби осторонь від складання й створіть об'єкт.

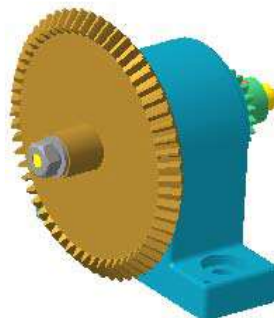
15. У **Бібліотеке крепежа** виберіть розділ **Гайки**. Двічі натисніть на підрозділі **Гайки шестигранные**, у діалоговому вікні задайте необхідні параметри.



16. Аналогічно шайбам установить гайку осторонь від складання.



17. Залишилося задати з'єднання **Соосность**, а також **Совпадение** відповідних торцевих поверхонь.

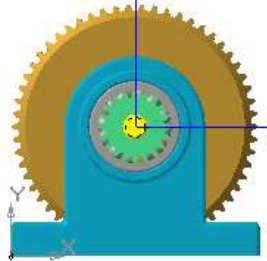


На цьому процес складання закінчено.

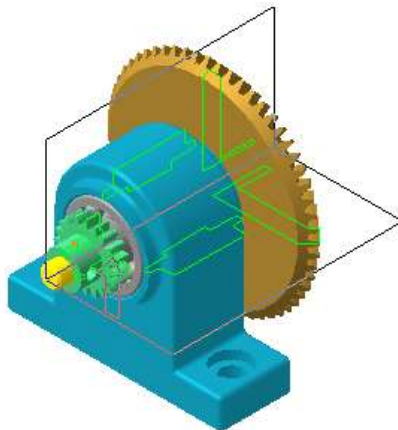
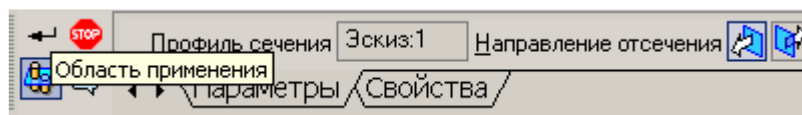
2.8.2. Виріз чверті

Для того щоб було видно, як, що, із чим з'єднується в складанні, звичайно вирізують четверту частину складання.

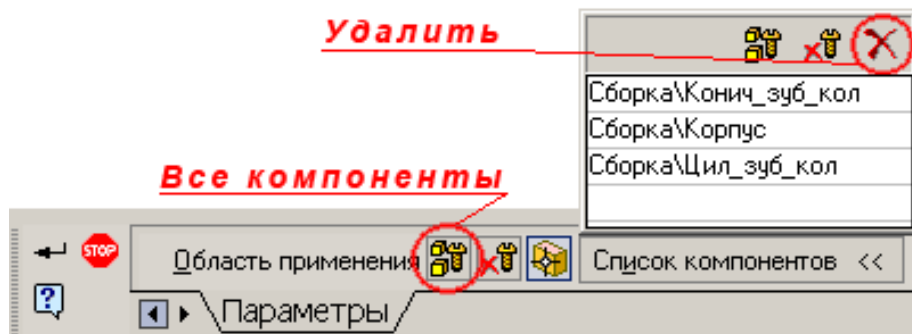
1. Виберіть фронтальну площину й побудуйте в ній ескіз у вигляді двох відрізків.



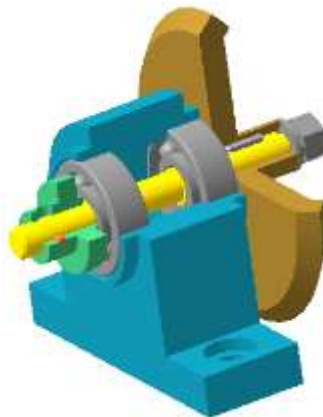
2. Вийдіть із ескизу. Виберіть команду меню **Операции – Сечение – По эскизу**. На панелі властивостей укажіть **Направление отсечения**.



3. Відомо, що суцільні тіла, стандартні вироби не ріжуться, тому натисніть кнопку **Область применения**. Виберіть команду **Все компоненты**, у результаті у вікні **Список компонентов** відобразяться всі моделі, за допомогою команди **Удалить** видалить зі списку моделі, які не повинні бути розрізані. Завершіть команду.



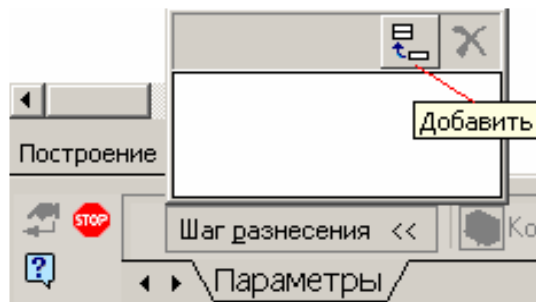
У результаті одержите тривимірну модель складальної одиниці з вирізом чверті. У дереві побудови з'явиться операція **Сечение по эскизу**. Якщо на даний момент виріз не потрібний, можна застосувати операцію **Исключить из расчета** (вибравши відповідну команду з контекстного меню, натиснувши на ім'я операції в дереві побудови) або в дереві побудови пересунути роздільник (горизонтальна смуга під останньою операцією), розмістивши його над непотрібною операцією.



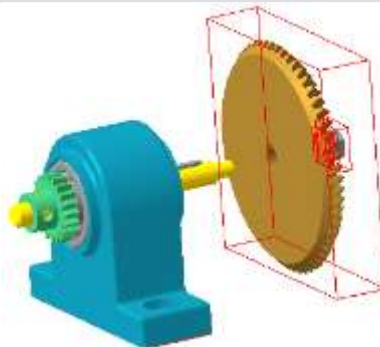
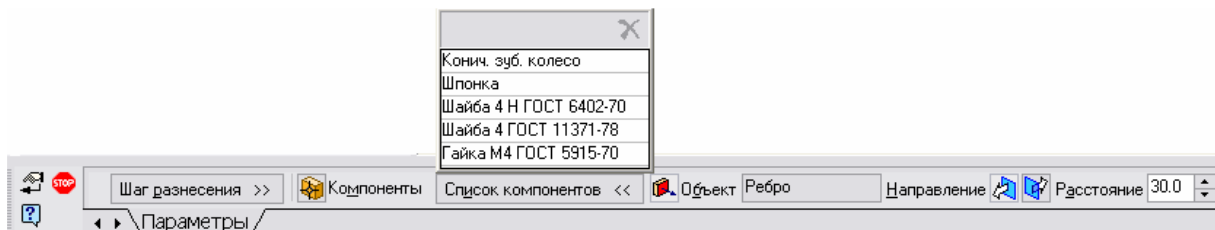
2.8.3. Побудова рознесеного складання

Часто зручно бачити складання в «розібраному» стані, коли видні всі його компоненти.

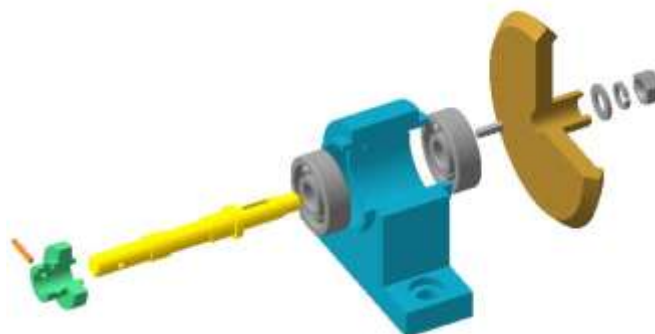
1. Викличте команду меню **Сервис – Разнести компоненты – Параметры**. На панелі властивостей натисніть кнопку **Шаг разнесения** й **Добавить**.



2. Натиснувши на кнопку **Компоненты**, виберіть у дереві побудови ті компоненти, які хочете винести за один крок. Натиснувши кнопку **Объект**, задайте напрямок виносу, указавши на ребро основи корпусу, спрямованого, наприклад, уздовж осі обертання вала. Виберіть напрямок прямий або зворотний й задайте відстань, після чого натисніть кнопку **Применить**.



3. Додайте наступний крок і так далі. Для штифтів укажіть напрямок виносу уздовж осі штифта, тобто вертикально спрямоване ребро основи корпусу відносно отвору в маточині деталі, що закріплена. У підсумку одержимо такий рисунок.



4. Для ввімкнення режиму звичайного відображення складання, натисніть кнопку **Разнести** панелі **Вид**. Ця команда служить перемикачем режиму рознесення й звичайного відображення складання.

2.9. Створення креслення корпусу за моделлю

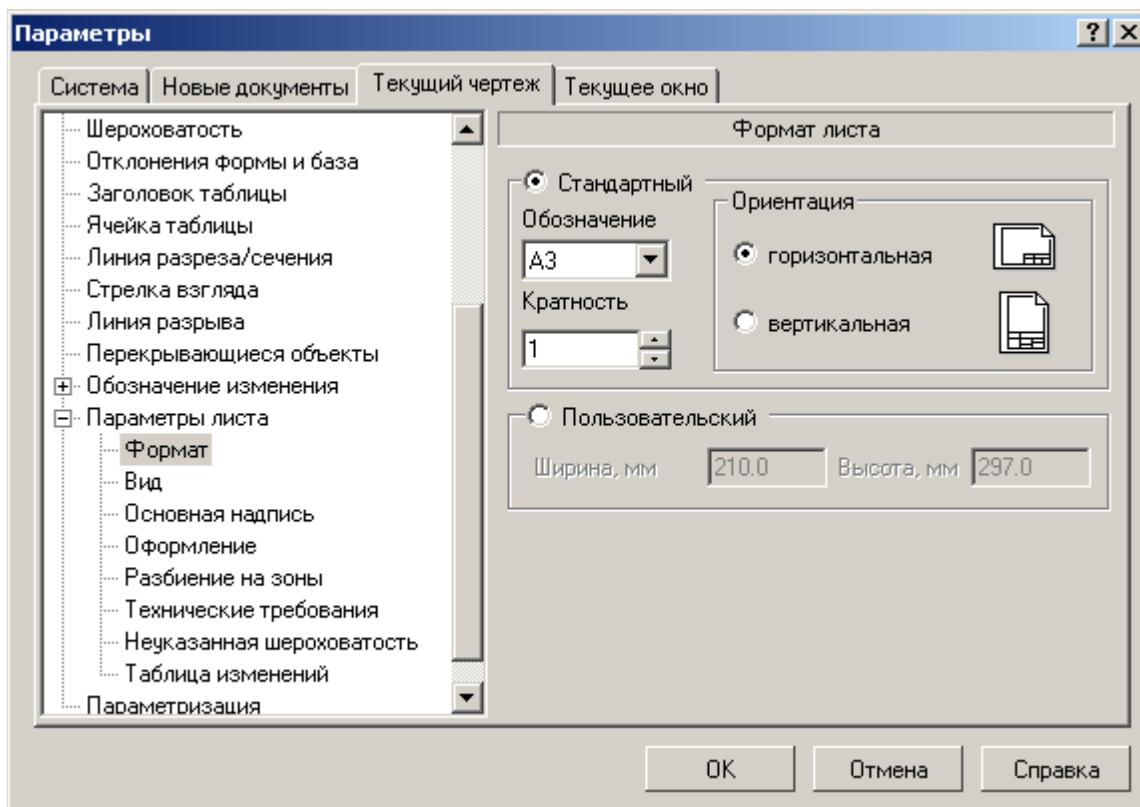
2.9.1. Створення необхідних зображень

1. Розглянемо створення креслення деталі — *Корпус*.

Чертеж детали – конструкторський документ, що містить зображення деталі й інші дані, необхідні для її виготовлення й контролю.

2. Викличте команду меню **Создать – Чертеж**.

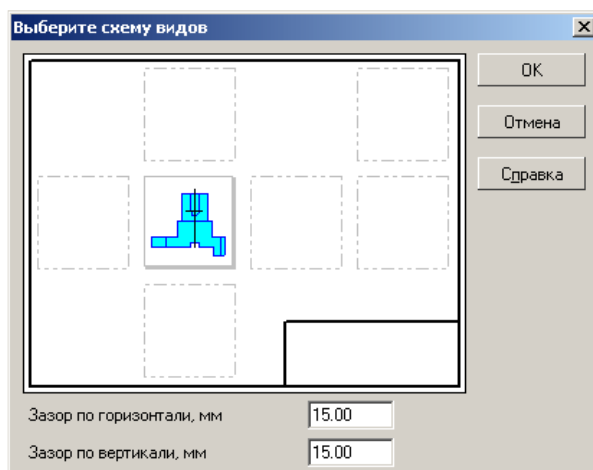
3. Якщо необхідно змінити формат аркуша (рамку з основним написом), виберіть команду меню **Сервис – Параметры**. У діалоговому вікні виберіть у списку пункт **Параметры листа – Формат**. Далі виберіть формат і його розташування й натисніть **ОК**.



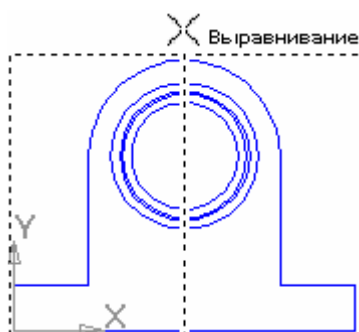
4. На **Инструментальной панели Ассоциативные виды** оберіть команду **Стандартные виды**. Виберіть у діалоговому вікні **Из файла**, якщо модель не відкрита, файл **Корпус**. З'явиться фантомне зображення трьох видів. На панелі властивостей у розділі **Орієнтація головного виду** (на рисунку— **#Спереди**) можна вибрати вид, що буде використовуватися в якості головного (для нашого прикладу залишимо **#Спереди**). Натиснувши кнопку **Схема**, у графічному діалоговому вікні вкажіть, які види необхідно будувати, крім головного. Відключіть все. Виберіть масштаб **2:1**. Натисніть **ОК**. Задайте положення виду на аркуші.



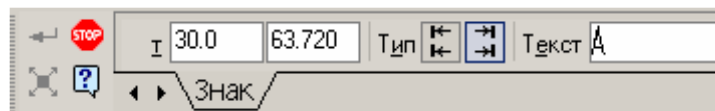
Це зображення буде в нас використано як вид ліворуч.



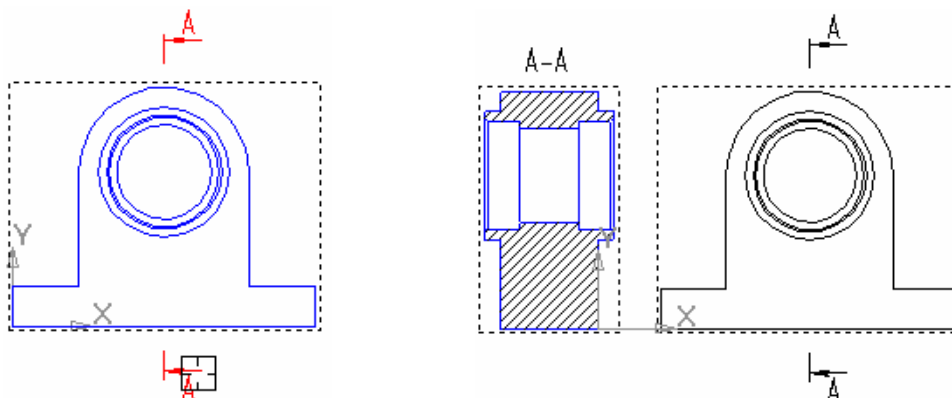
5. Як головне зображення створимо розріз, для чого на **Инструментальной панели Обозначение** виберіть команду **Линия разреза**. Створіть лінію розрізу, використовуючи об'єкту прив'язку **Выравнивание**.



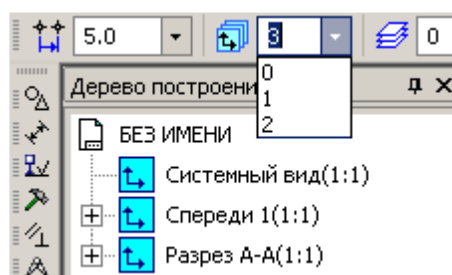
6. На панелі властивостей можна змінити напрямок погляду. Завершіть команду.



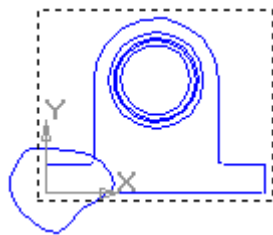
7. Для побудови розрізу, на **Инструментальной панели Ассоциативные виды** виберіть команду **Разрез – Сечение**. Укажіть натисканням миші лінії розрізу (вона виділиться червоним кольором) і задайте положення даному зображенню.



