

Посібник «CAD-проекти та робототехнічні системи: Практикум» призначений для опанування теоретичних та практичних навичок, які необхідні майбутнім фахівцям для вивчення дисципліни «Робототехнічні системи та комплекси-1. Проектування компонентів РТС».

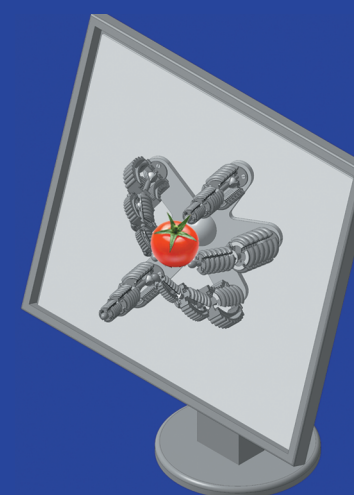
Посібник містить матеріали спрямованих на надбання студентами знань і навичок у галузі автоматизованого проектування технічних систем і промислових роботів, робототехнологічних комплексів і гнучких комп'ютеризованих систем. Наведені методи практикуму в галузі CAD-систем, математичні моделі розрахунку параметрів функціональних пристроїв промислових роботів. Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» всіх форм навчання і викладачів професійно-орієнтованих на опанування теоретичних та інструментальних баз знань для створення сучасних автоматизованих виробництв.

М. М. Поліщук, Є. О. Батрак. CAD-проекти та робототехнічні системи: Практикум

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

М.М. Поліщук, Є.О. Батрак

## CAD-ПРОЄКТИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ПРАКТИКУМ



---

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

М.М. Поліщук, Є.О. Батрак

# САД-ПРОЄКТИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ПРАКТИКУМ

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра,  
за освітньою програмою «Інформаційне забезпечення робототехнічних  
систем» спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2021

Рецензенти: *ТОЛЮПА С.В., д-р техн. наук, професор,  
професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*

*ДРУЖИНІН В.А., д-р техн. наук, професор,  
професор радіотехніки та радіо-електронних систем  
Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*

Відповідальний  
редактор

*ПАРХОМЕЙ І.Р., д-р техн. наук, професор, завідувач  
кафедри технічної кібернетики КПІ ім. Ігоря Сікорського*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 6 від 25 лютого 2021 р.)  
за поданням Вченої ради факультету інформатики та обчислювальної техніки  
(протокол № 6 від 20 січня 2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Поліщук Михайло Михайлович, кандидат техн. наук, доц. доцент  
Батрак Євгеній Олександрович, кандидат техн. наук, доц.*

## **CAD-ПРОЄКТИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ПРАКТИКУМ**

CAD-проекти та робототехнічні системи: Практикум [Електронний ресурс]: навч. Посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / М. М. Поліщук, Є. О. Батрак; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 9,94 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.

Посібник призначений для опанування теоретичних та практичних навичок, які необхідні майбутнім фахівцям для вивчення дисципліни «Робототехнічні системи та комплекси-1. Проектування компонентів РТС». Даний посібник спрямований на опанування методів постановки і формалізації задач автоматизованого проектування робототехнічних систем, набуття навичок з алгоритмізації основних проектних операцій і процедур, які використовуються при практичному створенні робототехнічних систем та комплексів в автоматизованому виробництві. Особливу увагу приділено виконанню робіт з проектування як компонентів, так і робототехнічних систем в цілому, а саме: функціональних пристроїв промислових роботів, засобів упорядкування виробничого середовища, пристроїв нагромадження, завантаження робототехнологічних комплексів та систем інформаційного забезпечення робототехнічних систем. Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» всіх форм навчання.

© М.М. Поліщук, Є.О. Батрак, 2021  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

Зміст	Стор.
Вступ .....	4
Терміни й визначення .....	6
Розділ 1. CAD-проекти: призначення та функції.....	8
1.1. Визначення та призначення CAD систем.....	8
1.2. Основні функції CAD/CAM/CAE-систем. ....	8
1.3. Види забезпечення САПР .....	10
1.4. Технічне забезпечення САПР .....	12
Контрольні запитання .....	15
Розділ 2. Базові операції в середовищі AutoCAD.....	16
2.1. Створення й редагування графічних об'єктів .....	16
2.2. Створення малюнка об'ємної моделі.....	22
2.3. Створення бібліотеки блоків схем алгоритмів ....	26
Контрольні запитання .....	29
Розділ 3. Комп'ютерний практикум в середовищі Компас 3D.....	30
3.1. Створення специфікації й асоціативних видів із 3D в 2D креслення робочого проекту .....	30
3.2. Опанування 3D операцій. Частина 1 .....	35
3.3. Опанування 3D операцій. Частина 2 .....	38
3.4. Створення 3D моделей деталей та складання їх у вузол «Системний блок».....	43
3.5. Управління установками параметричного проектування в CAD-документах.....	47
3.6. Рознесення об'єктів складання в CAD-документах .....	50
Контрольні запитання.....	53
Розділ 4. Векторизація креслень CAD-документів .....	54
4.1. Способи візуалізації: визначення та призначення .....	54
4.2. Векторизація растрових зображень.....	54
4.3. Векторизація в середовищі SpotLight. ....	55
4.4. Автоматична конверсія графічного зображення .....	57
Контрольні запитання .....	59
Розділ 5. Проектування компонентів РТС .....	60
5.1. Проектування механічних захватних пристроїв.....	60
5.2. Проектування вакуумних захватів .....	65
5.3. Електромагнітні захвати .....	69
5.4. Приводи маніпуляторів промислових роботів.....	70
5.4.1. Розрахунок параметрів електродвигуна маніпулятора ПР ....	71
5.4.2. Визначення параметрів пневматичного приводу .....	74
5.4.3. Визначення параметрів гідроприводу .....	76
5.4.4. Пневматично-гідравлічний привод .....	77
Контрольні запитання .....	78
Розділ 6. Принципи синтезу мобільних роботів .....	80
6.1. Пристрої зчеплення мобільних роботів .....	80
6.2. Принципи побудови мобільних роботів .....	81
6.3. Структура і склад підсистем мобільних роботів .....	92
Контрольні запитання .....	93
Література.....	94
Додатки .....	96



## ВСТУП

Посібник «CAD-проекти та робототехнічні системи: Практикум» є засобом забезпечення курсу «Робототехнічні системи та комплекси-1. Проектування компонентів РТС» що входить до комплексу навчальних дисциплін підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» освітньої програми «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем».

Посібник охоплює практикум кредитного модуля «Проектування компонентів робототехнічних систем», що відносяться до професійно-орієнтованих дисциплін. Метою вказаного кредитного модуля є формування у студентів здатностей до опанування методології творчої інженерно-технічної діяльності в сфері автоматизованого проектування технічних систем, взагалі, та компонентів робототехнічних систем (РТС), зокрема. Посібник спрямований на опанування методів постановки і формалізації задач автоматизованого проектування РТС, набуття навичок з алгоритмізації основних проектних операцій і процедур, які використовуються при практичному створенні робототехнічних систем та комплексів в автоматизованому виробництві.

Одночасно з набуттям вказаних знань студенти повинні вміти виконувати практичні завдання, що спрямовані на опанування операцій створення CAD-документів технічних проектів в середовищах AutoCAD, Компас 3D, Spotlight Pro, тощо. Особливу увагу приділено виконанню розрахунково-графічних робіт щодо проектування як компонентів, зокрема, так і РТС в цілому, а саме: функціональних пристроїв промислових роботів, засобів упорядкування виробничого середовища, пристроїв нагромадження, завантаження робото-технологічних комплексів та систем інформаційного забезпечення РТС. Вказана дисципліна характеризується спеціалізовано орієнтованою спрямованістю як лекційного матеріалу, так і практикуму на вивчення та опанування основ автоматизованого проектування РТС. Останнє передбачає опанування графічних пакетів комп'ютерних програм на рівні спеціалізованого користувача з метою їх використання при вирішенні інженерних задач. Загальна мета вивчення курсу полягає в засвоєнні студентами знань, умінь та навичок використання програмних засобів комп'ютерного проектування та моделювання із застосування CAD/CAM/CAI-систем та периферійного комп'ютерного обладнання у якості інструментального забезпечення вирішення у подальшій діяльності науково-дослідницьких та інженерних задач, переважно

орієнтованих на комп'ютеризовані інтегровані системи в різноманітних галузях промисловості.

Набуті студентами знання та навички повинні протягом повного курсу навчання стати основою інструментальних засобів виконання спочатку курсових, дипломних, а згодом і робочих інженерних проєктів з використанням засобів параметричної технології. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння «CAD-проекти та робототехнічні системи: Практикуму» мають продемонструвати наступні результати навчання, а саме: знання методик проєктування та моделювання проєктно-конструкторських розв'язків для автоматизованого проєктування; параметричних баз даних проєктування функціональних пристроїв роботів, засобів упорядкування виробничого середовища, пристроїв нагромадження та завантаження робото-технологічних комплексів та систем інформаційного забезпечення РТС; програм моделювання технічних компонентів в галузі гнучких комп'ютеризованих виробничих систем; складу основного та периферійного обладнання РТС; продемонструвати вміння виконувати налагодження вище зазначених компонентів, створювати різноманітні імітаційні моделі функціонування автоматизованих технічних систем в галузі робототехніки. Набутий досвід полягає у розробці параметричних проєктів функціональних модулів робототехнічних комплексів, а також у налагоджуванні периферійного обладнання для промислових роботів, а саме: пристроїв орієнтації об'єктів автоматизованого виробництва, засобів упорядкування його виробничого середовища, транспортних і складських систем тощо.

Посібник містить матеріали, а саме: протоколи та методичні рекомендації до проведення робіт з метою надбання студентами знань і навичок у галузі автоматизованого проєктування на базі CAD-систем, в тому числі програм САПР. Посібник розраховано для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» всіх форм навчання і викладачів професійно-орієнтованих на опанування теоретичних та інструментальних баз знань для створення сучасних автоматизованих виробництв.



## Терміни й визначення

AutoCAD — двох- і тривимірна система автоматизованого проєктування і креслення, розроблена компанією Autodesk. AutoCAD і спеціалізовані додатки на його основі знайшли широке застосування в машинобудуванні, будівництві, архітектурі й інших галузях промисловості.

Blender — професійне відкрите програмне забезпечення для створення трьохмірної комп'ютерної графіки, що включає в себе засоби 3D моделювання, анімації, симуляції, рендеринга, інтерактивних 3D – додатків.

CAD (Computer aided design) – системні комплекси для проєктування, за допомогою яких автоматизують завдання на різних стадіях виготовлення промислової продукції.

CAM (Computer aided manufacturing) — автоматизована система, або модуль, призначений для підготовки керуючих програм для верстатів зі числовим програмним керуванням. Під терміном розуміються як сам процес комп'ютеризованої підготовки виробництва, так і програмно-обчислювальні комплекси, використовувані інженерами-технологами.

CAE (Computer aided engineering) — загальна назва для програм і програмних пакетів, призначених для розв'язку інженерних завдань: розрахунків, аналізу й симуляції фізичних процесів. Розрахункова частина пакетів найчастіше заснована на чисельних методах розв'язку диференціальних рівнянь.

SolidWorks — (від англ. solid – тверде тіло й works – працювати) — програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської й технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якому ступеню складності й призначення. Розроблений компанією SolidWorks Corporation, з 1997 року є незалежним підрозділом компанії Dassault Systemes (Франція).

Spotlight — графічний редактор, що поєднує в собі функції растрового й векторного редактора, а також векторизатора, розроблений компанією Csoft Development. Призначений для роботи зі сканованими документами (кресленнями, картами, схемами й ін.

Дігітайзер (від англ. graphics tablet) — периферійний пристрій для вводу планшетного типу, призначений для введення інформації у цифровій формі. Графічний планшет складається з електронного планшета, на якому може бути прямокутне меню та курсор. Він має власну систему координат, і при переміщенні курсору по планшету, координати руху по його поверхні передаються в комп'ютер. Дігітайзери застосовують для доточкового координатного введення графічних зображень (креслень) у системах автоматизованого проектування, а також зображень ілюстративної графіки та анімації.

Компас-3D — система двох- і тривимірного проектування, розроблена компанією Аскон. Призначена для проектування обладнання та виробів основного й допоміжного виробництва у різних галузях промисловості.

Мультимедіа (від лат. Multum + Medium) — комбінування різних форм представлення інформації на одному носіїві, наприклад текстової, звукової і графічної, або анімації і відео. Характерна особливість мультимедійних об'єктів та продуктів — наявність гіперпосилання. Поняття, що означає сполучення звукових, відео, графічних, текстових і цифрових сигналів, а також нерухомих і рухомих образів і конструкцій.

РТС — Робототехнічні системи: сукупність інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих і керуючих пристроїв, що функціонують разом з метою виконання заданого технологічного процесу або операції. РТС реалізується у вигляді комплексу технологічного та транспортного обладнання в сукупності з промисловими роботами, що виконують основні або допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва.

САПР — Система автоматизованого проектування, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування. САПР являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що полягає з персоналу й комплексу технічних і програмних засобів.

ПР — Промисловий робот: автоматична машина, що програмується та використовується у виробничому процесі для виконання рушійних функцій, аналогічних функціям людини, при переміщенні предметів виробництва та (чи) технологічного оснащення.

## Розділ 1. CAD-проекти: призначення та функції

### 1.1. Визначення та призначення CAD-систем

CAD (Computer Aided Design) – системні комплекси для проектування, за допомогою яких автоматизують завдання на різних стадіях виготовлення промислової продукції. CAD-системи стали особливо важливим в області комп'ютерних технологій з такими перевагами, як більш низькі витрати на розробку продукту й значно скорочений цикл проектування. CAD дозволяє дизайнерам і проектувальникам планувати й розробляти проекти на екрані, роздруковувати їх і зберігати для подальшого редагування, заощаджуючи час на своїх кресленнях.

CAD, як різновид засобів комп'ютерних технологій є одним з найефективніших інструментів автоматизованого проектування. Такий інструмент є інтегральним за своїм призначенням, оскільки надає можливість, що найменше на порядок, підвищити продуктивність праці проектувальників в будь якій сфері промисловості, будівництва, медичному та інших галузях людської діяльності.

### 1.2. Основні функції CAD/CAM/CAE-систем

*Функції CAD-систем.* CAD-системи в процесі розробки технічних проектів застосовуються для виконання етапу конструкторського проектування при виконанні процедур геометричного проектування. Функції CAD-систем у промисловості підрозділяють на функції двовимірного (2D) і тривимірного (3D) проектування [2]. До функцій 2D відносять креслення, оформлення конструкторської документації; до функцій 3D – одержання тривимірних геометричних моделей, метричні розрахунки, реалістичну візуалізацію, взаємне перетворення 2D і 3D моделей. Тривимірні моделі представляють у вигляді опису поверхонь, що обмежують деталь, або вказівкою елементів простору, займаних тілом деталі. Моделі поверхонь складної форми одержують за допомогою різновидів кінематичного методу, до яких відносять витягування заданого плоского контуру по нормалі до його площини, протягання контуру уздовж довільній просторовій кривій, обертання контуру навколо заданої осі, натягування поверхні між декількома заданими перетинами. У випадку побудови скульптурних поверхонь, що проходять через задані точки простору, застосовують моделі у формі Без'є, а при вимогах високої гладкості поверхні – моделі у формі сплайнів. Синтез моделей зборок виконують з застосуванням операцій

позиціонування й теоретично-множинних операцій перетинання, об'єднання, вирахування бібліотечних елементів і інтеграції знову створених моделей комплектуючих деталей. У ряді систем передбачене також виконання операцій компоновання й розміщення устаткування, виконання планів і т.п. [1, 2].

До важливих характеристик CAD-систем відносяться параметризація й асоціативність. Параметризація має на увазі використання геометричних моделей у параметричній формі, тобто при поданні частини або всіх параметрів об'єкта не константами, а змінними. Параметрична модель, що перебуває в базі даних, легко адаптується до різних конкретних реалізацій і тому може використатися в багатьох конкретних проектах. При цьому з'являється можливість включення параметричної моделі деталі в модель складального вузла з автоматичним визначенням розмірів деталі, що продиктовані просторовими обмеженнями. Ці обмеження у вигляді математичних залежностей між частиною параметрів зборки відбивають асоціативність моделей.

Параметризація й асоціативність відіграють важливу роль при проектуванні конструкцій вузлів і блоків, що складаються з великої кількості деталей. Дійсно, зміна розмірів одних деталей впливає на розміри й розташування інших. Завдяки параметризації й асоціативності зміни, зроблені конструктором в одній частині зборки, автоматично переносяться в інші частини, викликаючи зміни відповідних геометричних параметрів у цих частинах. Ці властивості суттєво підвищують продуктивність праці конструктора.

*Функції САЕ-систем* досить різноманітні, тому що пов'язані із проектними процедурами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень. До складу машинобудівних САЕ-систем насамперед включають програми для виконання наступних процедур:

- моделювання полів фізичних величин, у тому числі аналіз міцності, експлуатаційних напруг, надійності, циклів довговічності тощо.
- розрахунок станів моделюючих об'єктів і перехідних процесів у них засобами макрорівня;
- імітаційне моделювання складних виробничих систем на основі моделей масового обслуговування й мереж Петрі.

Основними частинами програм аналізу є бібліотеки скінченних елементів, препроцесор, вирішувач і постпроцесор. Бібліотеки скінченних елементів (СЕ) містять моделі СЕ та їхньої матриці жорсткості. Очевидно, що моделі СЕ будуть різними для різних задач (аналіз пружних або пластичних деформацій, моделювання полів температур, електричних потенціалів і т.п.), різних форм СЕ, різних наборів координатних функцій.

Вихідні дані для препроцесору – геометрична модель об'єкта, най-

частіше одержувана з підсистеми конструювання. Основна функція препроцесору – вивід досліджуваного середовища (деталі) у сітковому виді, тобто у вигляді множини скінченних елементів. Вирішувач – програма, що збирає моделі окремих СЕ в загальну систему алгебраїчних рівнянь і вирішує цю систему одним з матричних методів. Постпроцесор служить для візуалізації результатів рішення в зручній для користувача формі. У машинобудівних САПР це графічна форма. Користувач може бачити вихідну (до навантаження) і деформовану форми деталі, поля напруг, температур, потенціалів і т.п. у вигляді кольорових зображень, у яких палітра кольорів або інтенсивність світіння характеризують значення фазової змінної.

*Основні функції САМ-систем:* розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного встаткування із числовим програмним керуванням (ЧПК), моделювання процесів обробки, у тому числі побудова траєкторій відносного руху інструмента й заготовлі в процесі обробки, генерація постпроцесорів для конкретних типів устаткування із ЧПК, розрахунок норм часу обробки. Вихідними даними для складання програм для верстатів із ЧПК є результати конструкторського проектування, що надходять із САД. Але можливе програмування й при наявності в якості вихідних даних лише креслення деталі й параметрів технологічного процесу. При програмуванні визначають і кодують геометрію заготовки, траєкторії руху рухливих органів верстата й параметри обробки. Для цих цілей використовують спеціалізовані мови, прикладом яких може служити мова АРТ (Automatically Programmed Tools), що відноситься до мов високого рівня.

### 1.3. Види забезпечення САПР

САПР — Система автоматизованого проектування, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування. САПР являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що полягає з персоналу й комплексу технічних і програмних засобів.

Під системою автоматизованого проектування (САПР) розуміють сукупність засобів і методів для здійснення автоматизованого проектування. Дана система поєднує технічні засоби, математичні, лінгвістичні, програмні, інформаційні, методичні й організаційного забезпечення, які вибираються з максимальним обліком особливостей завдань інженерного проектування й конструювання. У САПР забезпечується зручність використання програм за рахунок застосування засобів оперативному зв'язку з ЕОМ, спеціальних проблемно-орієнтованих мов інформаційна - довідкової бази. Інтегрована САПР здійс-

нює проектування від уведення первинного об'єкта (його опису) до видачі проекту з необхідним комплектом документації.

*Технічне забезпечення* містить у собі технічні засоби (ЕОМ, периферійне встаткування), за допомогою яких вирішуються завдання проектування. *Математичне забезпечення* представляється математичними моделями, методами й алгоритмами для розв'язку проектних завдань.

*Програмне забезпечення* (ПЗ) це сукупність програм для реалізації автоматизованого проектування. Програмне забезпечення може бути спеціальним і загальним. Спеціальне ПО містить у собі пакети прикладних програм, призначених для розв'язку конкретних проектних завдань. Загальне ПО призначене для керування обчислювальним процесом у САПР і підготовки програм до виконання на ЕОМ. У загальне програмне забезпечення входять операційні системи (ОС) ЕОМ, а також програми, що не входять до складу ОС, але виконують подібні функції (керування завданнями, даними, редагування, трансляції і т.д.) у конкретній САПР.

*Лінгвістичне забезпечення* виражається сукупністю мовних засобів програмування. У лінгвістичне забезпечення входять загальновідомі алгоритмічні мови, використовувані для запису програм САПР, і вхідні мови, що служать для опису об'єктів проектування й завдань на виконання проектних процедур. Вхідні мови представляють для користувача САПР найбільший інтерес, визначаючи зручність спілкування інженера з ЕОМ у процесі проектування.

*Інформаційне забезпечення* – сукупність відомостей, необхідних для виконання проектування. Основну частину інформаційного забезпечення становить база даних – інформаційні масиви, що використовуються більш ніж в одній програмі проектування. Іноді до бази даних відносять масиви тільки даних довідкового характеру, а також масиви результатів виконання етапів проектування. Такі бази даних називаються архівами. База даних у процесі проектування повинна поповнятися, у ній можливі коректування вмісту, стирання застарілих і непотрібних відомостей. Повинна бути також забезпечений захист даних від неправильних змін. Доступ до вмісту бази даних потрібно забезпечити тільки певному колу осіб. Усі перераховані функції по роботі з базою даних забезпечується системою управління баз даних (СУБД). База даних разом із СУБД називають банком даних.

Система автоматизованого проектування створюється й функціонує в предметній області проектної організації або на підприємстві як самостійна система. Однак вона може бути зведена з підсистемами й банками даних інших автоматизованих систем: з автоматизованою системою для одержання досліджень, що забезпечують одержання й обробку математичних моделей для різних об'єктів і процесів; з авто-



матизованою системою керування (АСК), що організує хід проектування й розподілу ресурсів на проектні роботи; з автоматизованою системою управління підприємством (АСУП), що виготовляють проєктований об'єкт. Науково-технічний рівень САПР багато в чому визначається цими зв'язками, їх повнотою й інтенсивністю. Систему автоматизованого проєктування слід розглядати, що як постійно еволюційну систему, у якій досвід і інтуїція проєктувальника постійно передаються машинному середовищу. При цьому шляхом навчання в ЕОМ створюється певна модель процесу проєктування, а сама людина під впливом інформаційно-програмного середовища САПР інтенсифікує свою працю й піднімається на більш високий інтелектуальний рівень.

Структурна єдність підсистем САПР забезпечується регламентацією зв'язків між компонентами різних видів забезпечення, об'єднаних загальною для даної підсистеми цільовою функцією. Компонент являє собою елемент забезпечення, що виконує певну функцію в підсистемі: методичне забезпечення, лінгвістичне, математичне і т.д. Структурне об'єднання підсистем у систему забезпечується зв'язками між компонентами, що входять у підсистеми.

#### 1.4. Технічне забезпечення САПР

Основним компонентом технічного комплексу САПР є процесор. Він містить засоби для виконання арифметичних і логічних операцій, керування послідовністю виконання команд, організації обміну із пристроями введення та виводу інформації, а також засобами звертання до оперативної пам'яті. У число основних елементів технічного комплексу входять: зовнішня й внутрішня (оперативна) пам'ять; пристрої введення та виводу інформації; пристрої комутації й зв'язків. Технічний комплекс сучасних САПР створюється на базі засобів обчислювальної техніки загального призначення, розроблювальних у рамках ПК ЕОМ. Єдина система ЕОМ має загальний для всіх моделей склад периферійних пристроїв, які забезпечують: введення та вивід на лазерних і магнітних дисках; вивід на принтер; зв'язок з абонентами по Інтернет мережам і відображенням на дисплеях. Приєднання периферійного встаткування проводиться за допомогою стандартного інтерфейсу, що забезпечує можливість поповнення й відновлення його складу. Кожну з моделей ПК може бути розширено декількома способами: збільшенням кількості й номенклатури периферійних пристроїв, збільшення ємності оперативної пам'яті, створенням мережних комплексів і заміна процесора на більш продуктивний.