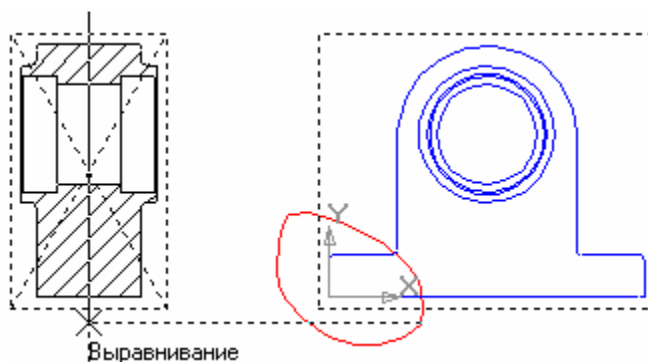
8. Зверніть увагу, на панелі **Текущего состояния** в розділі **Состояние видов** кожному створеному виду відповідає свій номер. Залежно від того, який номер буде обраний, такий вид і буде поточним, і на графічній області зображення підсвічуватиметься синім кольором ліній.



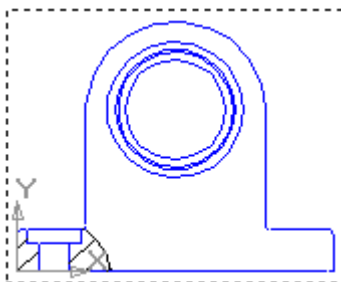
9. У навчальних цілях на виді ліворуч створимо місцевий розріз для показу профілю кріпильних отворів. Для цього виберіть вид ліворуч поточним (номер 1). Створіть замкнуту лінію (наприклад, криву Безье) у потрібній області розрізу.



10. Виберіть на **Инструментальной** **панели Ассоциативные виды** команду **Местный разрез**. Спочатку вкажіть замкнуту криву, що обмежує розріз, потім задайте положення січної площини на головному зображенні на осі симетрії.



11. У результаті одержите таке зображення.



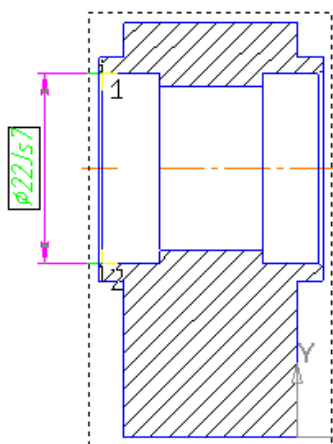
12. Далі добудуйте відсутні лінії (осьові), нанесіть необхідні розміри й всі необхідні позначення. Ці додаткові побудови виконуйте на **поточному** виді!

13. Оскільки січна площина розрізу проходить через площину симетрії деталі, то позначення розрізу не потрібно. Якщо видалити позначення, то вийде й зображення. Тому для того, щоб забрати з креслення позначення розрізу, створіть на **Каждом текущем виде** шар і зробіть його погашеним, натиснувши відповідну кнопку діалогового вікна налаштування

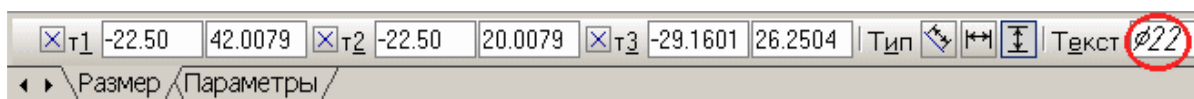
шарів. Після цього перенесіть літерні позначення розрізу з кожного поточного виду на погашений шар, виділивши позначення й вибравши з контекстного меню команду **Изменить слой**.

2.9.2. Приклад нанесення розмірів

1. Виберіть команду **Инструментальной панели Размеры – Линейный размер**. Укажіть першу й другу точки початку ліній, що виносяться. З'явиться фантомне зображення розміру.

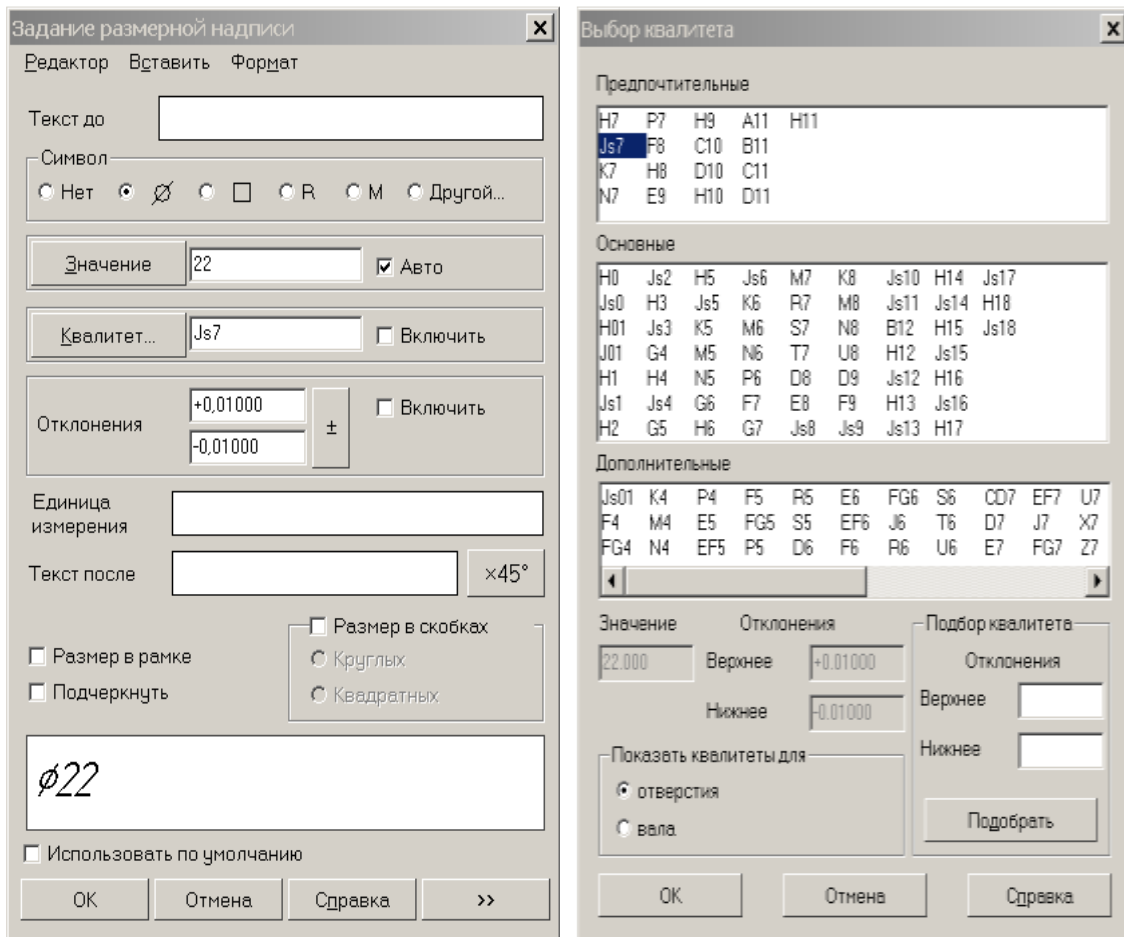


2. Для зміни параметрів розміру (у нашому прикладі – додавання значка діаметра й квалітету) натисніть на панель властивостей у полі **Размерная надпись (Текст)**.



3. У діалоговому вікні, що з'явилося, активізуйте відображення символу діаметра.

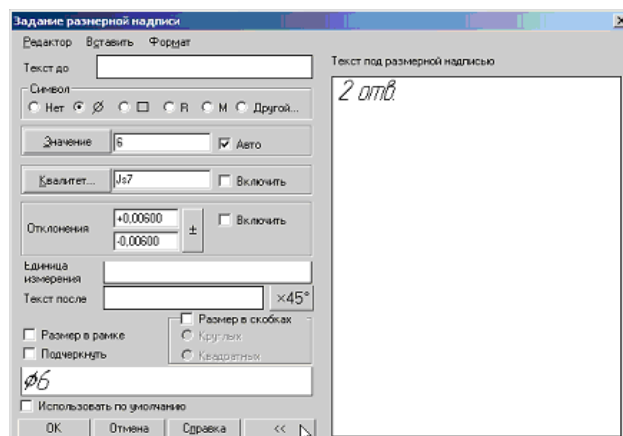
4. Для додавання квалітету до розмірного числа натисніть кнопку **Квалитет**, у діалоговому вікні виберіть потрібний із кращих (у системі отвору), натисніть **ОК**. Задайте положення розмірної лінії й розмірного напису.



5. Аналогічно проставте необхідні розміри на головному зображенні.

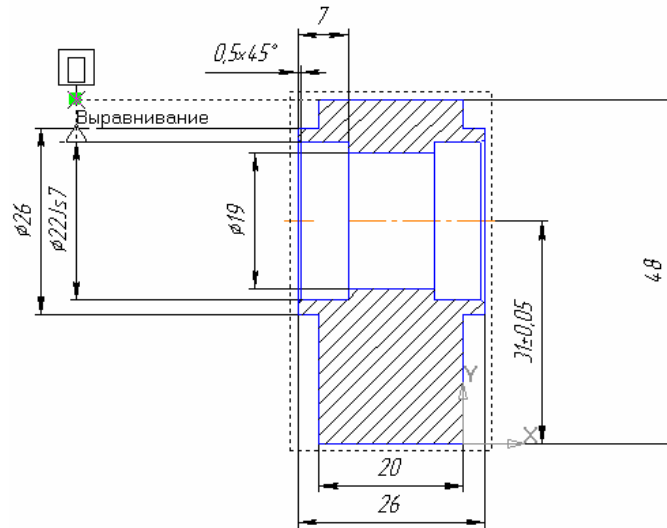
6. Для додавання напису під розмірною лінією у розміру діаметра кріпильних отворів після зазначення початку виносних ліній натисніть на панель властивостей у полі **Размерная надпись**. У діалоговому вікні натисніть кнопку **Картинка**.

Подвійне натискання в полі **Текст под размерной надписью** виводить меню з заданими написами, виберіть із нього потрібний, після чого натисніть **ОК**.



2.9.3. Завдання відхилень форми

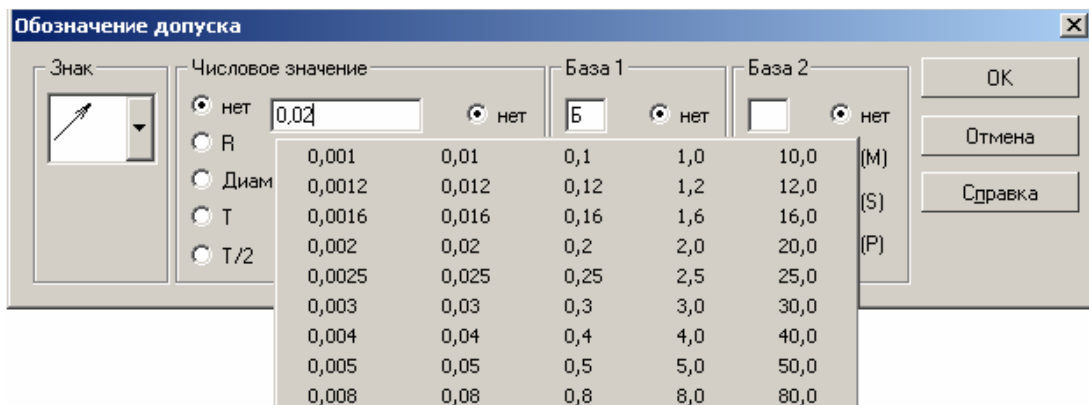
1. Задайте базу й задайте торцеві й радіальні биття на отвори під підшипники. Для цього на **Инструментальной панели Обозначения** виберіть команду **База**. Укажіть виносну лінію діаметра отвору під підшипник, задайте послідовно положення виносної лінії, потім положення самого позначення.



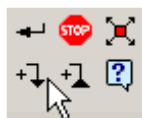
2. Виберіть команду **Допуск форми**. На панелі властивостей натисніть поле **Таблица**.



3. Виберіть **Знак** допуску (биття), у полі **Числовое значение** подвійне натискання виводить панель значень, що рекомендуються. Задайте позначення бази й натисніть **ОК**.

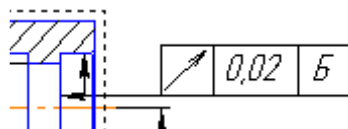


4. Після заповнення таблиці допуску на панелі властивостей натисніть кнопку **Ответвление со стрелкой**.



5. На фантомі рамки з'являться вісім точок, що показують можливі місця виходу відгалужень. Виберіть кожен, укажіть за необхідності точки зламу виносної лінії. Для завершення формування відгалуження відтисніть відповідну кнопку на **Панелі свойств**.

6. Для створення наступного відгалуження знову натисніть відповідну кнопку.



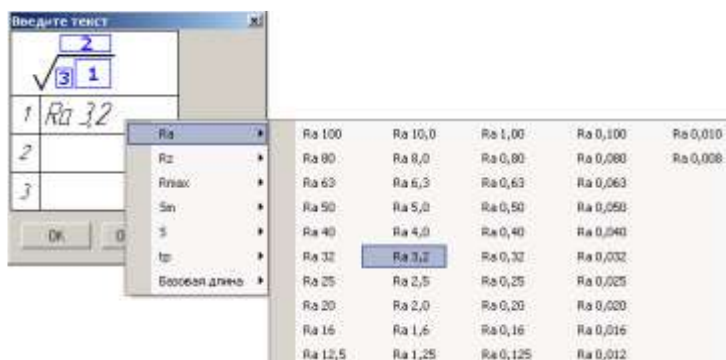
2.9.4. Нанесення позначень шорсткості поверхні

1. Викличте команду **Инструментальной панели Обозначение – Шероховатость**.

2. Укажіть лінію, на яку треба проставити знак позначення шорсткості. На панелі властивостей натисніть поле **Текст**.



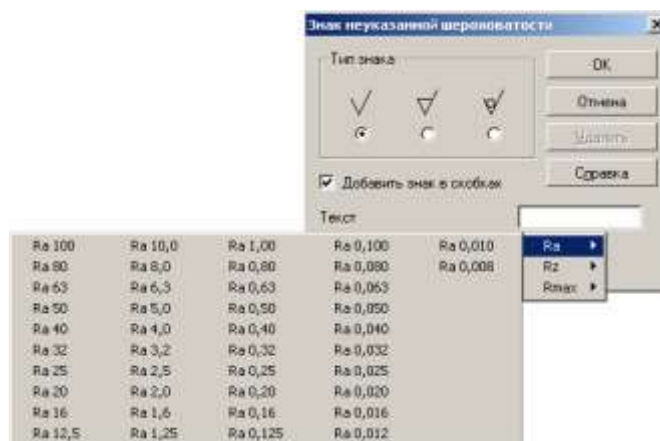
3. У діалоговому вікні, що з'явилося, двічі натисніть у розділі **1**, виберіть параметр **Ra** і необхідне значення, після чого натисніть **ОК**.



4. Для розміщення знака на полицю-виноску виберіть вкладку **Параметры**, у списку **Полка** потрібний варіант, укажіть початок винесення й положення полиці.



5. Для проставляння незазначеної шорсткості виберіть команду меню **Вставка – Неуказанная шероховатость – Ввод**. Виберіть **Тип знака**, за необхідності ввімкніть опцію **Добавить знак в скобках**. Двічі натисніть у полі **Текст** і виберіть із меню, що з'явилося, параметр шорсткості і його значення.



6. Натисніть **ОК**. Параметри незазначеної шорсткості з'являться в правому верхньому куті креслення.

2.9.5. Заповнення основного напису

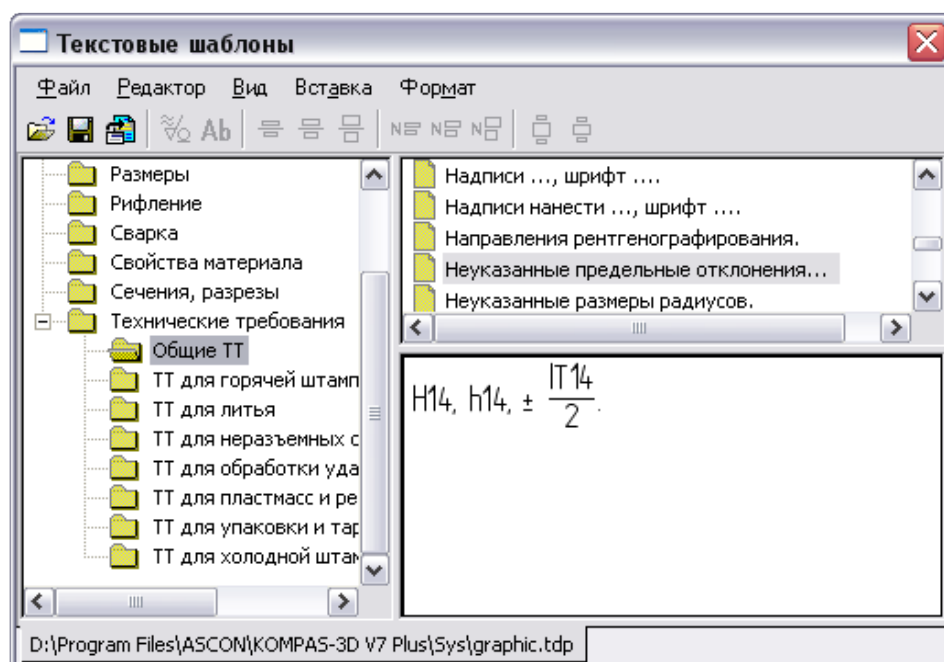
Двічі натисніть основний напис, таким чином перейдете в текстовий режим. Заповніть потрібні графи, після цього на панелі властивостей натисніть кнопку **Создать объект**. (У позначенні креслення XX позначають місце для уведення номера варіанта завдання.)



2.9.6. Введення технічних вимог

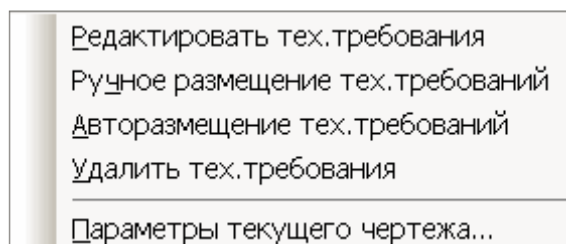
1. Виберіть із меню **Технические требования – Ввод**. У результаті відкривається вікно текстового редактора. Натисніть на кнопку **Вставить текстовый шаблон**.

2. У діалоговому вікні, що з'явилося, виберіть потрібний текст.



3. Якщо потрібний текст не знайдено, то введіть його як у звичайному текстовому редакторі.

4. Після закінчення уведення тексту натисніть кнопку зберегти, і закрийте вікно редактора. За необхідності розмістіть область технічних вимог вручну, для чого натисніть праву кнопку миші на технічних вимогах і виберіть із контекстного меню команду – **Ручное размещение тех. требований**.

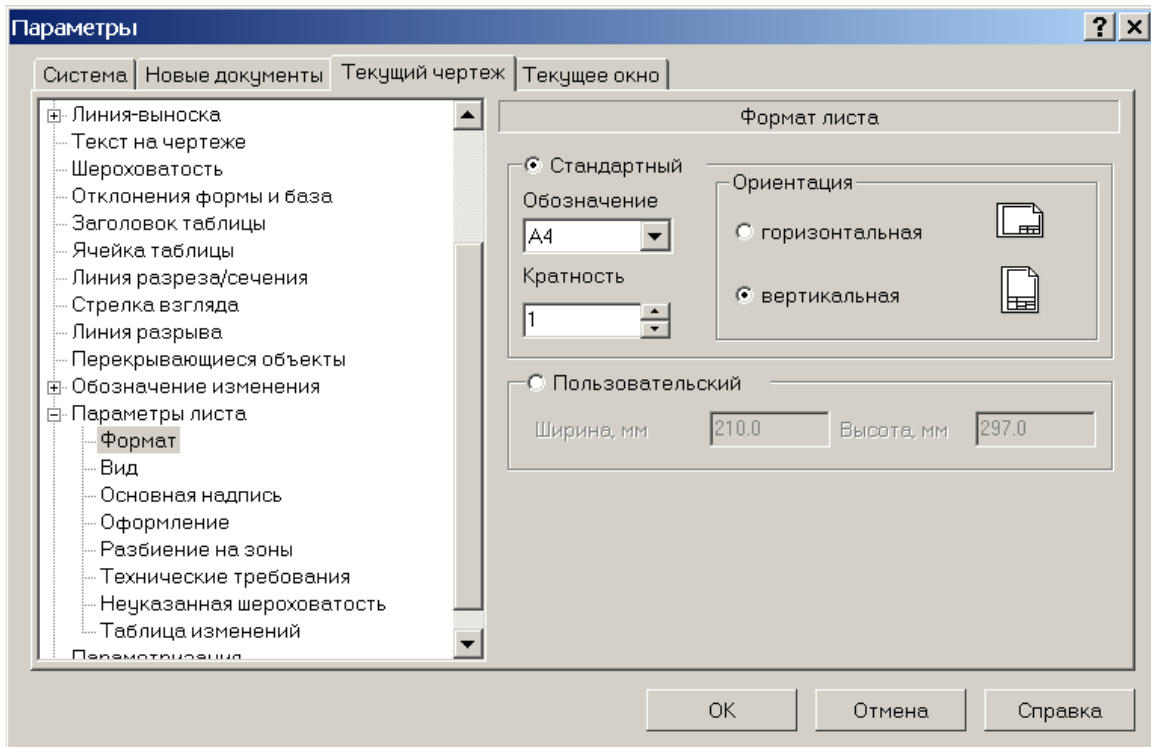


Приклад виконання креслення корпусу див. дод. 1 (приклад 1).

2.10. Створення креслення зубчастого колеса

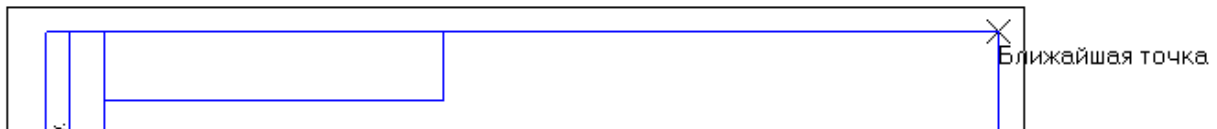
2.10.1. Оформлення аркуша креслення

1. Створіть нове креслення, використовуючи команду **Файл-Создать-Чертеж**. За необхідності змініть формат, використовуючи команду **Сервис-Параметры** й у діалоговому вікні – розділ **Параметры листа – Формат**.

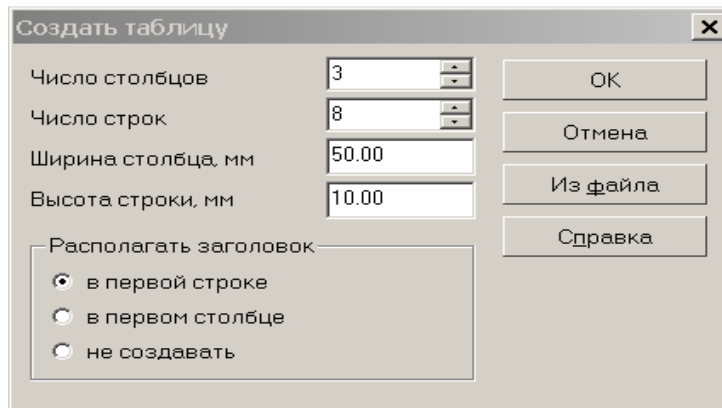


2. Виберіть командну кнопку **Обозначения**, команду **Ввод таблицы**.

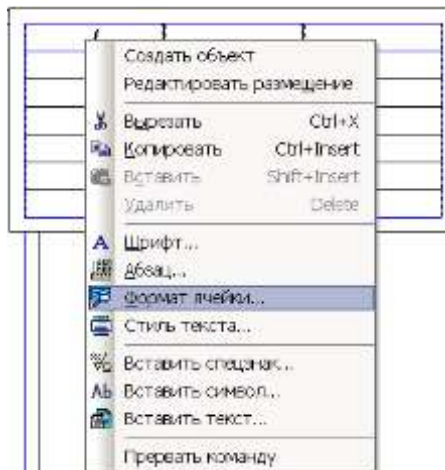
3. Укажіть точку вставлення таблиці, наприклад зручно вказати праву верхню точку рамки креслення.



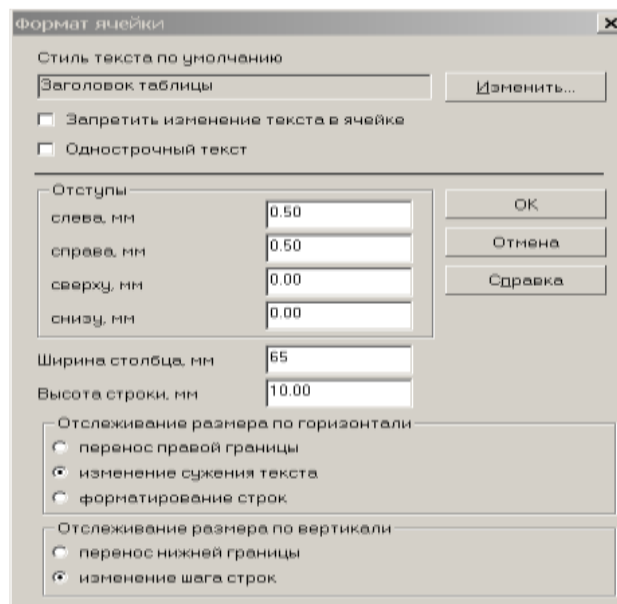
4. Після цього, в діалоговому вікні, що з'явилося, задайте параметри таблиці — кількість стовпців і рядків.



5. Задамо розміри колонок таблиці. Після вставлення таблиці текстовий курсор перебуває в першій комірці, натисніть праву кнопку миші й у контекстному меню виберіть команду **Формат ячейки**.

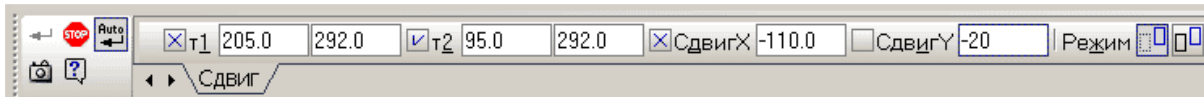


6. Задайте розмір ширини першої колонки — 65 мм.



7. Помістіть курсор у сусідню комірку і аналогічно задайте розміри другої й третьої колонок відповідно 10 і 35 мм. Створіть таблицю, вибравши команду **Создать объект**.

8. Помістимо таблицю в правий верхній кут креслення. Виберіть команду **Сдвиг** командної кнопки **Редактирование**. На панелі властивостей задайте параметри зсуву по **X** і по **Y**.



9. Заповніть таблицю. Для цього, двічі клацніть лівою кнопкою миші на таблиці, у результаті чого ввійдете в режим редагування.

Модуль	<i>m</i>
Число зубьев	<i>z</i>

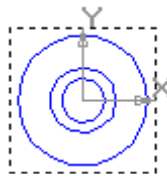
10. За необхідності укажіть вирівнювання тексту в першій колонці по лівому краю, виділивши стовпець і вибравши відповідну команду на панелі властивостей таблиці. У міру заповнення комірок таблиці може з'явитися необхідність у зміні ширини рядків. Це можна зробити й перетаскуючи мишею границю рядка.



2.10.2. Створення зображень

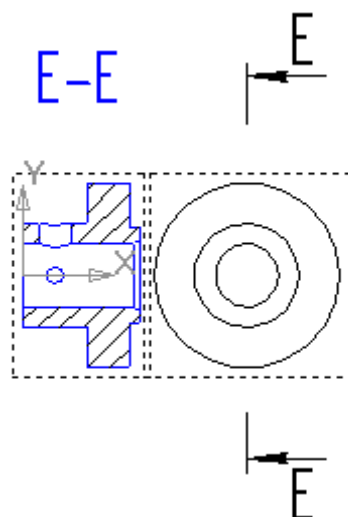
1. На **Инструментальной** панели **Ассоциативные виды** виберіть команду **Стандартные виды**. Виберіть у діалоговому

вікні **Из файла**, якщо модель не відкрита, файл **Зубчасте колесо**. З'явиться фантомне зображення трьох видів. На панелі властивостей у розділі **Ориентация главного вида** (на рисунку— **#Спереди**) можна вибрати вид, що буде використовуватися в якості головного (для нашого прикладу залишимо **Ліворуч**). Натиснувши кнопку **Схема**, у графічному діалоговому вікні вкажіть, які види необхідно будувати, крім головного. Відключите все. Виберіть масштаб **2:1**. Натисніть **ОК**. Задайте положення виду на аркуші.



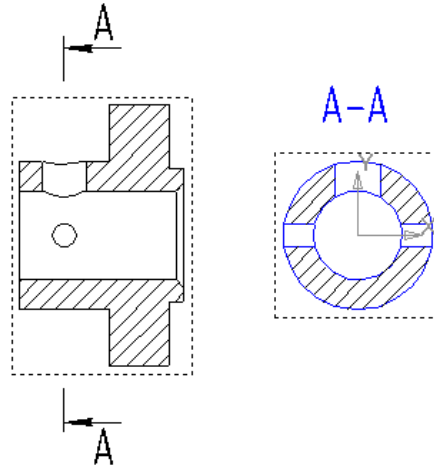
2. Як головне зображення створимо розріз, для чого на **Инструментальной панели Обозначение** виберіть команду **Линия разреза**. Створіть лінію розрізу по вертикальній осі, використовуючи об'єктну прив'язку **Выравнивание**. Літерне позначення задайте, наприклад **Е**.

3. Для побудови розрізу на **Инструментальной панели Ассоциативные виды** виберіть команду **Разрез – Сечение**. Укажіть натисканням миші на лінію розрізу (вона виділиться червоним кольором) і задайте положення даного зображення.

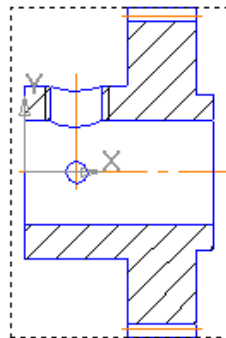


4. Вихідне зображення виду **Ліворуч** можна винести за межі аркуша. Як і при побудові креслення **Корпуса** (див. вище), перенесіть на погашений шар позначення **Е-Е**.

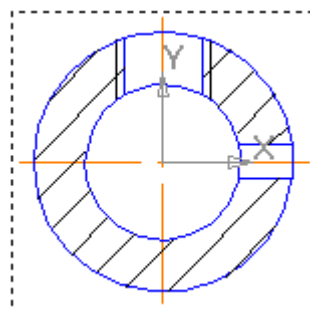
5. Побудуйте лінію розрізу, що проходить через осі кріпильних отворів. Виберіть команду **Разрез – Сечение**. Укажіть натисканням миші на лінію розрізу (вона виділиться червоним кольором) і задайте положення даного зображення.



6. Зробіть головне зображення поточним, добудуйте необхідні лінії (умовне зображення зубчастого вінця, осьові лінії, лінії різьблення).



7. Аналогічно зробіть необхідні побудови на розрізі **А-А**.



8. Проставте необхідні розміри, знаки шорсткості, допуски на торцеві биття, технічні вимоги, заповніть основний напис і таблицю.

9. Приклад виконання креслення зубчастого колеса див. у дод.1 (приклад 2).

2.11. Створення складального креслення й специфікації

2.11.1. Створення складального креслення по моделі

1. Розглянемо створення складального креслення.

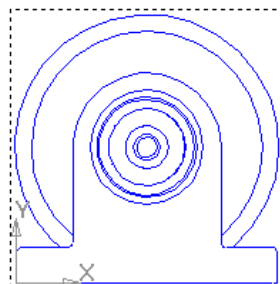
Сборочный чертеж – конструкторський документ, що містить зображення складальної одиниці й інші дані, необхідні для її складання й контролю.

2. Викличте команду меню **Создать – Чертеж**. За необхідності змініть формат на А3 горизонтального розташування.

3. На **Инструментальной панели Ассоциативные виды** виберіть команду **Стандартные виды**. Виберіть у діалоговому вікні **Из файла**, якщо модель не відкрита, файл **Сборка**. З'явиться фантомне зображення трьох видів. На панелі властивостей у розділі **Ориентация главного вида** (на рисунку— **#Спереди**) можна вибрати вид, що буде використовуватися в якості головного (для нашого прикладу залишимо **Попереду**). Натиснувши кнопку **Схема**, у графічному діалоговому вікні вкажіть, які види необхідно будувати, крім головного. Відключіть усе. Натисніть **ОК**. Задайте положення виду на аркуші.

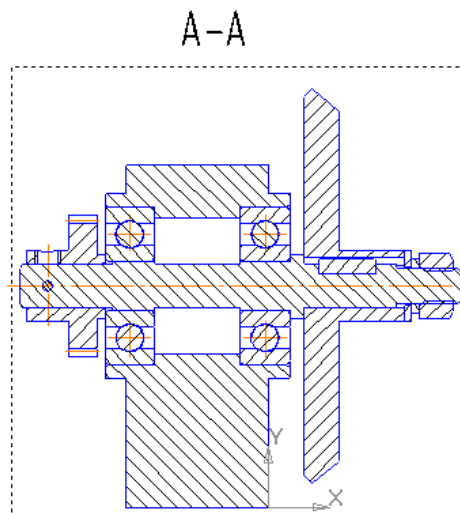


Це зображення буде в нас використано як вид ліворуч.