Агрегування обчислювальних комплексів дозволяє споживачеві

створити обчислювальні системи, що спеціалізуються за призначенням системи проектування. При цьому ефективна взаємодія інженера з ЕОМ буде забезпечена тільки в тому випадку, якщо форма ведення або виведення інформації зручна для людини, тобто не приводить до необхідності вручну виконувати операції по кодуванню або розшифруванню повідомлень. Залежно від характеру розв'язуваного завдання зручними формами представлення інформації можуть бути таблиці, креслення, графіки, текстові повідомлення і т.д. Комплект зовнішніх пристроїв, установлюваних у приміщення проектного підрозділу називають автоматизованим робочим місцем (АРМ) проектувальника. Склад АРМ визначається характером завдань, розв'язуваних у проектному підрозділі.

Технічне забезпечення САПР містить у собі різні технічні засоби, використовувані для виконання автоматизованого проектування, а саме:

1. ЕОМ (ПК)
2. Периферійні пристрої
3. Мережне встаткування з відповідними серверами
4. Устаткування допоміжних систем (наприклад, вимірювальних, відеоапаратури й т.п.), що підтримують проектування.

Використовувані технічні засоби виконують наступні функції:

1. Виконання проектних процедур, для яких є відповідне програмне забезпечення проектно-конструкторських програм (AutoCAD, SolidWorks, Компас-3D і ін.). Ця функція виконується при наявності в САПР обчислювальних машин з достатніми продуктивністю і ємністю пам'яті.

2. Взаємодія між проектувальниками й ЕОМ — підтримку інтерактивного режиму роботи. Функція відноситься до користувацького інтерфейсу. Виконується за рахунок включення в САПР засобів введення та виводу даних і насамперед пристроїв обміну графічною інформацією.

3. Взаємодія між членами колективу, що виконують роботу над загальним проектом. Дана функції обумовлює об'єднання апаратних засобів САПР в обчислювальну мережу.

У результаті загальна структура САПР являє собою мережу вузлів, зв'язаних між собою середовищем передачі даних. Вузлами (станціями даних) є робочі місця проектувальників, тобто автоматизованими робочими місцями (АРМ) або робочими станціями (WS — Workstation), ними можуть бути ЕОМ чи ПК, окремі периферійні й вимірювальні пристрої.

*Апаратура робочих місць САПР.* Як відзначено вище, у якості засобів обробки даних у сучасних САПР широко використовують робочі

станції, сервери, персональні комп'ютери. На базі робочих станцій або персональних комп'ютерів створюють автоматизовані робочі місця (АРМ). Типовий склад пристроїв АРМ: ЕОМ з одним або декількома мікропроцесорами, оперативною й кеш-пам'яттю й шинами, що служать для взаємного зв'язку пристроїв; пристрою введення-виводу, що включають у себе, як мінімум, клавіатуру, мишу (маніпулятор), дисплей; а також до складу АРМ входять для вводу графічної інформації: сканер, дигітайзер; а для виводу: принтер, плоттер (графобудівник), і деякі інші периферійні пристрої (Рис. 1.1), наприклад, відеоапаратура, проекційні апарати і т.п.

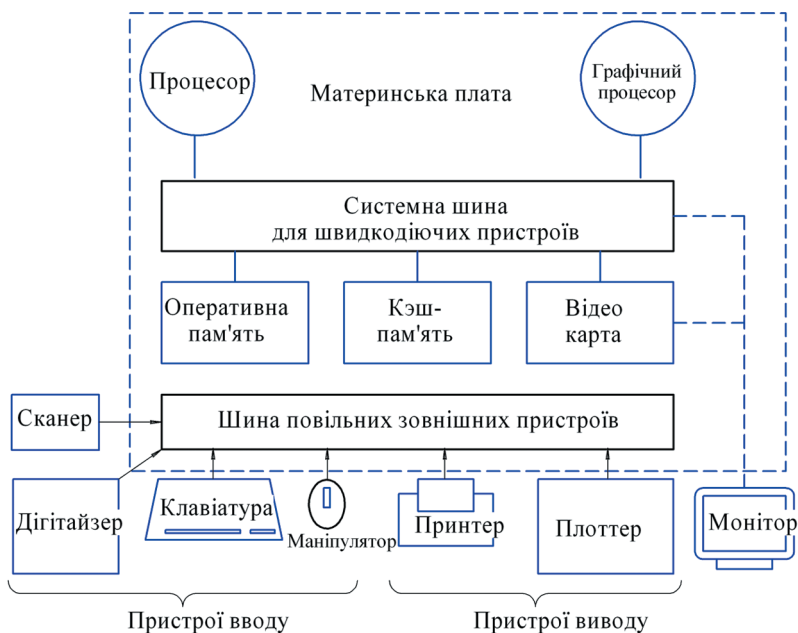


Рис. 1.1. Структура апаратного забезпечення АРМ

Пам'ять ЕОМ звичайно має ієрархічну структуру. Оскільки в пам'яті великого обсягу важко досягти одночасно високої швидкості запису й зчитування даних, пам'ять ділять на надшвидкодіючу кеш-пам'ять малої ємності, основну оперативну пам'ять помірного обсягу й порівняно повільну зовнішню пам'ять великої ємності, причому, у свою чергу, кеш-пам'ять часто розділяють на кеш першого й другого рівнів. Кеш — це логічне сховище даних записів ресурсів для останніх імен вилучених вузлів. Кеш, як правило, створюється динамічно під час відправлення комп'ютером запитів і дозволу імен. Кеш-пам'ять від-

творює процес тимчасового збереження останніх даних, що використовувалися, в особливому пулі пам'яті для швидкого доступу. Для зв'язку найбільш швидкодіючих пристроїв (процесора, оперативної й кеш-пам'яті, відео карти) використовується системна шина із пропускнуою здатністю до кількох Гбайт/с. Крім системної шини на материнській платі комп'ютера є шина розширення для підключення мережного контролера й швидких зовнішніх пристроїв (наприклад, шина PCI із пропускнуою здатністю сотен Мбайт/с) і шина повільних зовнішніх пристроїв, таких як клавіатура, миша, принтер і т.п.

*Пристрої введення графічної інформації.* До пристроїв введення графічної інформації належать:

1. Графічні планшети (дигітайзери)
2. Пристрої введення сканувального типу
3. Маніпулятори
4. Пристрої введення клавіатурного типу
5. Пристрої тактильного введення інформації

На рис. 1.2 вказані основні види пристроїв введення інформації.

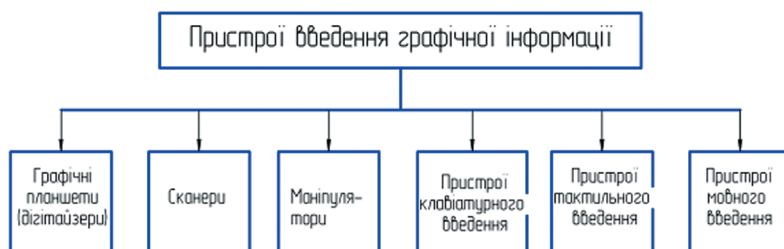


Рис. 1.2. Пристрої введення інформації

#### Контрольні запитання

1. Визначення та призначення CAD-систем
2. В чому полягають основні функції CAD/CAM/CAE-систем
3. Вкажіть види забезпечення САПР та надайте їм характеристику
4. Надайте характеристику інформаційного забезпечення САПР
5. Надайте склад та характеристику технічного забезпечення САПР
6. Наведіть структуру апаратного забезпечення АРМ
7. Надайте перелік пристроїв введення інформації



## Розділ 2. Базові операції в середовищі AutoCAD

У цьому розділі викладені базові операції креслення в середовищі AutoCAD для побудови графічних примітивів. Освоєння цих команд дозволить надалі користувачеві створювати й редагувати елементарні креслення у двомірному (2D) просторі.

### 2.1. Створення й редагування графічних об'єктів

*Ціль роботи:* Вивчення базових операцій AutoCAD по створенню й редагуванню графічних примітивів з використанням різних режимів об'єктної прив'язки. Придбання практичних навичок у використанні найбільш часто застосовуваних команд AutoCAD: Відрізок, Коло, Подібний й Обріж.

*Зміст завдання:* Створення малюнка механічної деталі – фланця. Фланець складається з окружностей і відрізків; непотрібні частини об'єктів віддаляються.

Робота складається із шести процедур:

- 1) Створення нового файлу малюнка.
- 2) Налаштування робочого середовища.
- 3) Побудова двох втулок.
- 4) Побудова відрізка для з'єднання нижніх країв втулок за допомогою об'єктної прив'язки.
- 5) Дзеркальне відображення відрізка для з'єднання верхніх країв втулок.
- 6) Обрізка непотрібних частин об'єкта.

1. Створення файлу малюнка на основі шаблону (template)

Файл lesson01.dwt знаходиться в каталозі template AutoCAD. Для виконання даної вправи необхідно створити новий малюнок на базі шаблону lesson01.dwt. Після запуску AutoCAD слід відкрити шаблон для даної вправи в такий спосіб:

1.1. З меню “Файл” «File» вибрати “Новий” «New» .

1.2. У діалоговому вікні «Створення нового малюнка» «Create New Drawing» натиснути кнопку «По шаблону».

1.3. У списку “Виберіть шаблон” (Select a Template) вибрати файл lesson01.dwt і натиснути кнопку “ОК”.

Autocad відкриває новий малюнок з використанням установок із шаблону lesson01.dwt. Область малюнка повинна бути порожня.

2. Налаштування графічного середовища малюнка.

Шаблон малюнка повинен містити установки для одного або більш із наступних параметрів:

Одиниці малюнка (десяткові, інженерні й т.п.)

Ліміти (задані границі малюнка)

Режими малювання (“Крок” «Snap», “Сітка” «Grid», “Орто” «Ortho On»), Шари, Типи ліній, Формат аркуша.

Необхідно встановити параметри графічного середовища: одиниці, ліміти й режими креслення.

2.1. З меню “Формат” (Format) вибрати “Одиниці” (Units Control).

2.2. У діалоговому вікні “Одиниці виміру” вибрати 0.00 у списку “Точність” «Precision», а потім натиснути “ОК”. AutoCAD використовує десяткові одиниці за замовчуванням, що є правильною установкою для даної справи.

Відповіді на запити системи, які ви повинні вводити в командному рядку, виділені напівжирним шрифтом, наприклад, при нижче зазначеному запиті в командному рядку, увести значення 16,12:

Правий верхній кут (Upper right corner): <12.0000,9.0000>: 16,12

2.3. З меню “Формат” (Format) вибрати “Ліміти” (Drawing Limits). Див. командний рядок:

<Лівий нижній кут> (ON/OFF/<Lower left corner> <0.00,0.00>:

Для прийняття значення за замовчуванням досить натиснути Enter.

Верхній правий кут (Upper right corner): <12.0,9.00>: 16,12

*Примітка.* Необхідно натискати Enter після введення кожної відповіді на запит AutoCAD.

Ви встановили ліміти малюнка в 16x12 одиниць, тобто деяким більш, ніж механічна деталь, яку ви будете будувати в даній справі. Візуально проконтролювати встановлені ліміти можна шляхом включення сітки, оскільки сітка виводиться тільки в межах заданих лімітів малюнка.

2.4. З меню “Сервіс” («Service» або «Tools») вибрати “Режими малювання” (Drawing Aids).

2.5. У діалоговому вікні “Режими малювання” установити прапорець у кнопці вибору “Вкл” (ON) групи “Сітка” (Grid).

2.6. Установити значення 0.2 у поле “Інтервал по X” групи “Сітка” (Grid), а потім натиснути “ОК”. (Інтервал по осі Y автоматично встановиться в 0.2.)

Для візуального контролю параметрів сітки й лімітів буде потрібно показати область малюнка до лімітів малюнка (Покажи Все) (Zoom All). Увести команду в командному рядку, що перебуває в нижній частині робочого вікна AutoCAD або у панелі “Zoom” натиснути кнопку “Покажи Все” (Zoom All). Тепер сітка поширюється до лімітів малюнка. Після налаштування графічного середовища можна приступати до малювання механічної деталі.

*Анотація.* Про абсолютні координати.

У двовимірній (2D) системі координат точки задаються шляхом

уведення двох значень, що визначають положення точки щодо горизонтальної (X) і вертикальної (Y) осей. Ці два значення повинні відділятися друг від друга комами, наприклад: 0,0 або 2,3 або 2.25, 6.05

Спочатку необхідно намалювати коло, що позначає зовнішній контур лівої втулки. При завданні команд слідкуйте за запитами в **командному рядку** робочого поля, а саме:

1. У панелі “Малювання” (Draw) натиснути кнопку “Коло” «Circle»: `_circle 3T/2T/ККР/ <Центр> 3P/2P/TTR/ <Center point> 3,4`. Далі вказати: `Діаметр/ <Радіус> Diameter/ <Radius>: 2`

Тепер потрібно намалювати інше коло, що позначає зовнішній контур правої втулки.

2. У панелі “Малювання” натиснути кнопку “Коло” «Circle». Після чого AutoCAD у командному рядку запитує центральну точку: `_circle 3T/2T/ККР/ <Центр>: 7.5,4`

`Діаметр/ <Радіус> Diameter/ <Radius> <1>: 1.2`

Отриманий малюнок повинен виглядати подібно зображеному нижче:



Тепер необхідно намалювати внутрішній контур лівої втулки.

3. У панелі “Редагування” натиснути кнопку “Подібний” (Offset).

*Анотація.* Про команду “Подібний” (OFFSET). Дана команда дозволяє копіювати об’єкти паралельно самим собі, або зі зсувом на задану відстань. У даній вправі використовується варіант із завданням відстані. Задайте відстань у командному рядку.

Величина зсуву або Точка `<Точка> Offset distance or Through:1` Після цього AutoCAD у командному рядку запитує вказати об’єкт для створення подібного примітиву. Виберіть об’єкт для створення йому подібних: `Select object to offset:` Виберіть ліве коло.

Далі потрібно вказати сторону, у яку буде зміщатися подібний об’єкт щодо вихідного.

Сторона зсуву? `Side to offset?:` Указати будь-яку точку у середині лівого кола. Для завершення роботи з командою Подібний (Offset) слід натиснути Enter. Отриманий малюнок повинен виглядати подібно зображеному нижче.



Вище описану операцію потрібно повторити для створення малюнка правої втулки.

4. У панелі “Редагування” «Modify» натиснути кнопку “Подіб-

ний” «Offset». Тому що радіус правої втулки рівний 1.2, значення зсуву слід задати рівним 0.6.

Величина зсуву або Точка, Offset distance or Through <1.00>: 0.6

Виберіть об'єкт для створення йому подібних: Select object to offset: Виберіть праве коло.

Сторона зсуву? Side to offset?: Указати будь-яку точку усередині правого кола. Для завершення роботи з командою Подібний слід натиснути Enter.

*Примітка.* При роботі з мишею замість натискання Enter можна натискати праву кнопку миші.

Далі слід побудувати відрізок, що з'єднає дві втулки по нижніх краях. За допомогою засобів об'єктної прив'язки AutoCAD можна малювати відрізки, прив'язуючи до характерних точок існуючих об'єктів: центрам кіл, кінцевим і серединним точкам відрізків. У даній вправі має бути побудований відрізок, що проходить по дотичній до двом колам, користуючись режимом об'єктної прив'язки “Дотична”.

1. У панелі “Малювання” «Draw» натиснути кнопку “Відрізок” «Line». У командному рядку Autocad запитує вказати початкову точку відрізка: \_line Від точки:

2. У панелі “Об'єктна прив'язка” «Object Snap» натиснути кнопку “Дотична” «Snap to Tangent»

*Анотація.* Про об'єктну прив'язку (Object Snap Setting). Завдання точки за допомогою об'єктної прив'язки позбавляє від необхідності вказувати точне місце її розташування; досить, щоб потрібна характерна точка об'єкта перебувала в межах прицілу курсору. При використанні об'єктної прив'язки AutoCAD додає додаткову підказку, що відображає назву поточного режиму об'єктної прив'язки. Ви побачите маленьке зображення жовтої окружності, яке фіксується на точці прив'язки й позначає тип використовуваного режиму.

Впливає запит у командному рядку: \_line Від точки: \_tan до: Вибрати нижню частину зовнішнього лівого кола. Далі AutoCAD запитує вказати інший кінець відрізка.

3. У панелі “Об'єктна прив'язка” «Object Snap» натиснути кнопку “Дотична” «Snap to Tangent». У командному рядку: До точки: To point: Вибрати нижню частину зовнішнього правого кола. Після чого Autocad зобразить відрізок, що з'єднає два кола по дотичній. У командному рядку: До крапки: To point: Для завершення роботи з командою Відрізок слід натиснути Enter. Отриманий малюнок повинен виглядати подібно зображеному нижче.





З метою з'єднання верхніх країв втулок слід виконати дзеркальне відображення відрізка, відносно центрів окружностей втулок. Замість того, щоб повторювати команду Відрізок для з'єднання втулок по верхній частині, можна дзеркально відобразити нижній відрізок за допомогою команди «Дзеркало». Команда «Дзеркало» створює копію існуючого об'єкта шляхом відображення його на іншу сторону осі, заданої двома точками.

1. У панелі “Редагування” «Modify» натиснути кнопку “Дзеркало” (Mirror). Після чого AutoCAD запросить указати об'єкти, що підлягають відбиттю: <Select object:>. Виберіть об'єкти, клацнувши «мишкою» по відрізкові. Для завершення вибору натисніть Enter.

Після цього AutoCAD запитує першу, а потім другу точки осі відбиття. AutoCAD використовує задану вісь відбиття як вісь симетрії при побудові дзеркальної копії відбиваного об'єкта. Для побудови цієї осі в цьому випадку зручно скористатися режимом об'єктної прив'язки “Центр”. Перша точка осі відбиття:

2. У панелі “Об'єктна прив'язка” «Object Snap» натиснути кнопку “Центр” (Snap to Center). Див. командний рядок:

Перша точка осі відбиття: \_cen of: Виберіть ліве зовнішнє коло.

AutoCAD запитує: Друга точка: (Second point)

У панелі “Об'єктна прив'язка” «Object Snap» натиснути кнопку “Центр” (Snap to Center) і виберіть праве коло.

AutoCAD запитує, чи потрібно видаляти старий об'єкт (Вилучити старі об'єкти? <N>). Щоб залишити його на місці, потрібно погодитися з тим, що пропонується за замовчуванням (N). Натиснути Enter для збереження вихідного об'єкта й завершення команди Отриманий малюнок повинен виглядати подібно зображеному нижче.



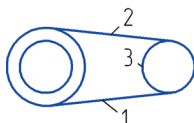
Для завершення вправи залишається стерти частина зовнішнього правого кола за допомогою команди «Обріж».

*Анотація.* Про команду «Обріж» (Trim). Командою «Обріж» користуються для стирання частин об'єктів точно по ріжучій крайці, обумовлених одним або декількома об'єктами.

При виклику команди «Обріж» AutoCAD запитує вказати спочатку об'єкти, які будуть використані в якості ріжучої крайки. Після цього AutoCAD запитує вказати об'єкти, які повинні бути обрізані. Після цього частина об'єктів, що відрізається крайкою, стирається.

1. У панелі “Редагування” натиснути кнопку “Обрізати” (Trim)

На даному кроці необхідно вибрати лінії в послідовності, зазначеної нижче поданому малюнку:



2. Виберіть об'єкти: Вибрати відрізок (1)  
3. Виберіть об'єкти: Вибрати відрізок (2)  
4. Натисніть Enter для завершення вибору ріжучих крайок  
5. <Виберіть об'єкт, який потрібно обрізати  
>Проекція/Крайка/Скасуй: <Select object to trim>/Project/Edge  
/Undo: Вибрати коло (3) Для завершення вибору об'єктів натисніть Enter. AutoCAD відрізає від кола ділянку між двома дотичними.

Обновите зображення на екрані за допомогою команди Redraw або Regen.

*Анотація.* Про маркери й команди «Regen»

Мітки у вигляді хрестиків, що з'являються в області малюнка, називаються маркерами. Маркери з'являються в місцях вказівки точок. Для видалення маркерів з екрана слід використовувати команди «Redraw» або «Regen» (регенерація). Команда «Redraw» обновляє зображення на екрані. Команда «Regen» виконує перерахунок параметрів усіх об'єктів бази даних малюнка. У панелі “Стандартна” натиснути кнопку «Redraw all». Виконати запис файлу й підготувати відповіді на контрольні питання.

Поясніть наступні поняття, режими, команди й функції, які ви використовували при виконанні даної роботи:

Шаблон малюнка (Template)

Одиниці (Units)

Ліміти (Limits)

Сітка (Grid)

Команди: (Command:)

Покажи (Zoom)

Коло (Circle)

Відрізок (Line)

Дзеркало (Mirror)

Обріж (Trim)

Освіжи (Redraw).

Абсолютні (2D) координати.

Режим об'єктної прив'язки: “Дотична” (Snap to Tangent), “Центр” (Snap to Center).

Запитання для самоконтролю

1. Що таке «Шаблон малюнка» (template)?
2. Які параметри шаблону підлягають завданню при виконанні операції «Настроювання графічного середовища»?
3. Назвіть режими об'єктної прив'язки.
4. Яке призначення команди «Подібний» (OFFSET)?
5. Як задаються координати точок в 2-х мірної (2D) абсолютній системі координат?
6. Що таке «маркери»?
7. Поясніть призначення команди «Регенерація» (Regen).

## 2.2. Створення малюнка об'ємної моделі

*Ціль роботи:* Придбання навичок керування командами створення об'ємної моделі методом побудови двовимірного профілю деталі й обертання його для одержання тривимірного тіла.

*Зміст завдання:* Побудова об'ємного зображення деталі – шків.

*Порядок виконання роботи.* Робота складається із чотирьох процедур: 1. Створення нового файлу малюнка. 2. Побудова профілю шків за допомогою Полілінії. 3. Створення моделі тіла обертання. 4. Зміна точки зору й видалення невидимих ліній [2].

1. Створення файлу малюнка. Файл lesson04.dwt перебуває в каталозі template AutoCAD.

1.1. З меню «Файл» «Fill» вибрати «Новий» «New» .

1.2. У діалоговому вікні створення нового малюнка «Create New Drawing» натиснути кнопку «По шаблону».

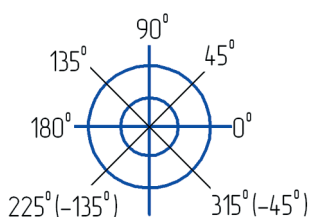
1.3. У списку «Виберіть шаблон» (Select a Template) вибрати файл lesson04.dwt і натиснути кнопку «ОК».

*Анотація.* Про режим «Полілінія» (Polyline). Полілінія – це графічний об'єкт, що полягає з безперервної серії сегментів (відрізків і дуг), оброблюваних AutoCAD як єдиний об'єкт.

У даній роботі має бути побудований профіль шків за допомогою Полілінії, а потім необхідно створити об'ємну модель шляхом обертання побудованого профілю. Точки сегментів полілінії будуть задаватися в полярних координатах, причому кожний наступний сегмент буде починатися в кінцевій точці попереднього.

*Анотація.* Про полярні координати. Полярні координати задають відстань і кут у площині XY, поділювані символом <. Вони можуть бути абсолютними або відносними. Оскільки в даному завданні використовуються відносні полярні координати, то слід вводити символ @ для вказівки того, що наступний сегмент починається в поточній точці.

Наведений нижче малюнок ілюструє, яким образом відлічують кути в сферичній системі координат.



2. Побудова профілю деталі – шків.