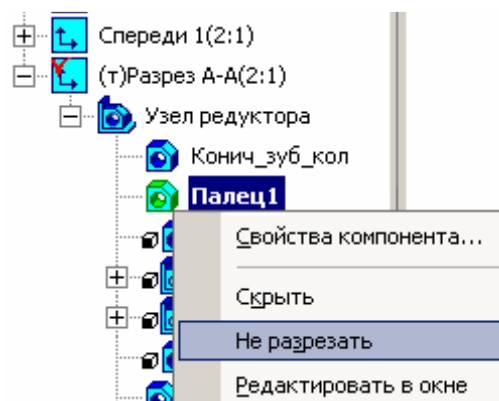
4. Як головне зображення створимо розріз, для чого на **Інструментальній панелі Обозначение** виберіть команду **Линия разреза**. Створіть лінію розрізу, використовуючи об'єктну прив'язку **Выравнивание**, що проходить по осі симетрії зображення.

5. Для побудови розрізу **Інструментальній панелі Ассоциативные виды**, виберіть команду **Разрез – Сечение**. Укажіть натисканням миші на лінію розрізу (вона виділиться червоним кольором) і задайте положення даному зображенню.



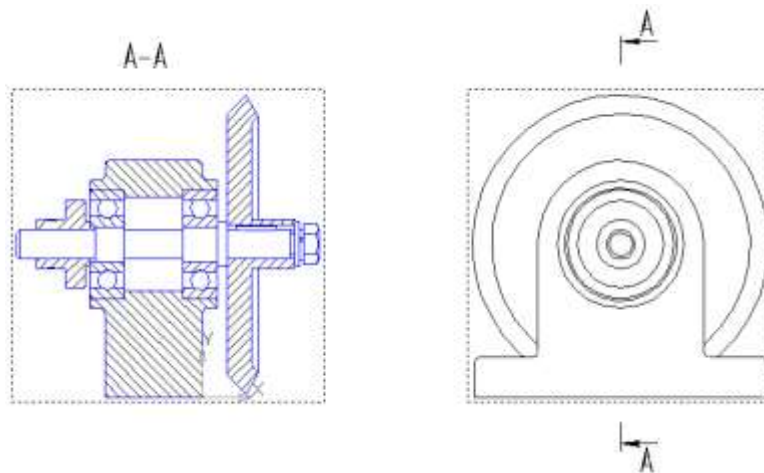
Програма розріже всі елементи, що потрапили в січну площину. Тепер необхідно скоригувати отримане зображення.

6. Якщо немає відображення дерева побудови, то натисніть праву кнопку миші на графічній області екрана й виберіть команду **Дерево построения**. Розкрийте вміст розділу зображення **Разрез А-А**, виберіть деталь, що не треба розрізати, натисніть праву кнопку миші на імені цієї деталі й з контекстного меню виберіть команду **Не разрезать**.

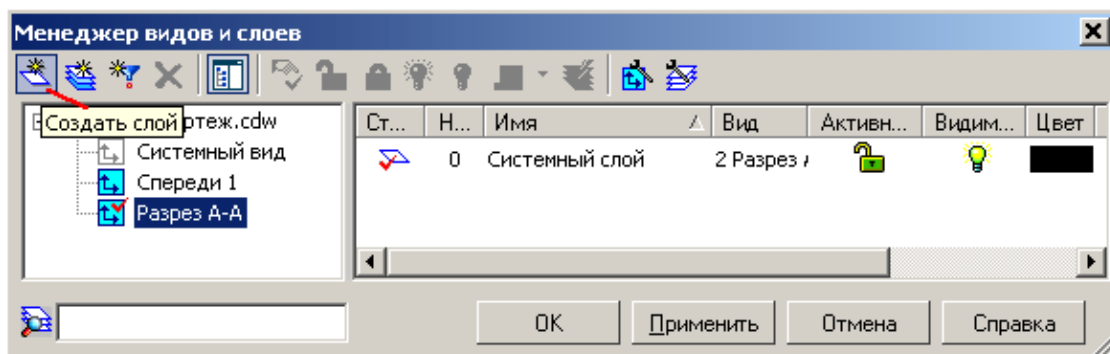


У результаті у вас повинні бути нерозрізаними вал, штифт, шпонка, у підшипників – кульки, що потрапили в січну площину. Після цього перешикуйте креслення, натиснувши на кнопку **Перестроить**.

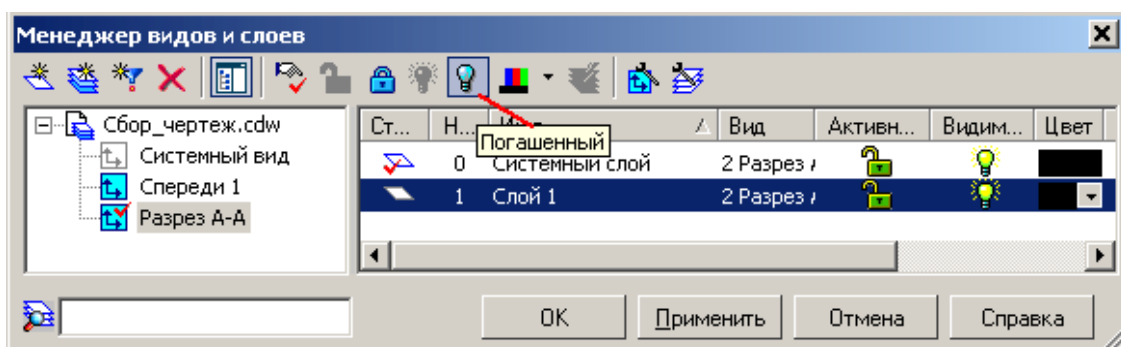
Далі необхідно показати за допомогою місцевих розрізів кріплення деталей з валом за допомогою штифтів і шпонки.



7. Виберіть команду **Состояние слоев** і у вікні, що з'явилося, **Менеджер видов и слоев**, створіть новий шар, натиснувши відповідну кнопку.

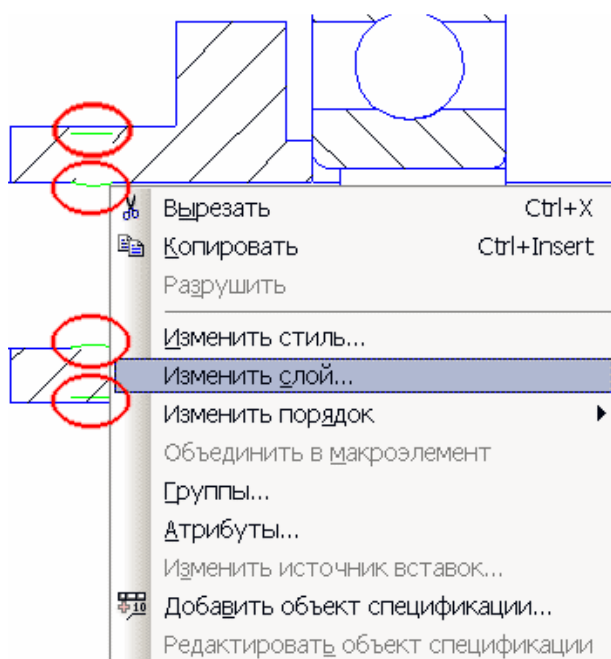


Виберіть стан видимості даного шару – **Погашенный**, натиснувши відповідну кнопку.



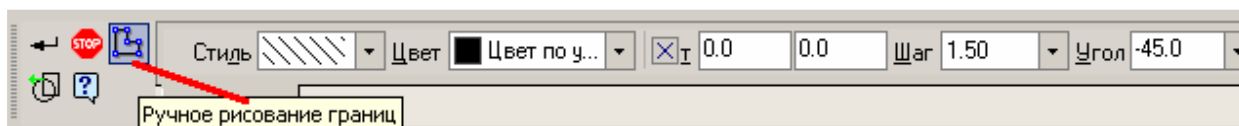
Далі можливі два варіанти: дорисовуємо розріз вручну або використовуємо команду побудови місцевого розрізу. Розглянемо обидва варіанти.

8. Для першого, виділіть фрагменти зображення вала, зазначені нижче на рисунку, натискаючи мишу, при натиснутій клавіші **Shift**. Натисніть, після виділення праву кнопку миші на виділеному елементі й з контекстного меню виберіть команду **Изменить слой**. У діалоговому вікні, що з'явилося, виділіть **Слой 1** і натисніть **ОК**.

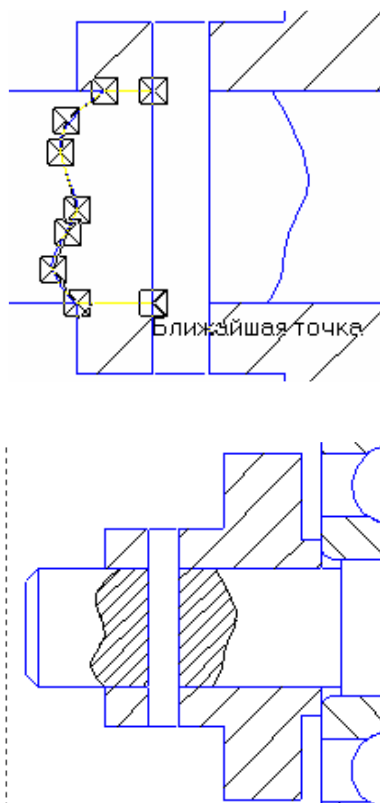
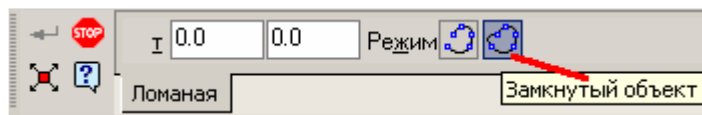


У результаті виділені елементи стануть невидимими. Після цього дорисуйте лінії зображення штифтів.

9. Для заштриховування ділянок вала створіть хвилясті лінії обриву (можна скористатися командою **Кривая Безье**). Виберіть команду **Штриховка**. Виберіть режим **Ручного рисования границ**.

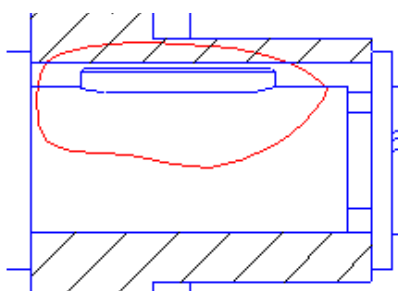


На панелі властивостей виберіть режим побудови з **Замкнутого объекта**. Обведіть, використовуючи об'єктну прив'язку, область штрихування й створіть об'єкт.

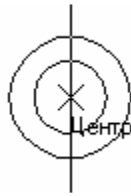


10. Другий варіант розглянемо на прикладі побудови місцевого розрізу кріплення конічного зубчастого колеса з валом за допомогою шпонки.

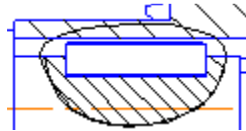
11. Обведіть область місцевого розрізу замкнутої кривої (наприклад, використовуючи команду **Кривая Безье** і наприкінці виконання команди побудови натисніть кнопку – **Замкнутая**).



12. Виберіть на **Инструментальной** панели **Ассоциативные виды** команду **Местный разрез**. Спочатку вкажіть замкнуту криву, що обмежує розріз, потім задайте положення січної площини на виді ліворуч на осі симетрії, прив'язавши курсор до центра кола (об'єктна прив'язка – **Центр**).

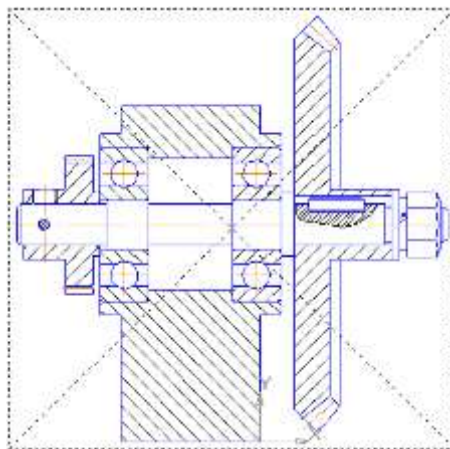


У **Дереве построения** в розділі **Местный разрез** виберіть шпонку й по правій кнопці в контекстному меню команду – **Не разрезать**. У результаті одержимо зображення.



Крива, що обмежує область розрізу, у такому виді нам не потрібна, тому виділіть її й перенесіть на **Слой 1** (див. п. 6). «Правильну» лінію обриву створіть заново, скориставшись тією самою командою – **Кривая Безье** (стиль лінії – **Тонкая**).

13. Дорисуйте необхідні осьові лінії й лінії умовного зображення зубчастого вінця циліндричного колеса.

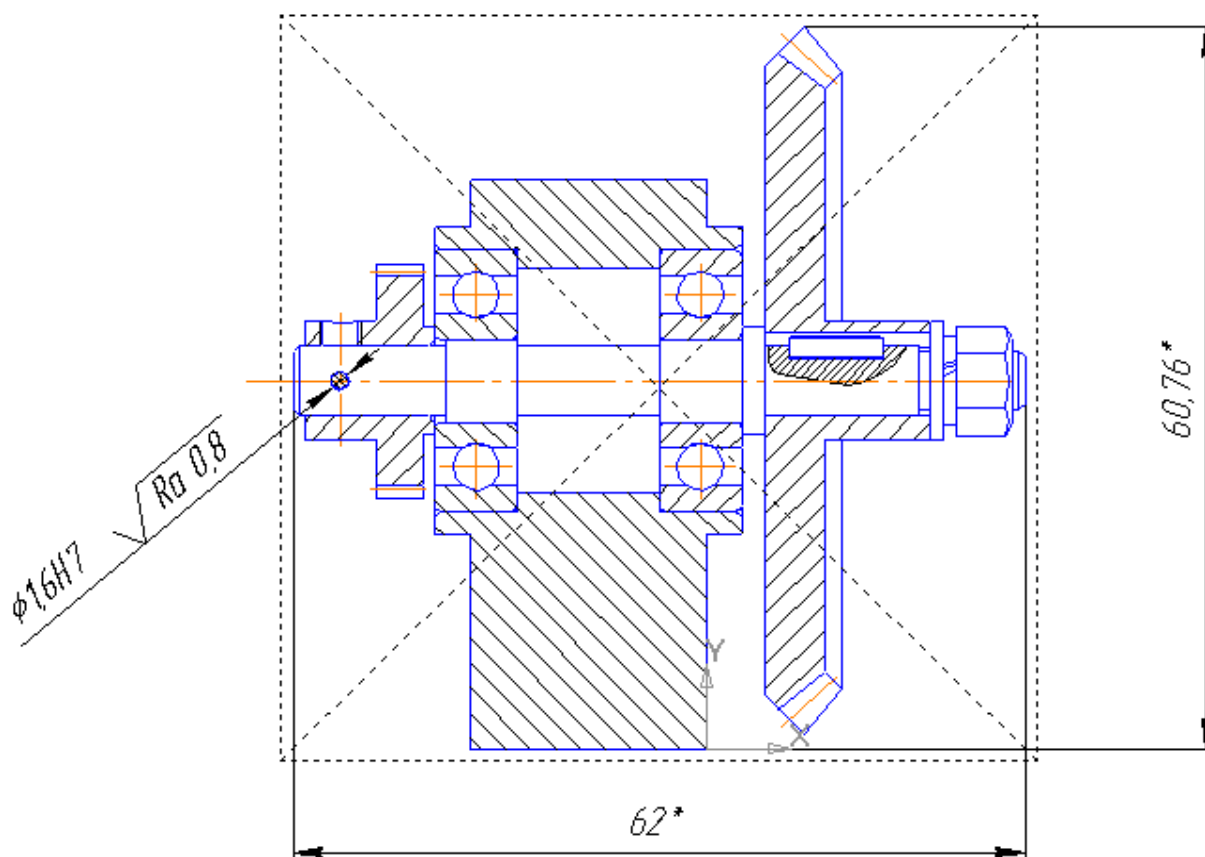


14. На складальному кресленні можуть бути проставлені довідкові (габаритні), встановлювальні й виконавчі розміри.

Установочные – це розміри, що задають положення одного елемента складання відносно іншого.

Исполнительные – розміри елементів, які з'являються (утворюються) у процесі складальних операцій.

У нашому прикладі в якості встановлювальних необхідно проставити розміри на штифтові отвори, що задають параметри цих отворів. До довідкових розмірів нанесіть габаритні.



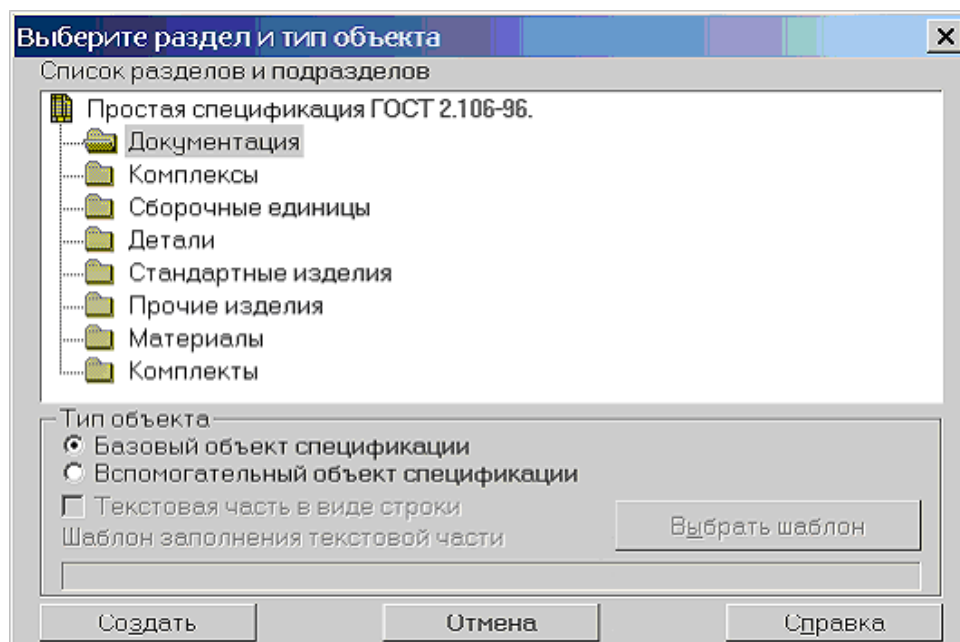
15. На виді ліворуч для нанесення довідкових приєднувальних розмірів отворів виконайте місцевий розріз через приєднувальний отвір у корпусі.

16. Заповніть основний напис, активізувавши його поля подвійним натисканням миші.

2.11.2. Створення специфікації

1. ДЕРЖСТАНДАРТ 2.108-68 установлює форму й порядок заповнення специфікації конструкторських документів на виробі. **Специфікацією** називається таблиця, що містить перелік всіх складових частин, що стосуються у даний виріб, що специфікується, а також конструкторські документи, що відносяться до цього виробу й його складових частин, що не специфікуються.

2. Викличте команду **Создать – Спецификацию**. На **Инструментальной панели Спецификация** виберіть команду **Добавить раздел**. З діалогового вікна виберіть розділ **Документация**.



3. Заповніть у рядку, що з'явився, графі **Формат**, **Означення**, **Наименование** й **Количество**.

<i>Формат</i>	<i>Дет.</i>	<i>Поз.</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
				<i>Документация</i>		
<i>А3</i>			<i>МТ4.2000ХХ.101СБ</i>	<i>Сборочный чертеж</i>	<i>1</i>	

4. Знову виберіть команду **Добавить раздел**. З діалогового вікна виберіть розділ **Детали**.

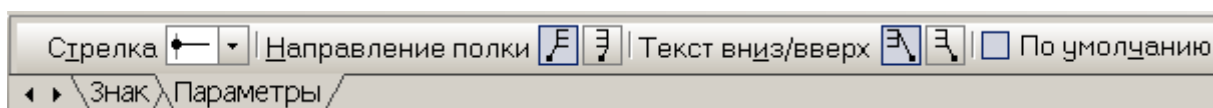
5. У графі **Наименование** указують найменування виробів відповідно до основного напису на основних конструкторських документах цих виробів. У найменуваннях, що складаються з декількох слів, на першому місці поміщають іменник, наприклад **Колесо зубчатое**.

Заповніть для кожної деталі необхідні графі, у тому числі графові позиції (Поз.).

6. Аналогічно створіть розділ **Стандартные изделия**. Необхідно пам'ятати, що заповнення цього розділу відбувається за певними правилами. У графі **Наименование** указують найменування й позначення виробів у відповідності зі стандартом на ці вироби в такому порядку: за державним, за республіканським, за галузевим. У межах кожної категорії стандартів запис ведуть за групами виробів, об'єднаних за їхнім функціональним призначенням (підшипники, кріпильні вироби, електротехнічні вироби й т. п.). У межах кожної групи — за абеткою найменувань виробів, у межах кожного найменування — у порядку зростання позначень стандартів, а в межах кожного стандарту — у порядку зростання основних параметрів або розмірів виробу.

7. Заповніть основний напис специфікації.

8. Для нанесення позицій на кресленні виберіть на **Инструментальной панели Обозначения** команду **Обозначение позиций**. Укажіть натисканням миші початкову точку лінії винесення, відведіть курсор на вільне поле креслення й задайте, також натисканням миші, точку положення полочки. За необхідності можна змінити параметри лінії винесення, полочки, використавши панель властивостей.



9. Номер позиції виробу на кресленні повинен відповідати номеру позиції цього виробу в специфікації.

10. Після налаштувань натисніть кнопку **Создать объект**.

Приклад виконання креслення вала див. у дод. 1 (приклад 3). Приклади виконання складального креслення і специфікації див. у дод. 1 (приклад 4, 5).

Дод. 2 містить приклад виконання розрахункової частини курсової роботи: постановку та математичне формулювання задачі, алгоритм і його опис, текст програми, аналіз отриманих результатів і висновки за результатами роботи.

ВИСНОВКИ

В умовах ринку САПР, що динамічно розвивається знання основ тривимірного моделювання, параметризації, створення креслень в САД-системі є необхідним для інженера-конструктора.

У будь-якій проектно-конструкторській організації, на будь-якому підприємстві й вищому навчальному закладі останніми роками велика увага приділяється підготовці розрахунків, креслень і документації саме з використанням персональних комп'ютерів.

Технічний фахівець, крім знань у своїй сфері, повинен мати навички автоматизованого проектування, легко, точно, а головне — швидко вирішувати поставлені завдання в графічному редакторі або розрахунковій системі.

Дуже важливим моментом, що впливає на якість роботи інженера-проектувальника, є вибір середовища моделювання.

Серед безлічі інженерних систем для тривимірного моделювання, доступних сьогодні, насправді небагато таких, які при зручності інтерфейсу, легкості й простоті в освоєнні, мали б широкий функціонал і при цьому ще й доступну ціну. Однією з таких систем є Компас-3D.

Бібліографічний список

1. Бочков, А.Л. Трехмерное моделирование в системе Компас-3D [Текст]: практ. руководство / А.Л. Бочков. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 84 с.
2. Андреев, Л.Н. Системы автоматизированного проектирования [Текст]: учеб. пособие / Л.Н. Андреев, Д.Е. Бортяков, С.В. Мещеряков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – 76 с.
3. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е.С. Вентцель. – 2-е изд. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
4. Гилл, Ф. Практическая оптимизация [Текст]: / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт; пер. с англ. В.Ю. Лебедева. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
5. Реклейтис Г. Оптимизация в технике [Текст]: в 2 кн. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел; пер. с англ. В.Я. Алтаева, В.И. Моторина.– М.: Мир, 1986.
6. Кидрук, М.И. Компас-3D V10 на 100 % [Текст] / М.И. Кидрук. – СПб.: ПИТЕР, 2009. – 546 с.
7. Вагоны: проектирование, устройство и методы испытаний [Текст] / под ред. Л.Д. Кузьмича. – М.: Машиностроение, 1978. – 376 с.
8. Романычева, И.Т. Инженерная и компьютерная графика [Текст] / И.Т. Романычева, Т.Ю. Соколова, Г.Ф. Шандурина. – 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 2001. – 587 с.
9. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования [Текст]: учеб. для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 448 с.
10. Курицына, В.В. Системы автоматизированного проектирования [Текст]: учебное пособие / В.В. Курицына. – М.: МАТИ, 2006. – 207 с.
11. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: компьютерное обеспечение индустриального бизнеса [Текст] / под общ. ред. А.Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – 728 с.

12.Болотін, М.М. Автоматизация производственных процессов при изготовлении и ремонте вагонов [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / М.М. Болотін, Л.Л. Осинівський. – М.: Транспорт, 1989. –205 с.

13.Федоренко, В.А. Справочник по машиностроительному черчению [Текст] / В.А. Федоренко, А.И. Шошин. – Л.: Машиностроение, 1982. – 416 с.

14.Малюх, В.Н. Введение в современный САПР [Текст]: курс лекций / В.Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 188 с.

ДОДАТОК 1

ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕНЬ, СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ, СПЕЦИФІКАЦІЇ