2.1. У панелі “Малювання” (Draw) натиснути кнопку “Полілінія” (Polyline). *Примітка:* Необхідно натискати Enter після введення кожної відповіді на запит AutoCAD. Див. командний рядок (внизу робочого поля): Від точки (From point): 1,2

Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width/<Endpoint of line>:  
@1<270

У такий же спосіб потрібно ввести й інші точки полілінії, натискаючи Enter після введення кожної пари координат. Якщо при введенні координат була допущена помилка, то можна скасувати останній побудований сегмент, увівши «u» Скасууй (Undo). Далі в командному рядку потрібно ввести значення полярних координат:

<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @1<0  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @1<270  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @.35<0  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @1.1<90  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @0.1<180  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @0.2<90  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @0.5<180  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): @0.7<90  
<Кінцева точка сегмента>: (<Endpoint of line>): c

Отриманий малюнок повинен виглядати подібно зображеному. Один з кутів контуру необхідно округлити за допомогою команди Fillet.



2.2. У панелі “Редагування” (Modify) натиснути кнопку Fillet). Див. командний рядок:

Polyline/Radius/Trim<Select first object>: r

Уведіть радіус сполучення <0.0000>: 0.125

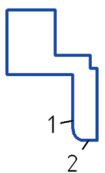
2.3. Для повторення команди Fillet слід натиснути Enter.

На наступному малюнку показані сегменти, які необхідно сполучити.

(Polyline/Radius/Trim<Select first object>): Вибрати відрізок (1)

Виберіть другий об'єкт: (Select second object): Вибрати відрізок (2)

Натиснути Enter.



Далі необхідно зняти фаску одного з кутів шківів.

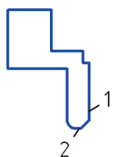
*Анотація.* Про команду Фаска (Chamfer). Команда Фаска (Chamfer) схожа на команду Сполучи (Fillet), але на відміну від неї не скругляє кути, а зрізує по прямій. Замість радіуса сполучення задається відстань від кута. Спочатку необхідно задати розміри фаски.

2.4. У панелі “Редагування” (Modify) натиснути кнопку “Фаска” (Chamfer). Див. командний рядок:

(Polyline/Distance/Angle/Trim/Method<Select first line>: d

Перша довжина фаски <0.0000>: (Enter first chamfer distance<0.0000>): 0.125

Друга довжина фаски <0.0000>: (Enter second chamfer distance): <0.1250>: Для прийняття значення за замовчуванням досить натиснути Enter.



2.5. Для виконання команди Фаска (Chamfer) слід натиснути Enter.

На даному кроці необхідно вибрати лінії, як показано на малюнку.

Полілінія/Довжина/Кут/Режим/Метод<Виберіть перший відрізок>:

(Polyline/Distance/Angle/Trim/Method<Select first line>): Вибрати відрізок (1)

Виберіть другий відрізок: (Select second line): Вибрати відрізок (2)

3. Створення моделі тіла обертання. Для створення тіла обертання необхідно задати контур і вісь, навколо якої він буде обертатися. Вісь обертання можна спеціально накреслити для цього у вигляді лінії, а можна просто вказати дві точки уявлюваної осі, як це запропоноване нижче.

3.1. З меню “Вид” (View) вибрати “Панелі” (Toolbars).

3.2. У діалоговому вікні “Панелі” (Toolbars) вибрати панель “Тіла” (Solids).

3.3. У діалоговому вікні “Панелі” (Toolbars) натиснути кнопку “Закрити” (Close). AutoCAD виводить на екран панель “Тіла” (Solids). Виберіть для неї підходяще місце на екрані й установите туди.

3.4. У панелі “Тіла” (Solids) натиснути кнопку “Обертати” (Revolve). Виберіть об’єкти: (Select objects): Виберіть полілінію й натисніть Enter.

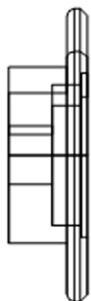
Вісь обертання – Об’єкт/X/Y/<Початкова точка осі>:

(Axis of revolution - Object/X/Y/<Start point of axis>):1,2.5

Кінцева точка осі: (End point of axis): 2,2.5

Щоб можна було побачити, що отримане тіло дійсне є суцільним, можна повернути перетин на кут, менший 360 градусів. У результаті вийде модель, розсічена під заданим кутом.

Кут обертання <повне коло>: (Angle of revolution<full circle>): 225  
Отримана модель на виді в плані повинна виглядати подібно зображеної нижче.



4. Зміни точки зору й видалення невидимих ліній. У заключній частині роботи слід розглянути модель у тривимірному просторі й відобразити її з вилученими невидимими лініями, що поліпшує сприйняття зображення деталі.

*Анотація.* Про команду «Точка зору» або Vpoint. Ця команда служить для зміни точки зору, з якої розглядається малюнок. Точка зору задається координатами X,Y і Z. У даній виправі модель буде розглядатися із точки, розташованої на відстані 3 одиниці уздовж осі X, на 3 одиниці вниз по осі Y і на 1 одиницю нагору по осі Z.

4.1. У командному рядку ввести команду: vpoint

Поверни /< Точка зору> <0.0000,0.0000,1.0000>:

(Rotate /<View point> <0.0000,0.0000,1.0000>): 3,-3,1

Далі необхідно сховати невидимі лінії побудованої деталі.

*Анотація.* Про команду Сховай (Hide). Команда Сховай (Hide) дозволяє відобразити модель із вилученими невидимими лініями. Після цього можна буде розглянути суцільну структуру отриманого об'ємного об'єкта.

4.2. З меню “Вид” (View) вибрати пункт “Панелі” (Toolbars), а потім вибрати панель “Тонування” (Render). AutoCAD виведе на екран панель “Тонування” (Render). Виберіть для неї підходяще місце на екрані й установите туди панель.

4.3. У діалоговому вікні “Панелі” (Toolbars) натиснути кнопку “Закрити” (Close).

4.4. У панелі “Тонування” (Render) натиснути кнопку “Сховати лінії” (Hide).

AutoCAD перемальовує модель і відображає її знову з вилученими невидимими лініями.

5. Створення нового малюнка шківа у вигляді суцільного тіла у проекції з поворотом навколо осі Y. Для зміни проекції моделі й створення її у вигляді суцільного тіла необхідно:

5.1. У списку “Виберіть шаблон” (Select a Template) вибрати файл lesson04.dwt і натиснути кнопку “ОК”.

5.2. Створити плоску модель, аналогічну вище наведеної.

5.3. Повернути контур моделі навколо осі Y (тобто задавши координати точок осі обертання (Revolve) наступні:

першої точки:  $x_1 = 2.5$   $y_1 = 1$  і другої точки:  $x_2 = 2.5$   $y_2 = 2$ .

5.4. Задати кут обертання перетину <повне коло> або 360 градусів. Тобто після введення координат точок осі обертання на запит ко-

мандного рядка натиснути Enter або увести значення: 360 градусів. Див. командний рядок: Кут обертання <повне коло>: (Angle of revolution<full circle>): 360

5.5. Координати точки зору (Vpoint) зберегти колишні, сховавши невидимі лінії. Привласнити ім'я новому малюнку, записати файл і підготувати відповіді на контрольні питання.

## 2.3. Створення бібліотеки блоків схем алгоритмів

*Ціль роботи:* Вивчення базових технологій AutoCAD по створенню й редагуванню шаблонів (Template). Придбання практичних навичок у використанні команд WBLOCK, BLOCK, INSERT.

*Порядок виконання роботи:* 1. Настроювання графічного середовища. 2. Створення креслень блоків. 3. Перетворення фрагментів креслення в окремі блоки шаблону. 4. Створення шаблону для побудови блок-схем алгоритмів у форматі \*dwt.

1. Настроювання графічного середовища.

1.1. З меню «Файл» «File» вибрати «Новий» «New».

1.2. У діалоговому вікні «Створити нове креслення» «Create New Drawing» вибрати вставку «Використовувати майстер», а у вікні діалогу вибрати режим «Швидке настроювання».

1.3. У вікні «Швидке настроювання» вибрати одиниці виміру «Десяткові» і натиснути піктограму «Далі».

1.4. Установити розміри поля креслення: ширина «210»; висота «297» і натиснути піктограму «Готово».

1.5. Установити «Параметри креслення» (Drafting Setting):

1.5.1. У меню «Інструменти» вибрати команду «Параметри креслення» і у вікні, що з'явилося, діалогу вибрати вставку «Об'єктні прив'язки» (Object Snap), а в останньому командою «Виділити всі» включити всі об'єктні прив'язки. Натиснути «ОК».

1.5.2. У командному рядку, задавши команду «Snap» («Крок»), установити значення кроку курсору 0.01.

1.5.3. У рядку стану включити «Орто-Режим» (Ortho).

1.6. Створити чотири нові шари: для тексту під іменем «Текст», для суцільних тонких ліній – «Тонкі лінії», для суцільних основних ліній «Основні лінії» (колір синій) і для розмірів – «Розміри». Усі зазначені об'єкти розміщати в їхніх шарах.

1.7. Викликати вікно діалогу «Менеджер стилів розмірів», задавши команду «Стиль розміру» у меню «Формат». Вибрати закладку «Створити» і у вікні діалогу «Створити новий стиль» записати:

– у рядку «Ім'я нового стилю»: ДСТУ 2.104-2006; у рядку «Почати з»: ISO-25 або STANDARD; у рядку «Використовувати для»: Усі

розміри. Натиснути закладку «Продовжити». У вікні, що з'явилося, діалогу «Новий стиль розміру ДСТУ 2.104-2006» виконати наступні настроювання стилів розмірів:

1.7.1. Вибрати розділ «Лінії стрілки» і встановити наступні значення:

- Стрілки: 1-я й 2-я вибрати «Відкрита». Розмір стрілки: 4 мм. Позначити центр окружності: вибрати з набору «Лінія», а її розмір установити 5 мм.

1.7.2. Вибрати розділ «Текст» і встановити наступні настроювання:

- у підрозділі «Вид тексту»: Стиль Standard. Висота тексту 4 мм.
- у підрозділі «Розміщення тексту»: По вертикалі: вибрати JIS. По горизонталі «По центру». Відступ від розмірної лінії: 1 мм.

1.7.3. Вибрати розділ «Основні одиниці» і в підрозділі точність вибрати значення 0,0. Натиснути «ОК».

1.7.3. Стиль розмірів «ДСТУ 2.104-2006» установити поточним стилем, нажавши кнопку «Зробити поточним» і закрити вікно «Менеджер стилів розмірів».

1.8. У панелі “Zoom” натиснути кнопку “Покажи Всі” (Zoom All) і зберегти файл креслення під іменем «Елементи схем», створивши папку у директорії з іменем «Алгоритм».

2. Створення креслень блоків.

2.1. По заданих ескізах накреслити в даному файлі майбутні блоки схем алгоритмів згідно рис. 2.1.

При цьому всі об'єкти: суцільні основні, тонкі лінії й тексти розміщати у відповідних шарах, проставивши розміри.

У процесі виконання креслення зберігати файл під тим же іменем.

3. Перетворення фрагментів креслення в окремі блоки шаблону.

3.1. Увести в рядок текстового процесора (командний рядок) команду Block.

3.2. У вікні діалогу «Опис блоку» виконати наступне: у розділі «Ім'я» привласнити ім'я блоку згідно з ескізом.

- у розділі «Базова точка» вибрати піктограму «Базова точка» (це означає, що дана точка надалі буде точкою прив'язки блоку до курсору);

- на кресленні вказати курсором середину (для прямокутних) або центр (для круглих блоків), або верхню крайню точку для блоків подібних трикутника.

- у розділі «Об'єкти» вплинути курсором на піктограму «Вибрати об'єкти»;

- на кресленні вибрати тільки контур блоку (без розмірів);

- у вікні, що з'явилося знову, діалогу в розділі «Об'єкти» вибрати команду «Вилучити» і натиснути «ОК».



3.3. Далі для привласнення імен блокам (рис. 2.1), аналогічно виконати операції п. 3.2 для кожного із блоків схем алгоритмів. При цьому всі блоки будуть збережені в даному кресленні у вигляді електронної таблиці. Вікна діалогу для вставки блока відкриваються командою «Insert» (Вставити).

4. Створення шаблону для побудови блок-схем алгоритмів у форматі \*dwt.

Співвідношення розмірів:  $a=24\text{мм}$ ;  $b=15a$ .

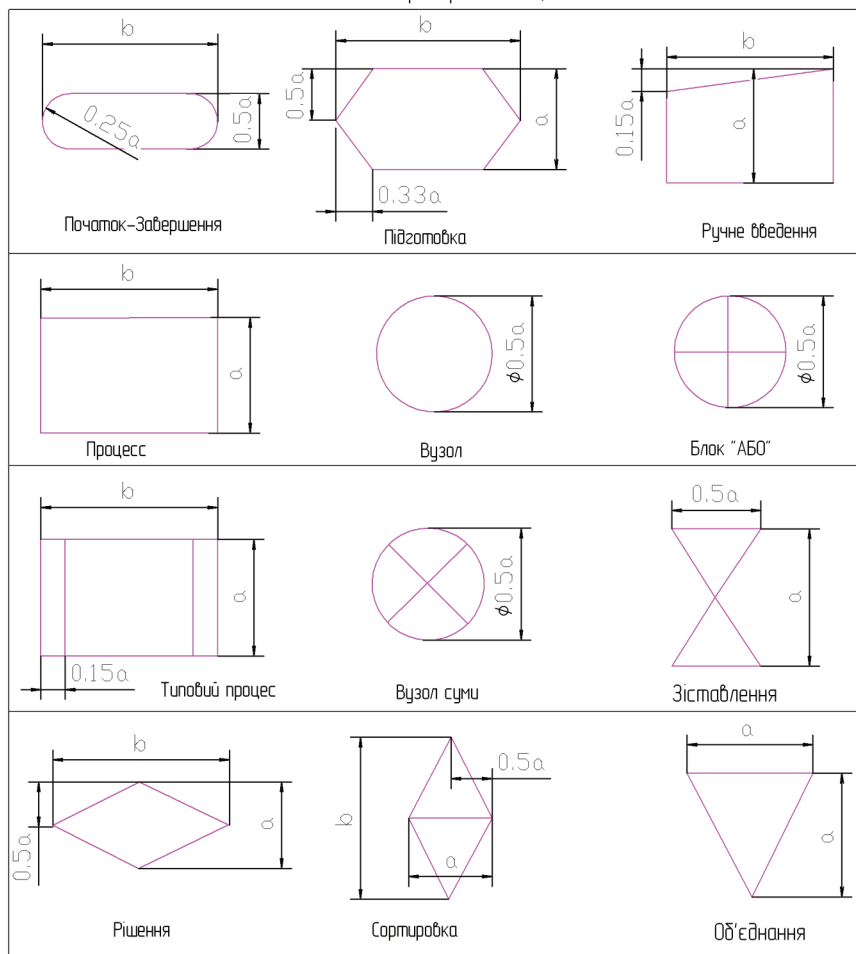


Рис. 2.1. Ескізи блоків схем алгоритмів

4.1. У тій же директорії зберегти файл під новим іменем «Алгоритм», але тепер уже у форматі \*.dwt. Потім виділити всі об'єкти й вилучити, залишивши чисте поле креслення. Зберегти й закрити шаблон.

4.2. З меню “Файл” «File» вибрати “Новий” «New». У діалоговому вікні “Створити нове креслення” «Create New Drawing» вибрати вставку «Використовувати шаблон» і вплинувши на піктограму «Огляд» відкрити шаблон «Алгоритм», що має, формат \*.dwt.

4.3. Послідовно вводячи в командний рядок команду Insert (Встав) або використовуючи відповідну піктограму «Insert block» вставити довільно кілька блоків, вибираючи блоки з вікна «Ім'я». При цьому рекомендується попередньо скласти будь-яку блок-схему алгоритму з 4-х – 5-ти елементів і після їхньої вставки з'єднати блоки їх лініями зв'язків.

Рекомендується файл «Алгоритм.dwt» на власному комп'ютері завантажити в директорію Autocad\Template.

Таким чином, створений шаблон буде служити майстром у подальшій роботі зі створення блок-схем алгоритмів. Для чого необхідно виконувати наступне: З меню “Файл” «File» вибирати “Новий” «New». У діалоговому вікні “Створити нове креслення” «Create New Drawing» указувати вкладку “По шаблону” і вибирати створений шаблон «Алгоритм.dwt» для нової схеми, зберігаючи її вже у форматі креслення, тобто \*.dwg (а не у форматі шаблону \*.dwt). Далі командою «Insert», викликавши вікно діалогу «Вставити», зі списку «Ім'я» вибрати необхідні блоки для шуканої схеми алгоритму.

Надалі слід поповнювати шаблон «Алгоритм.dwt» новими блоками схем, тим самим створюючи власну бібліотеку фрагментів для використання у майбутніх проектах.

#### Контрольні запитання

1. У якому виді відображаються графічні об'єкти при завданні команди «Полілінія» (Polyline)
2. У чому полягає призначення полярних координат (Polar coordinates) і який символ слід застосовувати при їхнім уведенні
3. Яке призначення команди Сховай (Hide)
4. У чому полягає відмінність команд Сполучи (Fillet) і Фаска (Chamfer)
5. Як виконати перетин об'ємної моделі



## Розділ 3. Комп'ютерний практикум в середовищі Компас 3D

Компас-3D – система двох- і тривимірного проектування, розроблена компанією Аскон. Призначена для проектування обладнання та виробів основного й допоміжного виробництва у різних галузях промисловості [6].

### 3.1. Створення специфікації й асоціативних видів із 3D в 2D креслення робочого проєкту

*Ціль роботи:* Освоєння навичок створення нормативних проєктних документів в електронному виді.

*Зміст завдання:* Розробка Специфікації елементів складального вузла.

*Порядок виконання роботи.* Робота складається з наступних процедур: 1. Виконання (або завантаження раніше розробленого) складального вузла в середовищі «Компас 3D». 2. Використання раніше створеної 3D-Моделі для створення асоціативних видів 2D складального креслення. 3. Проставляння позицій елементів креслення проєкту. 4. Виклик шаблону й налаштування стилю нормативного документа ЄСКД «Специфікація». 5. Створення нової специфікації.

1. Загальні відомості про специфікацію.

*Визначення:* Специфікація — це тип документа ЄСКД (Єдиної системи конструкторської документації) який містить: назву, параметри або номер стандарту елемента складальної одиниці об'єкта виробництва, а також вказівку позиції місця знаходження елемента на кресленні. У середовищі «Компас 3D» стандартне розширення файлу специфікації: \*.spw, а робочого креслення \*cdw. Специфікації є невід'ємною частиною будь-якого проєкту.

При вставці в креслення або модель стандартних виробів, що входять у складальне креслення, їх позначення (назва, параметри, номер стандарту) формується й вноситься в специфікацію автоматично з конструкторської бібліотеки, що поставляється в складі системи «Компас 3D». Здійснюється двох направлений асоціативний зв'язок між специфікацією й відповідними їй документами. Завдяки наявності цього зв'язку зміни в 2D складальному кресленні або 3D моделі автоматично відбиваються в специфікації. Зміни в специфікації можуть автоматично передаватися в складальне креслення або модель.

*Рекомендація:* Розташувавши поруч вікна специфікації й пов'яза-

ного з нею документа, можна швидко знайти на кресленні зображення будь-якого внесеного в специфікацію об'єкта.

Для кожного об'єкта специфікації можна вказати вхідні до його складу геометричні об'єкти, лінію-винесення, назву, позначення, кількість, примітку і т.д. При підключенні підготовленого в такий спосіб аркуша складального креслення до специфікації відбувається автоматичний перенос існуючих у ньому об'єктів у специфікацію (з перерахунком номерів позицій, зон і т.д.). Оформлення типів, що поставляються в складі системи специфікацій і правила їх заповнення (склад бланка, нумерація позицій і сортування рядків, назви розділів і т.д.) відповідають стандарту (конкретні номери Держстандарту зазначені в назвах стилів специфікацій).

## 2. Порядок виконання роботи.

*Увага:* інколи в дужках надані назви меню та команд на російськомовному інтерфейсі Компас 3D.

2.1. У середовищі «Компас 3D» відкрити з директорії «1-Лаб\_Спец» раніше створену 3D-Модель 01.00.000\_Інкодер\_3D з розширенням \*a3d (див. рис. 3.1).

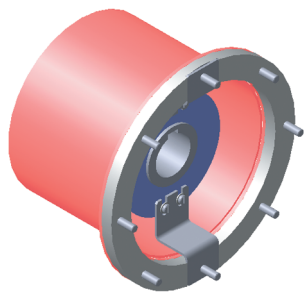


Рис. 3.1. Модель 3D інкодера

2.2. Для ознайомлення із составом складального вузла в текстовому меню вибрати команду «Сервіс» — «Рознести компоненти» — «Рознести» або відразу використувати піктограму «Рознести» (угорі праворуч). Буде отримано вид на рис. 3.2. У вікні «Дерево моделі» (ліворуч на робочому полі) по черзі виділяти компоненти вузла, тим самим активуючи їх в 3D-Моделі. Компоненти моделі «Корпус» і «Енкодер» є вузлами всього складального креслення 3D. Тому в майбутній специфікації їх позиції й найменування повинні бути розміщені в розділі «Складальні одиниці» (рос.: Сборочные единицы) із присвоєнням їм відповідних номерів. Компонент «Кільце монтажне» є деталлю (а не складальною одиницею), тому його позиція розміщається в розділі специфікації «Деталі». Інші компоненти — елементи кріплення (гвинти) є стандартними виробами, тому їх позиції й найменування розміщуються в розділі специфікації «Стандартні вироби».

2.3. Командою в меню «Створити» вибрати новий 2D «Креслення» (Чертеж) формату A4. У панелі інструментів вибрати піктограму «Види» і далі «Стандартні види». У відповідній директорії вказати 3D-Модель «01.00.000\_Інкодер\_3D». При розміщенні на кресленні трьох стандартних видів, задати масштаб 2:1 (панель унизу).

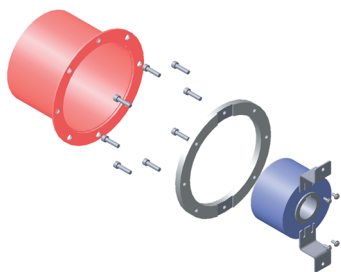


Рис. 3.2. Модель 3D інкодера в рознесеному стані

монтажне і т.д. Стандартним компонентам у розділі специфікації «Стандартні вироби» (Стандартные изделия) номери не привласнюються.

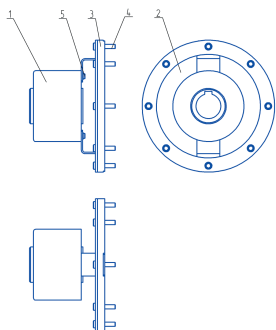


Рис. 3.3. Три стандартних види інкодера

Будуть отримані три стандартних вида, що показані на рис. 3.3.

2.4. Зберегти креслення під іменем «01.00.000СК\_Інкодер» у форматі \*cdw, тобто у форматі 2D. У імені файлу «01.00.000СК\_Інкодер» перші дві цифри позначають номер складання, другі дві — номери вузлів (див. вище п. 2.2), а останні три цифри — номери деталей, які слід вносити в специфікацію. Наприклад, 01.01.000 Корпус або 01.00.001 Кільце

2.5. Вибравши на панелі інструментів (ліворуч) піктограму «Позначення» (Обозначения), з панелі, що відкрилася, вибрати піктограму «Позначення позицій» (Обозначение позиций).

2.4. Послідовно (у напрямку за годинниковою стрілкою) проставити позиції всіх компонентів, що входять у вузол. При цьому пам'ятати, що в майбутній специфікації першим розділом є «Складальні одиниці» (Сборочные единицы), другим розділ «Деталі» і останнім «Стандартні вироби». Відповідно в такому порядку й проставляти позиції. Орієнтацію полиць позицій здійснювати, вико-

ристовуючи закладку «Параметри» на «Панелі властивостей» (Панель свойств) унизу робочого вікна. Зберегти креслення під іменем «01.00.000СК\_Інкодер» у форматі \*cdw, тобто у форматі 2D.

2.5. З меню «Файл» командою «Створити» (Создать) відкрити шаблон «Специфікація». Привласнити ім'я специфікації «01.00.000\_Інкодер». Установити масштаб відображення 0.75. Активувати піктограму «Розмітка сторінок», праворуч угорі, і в цьому режимі внести в штамп номер специфікації 01.00.000, її найменування «Інкодер», прізвище студента й номер навчальної групи. Повернутися у відображення документа «Нормальний режим», активувавши відповідну піктограму (праворуч угорі).