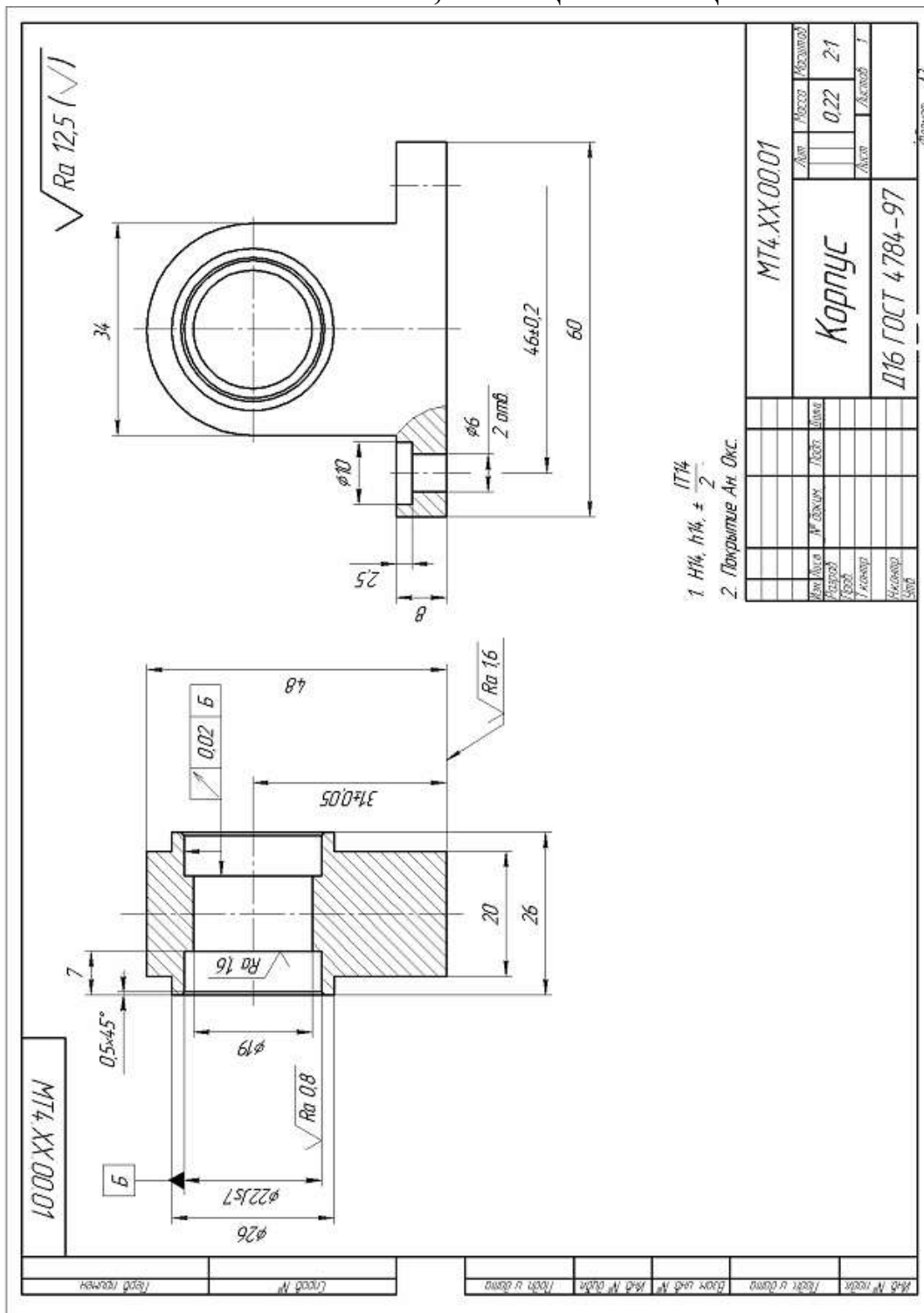


Рис. Д.1.1. Приклад 1. Креслення корпусу

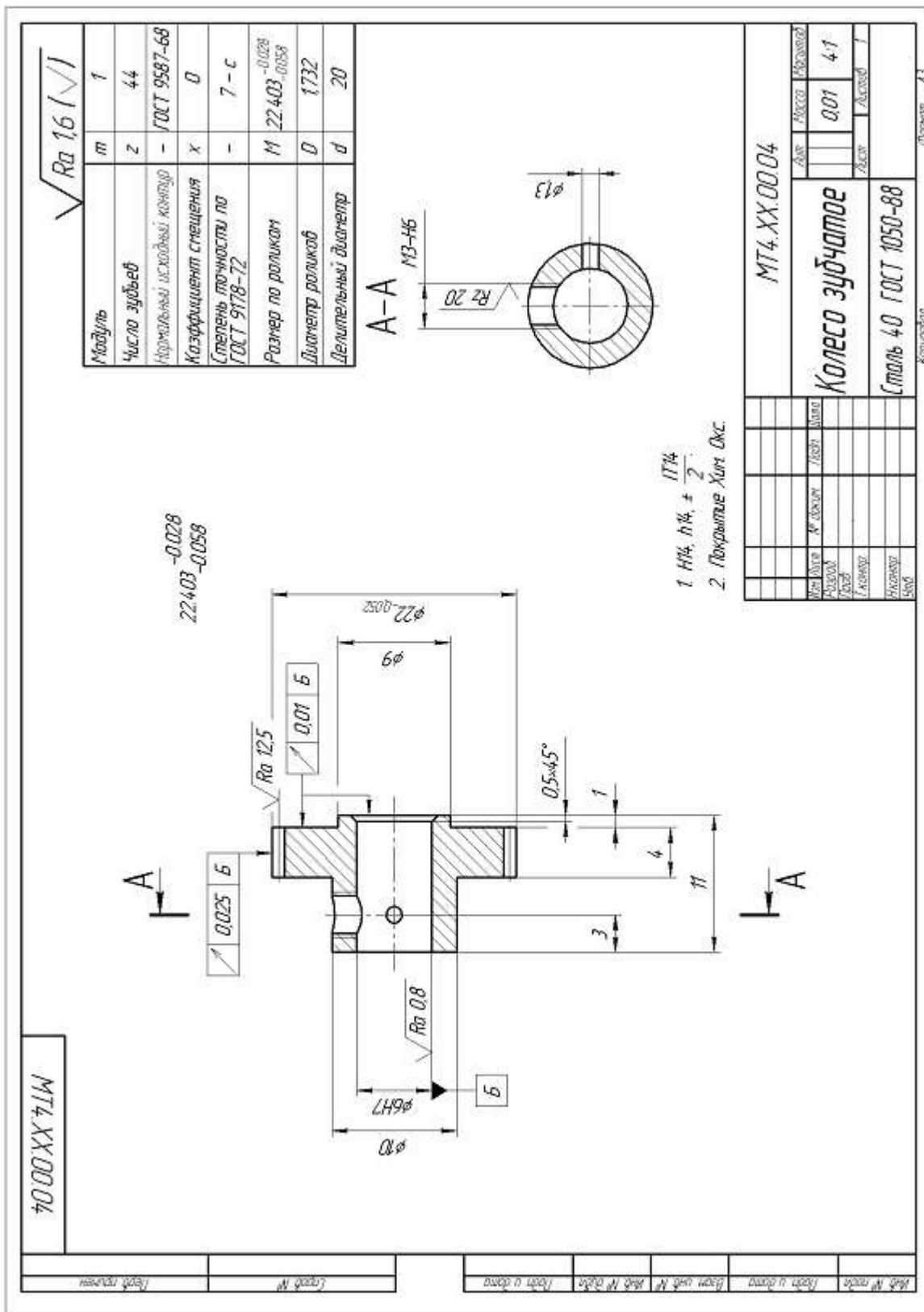


Рис. Д.1.2. Приклад 2. Кресления зубчатого колеса

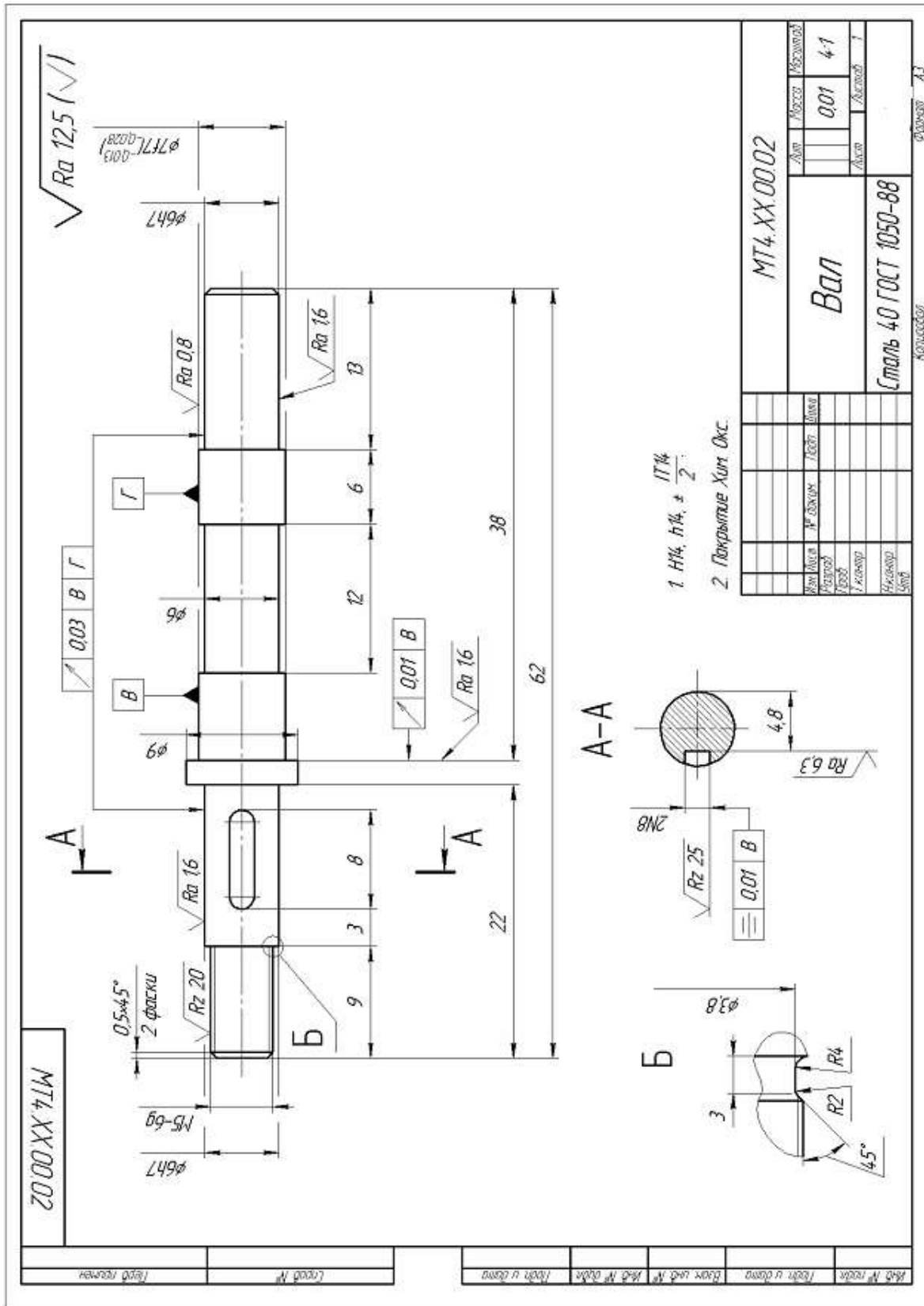


Рис. Д.1.3. Приклад 3. Кресления вала

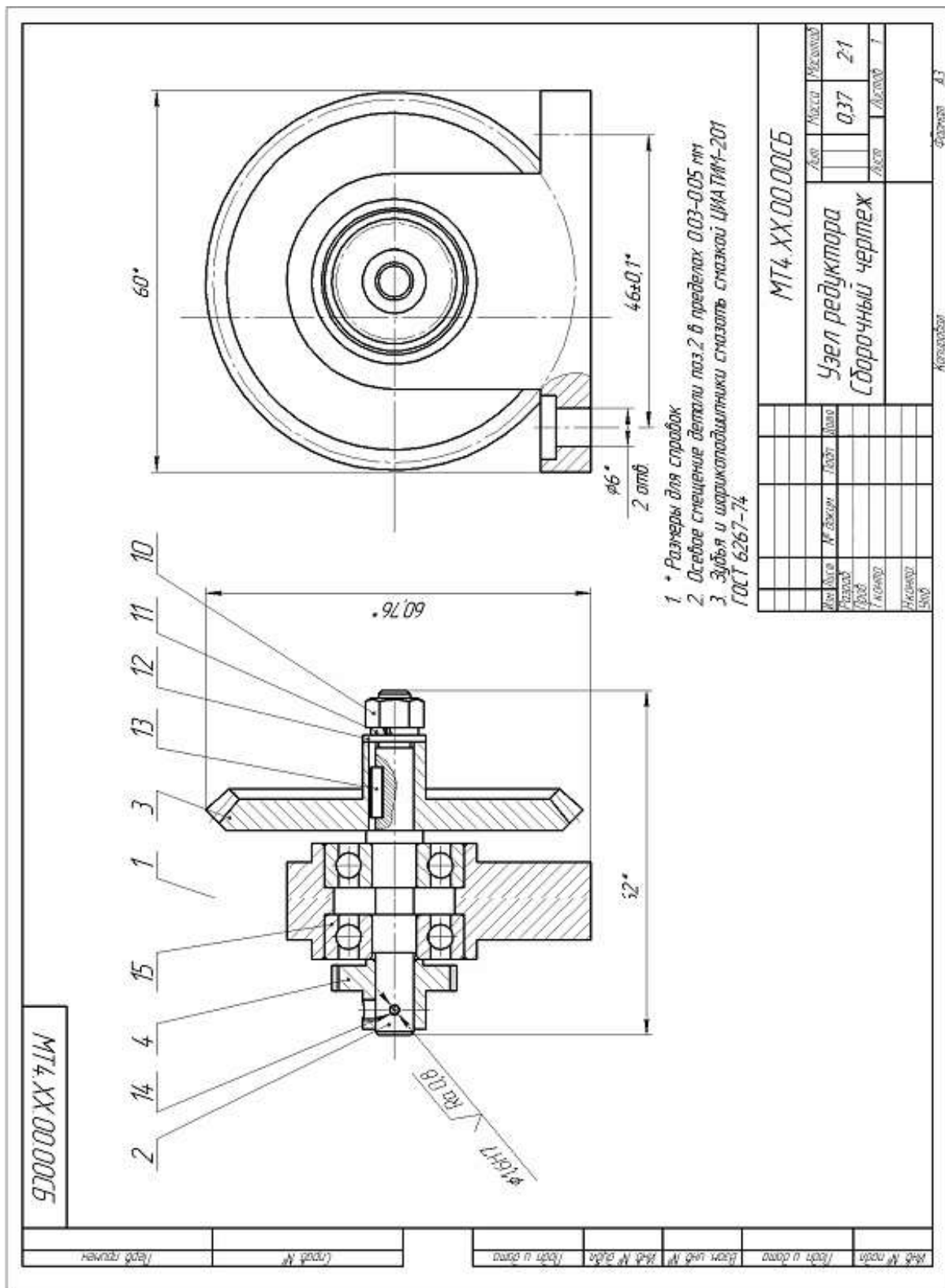


Рис. Д.1.4. Приклад 4. Складальне креслення

Формат	Зона	Год	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
<i>Документация</i>						
А)			MT4.XX.00.00СБ	Сборочный чертеж	1	
<i>Детали</i>						
А)	1		MT4.XX.00.01	Корпус	1	
А)	2		MT4.XX.00.02	Вал	1	
А)	3		MT4.XX.00.03	Колесо зубчатое коническое	1	
А)	4		MT4.XX.00.04	Колесо зубчатое	1	
<i>Стандартные изделия</i>						
		10		Гайка М5-6Н5.019 ГОСТ 5915-70	1	
		11		Шайба 5Н65Г 029 ГОСТ 6402-70	1	
		12		Шайба 5.0105 ГОСТ 11371-78	1	
		13		Шпонка 2x2x8 ГОСТ 23360-78	1	
		14		Штифт 16x10 ГОСТ 3128-70	1	
		15		Подшипник 27 ГОСТ 8338-75	2	
			MT4.XX.00.00			
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата		
Разработ					Лист	Листов
Проф						1
Исполн						
Утв						
				<i>Узел редуктора</i>		
<i>Копировать</i>				<i>Формат А4</i>		

Рис. Д.1.5. Приклад 5. Спецификация

ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

У розрахунковій частині курсової роботи необхідно обрати числовий метод, розробити алгоритм, скласти та налагодити відповідну програму алгоритмічною мовою високого рівня, отримати результати та зробити висновки.

1. Постановка та математичне формулювання задачі

При проектуванні мийних машин-автоматів необхідно правильно вибрати параметри гідросистеми подачі рідини (рідина в цих автоматах є інструментом, гідросистема — приводом подачі, а механізм обертання колектора — приводом головного руху).

Розрахунок основних параметрів гідросистеми виконується в такій послідовності.

Задаємося кількістю сопел n і їхнім діаметром d_c .
Визначаємо загальну площу сопел:

$$f_c = n \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}, \quad (\text{Д.2.1})$$

Визначаємо подачу насоса

$$Q_H = (1,1 \div 1,3) \cdot \mu \cdot f_c \sqrt{\frac{2 \cdot p_a}{\rho}}, \quad (\text{Д.2.2})$$

де $p_{ж}$ – тиск рідини перед соплом, Па;
 ρ – щільність рідини, кг/м³;
 μ – коефіцієнт витрат, $\mu = 0,4 \div 0,9$.

Знаходимо діаметри всмоктувального і нагнітального трубопроводів:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_H}{\pi \cdot v_T}}, \quad (\text{Д.2.3})$$

де v_T – швидкість перебігу рідини в трубопроводі, м/с.

Визначаємо втрати тиску на всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах:

$$\Delta p = \rho \frac{v_T^2}{2} \sum_{i=1}^k \xi_i, \quad (\text{Д.2.4})$$

де ξ_i – коефіцієнти, що враховують місцеві опори.

Знаходимо тиск, який повинен розвивати насос:

$$p_H = p \pm \rho \cdot g \cdot H_H + \Delta p_H + \Delta p_B, \quad (\text{Д.2.5})$$

де p – тиск рідини перед соплом, Па;
 g – прискорення сили тяжіння, м/с²;
 H_H – висота напору, м;
 Δp_H , Δp_B – втрати тиску відповідно в нагнітальному і всмоктувальному трубопроводах, Па.

Визначаємо потужність електродвигуна насоса:

$$P = k \frac{P_H \cdot Q_H}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_i}, \quad (\text{Д.2.6})$$

де k – коефіцієнт запасу на випадок перевантаження двигуна (для менш потужних береться більший запас), $k = 1,05 \div 1,1$;

P_H – тиск, який повинний створювати насос (вентилятор), Па;

Q_H – подача насоса (вентилятора), м³/с;

η – повний ККД насоса (вентилятора). Приймається для поршневих насосів 0,6÷0,9; відцентрових 0,75÷0,92; шестерінчастих і пластинчастих 0,8; вентиляторів 0,4÷0,6;

η_i – ККД передачі: зубчатої 0,95÷0,96, черв'ячної 0,7÷0,9, ланцюгової 0,94÷0,96, пасової 0,94÷0,96, фрикційної 0,90÷0,95.

2. Алгоритм і його опис

Складемо таблицю ідентифікаторів (табл. Д.2.1).

Таблиця Д.2.1

Таблиця ідентифікаторів

Назва ідентифікатора	Вміст ідентифікатора	Тип ідентифікатора
	Вхідні дані	
p	Щільність рідини, кг/м³	Single
g	Прискорення вільного падіння, м/с²	Single
Pi	Стала	Single
n	Кількість сопел, шт.	Integer
ds	Діаметер сопла, м	Single
k	Коефіцієнт запасу на випадок перевантаження двигуна	Single
Hn	Проектна висота напорю, м	Single
Vtn	Швидкість протікання рідини в нагнітальному трубопроводі, м/с	Single
Vtv	Швидкість протікання рідини у всмоктувальному трубопроводі, м/с	Single
u	Коефіцієнт витрат	Single
Index1, Index2	Тип насоса Тип передачі	Integer
	Розрахункові значення	Single
fs	Загальна площа сопел, м²	Single
Qn	Подача насоса, л/с	Single
Dtn	Діаметр нагнітального трубопроводу, м	Single
Dtv	Діаметр всмоктувального трубопроводу, м	Single
dPn	Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі, Па	Single
dPv	Втрати тиску у всмоктувальному трубопроводі, Па	Single
Pn	Тиск, який повинен розвинути насос, Па	Single
Pd	Потужність приводного електродвигуна, кВт	Single

Графічний запис алгоритму виконується відповідно до державних стандартів (ГОСТ 19.002-80 Схеми алгоритмів і програм. Правила виконання і ГОСТ 19.003-80 “Схеми алгоритмів і програм. Позначення умовні графічні”) і є схемою, що складається з блоків, які виконують певні дії, і зв'язків між ними.

Нижче наведено алгоритм розрахунку параметрів гідросистеми мийної машини (рис. Д.2.1).

3. Текст програми

Розрахунок параметрів гідросистеми мийної машини [12]

Option Explicit

Dim Pi As Single, p As Single, g As Single

Dim n As Integer, ds As Single, k As Single, Hn As Single, Vtn As Single, Vtv As Single

Dim u As Single, ListIndex As Integer

Dim KPD As Single, KPDp As Single, fc As Single, pg As Single, Qn As Single,

Dtn As Single, Dtv As Single

Dim ne1 As Integer, ne2 As Integer, ne3 As Integer, ne4 As Integer, ne5 As Integer

Dim ne6 As Integer, ne7 As Integer, ne8 As Integer, ne9 As Integer, ne10 As Integer

Dim ne As Single

Dim nex1 As Integer, nex2 As String

Dim flag1 As Byte, flag2 As Byte

Dim dPn As Single, dPv As Single, Pn As Single, Pd As Single

Dim i As Double

Private Sub Form_Load()

Label13.Caption = Date

' Сталі

Pi = Atn(1) * 4 'Pi=3.14159265358979

' p — щільність рідини, кг/м³

p = 1000

' g — прискорення вільного падіння, м/с²

g = 9.81

Label6.Caption = "щільність рідини P=1000 кг/м³ прискорення вільного падіння
g=9.81 м/с²"

flag1 = 0

flag2 = 0

ne1 = 1: ne2 = 1: ne3 = 1: ne4 = 1: ne5 = 1: ne6 = 1: ne7 = 1: ne8 = 1: ne9 = 1: ne10 = 1

End Sub

Private Sub Command1_Click()

flag1 = 0

flag2 = 0

Call CLS_rezalt1

Call CLS_rezalt2

Do

n = Val(InputBox("Введіть кількість сопел n=", "Введення даних", Str(30), 4000, 500))

If n >= 1 And n <= 999 Then 'уточнити верхню границю кількості сопел і змінити
властивість MaxLength (кількість символів, що виводиться, -1)

Text_n.Text = Str(n)

Exit Do

Else

MsgBox "Неправильне значення n", 0 + 16, "Введення вхідних даних"

End If

Loop

End Sub

Private Sub Command5_Click()

flag1 = 0

flag2 = 0

```

Call CLS_rezalt1
Call CLS_rezalt2
Label22.Caption = ""
Do
ds = Val(InputBox("Введіть діаметер сопла в мм, dc=", "Введення вхідних даних",
Str(4), 4000, 500))
If ds <= 0 Then 'уточнити Or ds / 2 <> ds \ 2 Or ds >= 4
MsgBox "Неправильне значення ds", 0 + 16, "Введення вхідних даних"
Else
Text_ds.Text = Str(ds)
Exit Do
End If
Loop
End Sub

```

```

Private Sub Command6_Click()
flag1 = 0
flag2 = 0
Call CLS_rezalt1
Call CLS_rezalt2
Do
k = Val(InputBox("Виберіть коеф. запасу на випадок перевантаження двигуна
(1.05-1.1 десятковий розподільник - крапка!), k=", "Введення вхідних даних",
Str(1.1), 4000, 500))
If k <= 1.1 And k >= 1.05 Then 'уточнити
Text_k.Text = Str(k)
Exit Do
Else
MsgBox "Неправильне значення k", 0 + 16, "Введення вхідних даних"
End If
Loop
End Sub

```

```

Private Sub Command7_Click()
flag1 = 0
flag2 = 0
Call CLS_rezalt1
Call CLS_rezalt2
Do
Hn = Val(InputBox("Вкажіть проектну висоту напору Hn, м", "Введення даних",
Str(3), 4000, 500))
If Hn > 0 Then 'уточнити Or Hn <= 999
Text_Hn.Text = Str(Hn)
Exit Do
Else
MsgBox "Неправильне значення Hn", 0 + 16, "Введення вхідних даних"
End If
Loop
End Sub

```

```

Private Sub Command8_Click()
flag1 = 0
flag2 = 0
Call CLS_rezalt1

```

```

Call CLS_rezalt2
Do
u = Val(InputBox("Введіть коефіцієнт витрат, u= (u=0,4-0,9)", "Введення даних",
Str(0.8), 4000, 500))
If u >= 0.4 And u <= 0.9 Then 'уточнити
Text_u.Text = Str(u)
Exit Do
Else
MsgBox "Неправильне значення u", 0 + 16, "Введення вхідних даних"
End If
Loop
End Sub


---


Private Sub Command9_Click()
flag1 = 0
flag2 = 0
Call CLS_rezalt1
Call CLS_rezalt2
Do
Vtv = Val(InputBox("Швидкість протікання рідини у всмоктувальному
трубопроводі, Vtv= (1-2 м/с)", "Введення даних", Str(2), 4000, 500))
If Vtv >= 1 And Vtv <= 2 Then 'уточнити
Text_Vtv.Text = Str(Vtv)
Exit Do
Else
MsgBox "Неправильне значення Vtv", 0 + 16, "Введення вхідних даних"
End If
Loop
End Sub


---


Private Sub Command10_Click()
flag1 = 0
flag2 = 0
Call CLS_rezalt1
Call CLS_rezalt2
Do
Vtn = Val(InputBox("Швидкість протікання рідини в нагнітальному трубопроводі,
Vtn= (3-7 м/с)", "Введення даних", Str(5), 4000, 500))
If Vtn >= 3 And Vtn <= 7 Then 'уточнити
Text_Vtn.Text = Str(Vtn)
Exit Do
Else
MsgBox "Неправильне значення Vtn", 0 + 16, "Введення вхідних даних"
End If
Loop
End Sub


---


Private Sub Command4_Click()
Call ROZRAX_1
End Sub


---


Private Sub Command2_Click()
If flag1 = 0 Then Call ROZRAX_1
flag2 = 1

```

```

ne = ne1 * 0.4 + ne2 * 4 + ne3 * 2.5 + ne4 * 0.8 + ne5 * 45 + ne6 * 1.4 + ne7 * 0.4 + ne8 *
0.2 + ne9 * 0.3 + ne10 * 0.15
Label_ne.Caption = "ne = ne1 * 0.4 + ne2 * 4 + ne3 * 2.5 + ne4 * 0.8 + ne5 * 45 + ne6 *
1.4 + ne7 * 0.4 + ne8 * 0.2 + ne9 * 0.3 + ne10 * 0.15 = " + Str(ne)
Rem Втрати тиску на всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах
dPn = p * (Vtn ^ 2 / 2) * ne
Label_dPn.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі
dPn = " + Str(dPn)
dPv = p * (Vtv ^ 2 / 2) * ne
Label_dPv.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі
dPv = " + Str(dPv)
Rem Тиск, який повинен розвинути насос
Pn = pg + p * g * Hn + dPn + dPv
Label_Pn.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі Pn = " + Str(Pn)
Rem Потужність електродвигуна насоса
Pd = k * ((Pn * Qn) / (1000 * KPD * KPDp))
Label_Pd.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі Pd = " + Str(Pd)
End Sub

```

```

Private Sub ROZRAX_1()
flag1 = 1
If Combo1.ListIndex = 0 Then
KPD = 0.75
ElseIf Combo1.ListIndex = 1 Then
KPD = 0.84
ElseIf Combo1.ListIndex = 2 Then
KPD = 0.8
Else
Combo1.ListIndex = 2
KPD = 0.75
End If
If Combo2.ListIndex = 0 Then
KPDp = 0.95
ElseIf Combo2.ListIndex = 1 Then
KPDp = 0.8
ElseIf Combo2.ListIndex = 2 Then
KPDp = 0.95
ElseIf Combo2.ListIndex = 3 Then
KPDp = 0.95
ElseIf Combo2.ListIndex = 4 Then
KPDp = 0.93
Else
Combo2.ListIndex = 2
KPDp = 0.95
End If
n = Val(Text_n.Text)
ds = Val(Text_ds.Text)
k = Val(Text_k.Text)
Hn = Val(Text_Hn.Text)
Vtn = Val(Text_Vtn.Text)
Vtv = Val(Text_Vtv.Text)
u = Val(Text_u.Text)

```

```

' Заміна розмірності
'Text1.Text = ds
ds = ds / 1000
Label22.Caption = "(діаметер сопла в м, dc=" + Str(ds) + " )"
'Загальна площа сопел
fc = n * ((Pi * ds ^ 2) / 4)
Label11.Caption = "Загальна площа сопел fc=" + Str(fc)
'Тиск рідини перед соплом
pg = p * g * Hn
Label23.Caption = "Тиск рідини перед соплом pg=" + Str(pg)
'Подача насоса Qn
Qn = 1.2 * u * fc * Sqr(2 * pg / p)
Label19.Caption = "Подача насоса Qn=" + Str(Qn)
'Діаметр всмоктувального та нагнітального трубопроводів
Dtn = Sqr(4 * Qn / Pi * Vtn)
Dtv = Sqr(4 * Qn / Pi * Vtv)
Label18.Caption = "Діаметр нагнітального трубопроводу Dtn=" + Str(Dtn)
Label17.Caption = "Діаметр всмоктувального трубопроводу Dtv=" + Str(Dtv)
End Sub


---


Private Sub Command15_Click()
nex2 = " Пробкових кранів "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne1.Text = Str(nex1)
ne1 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command14_Click()
nex2 = " Вентилів звичайних "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne2.Text = Str(nex1)
ne2 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command13_Click()
nex2 = " Вентилів Косова "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne3.Text = Str(nex1)
ne3 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command12_Click()
nex2 = " Кутових вентилів "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne4.Text = Str(nex1)
ne4 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command11_Click()
nex2 = " Шарових клапанів "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne5.Text = Str(nex1)
ne5 = Val(nex1)
End Sub


---



```

```

Private Sub Command16_Click()
nex2 = " Кутників 90° "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne6.Text = Str(nex1)
ne6 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command17_Click()
nex2 = " Кутників 135° "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne7.Text = Str(nex1)
ne7 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command18_Click()
nex2 = " Колін 90° "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne8.Text = Str(nex1)
ne8 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command19_Click()
nex2 = " Трійників "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne9.Text = Str(nex1)
ne9 = Val(nex1)
End Sub


---


Private Sub Command20_Click()
nex2 = " Засувок "
Call VVOD_2(nex1, nex2)
Text_ne10.Text = Str(nex1)
ne10 = nex1
End Sub


---


Private Sub Command21_Click()
If flag1 = 1 And flag2 = 1 Then
' Запис зведений у текстовий файл:
Open "ОТЧЕТ_1.txt" For Append As #1
Write #1, Date, p, g, n, ds, k, Hn, Vtn, Vtv, u, KPD, KPDp, fc, pg, Qn, Dtn, Dtv, ne1,
ne2, ne3, ne4, ne5, ne6, ne7, ne8, ne9, ne10, ne, dPn, dPv, Pn, Pd 'numb, fio, bdate, bloc
Close #1
Else
MsgBox "Натисніть кнопку Розрахунок 2", 0 + 16, "Запис результатів до файлу"
End If
End Sub


---


Private Sub CLS_rezalt1()
Label22.Caption = "(діаметер сопла в м, dc=" + " )"
Label11.Caption = "Загальна площа сопел fc="
Label23.Caption = "Тиск рідини перед соплом pg="
Label19.Caption = "Подача насоса Qn="
Label18.Caption = "Діаметр нагнітального трубопроводу Dtn="
Label17.Caption = "Діаметр всмоктувального трубопроводу Dtv="
End Sub


---



```



```

Private Sub CLS_rezalt2()
Label_ne.Caption = "ne = ne1 * 0.4 + ne2 * 4 + ne3 * 2.5 + ne4 * 0.8 + ne5 * 45 + ne6 *
1.4 + ne7 * 0.4 + ne8 * 0.2 + ne9 * 0.3 + ne10 * 0.15 = "
Label_dPn.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі dPн = "
Label_dPv.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі dPv = "
Label_Pn.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі Pн = "
Label_Pd.Caption = "Втрати тиску в нагнітальному трубопроводі Pd = "
End Sub


---


Private Sub VVOD_2(nex1, nex2)
Call CLS_rezalt2
flag2 = 0
Do
nex1 = Val(InputBox("Введіть кількість " + nex2, "Введення даних", , 8000, 500))
If nex1 <= 0 Then
MsgBox "Неправильна кількість " + nex2, 0 + 16, "Введення вхідних даних"
Else
nex1 = Val(nex1)
Exit Do
End If
Loop
End Sub


---


Private Sub Command3_Click()
End
End Sub


---



```

4 Аналіз отриманих результатів

Після виконання вище наведеного проекту отримали результати.

Розрахунок моделі Гідросистеми мийної машини

Стандартні умови:
щільність рідини $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$; прискорення вільного падіння $g=9.81 \text{ м/с}^2$ 12.05.2013

Дані, встановлені за замовчанням:

Кількість сопель: 20 Значіть

Діаметр сопла в мм, d_s : 1 Значіть
(діаметр сопла в м, $d_s = 004$)

Коеф. запаса на впадінні перепадів тиску двигана (1.05-1.1), k_1 : 1.1 Значіть

Проектна висота напору H_n , м: 3 Значіть

Швидкість протікання рідини в напієвальному трубопроводі, $U_{тп}$ (3-7 м/с): 5 Значіть

Швидкість протікання рідини в ескнустральному трубопроводі, $U_{тв}$ (1-2 м/с): 2 Значіть

Коефіцієнт втрат, μ (м0.4-0.9): 0.9 Значіть

Тип насоса: Шестерінний або пластинчатий Тип перекачування: Ланцюгова

Розрахункові значення: Розрахунок 1

Загальна площа сопель: $S_s = 3.769912E-04$

$$f_s = n \frac{\pi \cdot d_s^2}{4}$$

Тиск рідини перед соплом: $p_s = 29430$

$$p_s = p + \rho \cdot g \cdot H_n$$

Падіння напору: $Q_H = 2.776596E-03$

$$Q_H = (1.1+1.3) \cdot \mu \cdot f_s \sqrt{\frac{2 \cdot p_s}{\rho}}$$

Діаметр напієвального трубопроводу: $D_{тп} = 3.329525$

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_H}{\pi \cdot U_t}}$$

Діаметр ескнустрального трубопроводу: $D_{тв} = 8.408651E-02$

Введіть кількість елементів Гідросистеми мийної машини, шт.:

Пробковий кран: 1 Значіть Кутник 90°: 1 Значіть

Вентиль звичайний: 1 Значіть Кутник 135°: 1 Значіть

Вентиль Косова: 1 Значіть Коліно 90°: 1 Значіть

Кутловий вентиль: 1 Значіть Тройник: 1 Значіть

Шаровий клапан: 1 Значіть Задвижка: 1 Значіть

$\rho_e = \rho \cdot 1.04 + \rho \cdot 2 \cdot 4 + \rho \cdot 3 \cdot 2.5 + \rho \cdot 4 \cdot 0.8 + \rho \cdot 5 \cdot 4.5 + \rho \cdot 6 \cdot 1.4 + \rho \cdot 7 \cdot 0.4 + \rho \cdot 8 \cdot 0.2 + \rho \cdot 9 \cdot 0.3 + \rho \cdot 10 \cdot 0.15 = 55.15$

Розрахункові значення: Розрахунок 2

Втрати тиску в напієвальному трубопроводі $\Delta P_n = 689375$

Втрати тиску в напієвальному трубопроводі $\Delta P_v = 110300$

$$\Delta P = \rho \frac{L}{2} \sum_{i=1}^k \xi_i$$

Втрати тиску в напієвальному трубопроводі $P_n = 858535$

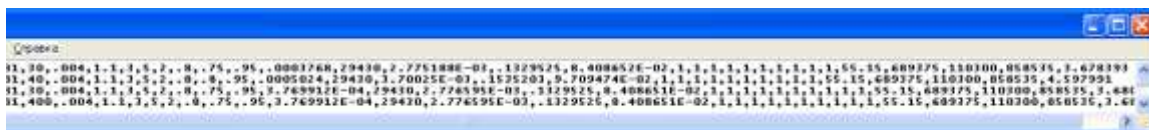
$$P_H = p \pm \rho \cdot g \cdot H_H + \Delta P_H + \Delta P_B$$

Втрати тиску в ескнустральному трубопроводі $P_d = 3.680259$

$$P = k \frac{P_H \cdot Q_H}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_H}$$

Запис до файлу Вихід

На основі отриманих результатів підбирається тип насоса й електродвигуна для мийної машини. Результати моделювання зберігаються в файлі ASCII-формату.



5 Висновки за результатами роботи

У даній роботі проведено формалізацію (постановку) задачі; розроблено алгоритм; написано, налагоджено та протестовано програму, яка включає в себе діалогові процедури, підпрограми контролю введення даних; виведення результатів; коментарі. Вихідні дані обрано виходячи з завдання. Отримані результати надано у вигляді екраної форми та на жорсткому магнітному носії.

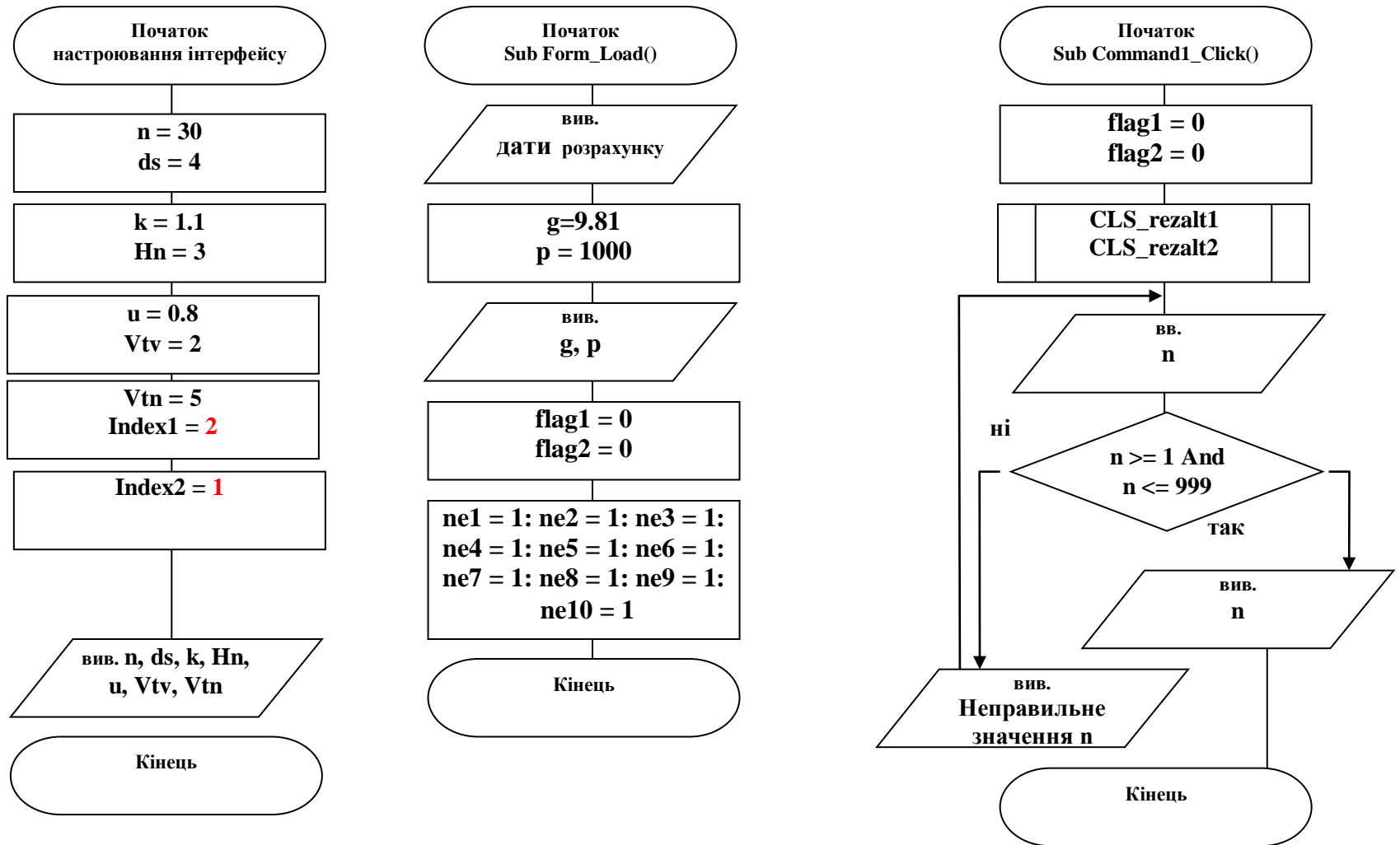


Рис. Д.2.1. Алгоритм розрахунку параметрів гідросистеми мийної машини (див. також с.197 – 200)