2.6. З меню «Вікно» командою «Мозаїка вертикально» помістити специфікацію й креслення 2D поруч. Перейшовши на вікно файлу

креслення позиціонувати його (за допомогою піктограми «Зрушити» (Сдвинуть) в «Панелі керування» або в меню «Вид» таким чином, що б були видні раніш проставлені Вами позиції.

2.7. Перейти (!) на вікно специфікації, а потім з меню «Формат» вибрати команду «Настроювання специфікації». У вікні, що відкрилося, вибрати закладку «Настроювання», у якій установити опції:

- Зв'язок складання або креслення зі специфікацією.
- Зв'язок з розрахунками позицій.
- Розраховувати позиції.
- Початкова позиція 1
- Видаляти геометрію при видаленні позиції специфікації.

2.8. Залишаючись (!) у вікні Специфікація, з меню «Вставка» вибрати команду «Розділ» і у вікні, що відкрилося, вибрати тип документа «Документація», натиснувши вниз піктограму «Створити». Тепер у колонку «Формат» активного рядка специфікації проставити позначення формату креслення (A4). У колонку «Позначення» (Обозначение) прописати номер креслення 01.00.000СК, що означає складання. У колонку «Найменування» (Наименование) прописати фразу «Складальне креслення», тобто вказати тип документа.

2.9. У меню «Сервіс» вибрати команду «Керування складанням» (Управление сборкой). У вікні, що відкрилося, а саме: (Управление сборкой) натиснути першу ліворуч піктограму «Підключити документ». У відповідній директорії вибрати файл вашого креслення, тобто файл «01.00.000СК\_Інкодер» у форматі \*cdw й натиснути піктограму «Вихід», після чого повторити збереження документа «Специфікація».

2.10. Перейти у вікно вашого креслення «01.00.000СК\_Інкодер». Послідовно (у порядку зростання позицій), виділяючи кожну позицію, викликати правою кнопкою «миші» контекстне меню й вибрати команду «Додати об'єкт специфікації». У вікні, що відкрилося, «Виберіть розділ і тип об'єкта» указувати щораз відповідний для кожного компонента розділ. А саме: для «Корпуса» і «Енкодера» — «Складальні одиниці» (Сборочные единицы); для «Кільця монтажного» розділ «Деталі», а для гвинтів — «Стандартні вироби».

2.11. У вікні, що відкрилося, за назвою «Об'єкт специфікації» у відповідних колонках, а саме: «Позначення», «Найменування» і «Кількість» записати інформацію, відповідну до компонентів складання. Найменування компонентів можна копіювати з 3D-моделі «01.00.000\_Інкодер\_3D» з розширенням \*a3d (панель «Дерево моделі»).

2.12. Пункти 2.10 і 2.11 повторити для всіх позицій у порядку їх номерів. При цьому, щораз підтверджувати збереження (!) документів: або «Специфікація» або креслення «01.00.000СК\_Інкодер».

*Примітка:* Для того, щоб позиції в специфікації проставлялися автоматично без пропуску номерів необхідно, виділяючи по черзі кожний розділ у специфікації «Документація», «Складальні одиниці», «Деталі» і «Стандартні вироби», у вікні «Кількість резервних рядків» (ліворуч угорі) установлювати значення «0».

ЄСКД дозволяє розміщення специфікації на полі самого креслення. Для цього необхідно:

1. Побільшати формат вашого креслення до А3. З меню «Сервіс» — «Параметри» вибрати закладку «Параметри першого аркуша» (Параметры первого листа). Вибрати «Формат» і встановити позначення — «А3», орієнтація — «горизонтально».

2. Знову перейти в документ Специфікація». У меню «Сервіс» вибрати команду «Керування складанням» (Управление сборкой). У вікні, що відкрилося, натиснути піктограму «Відключити документ» — «Вилучити» — «Вихід». Об'єкти в Специфікації зникнуть, закрити Специфікацію, нажавши команду «Зберегти».

3. Розгорнути вікно креслення. У текстовому меню «Специфікація» креслення вибрати оформлення «Специфікація на аркуші» (Спецификация на листе) і команду «Показати». На вашому кресленні з'явиться специфікація. Активувати (!) (подвійним клацанням «миші») специфікацію на аркуші. З меню «Вікно» розмістити об'єкт документа поруч. Перейти в специфікацію. У меню «Сервіс» вибрати команду «Показати состав объекта». Далі послідовно виділяючи кожний рядок об'єктів специфікації переконаватися, що на кресленні відображається виділення (тобто «підсвічування») позицій.

*Примітка:* При необхідності повернення до Специфікації як окремому документу (тобто забрати специфікацію з поля креслення й друкувати її окремо) виконується наступна процедура: 1. У текстовому меню «Специфікація» креслення вибрати оформлення «Специфікація на аркуші» і зняти (!) галочку команди «Показати». 2. Відкрити специфікацію (Увага: при цьому в ній будуть відсутні об'єкти). 3. У меню «Сервіс» вибрати команду «Керування складанням» (Управление сборкой). У вікні, що відкрилося, натиснути піктограму «Підключити документ». У відповідній директорії вибрати файл вашого креслення «01.00.000СК\_Інкодер» й натиснути піктограму «Вихід», після чого повторити збереження документа «Специфікація». Здати лабораторну роботу.

Завдання для самостійної роботи.

Усі вище перераховані команди, які викликалися згідно із протоколом з текстового меню, освоїти за допомогою піктограм графічного інтерфейсу робочого вікна «Компас 3D».

### Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення документу «Специфікація».
2. Перелічіть основні опції налаштування параметрів специфікації.
3. Назвіть основні розділи специфікації.
4. Викладете процедуру розміщення документа «Специфікація» на полі креслення.

## 3.2. Опанування 3D операцій. Частина 1

*Ціль роботи:* Освоєння базових операцій побудови 3D моделей.

*Зміст завдання:* Розробка довільних тривимірних моделей із застосуванням основних операцій «Видавлювання» і «Обертання».

*Порядок виконання роботи.* Робота складається з наступних процедур: 1. Вибір орієнтації базових координатних площин. 2. Виконання 2D ескізів площинах базової системи координат. 3. Побудова довільних 3D моделей з використанням операцій «Видавлювання» і «Обертання». 4. Створення масивів відображення конструктивних елементів 3D моделей з використанням площин панелі «Допоміжна геометрія».

1. Короткі теоретичні відомості про операції побудови 3D моделей.

1.1. Побудова 3D моделей починають зі створення його основи — ескизу. Далі виконують операції над одним або декількома ескізами. Операції, виконувані над ескізом, можуть бути наступними (примітка: в дужках вказані команди на російській мові інтерфейсу Компас 3D):

1.1.1. Видавлювання ескизу в напрямку, перпендикулярному його площині.

1.1.2. Обертання ескизу навколо осі, що лежить у його площині.

2. Вимоги до ескізів, як підстав 3D моделі наступні:

— ескізи можуть бути побудовані на координатних або допоміжних площинах, а також на поверхнях раніше створеної 3D моделі. Ескіз доцільно будувати в ортогональній проекції.

— в ескізі може бути один або кілька контурів. Під контуром розуміється будь-який лінійний графічний об'єкт або сукупність графічних об'єктів, що послідовно з'єднуються (відрізки, дуги, сплайни, ламані лінії і т.д.).

— контури в ескізі (не плутати із самими кривими чи відтинками графічного об'єкту) не мають загальних точок, тобто не перетинаються. Зображується контур в ескізі завжди стилем лінії «Основна».

— якщо контурів кілька, вони повинні бути або все замкнені, або все розімкнуті;

— якщо контури замкнені, вони можуть бути вкладеними друг у



друга. Рівень вкладеності не обмежується. Точніше: ескіз – це основа майбутньої 3D моделі являє собою перетин об'ємного елемента. Послідовно створюємо довільні тіла з почерговим використанням зазначених вище операцій (див. п. 1.1.1 і п. 1.1.2).

3. Порядок виконання роботи на основі операції «Видавлювання»

3.1. На рис. 3.4 представлено майбутню 3D модель спрощеного варіанту деталі «Корпус».

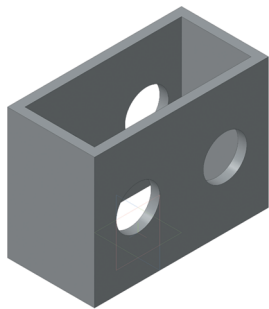


Рис. 3.4. Приклад 3D моделі корпусу

3.2. У меню «Файл» вибрати команду «Створити». У вікні «Новий документ» вибрати шаблон «Деталь». Привласнити ім'я документу, наприклад, «1\_Корпус». Далі створимо два контури, вкладених друг у друга. Відстань між ними буде визначати товщину стінки якогось спрощеного (з метою економії часу) «Корпуса».

3.3. На панелі «Вид» розгорнути піктограму «Орієнтація» і вказати «Ізометрія XYZ».

У вікні «Дерево моделі» (ліворуч у верху) розгорнути список координатних площин і осей. Вибрати горизонтальну площину ZX (вид у плані) і викликавши контекстне меню (права кнопка мишки) вказати «Нормально до ...».

3.4. Перейти в режим «Ескіз» (команду Ескіз можна викликати з контекстного меню). Створити ескіз першого контуру: прямокутника висотою 200 мм і шириною 100 мм (рис. 3.5). Ескіз у виділеній площині створюється командою: Операції — Ескіз або активацією піктограми Ескіз на панелі Поточний стан.

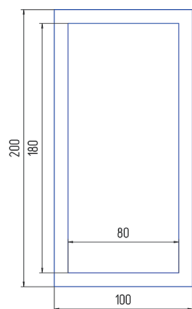


Рис. 3.5. Ескіз корпусу

3.5. На інструментальній панелі натиснути піктограму «Показати все (F9)».

3.6. Усередині вже створеного прямокутника накреслити ще один контур: прямокутник висотою 180 мм і шириною 80 мм, помістивши його по центру першого (рис. 3.5).

3.7. Далі або в контекстном меню або на панелі Поточний стан вийти з режиму «Ескіз» і на панелі «Вид» розгорнувши піктограму «Орієнтація» вибрати «Ізометрія XYZ».

3.7. У вікні «Дерево моделі» виділити «Ескіз 1». На «Компактній панелі» (ліворуч) активувати піктограму «Операція видавлюванням». Теж саме можна виконати, розкривши меню «Операції — Операція Видавлювання».

На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) вказати пара-

метри видавлювання, а саме: напрямок (Пряме) і відстань (150 мм). Натиснути піктограму «Створити об'єкт».

3.8. На отриманій деталі створимо отвори для установки інших конструктивних елементів. Для цього створимо необхідні ескізи отворів на більшій грані деталі.

3.9. Указати курсором більшу грань деталі й, викликавши контекстне меню, вибрати «Нормально до ...». Перейти в режим «Ескіз» (див. вище, аналогічно п. 3.4).

3.10. На панелі інструментів 2D креслення активувати піктограму «Паралельна пряма». Указавши ліву крайку деталі, побудувати допоміжну вертикальну пряму, відступивши 150 мм від зазначеної крайки. Аналогічно побудувати горизонтальну допоміжну пряму, відступивши від нижньої крайки деталі 75 мм. Потім, використовуючи панель інструментів 2D креслення на перетинанні допоміжних прямих накреслити отвір діаметром 50 мм. Закрити режим «Ескіз». На панелі «Вид» (у верху, праворуч) розгорнувши піктограму «Орієнтація» вибрати «Ізометрія XYZ».

3.11. У вікні «Дерево моделі» виділити «Ескіз 2». На «Компактній панелі» (ліворуч) активувати піктограму «Вирізати видавлюванням» (Вырезать выдавливанием). На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) указати параметри вирізання, а саме: напрямок (Пряме) і відстань «Через усі», натиснути піктограму «Створити об'єкт» (ліворуч). Таким чином, отриманий наскрізний отвір для установки майбутніх інших деталей.

3.12. Далі створити дзеркальне відображення отриманого отвору. Для чого потрібно: на панелі інструментів 3D (ліворуч робочого поля) активувати піктограму «Дзеркальний масив» і на запит редактора «Укажіть об'єкти для копіювання» (див. рядок інформації, унизу) виділити в «Дереві моделі» запис: «Вирізати елемент видавлювання: 1». На панелі властивостей (унизу) указати закладку «Параметри» і на запит у рядку інформації «Укажіть площину відображення» — указати в Дереві моделі (ліворуч) площину XY. Натиснути піктограму «Створити об'єкт». Вибрати в меню «Сервіс» команду «Параметри» і у вікні, що з'явилося, установити максимальну «Точність малювання» (Точность отрисовки), а саме вказати: «Точно». Зберегти файл у будь-якій робочій директорії.

4. Порядок виконання роботи на основі операції «Обертання».

4.1. Створимо 3D тіло обертання на прикладі деталі «Вал» (рис. 3.6).

4.2. Повторити п.п. 3.2 — 3.3. Перейти в режим «Ескіз» і використовуючи панель інструментів 2D креслення, намалювати вісь обертання майбутньої деталі у вигляді прямою довжиною 50 мм стилем

кривої «Осьова». Далі створюємо контур деталі (підлягаючий обертанню навколо осі) стилем лінії «Основна» і згідно з розмірами рис. 3.7 у вимірі в мм.

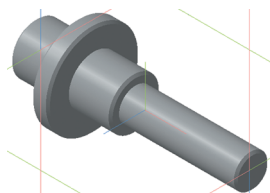


Рис. 3.6. Модель 3D деталі «Вал»

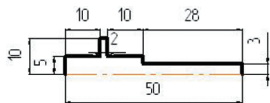


Рис. 3.7. Розміри контуру деталі обертання

4.3. По ребрах деталі зняти фаски розміром 0,5 мм на 45 град. Для чого на інструментальній панелі вибрати піктограму «Фаска». На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) указати параметри фаски: довжина 0,5мм і кут 45 град. На запит «Укажіть ребра грані» указати курсором усі грані вала. Натиснути піктограму «Створити об'єкт».

Вибрати в меню «Сервіс» команду «Параметри» і у вікні, що з'явилося, установити максимальну «Точність малювання», а саме: «Точно». Зберегти файл у будь-якій робочій директорії.

Запитання для самоконтролю

1. Викладете послідовність побудови 3D моделей за допомогою операцій «Видавлювання» і «Обертання».
2. Дайте визначення поняття «Контур».
3. Назвіть основні вимоги до контуру й ескізам, як основам 3D моделей.

### 3.3. Опанування 3D операцій. Частина 2

*Ціль роботи:* Освоєння базових операцій побудови 3D моделей.

*Зміст завдання:* Розробка довільних тривимірних моделей із застосуванням основних операцій «Кінематична операція» і «Побудова тіла по перетинах».

*Порядок виконання роботи.* Робота складається з наступних процедур: 1. Вибір орієнтації базових координатних площин. 2. Виконання 2D ескізів і перетинів у координатних площинах базової системи координат. 3. Побудова довільних 3D моделей з використанням опцій «Кінематична операція» і «Побудова тіла по перетинах-ескізам».

1. Теоретичні відомості про операції побудови 3D моделей.

1.1. Побудова 3D моделей починають зі створення його основи — ескізу. Далі виконують операції над одним або декількома ескізами. Операції, що виконуються над ескізом, можуть бути наступними:

1.1.1. Кінематична операція — переміщення ескізу уздовж зазначеної напрямної.

### 1.1.2. Побудова тіла по перетинах.

2. Вимоги до ескизу елемента «Кінематична операція» наступні: При формуванні кінематичного елемента використовуються перетин і траєкторія. Перетин завжди лежить в одному ескизі. Траєкторія може лежати в одному або декількох ескизах або складатися з ескізів, ребер і просторових кривих.

#### 2.1. Вимоги до ескизу перетину:

- в ескизі-перетині може бути тільки один контур;
- контур може бути розімкнутим або замкненим.

#### 2.2. Вимоги до траєкторії, що полягає з одного ескизу:

- в ескизі-траєкторії може бути тільки один контур;
- контур може бути розімкнутим або замкненим;
- якщо контур розімкнутий, його початок повинний лежати в площині ескизу-перетину;
- якщо контур замкнутий, він повинен перетинати площину ескизу-перетину.

Створюємо довільні тіла з почерговим використанням зазначених вище операцій (див. п. 1.1.1 і п. 1.1.2).

3. Порядок виконання роботи на основі опції «Кінематична операція» 3.1. На рис. 3.8 представлено 3D модель спрощеного варіанта деталі «01\_Трубопровід».

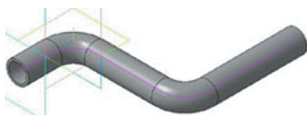
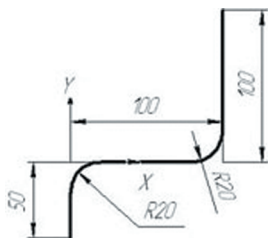


Рис. 3.8. Модель 3D трубопроводу

3.2. У меню «Файл» вибрати команду «Створити». У вікні «Новий документ» вибрати шаблон «Деталь». Привласнити ім'я документу, наприклад, «2\_Трубопровід». Далі створимо траєкторію майбутнього трубопроводу.

3.3. На панелі «Вид» (праворуч у верху) розгорнути піктограму «Орієнтація» і вказати «Ізометрія XYZ».

У вікні «Дерево моделі» (ліворуч) розгорнути список координатних площин і осей. Вибрати горизонтальну площину ZX (вид у плані) і викликавши контекстне меню (права кнопка мишки) вказати «Нормально до ...».



3.4. Перейшовши в режим «Ескіз», створити ескіз траєкторії по розмірах (але без вказівки розмірів) і з орієнтацією згідно рис.3.9.

Рис. 3.9. Розміри й орієнтація траєкторії трубопроводу

Ескіз у виділеній площині створюється командою: Операції — Ескіз або активацією піктограми Ескіз на панелі Поточний стан. Команду Ескіз можна також викликати з контекстного меню.

3.5. На інструментальній панелі натиснути піктограму «Показати все (F9)».

3.6. Далі або на панелі Поточний стан, або в контекстном меню вийти з режиму «Ескіз» і на панелі «Вид» розгорнувши піктограму «Орієнтація» вибрати «Ізометрія XYZ».

3.7. Далі створити зміщену площину для побудови ескізу перетину. Для чого на інструментальній панелі (праворуч) активувати піктограму «Допоміжна геометрія» і нажати піктограму «Зміщена площина». На запит: «Укажіть базову площину» — указати координатну площину XY.

На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) указати параметри, а саме: напрямок (Пряме) і відстань 50 мм. Натиснути піктограму «Створити об'єкт».

3.8. У Дереві моделі вказати зміщену площину Y, викликавши контекстне меню, вибрати «Нормально до ...». Перейти в режим «Ескіз» (контекстне меню). У центрі зміщеної площини накреслити ескіз: окружність діаметром 20 мм. Вийти з режиму «Ескіз» і на панелі «Вид» розгорнувши піктограму «Орієнтація» вибрати «Ізометрія XYZ».

3.9. На інструментальній панелі (ліворуч) активувати піктограму «Кінематична операція». На запит (див. рядок інформації, унизу) «Укажіть ескіз утворюючого перетину» — указати курсором у Дереві моделі «Ескіз 2». На наступний запит «Укажіть траєкторію ...» — указати у Дереві моделі «Ескіз 1». Натиснути «Створити об'єкт» (внизу).

3.10. Вибрати курсором передній торець отриманого тіла (ломаючого стержня) Y, викликавши контекстне меню, задати команду «Ескіз». Створити новий ескіз: окружність діаметром 16 мм. Вийти з режиму «Ескіз» і, розгорнувши піктограму «Орієнтація», вибрати «Ізометрія XYZ».

3.11. На інструментальній панелі (ліворуч) активувати піктограму «Вирізати кінематично». На запит «Задайте траєкторію ...» указати в Дереві моделі (ліворуч) «Ескіз 1». Натиснути «Створити об'єкт». Отримаємо модель згідно рис. 3.8.

#### 4. Порядок виконання роботи «Побудова тіла по перетинах»

4.1. У меню «Файл» вибрати команду «Створити». У вікні «Новий документ» вибрати шаблон «Деталь». Привласнити ім'я документу, наприклад, «Дисплей-Ретро». Далі створимо 3D модель корпусу дис-

плея-ретро, тобто дисплея в стилі ретро — із електронною променевою трубкою (рис. 3.10), використовуючи операцію побудова тіла «Операція по перетинах».

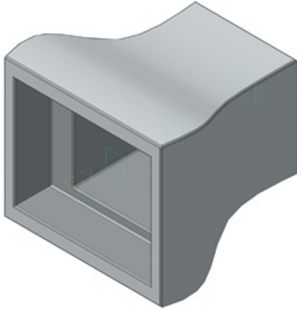


Рис.3.10. Приклад 3D моделі «Корпус дисплея-ретро»

4.2. На панелі «Вид» розгорнути піктограму «Орієнтація» і вказати «Ізометрія XYZ».

4.3. На інструментальній панелі (ліворуч) активувати піктограму «Допоміжна геометрія», вибрати команду «Зміщена площина» (на рос.: Смещенная плоскость). На запит «Укажіть базову площину» — курсором в «Дереві моделі» вказати координатну площину XY. У панелі властивостей (унизу) вказати відстань 90 мм, напрямок — зворотний. Натиснути «Створити об'єкт» (ліворуч).

4.4. Аналогічно п. 4.3 створити ще дві площини, зміщені від координатною площини XY на відстані 250 мм і 450 мм, відповідно. Далі в площині XY і в трьох додаткових зміщених площинах накреслимо ескізи перетинів майбутнього корпусу дисплея-ретро, а саме:

4.5. У вікні «Дерево моделі» вибрати площина XY і, викликавши контекстне меню (права кнопка мишки), вказати «Ескіз». Використовуючи панель креслення 2D, що з'явилася (ліворуч), намалювати по центру площини XY прямокутник висотою 380 мм і шириною 430 мм. Вийти з режиму «Ескіз», закривши відповідну піктограму (піктограма у верху панелі).

4.6. Аналогічно п. 4.5 по черзі, входячи й виходячи з режиму «Ескіз», створити ескізи перетинів в інших 3-х зміщених площинах, а саме: у зміщеній площині 1 (див. Дерево моделі) — по її центру накреслити прямокутник висотою 380 мм і шириною 430 мм; у зміщеній площині 2 — прямокутник висотою 280 мм і шириною 300 мм, а в зміщеній площині 3 — накреслити прямокутник висотою 270 мм і шириною 280 мм. На панелі «Вид» розгорнути піктограму «Орієнтація» і вказати «Ізометрія XYZ».

4.7. У меню «Операції» вибрати «Операція по перетинах» (на рос.: Операция по сечениям) або активувати аналогічні піктограми на інструментальній панелі (ліворуч). На запит (останній рядок внизу): «Укажіть перетин» — вказати в Дереві моделі ескізи 1, 2, 3 і 4. Далі натиснути піктограму стрілки «Створити об'єкт» (ліворуч унизу).

4.8. Указавши курсором передній торець отриманого тіла (що знаходиться у площині XY). а потім із контекстного меню (права кнопка

миші) вибрати «Ескіз». По центру цієї площини (аналогічно п.4.5) накреслити прямокутник висотою 300 мм і шириною 370 мм. Вийти з режиму «Ескіз».

4.9. У меню «Операції» вибрати «Вирізати видавлюванням» (Вырезать выдавливанием). На запит «Укажіть ескіз» — указати в Дереві побудови (створений по п. 4.8) ескіз 5. На панелі властивостей установити: напрямок «прямий», відстань 100 мм. Натиснути стрілку «Створити об'єкт».

4.10. Указавши курсором грань днища отриманого прямокутного отвору, з контекстного меню вибрати «Ескіз». По центру цієї площини (тобто дна) накреслити квадрат 250 мм на 250 мм. Вийти з режиму «Ескіз». Вибрати орієнтацію «Ізометрія XYZ».