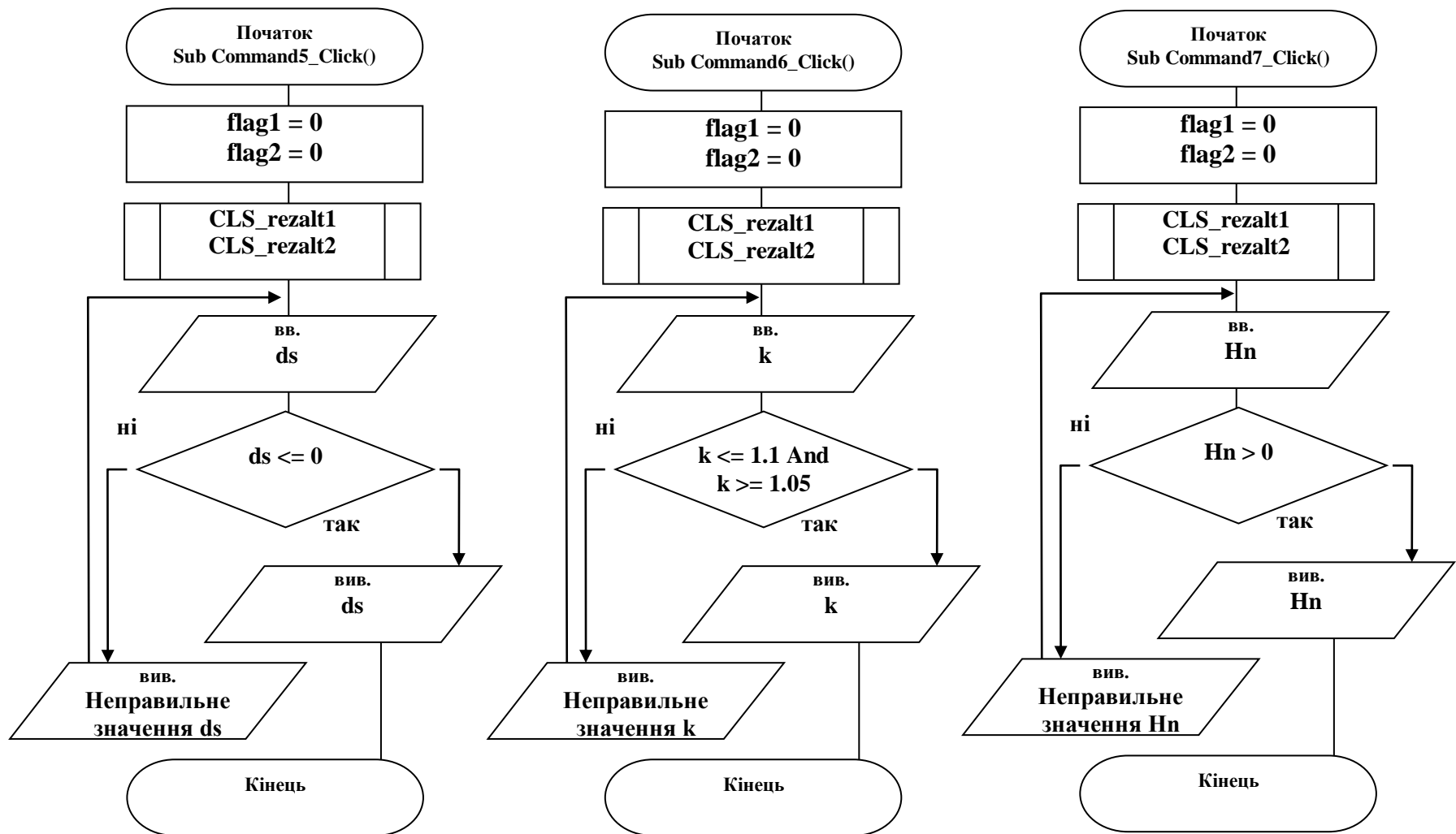


Рис. Д.2.1. Продовження

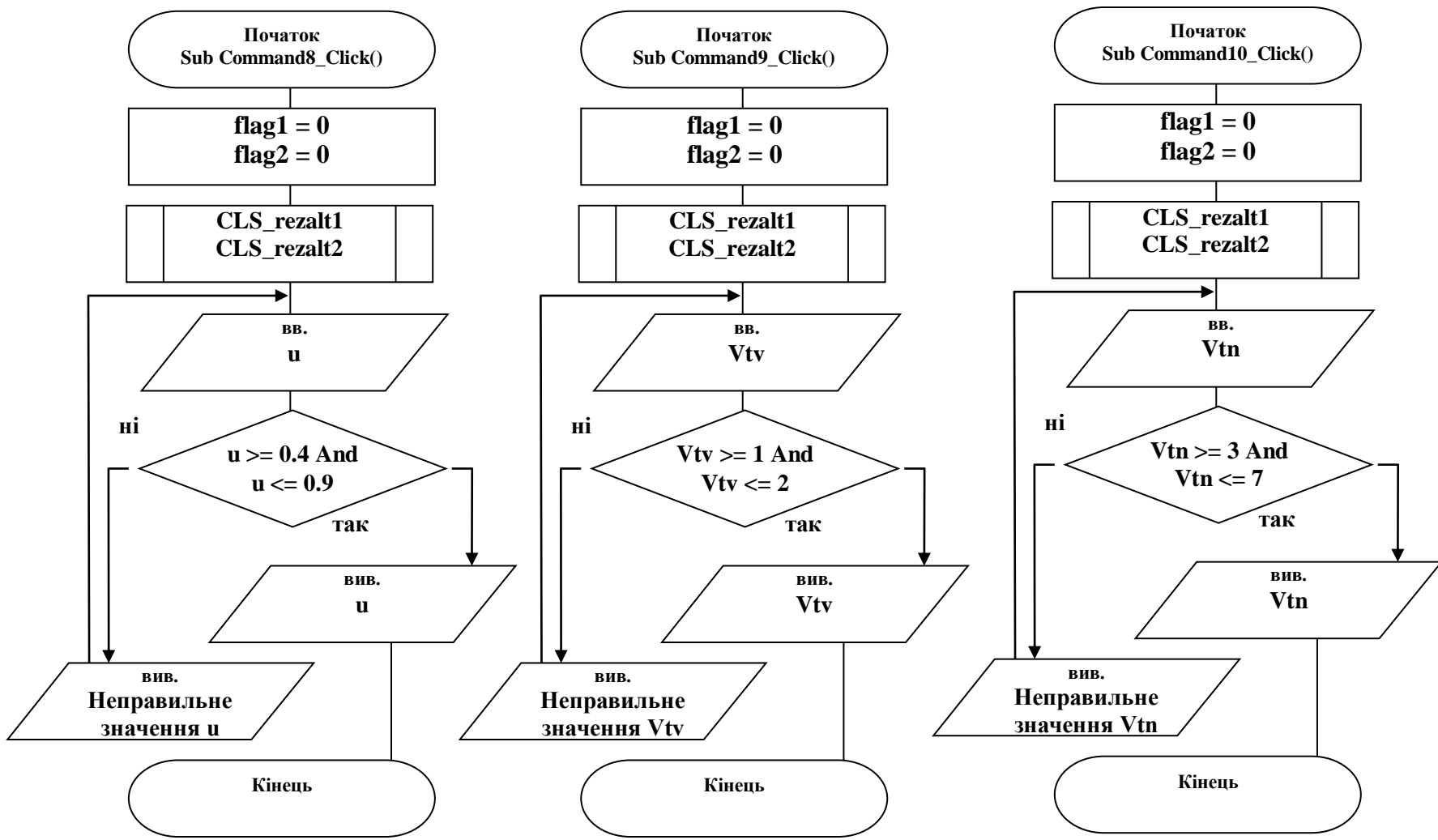


Рис. Д.2.1. Продовження

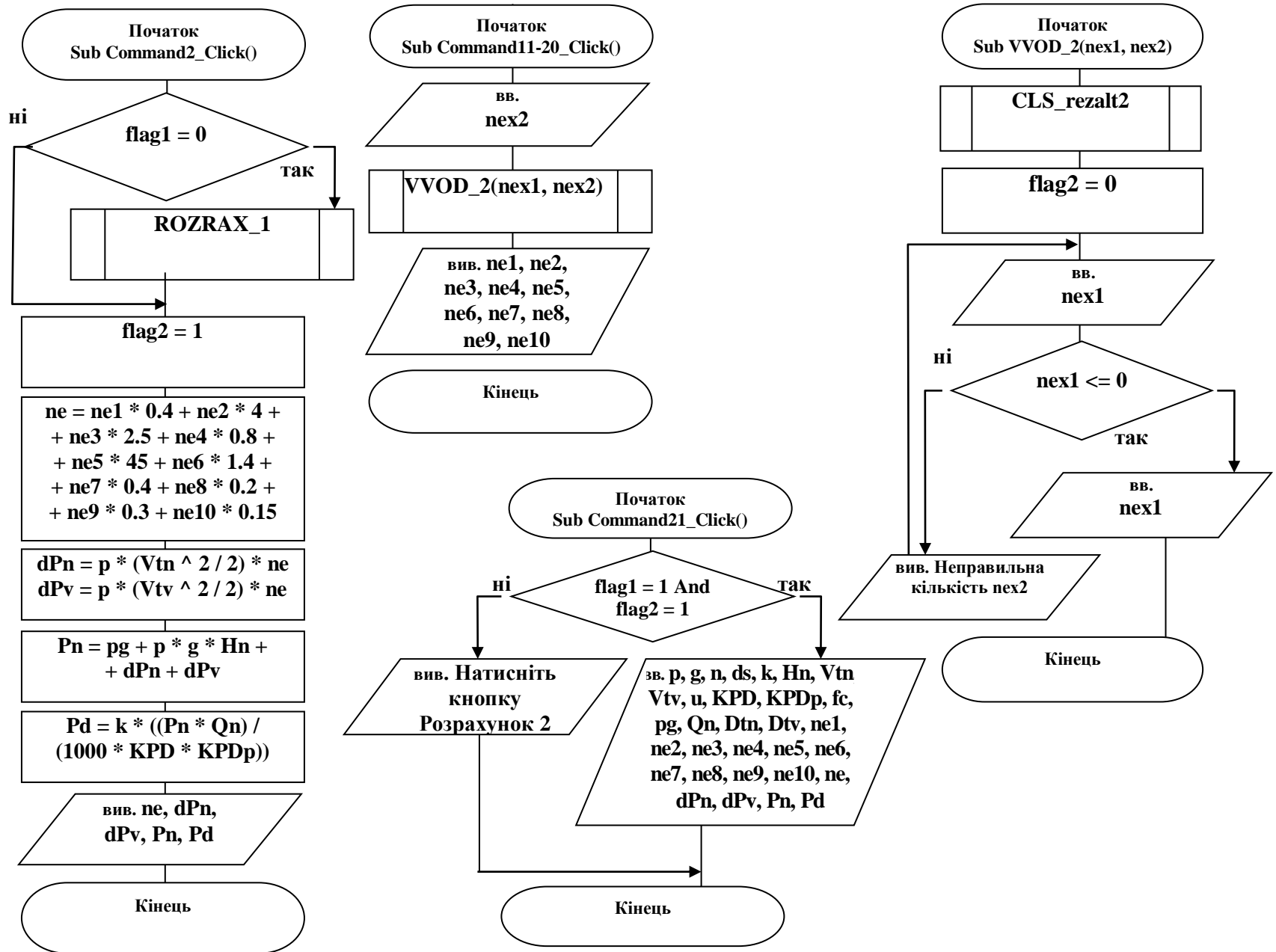


Рис. Д.2.1. Продовження

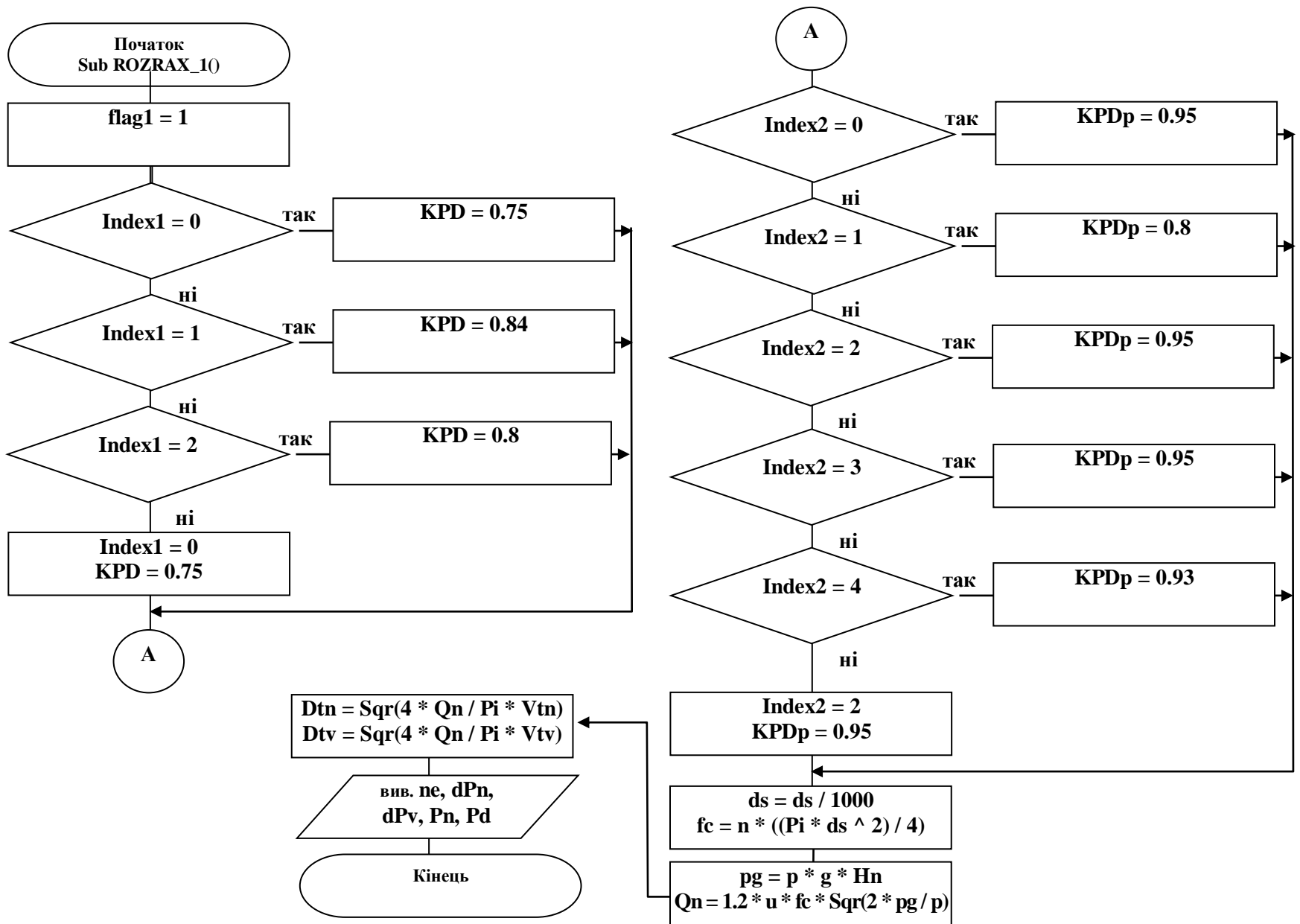


Рис. Д.2.1. Закінчення

Класифікація САПР відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ

Тип об'єкта проектування	Складність об'єкта проектування	Рівень автоматизації проектування	Комплексність автоматизації проектування	Характер документів, що випускаються	Кількість документів, що випускаються	Кількість рівнів технічного забезпечення
Виріб машинобудування	Прості об'єкти (кількість складових до 10^2)	Низкоавтоматизовані (рівень автоматизації <25 %)	Одноетапні (виконується один етап проектування)	На паперовому носії На машинному носії	Малої продуктивності (випускає документів за рік до 10^5)	Однорівневі
Виріб приборобудування включаючи радіоелектроніку	Об'єкти середньої складності (кількість складових від 10^2 до 10^3)	Середньоавтоматизовані (рівень автоматизації 25-50 %)	Багатоетапні (виконуються декілька етапів проектування)	На фотоносії Комбіновані	Середньої продуктивності (випускає документів за рік від 10^5 до 10^6)	Дворівневі Трирівневі
Технологічні процеси в машинотехнічному приборобудуванні Об'єкти будівництва	Складні об'єкти (кількість складових від 10^3 до 10^4)	Високоавтоматизовані (рівень автоматизації >50%)	Комплексні (виконуються всі етапи проектування)		Високої продуктивності (випускає документів за рік понад 10^6)	
Технологічні об'єкти в будівництві	Дуже складні об'єкти (кількість складових від 10^4 до 10^6)					
Програмні вироби	Об'єкти високої складності (кількість складових більше за 10^6)					
Організаційні системи						
Інше						

Рис. 1.15. Класифікація САПР



Рис. 1.23. Макросхема алгоритму САПР (ліворуч) і зовнішня організація даних САПР (праворуч) технологічних процесів