4.11. У меню «Операції» вибрати «Вирізати видавлюванням». На запит «Укажіть ескіз» — указати в Дереві побудови ескіз 6. На панелі властивостей (унизу) установити: «Прямий напрямок» та «Через усе». Натиснути стрілку «Створити об'єкт». Вибрати орієнтацію в меню «Вид» «Ізометрія XYZ».

4.12. У меню «Операції» вибрати команду «Округлення» (на рос.: Скругление) або на інструментальній панелі піктограму «Скругление»). У панелі властивостей (внизу) установити: радіус 5 мм. На запит «Укажіть ребра або грані...» — курсором указати зовнішні торцеві й бічні грані, а також внутрішні торцеві й бічні грані отворів. Натиснути «Створити об'єкт».

4.13. Зміна кольору граней чи поверхонь 3D тіла.

У Дереві моделі (ліворуч) виділити курсором «Операція по пере-  
тинах: 1» і з контекстного меню вибрати «Властивості» (на рос.: Свойства). У панелі властивостей (унизу) забрати галочку «Використовувати колір джерела» (Использовать цвет источника), а в закладці «колір» вибрати колір 25% сірого. Натиснути «Створити об'єкт».

4.14. На панелі «Вид» активувати піктограму «Півтонове з каркасом». Зберегти файл. У такий спосіб створено 3D модель тіла «Корпус дисплея-ретро» (звісно, що в спрощеному варіанті з метою економії часу).

*Примітка:* За бажанням студент може побудувати за цим протоколом 3D модель корпусу власного сучасного дисплею, знявши його розміри в не менш, ніж 5-ти площинах.

### 3.4. Створення 3D моделей деталей та складання їх у вузол “Системний блок”

*Ціль роботи:* Освоєння технології складання 3D моделей

*Зміст завдання:* Розробка тривимірних моделей на прикладі панелей корпусу системного блоку комп'ютера.

*Порядок виконання роботи.* Робота складається з наступних процедур: 1. Виконання 2D ескізів деталей у координатних площинах базової системи координат. 2. Побудова 3D моделей 6-х панелей корпусу системного блоку з використанням операцій «Видавлювання», «Вирізання видавлюванням», «Дзеркальний масив». 3. Створення масивів відображення конструктивних елементів 3D моделей з використанням площин панелі «Допоміжна геометрія». 4. Зміна властивостей поверхонь 3D моделі.

1. Загальні відомості про операції побудови 3D моделей.

1.1. Побудова 3D моделей починають зі створення його основи — ескізу. Далі виконують операції над одним або декількома ескізами. Операції, виконувані над ескізом, можуть бути наступними:

1.1.1. Видавлювання ескізу в напрямку, перпендикулярному його площини.

1.1.2. Обертання ескізу навколо осі, що лежить у його площині.

1.1.3. Кінематична операція — переміщення ескізу уздовж зазначеної напрямної.

1.1.4. Побудова тіла по перетинам.

2.1. Вимоги до ескізів як основи 3D моделі.

Ескіз основи майбутньої 3D моделі являє собою перетин об'ємного елемента. Одним з основних понять при описі ескізу є контур. Під контуром розуміється будь-який лінійний графічний об'єкт або сукупність графічних об'єктів, що послідовно з'єднуються лінійними (відрізків, дуг, сплайнов, ламаних і т.д.). Контури в ескізі (не плутати із графічними об'єктами) не мають загальних точок, тобто не перетинаються. Зображується контур в ескізі завжди стилем лінії «Основа».

2.2. Вимоги до ескізу елемента видавлювання наступні:

- ескізи можуть бути побудовані на координатних або допоміжних площинах, а також на поверхнях

раніше створеної 3D моделі;

- в ескізі може бути один або кілька контурів;

- якщо контурів кілька, вони повинні бути або все замкнені, або все розімкнуті;

- якщо контури замкнені, вони можуть бути вкладеними друг у



друга. Рівень вкладеності не обмежується; ескіз доцільно будувати в ортогональній проекції.

### 3. Порядок виконання роботи.

3.1. Послідовно створюємо шість 3D моделей панелей виробу «Корпус системного блоку комп'ютера» (див. рис. 3.11).

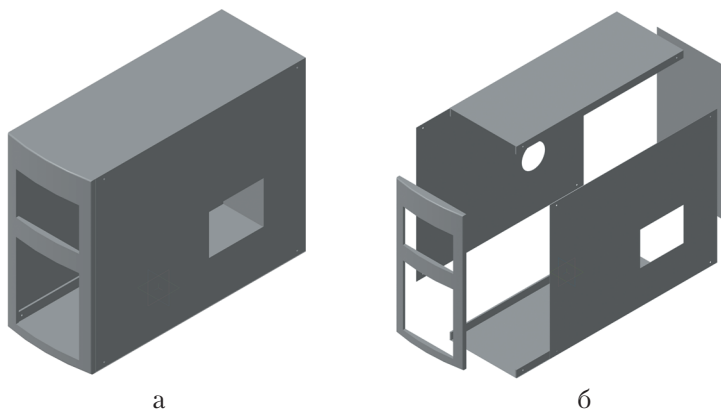


Рис. 3.11. 3D модель корпусу системного блоку:  
а) в зібраному стані; б) в рознесеному стані

З метою економії часу всі панелі створюємо в спрощеному варіанті, тобто не відображаючи всі конструктивні елементи зазначеного виробу.

3.2. Розглянемо створення зазначених деталей на прикладі 3D тіла «01\_Панель нижня».

3.3. У меню «Файл» вибрати команду «Створити». У вікні «Новий документ» вибрати шаблон «Деталь». Привласнити ім'я документу «1\_Панель нижня».

3.4. На панелі «Вид» розгорнути піктограму «Орієнтація» і вказати «Ізометрія XYZ».

У вікні «Дерево моделі» розгорнути список координатних площин і осей. Вибрати горизонтальну площину ZX (вид у плані) і викликавши контекстне меню (права кнопка мишки) вказати «Нормально до ...».

3.5. Перейшовши в режим «Ескіз», створити ескіз прямокутника довжиною 500 мм і шириною 198.6 мм згідно розмірам 2D моделі панелі рис. 3.12. Ескіз у виділеній площині створюється командою: Операції — Ескіз або активацією піктограми Ескіз на панелі Поточний стан. Команду Ескіз можна також викликати з контекстного меню.

3.6. Далі або на панелі Поточний стан або в контекстном меню вийти з режиму «Ескіз» і на панелі «Вид» розгорнувши піктограму

«Орієнтація» вибрати «Ізометрія XYZ».

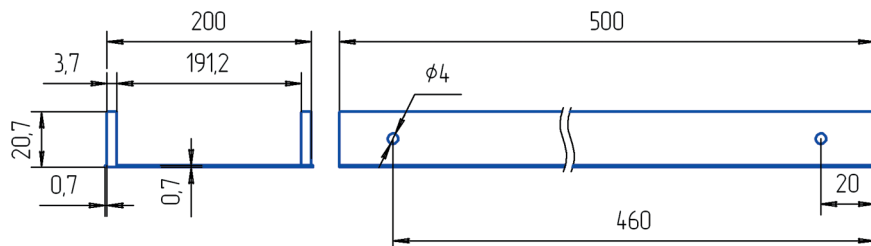


Рис. 3.12. Розміри нижньої панелі системного блоку

3.7. У вікні «Дерево моделі» виділити «Ескіз 1». На «Компактній панелі» (ліворуч) активувати піктограму «Операція видавлюванням». Теж можна виконати, розкривши меню «Операції — Операція — Видавлювання». На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) указати параметри видавлювання, а саме: напрямок (Пряме) і відстань (0,7 мм), нажати піктограму «Створити об'єкт».

3.8. Виділити курсором отриману деталь і викликавши контекстне меню (права кнопка миші) вибрати «Властивості вихідного елемента», після чого на «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) забрати галочку «Використовувати колір джерела» і вибрати необхідний колір деталі (наприклад, сірий 25%); нажати піктограму «Створити об'єкт».

3.9. На отриманій деталі необхідно створити елементи для кріплення інших панелей майбутнього корпусу системного блоку. Для спрощення (з метою економії часу) зазначені конструктивні елементи виконаємо у вигляді буртиків з отворами по краях деталі. Для цього створимо необхідні ескізи на верхній площині деталі.

3.10. Виділити верхню площину деталі й, викликавши контекстне меню, вибрати «Нормально до ...». Перейти в режим «Ескіз» (аналогічно п.3.5).

3.11. Ліворуч по краю деталі (починаючи від нижнього лівого кута) накреслити прямокутник висотою 500 мм і шириною 3 мм, використовуючи класичну панель 2D креслення. Вийти з режиму «Ескіз».

3.12. У вікні «Дерево моделі» виділити «Ескіз 2». На «Компактній панелі» (ліворуч) активувати піктограму «Операція видавлюванням» або теж виконати, розкривши меню «Операції — Операція — Видавлювання». На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) указати параметри видавлювання, а саме: напрямок (Пряме) і відстань (20 мм), натиснути піктограму «Створити об'єкт».

3.13. Аналогічно п. 3.8 вибрати колір отриманого конструктивного

елемента — буртика.

3.14. Для побудови отворів виділити внутрішню площину буртика й викликавши контекстне меню вибрати «Нормально до ...».

3.15. Увійти в режим «Ескіз» (аналогічно п. 3.5). На панелі інструментів 2D креслення активувати піктограму «Паралельна пряма». Указавши ліву крайку деталі, побудувати допоміжну вертикальну пряму, відступивши 20 мм від зазначеної крайки. Аналогічно побудувати горизонтальну допоміжну пряму, відступивши від нижньої крайки деталі 10 мм. Потім, використовуючи панель інструментів 2D креслення на перетинанні допоміжних прямих накреслити отвір діаметром 4 мм. Створити дзеркальне відображення отвору щодо осі Y, тобто середини деталі. Закрити режим «Ескіз».

3.16. У вікні «Дерево моделі» виділити «Ескіз 3». На «Компактній панелі» (ліворуч) активувати піктограму «Вирізати видавлюванням». На «Панелі властивостей» (унизу робочого поля) указати параметри вирізання, а саме: напрямок (Пряме) і відстань «Через усі», натиснути піктограму «Створити об'єкт». Таким чином, отримано два отвори для кріплення майбутніх бічних панелей корпусу ПК.

3.17. Далі створити дзеркальне відображення отриманого буртика з отворами. Для чого: на панелі інструментів 3D (ліворуч робочого поля) активувати піктограму «Дзеркальний масив» і на запит редактора «Укажіть об'єкти для копіювання» (див. рядок інформації, унизу) виділити в «Дереві моделі» записи: «Операція видавлювання: 2» і операцію «Вирізати елемент видавлювання: 1».

У рядку стану (унизу робочого поля) активувати закладку «Параметри» і на запит редактора (див. рядок інформації внизу поля) «Укажіть площину відображення», виділити в «Дереві моделі» площину ZY. Після появи фантома дзеркального масиву натиснути піктограму «Створити об'єкт». Таким чином, повинна бути отримано 3D модель однієї з панелей корпусу системного блоку ПК (у спрощеному варіанті, див. рис. 3.13).

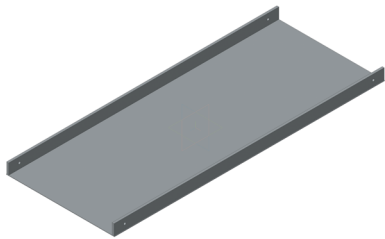


Рис. 3.13. 3D модель деталі  
«1\_Панель нижня».

Ще п'ять панелей, що залишилися створити згідно з нижче наведеним завданням для самостійної роботи.

4. Завдання для самостійної роботи.

4.1. Згідно з розмірами, які потрібно отримати, знявши їх з власного системного блоку у якості самостійної роботи створити 3D моделі ще п'яти панелей корпусу системного блоку ПК, а саме: «2\_Панель передня»,

«3\_Панель задня», «4\_Панель бічна ліва», «5\_Панель верхня» і «6\_Панель бічна права».

4.2. Виконати 3D складання корпусу системного блоку ПК з раніше розроблених 6-ти панелей.

*Рекомендація:* Необхідно при побудові чергової деталі за допомогою інструментів «Допоміжна геометрія» розміщати її ескізи на допоміжних площинах координат, що відстоять від основних площин, на відстані, яка відповідає положенню деталі в майбутньому складанні. Тоді, при установці в складання кожної деталі досить буде вказати тільки центр системи координат базової (тобто першої по установці) деталі. Це дозволить зменшити трудомісткість створення 3D складання за рахунок зменшення операцій сполучення.

4.3. В меню «Файл» задіяти команду «Створити», обрати документ «Складання».

4.4. В меню «Вид» задіяти команду «Орієнтація», обрати ізометрію, яка відповідає орієнтації раніш розроблених 3D моделей деталей окремих панелей системного блоку.

4.5. В меню «Операція» обрати команду «Додати компонент із файлу».

4.6. По черзі додавати 3D моделі деталей окремих панелей системного блоку.

4.7. Для точного сполучення деталей задіяти команди «Сполучення».

В результаті буде отримано 3D модель вузла «Корпус системного блоку» згідно рис. 3.11(а).

### 3.5. Управління установками параметричного проектування в CAD-документах

*Мета роботи.* Освоєння базових операцій параметричного проектування.

*Зміст роботи.* Налаштування режимів параметричного CAD-документу.

*Порядок виконання роботи.* Робота передбачає виконання наступних процедур: 1. Встановлення параметричного режиму креслення. 2. Виконання довільного креслення в параметричному режимі. 3. Призначення пов'язаних перемінних. 4. Введення функціональних залежностей пов'язаних перемінних. 5. Зміна (редагування) креслення шляхом зміни чисельних перемінних.

Теоретичні відомості.

Відмінність параметричного креслення в CAD-документах від зви-

чайного полягає в тому, що в ньому зберігається інформація не тільки про розташування й характеристики геометричних об'єктів, але й про взаємозв'язки між об'єктами й накладених на них обмеженнях.

Під взаємозв'язком об'єктів мається на увазі залежність між параметрами декількох об'єктів. При редагуванні одного із взаємозалежних параметрів змінюються інші. Редагування параметрів одного об'єкта, не пов'язаних з параметрами інших об'єктів, не впливає ні на які параметри. При видаленні одного або декількох об'єктів взаємозв'язок зникає.

У якості прикладів зв'язків, накладених на об'єкти, можна привести паралельність і перпендикулярність відрізків, прямих, стрілок погляду, сегментів лінії східчастого розрізу, рівність довжин відрізків або радіусів окружностей. Взаємозалежними параметрами паралельних відрізків є кути їх нахилу, тому що паралельність відрізків тотожна рівності кутів їх нахилу.

Залежність між параметрами може бути й більш складної, чому рівність одного параметра іншому. Наприклад, можливе завдання функції, що визначає відношення між параметрами декількох об'єктів.

Другий тип параметричного зв'язку — *асоціативність* об'єктів. Асоціативними можуть бути об'єкти, які при побудові прив'язуються до інших об'єктів — розміри, технологічні позначення, штрихування. Такі об'єкти «пам'ятають» про свою приналежність до базового графічного об'єкта (відрізка, окружності і т.д.) або до декількох об'єктів. При редагуванні базових об'єктів (наприклад, їхнім зрушенні або повороті) асоціативні об'єкти перебудовуються відповідним чином. У результаті зберігається взаємне розташування базового й асоційованого з ним об'єкта.

Під обмеженням мається на увазі залежність між параметрами окремого об'єкта, рівність параметра об'єкта константі або приналежність параметра певному числовому діапазону. Допускається тільки таке редагування об'єкта, у результаті якого не будуть порушені встановлені залежності, рівності й нерівності. У якості прикладів обмежень, накладених на геометричні об'єкти, можна привести вертикальність і горизонтальність відрізків, прямих, стрілок погляду, ліній розрізу/перетину. Вертикальність відрізка тотожна рівності  $X$ -Координат його кінців один одному або рівності кута його нахилу  $90^\circ$ . Відрізок, на який накладено таке обмеження, можна переміщати, але не можна повертати, тобто змінювати кут його нахилу.

При редагуванні параметризованих і асоціативних об'єктів перебудовування зображення відбувається таким чином, що дотримуються всі накладені на об'єкти обмеження й зберігаються зв'язки між об'єк-

тами. Параметричні креслення можуть використовуватися як самостійно (наприклад, креслення, що містить параметричні види деталі), так і для вставки в інші документи (креслення або фрагменти). Параметричне зображення, призначене для наступної вставки, обов'язково повинне зберігатися у фрагменті (файлі з розширенням *fgw*) і мати зовнішні змінні.

Зовнішня змінна фрагмента — змінна в параметричному фрагменті, значення якої можна змінювати при вставці цього фрагмента в інший фрагмент або креслення (тілом або зовнішнім посиланням). Будь-які змінні фрагмента можуть бути зовнішніми. Основне призначення зовнішніх змінних — керування параметрами вставленого в інший документ параметричного фрагмента без редагування цього фрагмента, так би мовити «зсередини».

#### 1. Встановлення параметричного режиму креслення.

1.1. В графічному середовищі Компас 3D в меню «Сервіс» вибрати «Параметри». Вибрати закладку «Нові документи» - «Графічний документ» - «Параметризація». В останньому вікні зняти флажок «Заборонити все», таким чином щоб були включені всі опції двох вікон «Асоціювати все» та «Параметрозувати». Обов'язково залиште флажок «Фіксувати розміри». Натиснути «ОК».

1.2. В меню «Файл» командою «Створити» вибрати «Креслення».

1.3. Налаштувати глобальні прив'язки: командою Сервіс — Параметри — Система — Графічний редактор — Прив'язки. Встановити всі прив'язки, окрім «По сітці».

#### 2. Виконання довільного креслення в параметричному режимі.

2.1. Виконати довільне креслення за власним сюжетом (наприклад заготовку друкованої плати, будь яку деталь чи план приміщення та т.п.) в якому повинно бути не менше десятка розмірів. Проставити всі розміри на кресленні.

2.2. На компактній панелі (ліворуч) ввімкнути піктограму «Параметризація». Тут натиснути піктограми «Відображати обмеження» та «Відображати ступені свободи». На кресленні з'являться фантоми, що позначають обмеження ступенів свободи графічних об'єктів та їх параметричну залежність (вертикальність, горизонтальність, паралельність, співпадання точок і т.п.). Всі розміри повинні відображатися як фіксовані (див. п. 1.1). Ознакою успішної фіксації є обрамлення розмірного напису в прямокутну рамку бірюзового кольору.

2.3. В меню «Інструменти» вибрати «Параметризація» - «Обмеження» - «Показати/Віддалити обмеження». Ліворуч знизу з'явиться вікно «Обмеження». По черзі, вказуючи курсором на той чи інший розмір переглянути у вікні «Обмеження» обмеження на розміри та на будь-які графічні об'єкти (наприклад, вертикальність, горизонталь-

ність, паралельність, співпадання точок і т.п.).

3. Призначення пов'язаних перемінних.

3.1. Використовуючи піктограму «Встановити значення розміру» (зліва в колонці «Параметризація») або через меню «Інструменти» вибравши «Параметризація» — «Встановити значення розміру», по-слідовно привласнити всім розмірам позначки латинськими буквами (наприклад: a, b, c, d та т.п.).

4. Введення функціональних залежностей пов'язаних перемінних.

4.1. На панелі «Стандартна» натиснути кнопку «Змінні» (рос.: «Переменные») або виберіть її назву з меню Вид — Панелі інструментів — «Переменные». У відповідному вікні розкрийте перелік та назви змінних. В цю ж вікні увімкніть піктограму «Рівняння».

4.2. У другі половині вікна під назвою «Рівняння», що з'явиться, поступово пов'язати змінні (a, b, c, d та інші) функціональними залежностями на особистий погляд (наприклад, арифметичними чи логічними), дотримуючись при запису залежностей синтаксичних правил, які можна переглянути у меню «Довідка» - Вказівник — ввести «Рівняння», обрати «Синтаксис рівнянь і нерівностей». Наприклад:  $a=2*b$  чи  $c > d$ ,  $d=a/2$  та будь які інші залежності на особистий погляд.

*Примітка:* Установлювані залежності не повинні суперечити один одному. В протилежному випадку — при подальшій зміні розмірів система не буде мати розв'язків.

5. Зміна (редагування) креслення шляхом зміни чисельних перемінних.

5.1. Збережіть виконане креслення, наприклад, під назвою «Варіант 1».

5.2. Потім привласнити нове ім'я кресленню, наприклад, «Варіант 2».

5.3. Внесіть будь які зміни в креслення, наприклад, призначте розмірам аргументам (тобто розмірам, які не є інформаційними) нові значення в межах 20% ... 30% від їх номіналу. Буде отримано нове креслення з іншими розмірами, але з тою ж топологією.

### 3.6. Рознесення об'єктів складання в CAD-документах

*Ціль роботи.* Освоєння навичок по підготовці «вибух-схем».

*Зміст роботи.* Рознесення об'єктів складальних креслень.

*Порядок виконання роботи:* 1. Аналіз компонентів складання. 2. Завдання параметрів рознесення об'єктів складання: завдання кроків рознесення; вибір компонента (або компонентів) для рознесення; призначення параметрів рознесення (напрямку й чисельного значення).

### 3. Рознесення інших компонентів складання.

Після завершення проектування якого-небудь об'єкта іноді складання потрібно побачити в «розібраному» виді (так, щоб були видні всі його компоненти). Отримані схеми рознесених на певну відстань компонентів складання називають «вибух-схемами». Такі схеми надають більш доступну для користувача ілюстрацію складання. Перед рознесенням компонентів потрібно встановити параметри рознесення: вибрати компоненти, а також напрямок і величину їх переміщення.

Основні правила рознесення компонентів: 1. Той самий компонент може брати участь у декількох кроках рознесення. 2. В одному кроці рознесення можуть брати участь кілька компонентів. 3. Компонент, що входить у вузол (на будь-якому рівні вкладеності), може брати участь у кроці рознесення незалежно від інших компонентів цього вузла (тобто під вузла).

#### 1. Аналіз компонентів складання.

1.1. Відкрийте в середовищі Компас 3D довільний файл складання в 3D форматі \*a3d. Щоб не змінювати оригінал, збережете цей файл під іншим іменем у своїй директорії. Приклад див. нижче рис. 3.14.

1.2. У вікні «Дерево моделі» розкрийте перелік компонентів (кликнувши хрестик «Компоненти»), що входять у це складання. Перегляньте, скільки компонентів входить у складання. При цьому слід пам'ятати, що Компонент — це деталь, вузол або стандартний виріб, що входить до складу складання (але не тіло або операція, раніше виконана над ним). Незважаючи на те, що згідно з вище зазначеними правилами, в одному кроці рознесення можуть брати участь кілька компонентів, бажано для зручності подальшого редагування «вибух-схеми», дорівняти кількість кроків рознесення кількості компонентів складання, тобто на одному кроці розносимо один елемент (або вузол).

#### 2. Завдання параметрів рознесення об'єктів складання.

Щоб задати параметри рознесення, викличте команду Сервіс — Рознести компоненти — Параметри. У вікні, що з'явилося, «Крок рознесення» натисніть піктограму «Додати».

Натисніть вкладку «Список компонентів» (унизу, у рядку стану) і у вікні «Дерево моделі» укажіть перший компонент.

Активуйте піктограму «Об'єкт напрямок рознесення» (перемикач «Об'єкт» унизу, у рядку стану) і потім укажіть курсором грань цього компонента. Тут же вкажіть напрямок і задайте чисельне значення відстані у вкладці «Відстань». Як правило, це значення задають у межах 20% ... 30% від максимального габариту виробу (об'єкта складання).

На початку рядка стану (унизу) натисніть піктограму «Застосувати». Якщо при цьому, об'єкт рознесений не в потрібному вам на-



прямку (наприклад, усередину складання, а не назовні), то потрібно змінити напрямок. Для цього вкажіть відповідну стрілку в кладці «Напрямок» і знову натисніть піктограму «Застосувати», а потім — піктограму «Стоп». У випадку незадовільного результату рознесення об'єкта знову викличте команду Сервіс — Рознести компоненти — Параметри й внесіть зміни параметрів.

3. Рознесення інших компонентів складання.

3.1. Знову викличте команду Сервіс — Рознести компоненти — Параметри й повторіть операції п.п. 1.1— 1.4 цього протоколу.

3.2. Для того, щоб зібрати складання або рознести її на панелі інструментів «Вид» (угорі, праворуч) натисніть піктограму «Рознести». Ця команда служить перемикачем режиму рознесення й звичайного відображення складання.

4. Повторіть зазначені процедури для інших файлів складання, не забуваючи при цьому, що після виклику чергового файлу необхідно привласнювати їм інші (свої імена, для того, щоб не змінювати оригінал).

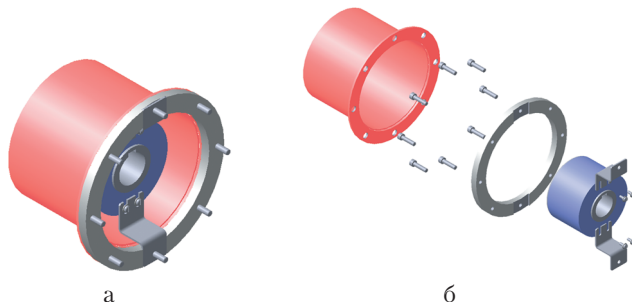


Рис. 3.14. Приклад рознесення компонентів «Інкодера»:  
а) зібраний стан; б) рознесений стан компонентів

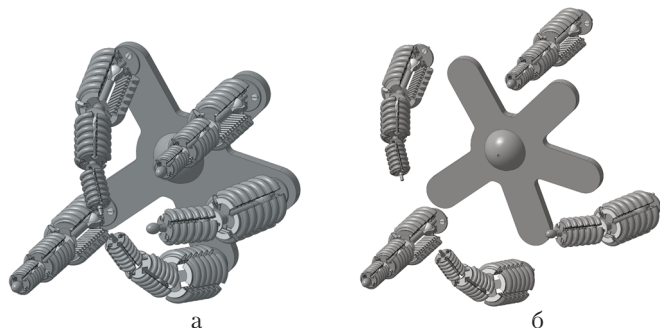


Рис. 3.15. Приклад рознесення компонентів  
«Антропоморфна кисть робота»:  
а) зібраний стан; б) рознесений стан компонентів

## Контрольні запитання

1. Викладете послідовність побудови 3D моделей за допомогою операцій «Видавлювання» і «Обертання».
2. Дайте визначення поняття «Контур».
3. Назвіть основні вимоги до контуру й ескізам, як основам 3D моделей.
4. Викладете послідовність операцій побудови 3D моделі шляхом використання опцій «Побудова тіла по перетинах» і «Кінематична операція».
5. Назвіть основні вимоги до ескізів «Кінематична операція» і «Побудова тіла по перетинах».
6. Назвіть основні операції, використовувані для побудови 3D моделі й розкрийте їхню сутність.
7. Назвіть основні вимоги до контуру й ескізів.
8. В чому полягає відмінність параметричної графічної моделі від звичайної?
9. Дайте визначення поняттю «Параметричний режим креслення».
10. Що означають поняття взаємозв'язок об'єктів та обмеження на графічні об'єкти.
11. Назвіть основні властивості параметричної моделі креслення.



## Розділ 4. Векторизація креслень CAD-документів

### 4.1. Способи візуалізації: визначення та призначення

Існує два головних способи візуалізації: растровий та векторний. *Растровий* спосіб використовується в таких пристроях, як дисплей, принтер і т.п. *Векторний* спосіб застосовується у векторних дисплеях, плоттерах та дигітазерах — планшетних пристроях для введення графічної інформації. Умовою економного здійснення візуалізації є співпадання опису зберігання зображення та способу його візуалізації: відображення або виведення (тобто друку). У разі неспівпадання вказаних форм виникає потреба в конвертації зображення, а саме: якщо зображення зберігається у растровому вигляді, тобто має растровий опис, а його необхідно відобразити (або надрукувати) на векторному пристрої, то для цього необхідна попередня векторизація — перетворення з растрового у векторний опис. Або навпаки, опис зображення має векторний опис, а необхідна візуалізація на растровому пристрої — тоді виконується операція, яка має назву растеризація.

Технічне проектування, як правило, супроводжується використанням базових (допоміжних) креслень або інших графічних матеріалів із каталогів чи довідників на паперових носіях. Для використання чи редагування цих матеріалів після їх сканування виникає потреба у векторизації отриманих зображень. У разі векторизації тільки тої частки графічного зображення, яка підлягає редагуванню (що доцільно), проєктант отримує гібридне зображення, яке складається із чорно-білого (бінарного) растрового зображення й векторних об'єктів, що лежать поверх растра. Одночасно може бути завантажено кілька растрових зображень, при цьому їх число обмежується тільки обсягом доступної оперативної пам'яті.

### 4.2. Векторизація растрових зображень

Для автоматичного й напівавтоматичного перетворення растрових зображень у векторні використовуються спеціальні програми, з яких найбільш відомі Vectory, SpotLight і SpotLight Pro 9.0 виробництва фірми Consistent Software. SpotLight Pro — розширення стандартної версії за рахунок додаткових можливостей: робота з кольоровими зображеннями, розпізнавання тексту (OCR) і автоматична векторизація растрового зображення. Програма дозволяє обробляти креслення, відскановані зі здатністю до 1200 dpi та підтримує більшість растро-

вих форматів, у тому числі TIFF, PCX, RLC, CALS і BMP.

Перед початком векторизації виконується настроювання параметрів автоматичної конверсії (перетворення растра у вектор) та операції трасування. Остання операція є напівавтоматичною векторизацією. *Трасування* — це інтерактивна процедура, що створює векторні відрізки, дуги, окружності, полілінії й штрихування, що апроксимують растрові об'єкти. Трасування растра проводиться шляхом вказівки характерних точок на растрових лініях. Програма аналізує растрові дані під обраними точками й перетворює їх у векторні об'єкти. Залежно від заданого режиму трасування або видаляє вихідний растр, або залишає його на зображенні. Таким чином, можливо або створити векторну копію растрової лінії, або перетворити растрову лінію у векторний об'єкт [2].

### 4.3. Векторизація в середовищі SpotLight

SpotLight — графічний редактор, що поєднує в собі функції растрового й векторного редактора, а також векторизатора, розроблений компанією Csoft Development. Призначений для роботи зі сканованими документами (кресленнями, картами, схемами та ін.). SpotLight гібридний редактор, призначений для роботи з растровою й векторною графікою, векторизації й растрезації. Дозволяє здійснювати повний комплекс робіт зі сканованими кресленнями, картами, схемами й іншими графічними матеріалами: значно підвищувати їхню якість, усувати викривлення, створювати й редагувати растрову й векторну графіку, перетворювати растрову графіку у векторну форму.

За допомогою SpotLight можливо: сканувати документи, значно підвищувати їхню якість і коректувати недоліки зображень; швидко вносити необхідні зміни в сканований документ; одночасно працювати як з растровою, так і з векторною графікою, використовуючи технологію, звичну для користувачів САПР; векторизувати увесь документ або необхідні фрагменти за допомогою автоматичної або напівавтоматичної векторизації.

Процес векторизації, тобто конверсії растрового зображення у векторне, передбачає виконання наступних процедур:

1. В середовищі SpotLight відкрити одне з растрових зображень раніше сканованих креслень. У меню «Перетворення» командою «Параметри конверсії» відкрити вікно відповідного діалогу (рис. 4.1).

2. У вікні діалогу «Параметри конверсії» на вкладці «Розпізнавання» вказати об'єкти розпізнавання: «Відрізки», «Дуги та окружності», «Полілінії», у кожному з яких активувати «Типи ліній»; «Стрілки», а також додатково «Текстову область». Далі перейти на вкладку «Па-

раметри» і встановити відповідні значення (див. нижче). Встановите галочку «Ортогоналізація».

3. Встановлення значень параметрів конверсії. Із меню «Засоби» вибрати команду «Вимір». Задавши команду «Виміряти дистанцію», визначити граничні значення нижче наступних параметрів конверсії (тобто векторизації):

- «Макс. Товщина» — необхідно вказати максимальну товщину растрового об'єкта, який підлягає розпізнаванню як відрізок, дуга або полілінія. Установите значення цього параметра ледве більше (на 5%... 10%), ніж максимальна товщина растрової лінії, яку ви прагнете векторизувати за допомогою алгоритмів «Відрізки», «Дуги» або «Полілінії».

- «Мін. Довжина» — вказати мінімальну довжину растрового фрагмента, який підлягає розпізнаванню як відрізок або дуга в процесі векторизації. Встановити значення цього параметра рівним довжині самого короткого растрового відрізка або діаметра самої маленької растрової окружності (дуги). При вимірі за допомогою команди «Вимір» з меню «Засоби» на зображенні потрібно провести лінію уздовж самого маленького растрового відрізка, дуги або окружності.

- «Макс. Розрив» — вказати максимально припустиму довжину ігнорованого розриву растрових ліній.

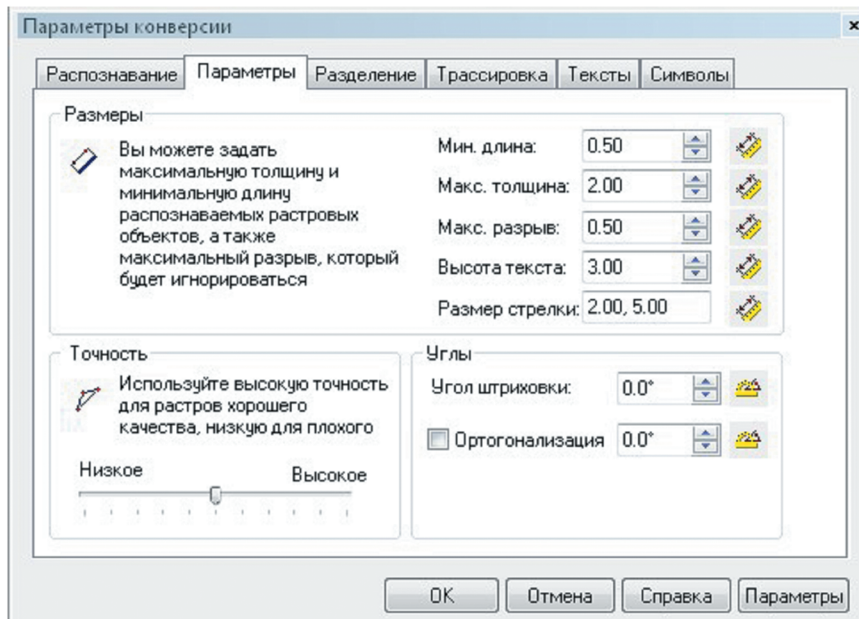


Рис. 4.1. Вікно діалогу «Параметри конверсії» в середовищі SpotLight

Якщо відрізок (дуга) на зображенні розбитий на дві частини, а ви прагнете векторизувати цей відрізок (дугу) як єдиний векторний об'єкт, встановіть значення параметра більше, ніж величина розриву. Після векторизації розрив буде усунутий, а частини векторного відрізка (дуги) будуть з'єднані.

Потрібно також встановити значення такого параметра як «Апроксимація», що визначає точність відповідності вихідного растрового об'єкта векторним об'єктам. Якщо вихідне зображення перевернуто, наприклад, коло має форму еліпса, то значення параметра «Апроксимація» слід зменшити. При цьому, однак, можуть виникнути неточності розпізнавання, наприклад, програма може прийняти коротку дугу за відрізок. Перед трасуванням якості растрового зображення можна поліпшити шляхом застосування фільтра, що згладжує. При гарній якості растрового зображення значення параметра «Апроксимація» можна збільшити. Комбінацію параметрів конверсії потрібно зберігати у якості шаблону відповідно до типу креслень: електричні, кінематичні або інші схеми, креслення механізмів машин, плани, мапи тощо, щоб використовувати ці шаблони у майбутньому.

4. Підготовка растрового зображення до автоматичної конверсії. У меню «Фільтри» послідовно використовуючи відповідні команди виконати фільтрацію (очищення) зображення. При необхідності з меню «Растр» усунути перекіс зображення відповідною командою, у тому ж меню підвищити роздільну здатність зображення за допомогою команди «Змінити DPI», але не більш 300 dpi.

#### 4.4. Автоматична конверсія графічного зображення

Процедура перетворення растрового зображення креслень у векторне застосовується проєктувальниками для можливостей редагування та подальшої розробки нових проєктів на основі попередніх аналогів. Зокрема в середовищі Spotlight вказана процедура здійснюється наступним чином:

1. У меню «Редагувати» командою «Вибрати об'єкт» виділити рамкою (протягнувши курсором) тільки схему або креслення.

2. У меню «Фільтри» вибрати команду «Залити розриви ліній». Установити значення «Макс. Товщина» і «Макс. Розрив» такі ж, як були встановлені раніш (див. вище п.5.2.1).

3. У меню «Перетворення» задати команду «Растр у вектори».

4. Після автоматичної конверсії в меню «Вид» задати команду «Сховати растр».

5. На інструментальній панелі «Вибір» включити «Векторний вибір».

6. З меню «Засоби» відкрити панель «Інспектор». Виділити всі

вектори креслення. Потім у вікні «Інспектор» на вкладці «Ширина» задати нульову товщину всіх об'єктів, указавши значення 0.00 і натиснути «Enter».

7. З меню «Редагувати» вибрати команду «Відмінити весь вибір».

8. Використовуючи стандартну панель інструментів шляхом огляду ділянок зображення виконати його аналіз, визначивши наявність дефектів (викривлень) графічних об'єктів у результаті автоматичної конверсії. Для порівняння векторного й вихідного растрового зображення рекомендується використовувати піктограми «Показати/сховати растр» і «Показати/сховати вектори», що розташовані на стандартній панелі інструментів.

9. У разі незадовільного результату конверсії (тобто наявності до 20-30% перекручених об'єктів) закрити не зберігаючи векторне зображення, і зробити уточнене настроювання параметрів конверсії і повторити вище вказані процедури п. 5.2.1.

10. У випадку щодо невеликого числа викривлених графічних об'єктів перейти до їхнього редагування за допомогою процесу трасування окремих растрових об'єктів. Іноді доцільно з точки зору економії часу не виконувати редагування зіпсованих об'єктів в середовищі Spotlight, а виконати цю процедуру вже в іншому векторному редакторі, що належить до програм САПР.

Для редагування гібридного (растрово-векторного) зображення креслення необхідно виконати наступне:

- для виправлення дефектів конверсії вилучити перекручені вектори. Потім знову показати (але не розкриваючи повторно файл) растрове зображення, для чого потрібно скористатися командою «Показати/сховати растр».

- з меню «Трасування» або з панелі інструментів «Растр у вектори», впливаючи на відповідні піктограми, виконати ручне трасування растрових об'єктів, відповідаючи на запити рядка стану (унизу робочого поля), тобто послідовно вказуючи курсором об'єкти, що підлягають трасуванню: відрізок, дугу, коло й т.п. графічні примітиви.

- з меню «Засоби» у діалоговому вікні «Інспектор» задати виправленим об'єктам необхідні параметри стилю: товщину, тип лінії й т.п.

- виконати редагування тексту або значень розмірів, послідовно виділяючи перекручені текстові фрагменти й указуючи у вікні діалогу «Інспектор» необхідні значення.

У випадку відсутності можливості здійснити напівавтоматичне трасування об'єктів виконати зазначену операцію вручну за допомогою панелі «Малювання», тобто використовуючи відповідні піктограми, накреслити відрізок, полілінію, дугу й т.п. графічні об'єкти, включаючи створення текстових фрагментів з панелі «Редагування тексту»

на місці растрового зображення. При цьому доцільно використовувати режими об'єктних прив'язок, що встановлені в рядку стану.

По завершенні конверсії завантажити тільки векторний файл у будь-який векторний редактор (AutoCAD, Компас 3D та їм подібний) для подальшого опрацювання проекту. Ні в якому разі не слід виконувати доповнення чи редагування отриманого векторного зображення в середовищі SpotLight, що призначений для конверсії растрових зображень у векторні. Для забезпечення максимальної продуктивності праці подальший розвиток проекту необхідно виконувати у середовищі вище вказаних векторних креслярських редакторах або інших, що належать до систем автоматизованого проектування.

#### Контрольні запитання

1. Зазначте принципи відмінності головних типів комп'ютерних зображень
2. Назвіть види роздільної здатності
3. Назвіть одиниці вимірів графічної роздільної здатності й лініатури
4. Викладіть наслідки зміни розмірів та роздільної здатності на якість растрового зображення
5. Назвіть параметри вікна діалогу «Параметри конверсії»
6. Надайте послідовність операцій конверсії растрового зображення у векторне в середовищі SpotLight
7. В чому полягає сутність процесу трасування графічних примітивів?





## Розділ 5. Проектування компонентів РТС

РТС — Робототехнічна система: сукупність інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих і керуючих пристроїв, що функціонують разом з метою виконання заданого технологічного процесу або операції. РТС реалізується у вигляді комплексу технологічного та транспортного обладнання в сукупності з промисловими роботами, що виконують основні або допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва.

До компонентів РТС відносяться різноманітні пристрої технологічного оснащення, приводи промислових роботів та периферійного обладнання, їх виконавчі механізми, пристрої завантаження, накопичення та транспортування об'єктів виробництва, тощо. Етапи проектування будь-якого функціонального пристрою, передбачають виконання наступних процедур: 1) побудова розрахункової схеми; 2) розрахунки конструктивно-технологічних параметрів пристрою; 3) вибір типового пристрою (якщо такий існує) або розробка нової його конструкції. Останнє пояснюється тим, що завод-виготовлювач промислового робота не може однозначно визначити номенклатуру виробів, які будуть обслуговуватися даною моделлю робота. А саме вид і значення параметрів об'єктів, що обслуговуються маніпулятором. Тобто від параметрів заготовок, деталей, напівфабрикатів залежать конструктивно-технологічні характеристики засобів впорядкування виробничого середовища [7, 8].

### 5.1. Проектування механічних захватних пристроїв

Методика розрахунків конструктивних параметрів механічних захватів полягає в наступному:

1. Вибравши по табл. 5.1 розрахункову схему, визначають мінімальне зусилля затискача, необхідне для втримання заготовки або деталі в захваті. При виборі розрахункової схеми виходять із найбільш несприятливого положення захвата, тобто положення, при якому під дією всіх прикладених сил (інерційних, дотичних і сили тяжіння) можливий зрив деталі із затискних губок захвату. Утримуючими силами є сили тертя, які залежать від величини нормального тиску й коефіцієнта тертя матеріалу деталі й затискних губок захвату. Значення прикладених до деталі сил знайдені з рівнянь статичної рівноваги, складених у проекціях сил на осі обраної системи координат.

2. Розраховують зусилля привода захвата з урахуванням мінімаль-

ного зусилля затискача й коефіцієнта його запасу (що враховує інерційне навантаження) стосовно до обраної по табл. 5.2 кінематичній схемі підсилювально-передатного механізму захвата. При виборі типу передавального механізму потрібно враховувати припустимі розміри й вантажопідйомність маніпулятора конкретної моделі промислового робота, необхідність пласко паралельного або обертового руху губок захвата, а також тип привода й конструкцію кисті маніпулятора. Крім того, вибір передавального механізму залежить від форми й діапазону типорозмірів виробів, які обслуговуються роботом. Так, для захвата пласких і циліндричних деталей при широкому діапазоні типорозмірів їх базових поверхонь, тобто в широкодіапазонних захватах, що центрують, необхідно використовувати механізми із пласко паралельним переміщенням затискних губок (шарнірні паралелограми, важільно-гвинтові й т.п.). У вузьких діапазонах розкриття захватів можна застосовувати передавальні механізми з обертовим рухом затискних губок (важільні, клинові важільні, зубчасто-рейкові й т.п.) [8, 9].

3. Щоб уникнути uszkodження базових поверхонь деталей, виконують перевірочний розрахунок по контактних напругах (табл. 5.3). Якщо значення контактної напруги в місцях доторкання губок захвата з деталлю перевищує припустиме значення для конкретного матеріалу деталі, то зменшити діючу напругу можна, побільшавши ширину губок захвата.

4. На заключному етапі розрахунків вибирають або розраховують параметри двигуна для привода захвата. Якщо використовується електромеханічний привод, то за значенням необхідного зусилля привода обчислюють потужність електродвигуна, попередньо визначивши крутний момент на валу електродвигуна. Потім останній вибирають по каталогу з урахуванням необхідної потужності. Потужність електродвигуна  $N$  (кВт) привода захвата розраховують по формулі

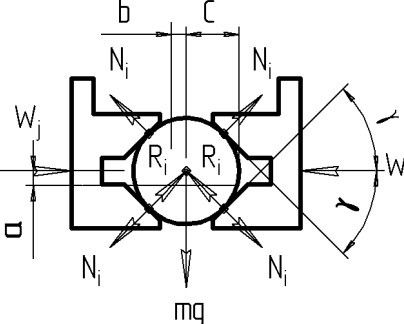
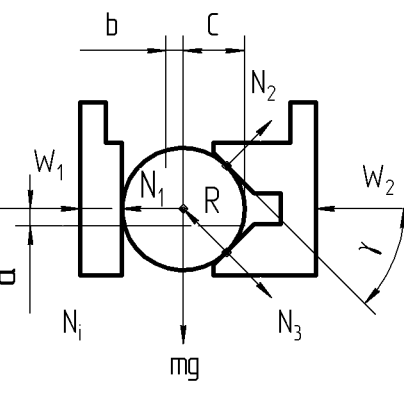
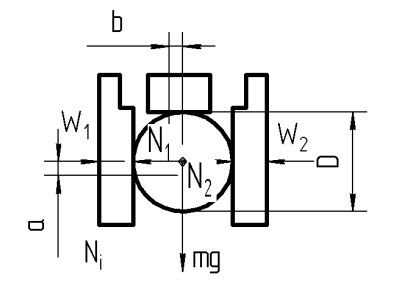
$$N = \frac{Mn}{960}, \quad (5.1)$$

де:  $M$  – крутний момент, кгм;  $n$  – частота обертів у хвилину на валу двигуна, об/хв.

У випадку застосування пневматичного або гідравлічного циліндрів їх вибирають за найбільшими значенням зусиль привода й ходу провідної ланки передавального механізму також з відповідних каталогів. При відомому зусиллі привода й тиску пневматичної або гідравлічної магістралі можна визначити значення діаметрів пневматичного або гідравлічного циліндрів відповідно (розрахунок див. нижче).

Розрахунки зусиль затискання захватів та погрішності базування  
деталей в захватах

Таблиця 5.1

Схема затискання деталі губками захвата	Розрахункові формули зусиль затискання, нормальних реакцій і погрішності базування
	$R_i = \frac{mg}{2(\cos \gamma + \mu \sin \gamma)};$ $N_i = R_i \frac{\sin \gamma + \mu \cos \gamma}{2(\cos \gamma + \mu \sin \gamma)};$ $W_i = 2N_i(\sin \gamma + \mu \cos \gamma);$ $i = 1, 2 \dots n$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0; \varepsilon_c = 0$
	$R_i = \frac{mg}{2(\cos \gamma + \mu \cos \gamma) + \mu};$ $N_1 = \frac{R}{\mu}(\cos \gamma + \mu \sin \gamma);$ $N_{2,3} = \frac{2\eta + (1 + \eta^2) \sin 2\gamma}{4\mu(\sin \gamma + \mu \cos \gamma)^2};$ $W_{1,2} = N_1 - 2N_2(\sin \gamma + \mu \cos \gamma) + R(\sin \gamma - \mu \cos \gamma);$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0,5\delta_D; \varepsilon_c = \frac{0,5\delta_D}{\sin \gamma}$
	$N_i = \frac{mg}{2\mu}; W_i = N_i; i = 1, 2;$ $\varepsilon_a = 0,5\delta_D; \varepsilon_b = 0; \varepsilon_c = \delta_C$

Позначення до табл. 5.1.

$N_i$ ,  $R_i$  – зусилля нормальних реакцій від зусилля затискування і сили ваги заготовки, Н;  $m$  – маса заготовки, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>;  $2\gamma$  – кут призми;  $\mu$  – коефіцієнт тертя між губкою захвату та заготовкою;  $\epsilon_{a,b,c}$  – погрішність базування в напрямку розмірів  $a, b, c$ ;  $\delta_{D,C}$  – допуски на розміри  $D$  і  $C$ .

Вибираючи по каталогу електродвигун захвата, перевагу слід віддавати найближчому більшому значенню потужності. Однак, слід пам'ятати, що вага захвата обмежує вантажопідйомність маніпулятора. Тому доцільно іноді переглянути значення передатного відношення механізму й змінити його убик збільшення або зменшення, залежно від характеристик двигуна.

Діаметр  $D$  (мм) необхідного пневматичного або гідравлічного циліндрів в першому наближенні визначається по формулі:

$$D = 10 \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta}} \quad (5.2)$$

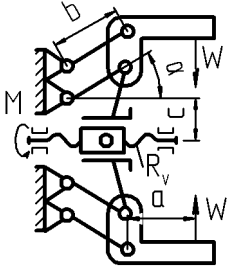
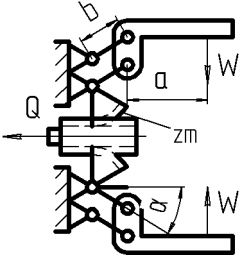
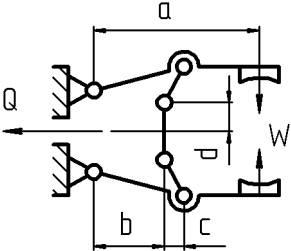
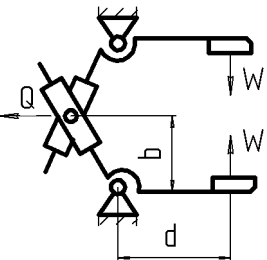
де:  $p$  – тиск у магістралі: для пневматичної можна прийняти  $p = 4 \dots 6$  (кгс/см<sup>2</sup>), а для гідравлічної магістралі:  $p = 16 \dots 20$  кгс/см<sup>2</sup>. Перевагу гідравлічному приводу віддають при необхідному зусиллі понад 50 кгс;  $Q$  – зусилля привода, кгс;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії відповідного механізму захвата.

З метою економії працезатрат на проектування технологічного оснащення маніпуляторів необхідно завчасно, ще на стадії ескізного проекту (не приступаючи до робочого проекту), шляхом варіювання типів підсилювально-передатних механізмів, їх передатного відношення й потужності привода, досягатися як можна меншої ваги захвата маніпулятора.

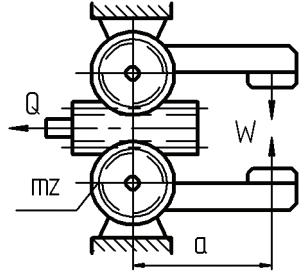
Більшу кількість варіацій підсилюючо-передавальних механізмів для захватів промислових роботів надано в монографії [ ]. Тут відзначимо, що вибір механізму захвату залежить, насамперед, від форми об'єкту виробництва (заготовки, деталі). Так широкодіапазонні механізми (табл. 5.2) слід обирати, коли передбачається досить часта зміна об'єкту виробництва при умові переналагодження промислового робота. І, навпаки, в умовах стабільності номенклатури виробництва слід віддавати перевагу захватам з вузько діапазонним ходом їх затискних елементів, що додатково сприяє підвищенню продуктивності праці.

Кінематичні схеми підсилювально-передатних механізмів і формули зусилля приводів широкодіапазонних захватів

Таблиця 5.2

Схема механізму		Формула зусилля приводу
Пласко паралельний рух губок		$M = \frac{W(a + b \cos \alpha)}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \times \frac{R_v \operatorname{tg} \varphi}{\eta b \sin(\arcsin \alpha - \beta)} K$
		$Q = \frac{4W(a + b \cos \alpha)}{mz\eta} K$
Кутовий рух губок		$Q = \frac{2Wac}{d(b + c)\eta} K$
		$Q = \frac{2WaK}{b\eta}$

Продовження табл. 5.2

	Схема механізму	Формула зусилля приводу
Кутовий рух губок		$Q = \frac{4Wa}{mz\eta} K$
<p><b>Позначення:</b>  <math>M</math> — момент на валу приводу, Нм; <math>Q</math> — тягове зусилля приводу, Н; <math>W</math> — зусилля затиску деталі, Н; <math>K</math> — коефіцієнт запасу, що враховує витрати на тертя та вплив сил інерції (<math>K = 1,5 \dots 2</math>); <math>m</math> — модуль зубчатого зчеплення; <math>z</math> — число зубів зубчатого колеса; <math>\eta</math> коефіцієнт корисної дії механізму; <math>\varphi</math> — кут підйому різьблення гвинта. Значення змінних розмірів приймати згідно відповідному стану затиску деталі в захваті.</p>		

## 5.2. Проектування вакуумних захватів

Вакумні захвати — це захватні пристрої, що втримують об'єкт маніпулювання силою притягання, що виникає внаслідок різниці атмосферного й залишкового тиску в порожнині, утвореної присосом і поверхнею об'єкта, що обслуговується (заготовки, деталі, виробу). Схема вакуумного захвата показана на рис. 5.1.

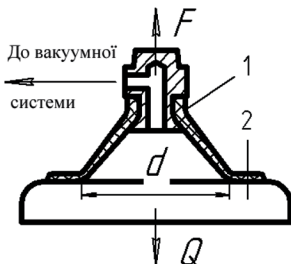


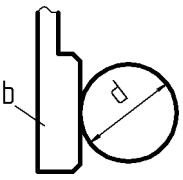
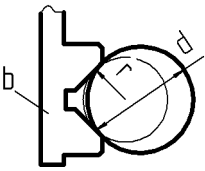
Рис. 5.1. Схема вакуумного захвата

У загальному випадку розрахунки вакуумних захватів зводиться до забезпечення умови втримання вакуумним захватом об'єкта виробництва:

$$F \geq kQ \quad (5.3)$$

де:  $F$  — зусилля підйому, Н;  $k$  — коефіцієнта запасу, що враховує вплив сил інерції;  $Q$  — сила ваги (Н),  $Q = mg$ , де:  $m$  — маса об'єкта виробництва, кг;  $g$  — прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Розрахунок контактних напруг між губками захвату та деталлю  
Таблиця 5.3

Схема контакту губки захвату з деталлю	Формула визначення контактної напруги
	$\sigma = 0,418\sqrt{\frac{NE^2}{bd}};$ $\sigma \leq [\sigma]$
	$\sigma = 0,418\sqrt{\frac{NE}{b}}\left(\frac{2}{d}-\frac{1}{r}\right);$ $\sigma \leq [\sigma]$
<p><i>Позначення:</i> <math>\sigma</math> – контактна напруга в у місцях контакту губки захвату і деталі, Н/см<sup>2</sup>; <math>N</math> – зусилля контакту, Н; <math>b, r</math> – ширина губки і радіус контакту, см; <math>d</math> – діаметр деталі, см; <math>E</math> – зведений модуль пружності: <math>E = 2E_1E_2/(E_1 + E_2)</math>, де: <math>E_1, E_2</math> – відповідно модуль пружності матеріалу губки і деталі, Н/см<sup>2</sup>; <math>[\sigma]</math> – припустима контактна напруга, Н/см<sup>2</sup>.</p>	

Власне значення зусилля підйому вакуумного захвату можна визначити по формулі:

$$F = SK_s(p_aK_a - p_v)K \tag{5.4}$$

де:  $S$  – площа, обмежена внутрішнім контуром присосу, м<sup>2</sup>;  $d$  – діаметр зони вакууму (рис.5.1), м;  $K_s$  – коефіцієнт зменшення площі присосу внаслідок його деформації (або ущільнення),  $K_s = 0,95...1$  для ущільнень із пористих гум;  $p_a$  і  $p_v$  – атмосферний і залишковий тиск усередині камери, відповідно, Па;  $K_a$  – коефіцієнт, що враховує зміни атмосферного тиску,  $K_a = 0,9...0,95$ ;  $K$  – коефіцієнт запасу зусилля підйому, що враховує приплив повітря в місці контакту ущільнення камери (присосу) з поверхнею вантажу,  $K = 1,2...1,5$ .

Залежно від способу створення розрідження (вакууму) у внутріш-

ній порожнині присосу розрізняють ежекторні, насосні й вакуумні схвати без насосу. В останньому випадку розрідження створюється тільки за рахунок деформації присосу захвату при його контакті з базовою поверхнею виробу. Для більшої надійності роботи такі захвати додатково оснащують зворотними клапанами, що спрацьовують у напрямку витікання повітря із присосу.

Натікання повітря через нещільності в зоні герметизації камери присосу зменшує швидкість й піднімальну силу вакуумного захвату. Для вакуумних захватів з ущільнювальним кільцем, що з'єднане з вакуумним насосом, тиск у внутрішній порожнині робочої камери (присосу) приймається рівним тиску розрідження, створюваному насосом. Для вакуумних захватів без ущільнювального кільця, а також для захватів з ущільнювальним кільцем, але некерованих, різниця тисків  $p_a - p_v = (3...4) 104 \text{ Н/м}^2$ . Для круглих захватів з ущільнювальним кільцем у першому наближенні можна прийняти  $S = (0,6...0,7) S_n$ ,  $S_n$  — площа, обмежена зовнішнім контуром поверхні контакту захвата з виробом. Площі  $S$  і  $S_n$  визначаються відповідно діаметрами внутрішньої зони вакууму й зовнішньої зони герметизації. Зміна цих діаметрів залежить від прикладеного навантаження, герметичних характеристик присосів вакуумного захвата й фізико-механічних властивостей матеріалу, з якого виготовлені присоси захвата. Глибина вакууму в камері присосу, а отже, і величина піднімальної сили залежать від характеристик джерела розрідження.

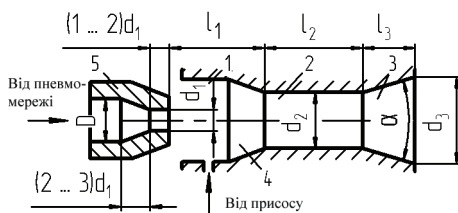
*Джерела розрідження.* У якості засобів створення розрідження в камері присосу вакуумного захвату застосовують вакуумні й газоструминні насоси. Останні йменуються також ежекторами. Ежектори конструктивно значно простіше, чим вакуумні насоси. Їх виконують, як правило, одноступінчастими й розміщують безпосередньо на кронштейні захвата, з'єднуючи через канал відбору повітря з однієї або декількома камерами присосів захвату. На відміну від вакуумних насосів ежектори створюють невисокий вакуум. Але на виробництві простота їх конструкції, експлуатації й налагодження обумовлюють досить широке їхнє застосування. Схема й послідовність розрахунку параметрів ежектора наведені в табл. 5.4.

Конструктивно ежектор виконується у вигляді корпуса, внутрішній наскрізний канал якого складається із чотирьох ділянок: камери усмоктування, колектора, змішувальної ділянки й дифузора. У камери усмоктування розміщується сопло, через яке подається струмінь стисненого повітря. З метою підналагодження ежектора сопло може бути регульованим, виконаним у вигляді голчастого дроселя. Крім того, доцільно встановлювати сопло з можливістю осевого переміщення й наступної фіксації його положення.



Таблиця 5.4

Розрахунок параметрів ежектора вакуумного захвату



1 — камера всмоктування; 2 — змішувальна ділянка;  
3 — дифузор; 4 — колектор; 5 — сопло.

Параметр	Од. вим.	Розрахункова формула
Напір ежектора	$\text{Н/м}^2$	$h = p_1 - p_2$
Сумарний об'єм циліндрів, що працюють разом із захватом робота	$\text{м}^3$	$Q_\Sigma = \frac{\pi d^2}{4} Lk$
Витрати стислого повітря на виході ежектора	$\text{м}^3/\text{с}$	$G = 0,25 \times 10^{-3} Q_\Sigma Kn$
Коефіцієнт ежекції	—	$q = G/G_1$
Динамічний напір ежектора	$\text{Н/м}^2$	$h_e = 2p(1+q)^2$
Тиск повітря перед соплом	$\text{Н/м}^2$	$p_3 = 1,1h_e$
Швидкість витікання повітря із сопла	$\text{м/с}$	$V_1 = 2 \times \sqrt{\frac{2qh_e}{\gamma_1}}$
Діаметр вихідного перерізу сопла	м	$d_1 = 2 \times \sqrt{\frac{G_1}{2,14\pi \sqrt{p_3/\gamma_1}}}$
Діаметр змішувальної ділянки	м	$d_2 = \sqrt{2} \times d_1 (1+q)$
Коефіцієнт динамічного напору	—	$K = 2(1+q)^2$
Довжина змішувальної ділянки	м	$l_2 = (3,5; 4; 5)d_2$
Відстань від сопла до змішувальної ділянки	м	$l_1 = (1 \dots 2,5)d_2$
Довжина дифузора $d_3 = 1,5d_2$		$l_3 = \frac{(d_3 - d_2)}{2 \text{tg} 0,5\alpha}$

Встановлення сопла з можливістю осевого переміщення дозволяє в процесі налагодження вакуумного захвата регулювати відстань від вихідного отвору

сопла до змішувальної ділянки ежектора. Чим більше діаметр змішувальної ділянки й шлях струменя до зіткнення зі стінками, тим більший обсяг повітря підводиться. На відміну від вільного струменя, у якому підсмоктування газу навколишнього середовища відбувається на всій довжині струменя, в ежекторі підсмоктування газової сфери обмежено стінками камери присосу.

*Колектор* — це ділянка внутрішньої наскрізної порожнини ежектора, на якій відбувається прискорення струменя газового середовища, тобто повітря, що відсмоктується із присосу. Колектор виконується у вигляді усіченого конуса. З метою зменшення опору утворююча внутрішньої поверхні колектора може бути виконана по складній кривій (наприклад, по лемніскаті Бернуллі або у вигляді сопла Лавала).

*Дифузор* ежектора призначений для перетворення динамічного напору в статичний тиск.

### 5.3. Електромагнітні захвати

Електромагнітні захвати переважно використовуються для оснащення маніпуляторів промислових роботів, що обслуговують устаткування листоштамповочного виробництва. Перевагами цих захватів є

простота конструкції й нескладність виготовлення. Однак, застосовуються захвати з електромагнітами тільки для деталей з матеріалів, що намагнічуються.

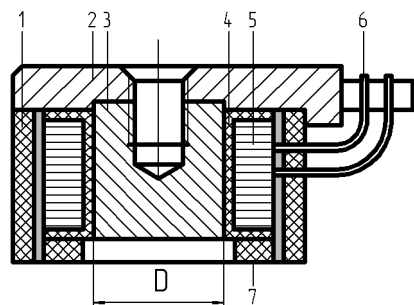


Рис. 5.2. Конструкція електромагнітного захвату

ційною прокладкою 1, а по торцю 7 заливається смолою ЕД 20 з наступним поліруванням торця, який і є робочою поверхнею захвату. Сердечник виготовляють із магнітних м'яких сплавів або набирають у вигляді пакета пластин електротехнічної сталі. Виводи 6 котушки приєднують до електромережі робота.

Для усунення залишкового магнетизму, що викликає «злипання» деталей при відключенні електромагніту, необхідно в процесі його виготовлення зробити термічну обробку сердечника з нагріванням до 600-700<sup>о</sup>С і наступним повільним охолодженням разом з електропіччю, у якій звичайно роблять нагрівання.

Розрахунки параметрів власне електромагніту детально викладений у монографії [2, стор. 24].

#### 5.4. Приводи маніпуляторів промислових роботів

Для повідомлення руху виконавчим механізмам промислового робота застосовують приводи електромеханічного, пневматичного й гідравлічного типів. Привод маніпулятора являє собою сукупність двигуна, підсилювально-передатного механізму й засобів автоматики. Вид привода визначається типом двигуна, обраного залежно від призначення промислового робота (ПР). Так, пневматичний привод найбільш ефективний у випадках, коли потрібна висока швидкодія при малій вантажопідйомності маніпулятора ПР і невисокої точності позиціонування, гідравлічний — при більшій вантажопідйомності, плавності ходу й високої точності позиціонування маніпулятора, електромеханічний — при середній вантажопідйомності й вільному програмуванні ПР. Приводи розрізняють також по способу керування (розімкнуті — з позиціонуванням по упорах і із цифровим керуванням), по способу регулювання підведеної й відведеної енергії (активні й пасивні). В активному приводі згідно із заданою програмою регулюють тиск у пневматичній або гідравлічній системі; в електроприводу регулюють частоту, напругу або силу струму електродвигуна, а в пасивному приводі — сили тертя гальмових пристроїв. Крім двигуна й підсилювально-передатних механізмів, види яких, привод може включати підсилювачі потужності, датчики зворотного зв'язку по швидкості й положенню, а також інші елементи автоматики, склад яких визначається типом силового двигуна й системи керування.

Для здійснення рушійних функцій маніпуляторів промислових роботів застосовують пневматичний, гідравлічний та електромеханічний приводи. *Електроприводи* завдяки гнучкості програмування та високої точності позиціонування мають найбільше застосування в умовах гнучких виробничих систем. Вказані властивості є перевагами електроприводу. До недоліків слід віднести необхідність наявності підсилювально-передавальної ланки (тобто, редуктора), що збільшує вартість цього приводу відносно пневматичного та гідравлічного приводів. *Пневматичні приводи* через низькі характеристики жорсткості і обмеженої гнучкості програмування застосовують для маніпуляторів

з жорстким циклом роботи та невисокої точності позиціонування. Переваги: 1) висока швидкодія; 2) відносна простота конструкції, а значить низька вартість. Недоліки: 1) низька точність позиціонування (потребує наявності в приводі жорстких упорів та демпферних пристроїв для зменшення швидкості при підході до упора в точці позиціонування; 2) циклічне жорстке програмування, за виключенням крокових з низькою точністю позиціонування. *Гідроприводи* в порівнянні з електроприводами забезпечують більш високі параметри робіт, а саме: більшу питому потужність та точність позиціонування, що є безумовною перевагою. Однак їх експлуатаційні витрати вищі через необхідність забезпечення високої чистоти мастила і відсутності витоків. Тому при однаково високій гнучкості програмування останнім часом частіше застосовуються електроприводи. При виборі типу привода варто розглядати комплекс технічних і експлуатаційних вимог, у тому числі можливість комплектування та експлуатації того чи іншого типу привода.

#### 5.4.1. Розрахунок параметрів електродвигуна маніпулятора ПР

Вибір електродвигуна для різних механізмів робіт доцільно виконувати в послідовності, так би мовити, зворотного напрямку, тобто аналізуючи кінематичну схему маніпулятора від кінцевої до початкової ланки (рис. 5.3).

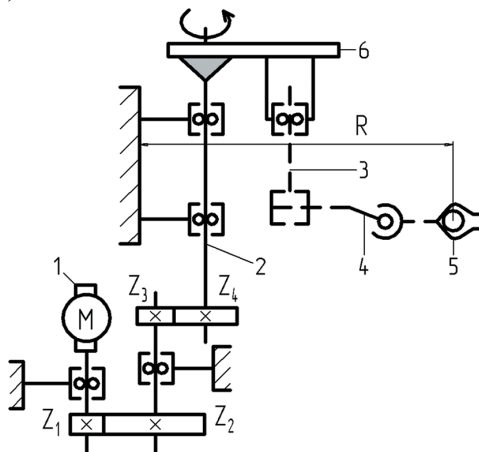


Рис. 5.3. Схема електропривода поворотної колониманіпулятора ПР мод. РМ-01: 1 – електродвигун; 2 – поворотна колона; 3 – рука маніпулятора; 4 – кисть; 5 – захват; 6 – плече; приводи руки й кисті не показані)

Методика розрахунку параметрів в першому наближенні (тобто без урахування всіх динамічних параметрів) наступна:

1. Визначити початкові параметри:

а) навантаження, тобто сумарний момент тертя  $M_{тр}$  (Нм) та масу  $m$  (кг) вузлів кожної чергової (що слідує після приводу) ланки маніпулятора ПР, включаючи масу об'єкту маніпулювання;

б) коефіцієнт корисної дії (ККД)  $\eta$ , що є добутком ККД усіх механізмів маніпулятора, які обслуговуються даним приводом;

в) експлуатаційна лінійна  $V$  (м/хв.) або кутова  $\omega$  (рад/с) швидкості кінцевої ланки маніпулятора;

г) передаточне відношення  $i$  механізмів ланки, яка обслуговується даним двигуном, що, в свою чергу, є добутком передаточних відношень кожного механізму, що входить до цієї ланки.

Ці параметри визначаються залежно від конструктивної схеми маніпулятора (див. рис. 5.3), що в свою чергу задає приблизну масу та відстані до центру мас ланок маніпулятора, також його корисного навантаження, тобто максимальної маси об'єкту виробництва, котрий буде обслуговуватись маніпулятором.

2. Визначити крутний момент електродвигуна

Крутний момент електродвигуна  $M$  двигуна є сума двох складових моментів:  $M_{st}$  (Нм) та динамічного  $M_d$ :

$$M = M_{st} + M_d \quad (5.5)$$

де: для механізмів обертання з горизонтальною віссю:

$$M_{st} = \frac{mgL - Ql + M_t}{i\eta}, \text{ (Nm)} \quad (5.6)$$

статичний момент для механізмів обертання з вертикальною віссю:

$$M_{st} = \frac{M_t}{i\eta}, \text{ (Nm)} \quad (5.7)$$

де:  $m$  — маса переміщу вальних вузлів (ланок маніпулятора плюс об'єкту маніпулювання), кг;  $g$  — прискорення вільного падіння, 9,8 м/с<sup>2</sup>;  $L$  — відстань від осі обертання до центру мас переміщу вальних вузлів;  $Q$  — зусилля зрівноважування маси, Н;  $l$  — плече дії зусилля відносно осі обертання механізму, м;  $M_t$  — сумарний момент тертя (Нм) в механізмах приводу з урахуванням загального навантаження на ланку, що обслуговується цим двигуном;  $i$  — передаточне відношення механізмів приводу; динамічний момент:

$$M_d = \frac{m\varepsilon L^2}{i}, \text{ (Nm)} \quad (5.8)$$

де:  $\varepsilon$  — прискорення валу двигуна, м/с<sup>2</sup>.

3. Визначити необхідне число обертів валу електродвигуна:

Для чого, задаючи експлуатаційну лінійну швидкість  $V$  (м/хв.) руху кожної чергової ланки маніпулятора, визначити необхідне число обертів  $n$  веденого (кінцевого) валу приводу цієї ланки:

$$n = \frac{V}{2\pi R} \text{ (об/хв.)}, \quad (5.9)$$

де:  $R$  — радіус оберткової ланки маніпулятора (м), або радіус веденого зубчатого колеса приводу у разі перетворення оберткового руху на поступовий рух. Тоді знайти необхідне число обертів  $n_\Sigma$  (об/хв.) валу електродвигуна, як:

$$n_\Sigma = n \times i \quad (5.10)$$

де:  $i$  — передаточне відношення механізмів приводу ланки, яку обслуговує цей двигун.

4. Визначити необхідну потужність електродвигуна :

$$N_d = \frac{M_d n_\Sigma}{960} \quad \text{(кВт)} \quad (5.11)$$

5. Вибрати електродвигун по відповідному каталогу. При цьому момент двигуна по каталогу повинен задовольняти нерівності:

$$M_k \geq \frac{M_d}{K} \quad (5.12)$$

де  $K$  — коефіцієнт перевантаження приводу, зазвичай  $K = 1,5 \dots 2,5$ .

6. Після завершення робочого проекту вузлів і механізмів маніпулятора провести перевірочний розрахунок правильності вибору двигуна за еквівалентним моментом і часом розгону до номінальної швидкості, тобто розрахунок на основі уточнених параметрів, вказаних в п. 1 викладеної вище методики.

### 5.4.2. Визначення параметрів пневматичного приводу

На рис. 5.4 наведена розрахункова схема поршневого пневматичного приводу: з одним (а) та двома (б) штоками.

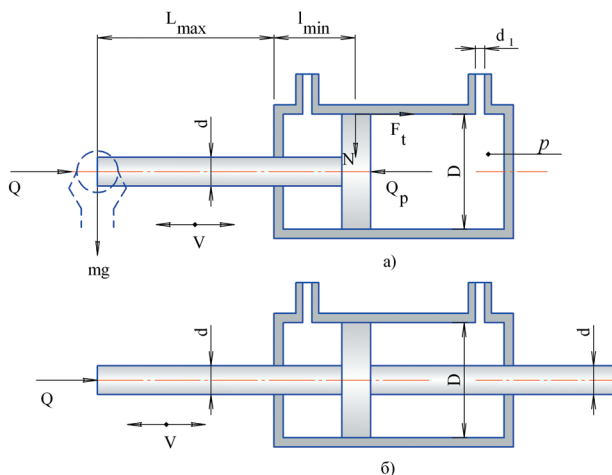


Рис. 5.4. Розрахункова схема поршневого пневматичного приводу

Методика розрахунку поршневого пневматичного приводу наступна:

1. Враховуючи схему навантаження пневматичного приводу визначають силу сумарного навантаження на шток пневматичного циліндра:

$$F = F_x + F_t \quad (5.13)$$

де:  $F_x$  — сила корисного навантаження, Н;  $F_t$  — сила тертя в циліндрі, Н. Силу тертя можна визначити також як (див.рис 3.2.):

$$F_t = Nk \quad (5.14)$$

$k$  — коефіцієнт тертя між поршнем та циліндром;  $N$  — нормальна реакція в точці дотику поршня і циліндра (Н), яка знаходиться з рівняння моментів сил у разі максимального навантаження штока циліндра:

$$mgL_{\max} = Nl_{\min} \quad (5.15)$$

де:  $m$  — маса корисного навантаження з урахуванням маси консольної частини штоку, що виходить з циліндру;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $L_{\max}$  — довжина консолі штоку пневмоприводу, м;

$l_{min}$  — довжина частини штоку, що знаходиться в пневматичному циліндрі.

З урахуванням виразів 5.14 та 5.15 сила тертя складе:

$$F_t = \frac{mgL_{\max}}{l_{\min}} k \quad (5.16)$$

Сила, що передається штоком поршневих пневматичних приводів, залежить від їх типу (див. рис. 3.2). Так для пневморивоводу двохсторонньої дії з одним штоком вказана сила складе:  
у напрямку штовхання, тобто сила на поршні:

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} pK \quad (5.17)$$

а у зворотному напрямку, тобто при втягуванні поршня (сила на штоку) пневматичного приводу:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) pK \quad (5.18)$$

де:  $D, d$  — діаметри поршня та штока пневмоприводу, відповідно, в м;  $p$  — тиск в циліндрі, Па; — коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра,  $K=0,85\dots0,90$ . Для стабільної роботи пневмоприводу необхідно, щоб виконувалась умова:

$$Q = Fn \quad (5.19)$$

де:  $n$  — коефіцієнт запасу ( $n=1,2\dots1,4$ ), що враховує подолання сили тертя покою. Далі розраховують час спрацювання  $t(c)$  пневмоприводу:

$$t = \frac{D^2 L_x}{d_1 v} \quad (5.20)$$

де:  $L_x$  — величина ходу поршня пневматичного циліндра, в м;  $d_1$  — внутрішній діаметр повітряного проводу, що підводить стисле повітря до циліндра, в м;  $v$  — швидкість стислого повітря (зазвичай для заводських мереж  $v = 15\dots20$  м/с).

Загальна площа перерізів (м<sup>3</sup>) каналів проводу визначається за формулою:

$$S = \frac{V}{vt} \quad (5.21)$$

де:  $V$  — об'єм порожнини пневматичного циліндру, що забезпечує робочий хід його штока, м<sup>3</sup>.



Діаметр каналу для подачі стислого повітря пневматичного циліндра складає:

$$d_1 = D \sqrt{\frac{L_x}{vt}} \quad (5.22)$$

Визначення параметрів цієї формули дивись вище.

#### 5.4.3. Визначення параметрів гідроприводу

Аналогічно розрахунку параметрів пневматичного приводу визначають силу сумарного навантаження на штоку гідравлічного приводу. Для забезпечення стабільної роботи поршневого гідроприводу необхідно виконання умови:

$$Q_{sh} = KF \quad (5.23)$$

де:  $K$  — коефіцієнт запасу ( $K=1,2\dots1,3$ ), що враховує подолання сили тертя покою;  $Q_{sh}$  сила на штоку гідроциліндра складає:

$$Q_{sh} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p \eta \quad (5.24)$$

де:  $D, d$  — відповідно діаметри поршня та штоку гідроциліндра, м;  $p$  — тиск в циліндрі, Па; коефіцієнт корисної дії гідроциліндра  $\eta=0,85\dots0,90$ ; а максимальна сила на поршні гідроциліндра буде дорівнювати:

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} p \eta \quad (5.25)$$

Швидкість переміщення штока  $v_p$  (м/хв.) при подачі машинного масла в поршневу порожнечу циліндра складе:

$$v_p = \frac{4G}{10^3 \pi D^2} \quad (5.26)$$

де:  $G$  — кількість масла, що подається в циліндр, л/хв; швидкість штока циліндра при подачі масла в штокову порожнечу циліндра, відповідно, визначається як:

$$v_{sh} = \frac{4G}{10^3 \pi (D^2 - d^2)} \quad (5.27)$$

Час спрацювання  $t$  (с) гідроциліндра визначається за формулою:

$$t = \frac{10^3 \pi D^2 L}{4 G_n} \quad (5.28)$$

де:  $G_n$  — необхідна продуктивність гідронасосу, л/хв.

Наведені залежності дозволяють визначити параметри гідроприводу в першому наближенні для вибору стандартного гідравлічного циліндру з відповідних каталогів.

#### 5.4.4. Пневматично-гідравлічний привод

Пневматично-гідравлічний привод (рис. 5.5) зазвичай використовують у якості підсилювача технологічного зусилля, наприклад, при виконанні таких технологічних операцій, як складання пресових з'єднань, клепка, вальцювка, установка дюбелів і т.п. Перевага цього приводу полягає у великому передаточному відношенні зусиль на вході та виході приводу. Передаточне відношення пневматично-гідравлічного приводу може досягати значень декілька десятків.

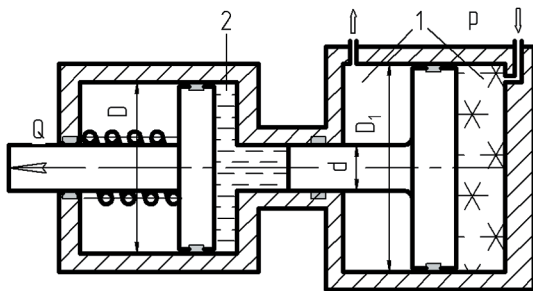


Рис. 5.5. Схема пневматично-гідравлічного приводу: пневматична 1 та гідравлічна 2 порожнини циліндрів

Методика розрахунку параметрів пневматично-гідравлічного приводу полягає в наступному:

1. Коефіцієнт підсилення (як правило  $k = 20 \dots 40$ ) складає:

$$k = \left( \frac{D}{d} \right)^2 \quad (5.29)$$

де:  $D$  — діаметр гідроциліндра, см;  $d$  — діаметр штока пневматичного циліндра, см.

2. Сила на штоку гідроциліндра (без обліку сили пружини), кгс:

$$Q = \frac{\pi D_1^2}{4} p_1 \left( \frac{D}{d} \right)^2 K_1 K_2 K_3 \quad (5.30)$$

де:  $D_1$  — діаметр пневматичного циліндра, см;  $p_1$  — тиск стисненого повітря, кг/см<sup>2</sup>;  $K_1$  — об'ємний коефіцієнт корисної дії (ККД) привода ( $K_1 = 0,95$ );  $K_2$  — механічний ККД перетворювача ( $K_2 = 0,95$ );  $K_3$  — механічний ККД гідроциліндра ( $K_3 = 0,95$ );

3. Тиск  $p_2$  рідини в гідроциліндрі, кг/см<sup>2</sup>

$$p_2 = p_1 \left( \frac{D}{d} \right)^2 \quad (5.31)$$

4. Хід штока пневматичного циліндра, см:

$$L = l \left( \frac{D}{d} \right)^2 \frac{n}{K_1} \quad (5.32)$$

де:  $l$  — хід штока гідроциліндра, см;  $n$  — кількість гідроциліндрів.

5. Витрата повітря в пневматичному циліндрі на один цикл руху, см<sup>3</sup>

$$G = \frac{\pi D_1^2}{4} L \quad (5.33)$$

Таким чином, пневматично-гідравлічний привід є різновидом комбінованого приводу, в якому за рахунок витиснення рідини штоком пневматичного циліндру в гідравлічну порожнину циліндра здійснюється збільшення в десятки разів зусилля на штоку гідравлічного циліндру, тобто технологічного зусилля.

#### Контрольні запитання

1. Типи захватних пристроїв промислових роботів. Їх переваги та недоліки
2. Наведіть методику розрахунку конструктивних параметрів механічних захватних пристроїв
3. Наведіть схему контактних сил та нормальних реакцій захвату із об'єктом виробництва (деталлю, заготовкою)

4. Наведіть формулу умови утримання захватом промислового робота об'єкту виробництва
5. Дайте означення вакуумного схвату. Надайте схеми присоса та ежектора вакуумного схвату
6. Запишіть формулу сили підйому вакуумного схвату та поясніть сутність складових цієї формули
7. Назвіть конструктивні елементи електромагнітного захвату промислового робота.
8. Назвіть основні переваги та недоліки електричного, пневматичного та гідравлічного приводів.
9. Наведіть методику та аналітичні залежності розрахунку параметрів електроприводу промислового робота (ПР).
10. Наведіть методику та аналітичні залежності розрахунку параметрів пневматичного приводу ПР.
11. Наведіть методику та аналітичні залежності розрахунку параметрів гідравлічного приводу ПР.



## Розділ 6. Принципи синтезу мобільних роботів

У даному розділі викладено три основні принципи синтезу мобільних роботів: нагромадження й перетворення енергії, інтеграції приводів руху й застосування генератора реактивної пневматичної тяги. Дані технічні розв'язки дозволяють роботам переміщатися по поверхнях довільної орієнтації в різних системах координат. Реалізація зазначених принципів сприяє зменшенню сумарної потужності приводів і підвищенню надійності втримання роботів на поверхні довільної орієнтації в технологічному просторі. У XX столітті науково-технічною думкою створені досить надійні засоби подолання гравітаційної сили у вигляді встаткування літального й реактивного характеру, що використовуються у якості транспорту, однак дотепер відсутні промислові зразки встаткування для виконання контактних технологічних операцій при одночасному подоланні сил гравітації.

Мобільні роботи довільної орієнтації в просторі, відомі також як роботи вертикального переміщення, а в міжнародних виданнях — під терміном *Climber Robot* (альпіністський робот), є новою модифікацією мобільних роботів, оснащених засобами втримання робота на поверхні довільної орієнтації відносно обрію технологічного простору. Створення даного виду робототехніки перебуває на початковій стадії й продиктоване необхідністю виконання технологічних операцій у таких областях як моніторинг промислових об'єктів, монтаж і демонтаж будівельних конструкцій, ремонт і профілактичне обслуговування їх компонентів. Особливу актуальність експлуатація зазначених роботів здобуває в екстремальних умовах техногенних катастроф, небезпечних і навіть неприйнятних для перебування людини.

### 6.1. Пристрої зчеплення мобільних роботів

Дослідження зі створення роботів довільної орієнтації в просторі почалися відносно недавно — в останньому десятилітті XX століття в країнах Західної Європи, Японії, США, Кореї, Китаю й Росії. Мобільні роботи довільної орієнтації у технологічному просторі оснащуються різноманітними пристроями, що дозволяють їм втриматися на поверхні переміщення [16].

Мобільні роботи, що оснащені підсистемами втримання робота на поверхнях переміщення у вигляді вакуумних пристроїв, які хоч і інваріантні до фізико-механічних властивостей поверхні переміщення, однак у випадку підтоку повітря не гарантують надійного втримання

робота. Тут можна рекомендувати комбіновану пневмомеханічну систему зчеплення, що має властивість додаткової страховки утримання робота. Швидкодія й простота конструкції притаманні електромагнітним пристроям зчеплення, але подолання сили гравітації за рахунок прилипання магнітів обмежує застосування даного засобу тільки феромагнітними поверхнями переміщення. Роботи з механічним зчепленням відрізняються підвищеною надійністю, але їх приводи вимагають застосування редукції, що збільшує вагу робота, а значить і його гравітаційне навантаження, для компенсації якого доцільне використання систем нагромадження й перетворення енергії руху.

Розвитком систем зчеплення робота з поверхнею переміщення є технічні рішення, у яких використовується технологія зчеплення за допомогою «сухої» адгезії, а також електричної адгезії є найбільш ефективними з погляду енергозбереження, але й одночасно досить дорогими технологіями. Експериментальна реалізація зазначеного зчеплення з поверхнею переміщення характеризуються низькою швидкістю переміщення робота внаслідок повільності ефекту адгезії, що поки перешкоджає їхньому промислового використанню.

Проблема синтезу мобільних роботів саме довільної орієнтації не вичерпується створенням систем зчеплення, але також включає задачу вибору трансмісії їх приводів, що безпосередньо впливають на енергетичну ефективність і гравітаційне навантаження роботів. Існують технічні розв'язки, що дозволяють здійснювати перехід робота по поверхнях, які орієнтовані під різним кутом до обрію, але тільки в 2D просторі, тобто в площині. На відміну від зазначених технічних рішень деякі моделі роботів дозволяють обслуговувати об'єкти в циліндричній системі координат, зокрема, такі об'єкти як дерева, але при наявності м'якої пористої поверхні переміщення робота. У той же час існують об'єкти технічного обслуговування, які також наближені до циліндричної системи координат, наприклад, стовпи електромереж, колони, труби теплоелектростанцій і тому подібні. Крім того мобільний робот повинен працювати й в ангулярній системі координат, властивій людині.

## 6.2. Принципи побудови мобільних роботів

Запропоновані нижче перспективні напрямки вдосконалювання мобільних роботів довільної орієнтації можуть бути реалізовані за допомогою трьох основоположних принципів синтезу їх конструкцій:

*Принцип 1* – нагромадження потенційної енергії на кожній попередній ділянці (або кроці) переміщення й перетворення її в кінетичну енергію руху на наступній ділянці (кроці) руху;

*Принцип 2* – інтеграції приводів поздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота згідно із заданим маршрутом;

*Принцип 3* – застосування генераторів тяги (аеродинамічної піднімальної сили) як засобу протидії гравітаційній силі з метою збільшення технологічного навантаження при одночасному зменшенні потужності приводів переміщення й зчеплення робота з поверхнею переміщення.

Зазначені напрямки синтезу мобільних роботів у світовій теорії й практиці стосовно до роботів довільної орієнтації є новітніми. З метою реалізації їх сучасними засобами комп'ютерного моделювання для наступного переходу до проектно-конструкторських розробок рекомендується застосовувати методи квазістатичного аналізу, кінетостатики на принципах Германа – Ейлера – Д'Аламбера, рівняння Лагранжа II роду для дослідження динаміки рухів робота й метод координатної оптимізації для знаходження екстремальних значень параметрів. Як інструментальне забезпечення побудови моделей доцільно застосовувати програми математичного моделювання Matlab і Mathcad, а синтез конструкцій вузлів роботів можна здійснювати у графічних середовищах проектування Компас 3D чи AutoCAD, а також їм подібних.

У відповідність із вищевикладеними принципами синтезу розглянемо моделі й проектні реалізації роботів довільної орієнтації. На рис. 6.1 показаний мобільний робот, що реалізує перший з вище зазначених принципів, а саме що має здатність нагромадження потенційної енергії на кожному попередньому кроці й перетворення її в кінетичну енергію руху на кожному наступному кроці переміщення [11, 12].

На рис. 6.1 показано два варіанти виконання педіпуляторів: з модулем нагромадження енергії у вигляді пружин і, інший варіант, з газовим накопичувачем енергії, утвореним циліндром і поршнем. Також робот оснащений пневматичними розподільниками, модулем енергопостачання і блоком керування. При зчепленні захватів з поверхнею переміщення приводи повертають педіпулятори робота навколо осей «b», стискаючи пружні елементи: або пружини, або газ у камері залежно від варіанта виконання. Внаслідок такого стиснення на ділянці повороту педіпуляторів на кут  $0 < B_j < 45^\circ$  відбувається нагромадження потенційної енергії за період першої половини кроку, а на другій половині кроку  $45^\circ < B_j < 90^\circ$  зазначені елементи, розтискаючись, перетворюють потенційну енергію стиску в кінетичну енергію руху робота.

Обсяги кінетичної енергії руху робота на різних етапах переміщення можна визначити, використовуючи рівняння Лагранжа II-го роду. Оскільки даний метод є класичним, то тут для стислості викладання обмежимося результатами моделювання. Вираження кінетичної

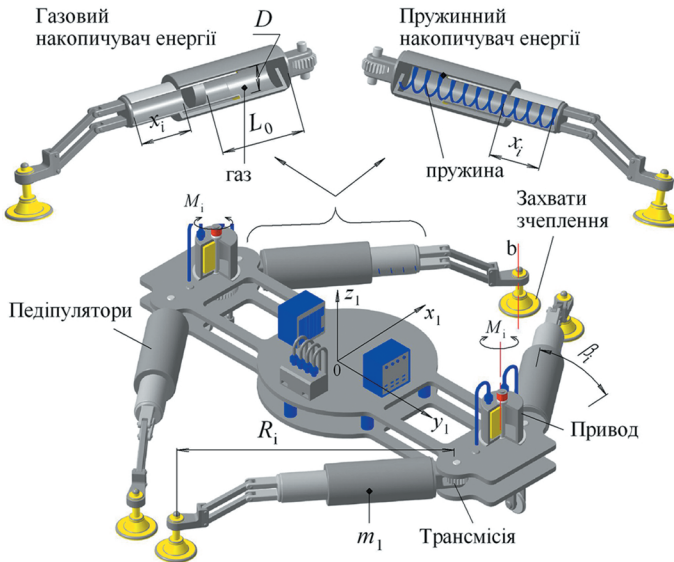


Рис. 6.1. Модель робота довільної орієнтації з модулями нагромадження і перетворення енергії

енергії  $T_k$  корпуса робота буде мати вигляд

$$T_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{mR_2^2}{4\cos^4(45^\circ - \beta_1)}(\dot{\beta}_1)^2 \quad (6.1)$$

де:  $m$  – маса корпуса робота;  $V$  і – відповідно лінійна й кутова швидкості педіпуляторів робота. Кінетичну енергію  $T_1$  вільної від зчеплення з поверхнею ноги робота, при відключенні захватів, визначимо як

$$T_1 = \frac{1}{2} \int (V_{x_1}^2 + V_{y_1}^2) dm \quad (6.2)$$

Підставивши у формулу (6.2) вираження проєкцій швидкості та її значення

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{R_2 \cos 45^\circ}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} \dot{\beta}_1$$

а також вираз

$$dm = m_1 dy / R_2 ,$$

після інтегрування, одержуємо остаточну формулу для знаходження



кінетичної енергії вільної від зчеплення з поверхнею переміщення ноги робота:

$$T_1 = \frac{m_1 R_2^2}{2} \left( \frac{(\dot{\beta}_1)^2}{2 \cos^4(45^\circ - \beta_1)} + \frac{\dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \sqrt{2} \cos(45^\circ - \beta_2)}{2 \cos^2(45^\circ - \beta_1)} + \frac{1}{3} (\dot{\beta}_2)^2 \right) \quad (6.3)$$

де:  $m_1$  – маса педипулятора (ноги) робота, а  $R_2$  – радіус його повороту.

Вираження кінетичної енергії опорної ноги, зчепленої з поверхнею переміщення, можна одержати з вираження (6.2) після його інтегрування, підставивши швидкість поступального руху робота  $V=0$  і кутові швидкості педипуляторів:

$$T_2 = \frac{m_1 R_2^2}{6} (\dot{\beta}_1)^2 \quad (6.4)$$

Тоді повна кінетична енергія  $T$  кожного педипулятора на двох половинах циклу переміщення робота, тобто на стадії нагромадження потенційної енергії при стисненні пружних елементів і перетворення її в кінетичну енергію руху, складе за наступним виразом (6.5):

$$T = T_k + 2T_1 + 2T_2 = \frac{R_2^2}{2} \left( \frac{(2m_1 + m)(\dot{\beta}_1)^2}{2 \cos^4(45^\circ - \beta_1)} + \frac{m_1 \dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \sqrt{2} \cos(45^\circ - \beta_2)}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} + \frac{2m_1}{3} ((\dot{\beta}_2)^2 + (\dot{\beta}_1)^2) \right) \quad (6.5)$$

Таким чином, переміщення робота на кожній другій половині циклу відбувається за рахунок енергії, накопиченої на кожній першій половині кроку переміщення. Це дозволяє суттєво знизити енергетичні витрати на рух робота й направити отриманий у такий спосіб резерв енергії на виконання технологічних операцій. Пружні елементи (пружина або газ), як відзначено вище, виконують функцію нагромадження потенційної енергії за період першої половини циклу переміщення, тобто на першій половині кроку, а головною їхньою характеристикою є жорсткість — параметр, який визначає величину накопиченої потенційної енергії на першій половині кроку педипулятора.

Обоє розглянутих варіанта синтезу педипуляторів мобільного робота мають об'єктивні переваги й недоліки. Так використання пружинного накопичувача енергії сприяє підвищенню вантажопідйомності робота, але внаслідок природнього нагромадження залишкових напру-

пружин знижується ресурс роботи педіпуляторів. І навпроти, застосування газового накопичувача не менш ніж на порядок збільшує ресурс роботи, але це рішення прийнятно для роботів не великої вантажопідйомності.

Якщо для нагромадження потенційної енергії використовується пружина (рис. 6.1), то сила пружного елемента педіпулятора складе

$$J = P_{\min} + jR_2 \left( 1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_1)} \right); \quad 0 \leq \beta_1 \leq 90^\circ \quad (6.6)$$

де:  $P_{\min}$  – попереднє стиснення і  $j$  – жорсткість пружного елемента для нагромадження потенційної енергії, що визначається модулем Юнга матеріалу (пружної сталі) для виготовлення вказаного елемента.

У випадку нагромадження потенційної енергії за допомогою стиснення газу в циліндрі (рис. 6.1), сила  $J$  пружного елемента (газу) складе:

$$J = p \frac{\pi D^2}{4} - p_a \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} \left( p_o \frac{L_o}{L_o - x} - p_a \right); \quad 0 \leq \beta_1 \leq 90^\circ$$

$$x = R_2 \left( 1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_1)} \right); \quad L_o = \frac{p_{\max} x_{\max}}{p_{\max} - p_o}$$

де:  $D$  – внутрішній діаметр газової камери;  $p_o$ ,  $p_a$ ,  $p_{\max}$  – відповідно поточний, атмосферний і максимальний тиск у камері;  $L_o$  – робоча довжина камери;  $x$ ,  $x_{\max}$  – відповідно поточне й максимальне стиснення пружного елемента, в даному випадку стислого повітря.

Пружні елементи (пружина або газ), як відзначено вище, виконують функцію нагромадження потенційної енергії за період першої половини циклу переміщення, тобто на першій половині кроку, а головною їхньою характеристикою є жорсткість  $j$  параметр, який визначає величину накопиченої потенційної енергії на першій половині кроку педіпулятора. Як показують результати моделювання, вплив жорсткості  $j$  на зміну швидкості переміщення (рис. 6.2,а) у більший мірі проявляється на другому етапі руху робота, у частині її зниження. Однак цей недолік не настільки суттєвий у порівнянні з економією енергії, що досягається при русі робота з виключеним двигуном, а це для мобільних роботів, що використовують автономні джерела живлення з обмеженими ресурсами, має принципове значення.

На рис. 6.2 (b) показана залежність зміни роботи “А” від жор-

сткості пружного елемента  $j$  (N/m) і сил ваги робота на другому етапі  $\beta_1 > 45^\circ$  переміщення, тобто під час перетворення потенційної енергії в кінетичну енергію руху робота. Оскільки на другому етапі переміщення привод педіпулятора відключений з метою енергозбереження ресурсів робота, і він рухається тільки за рахунок кінетичної енергії, то очевидно, що значення жорсткості пружного елемента привода має домінуючий вплив на динаміку переміщення.

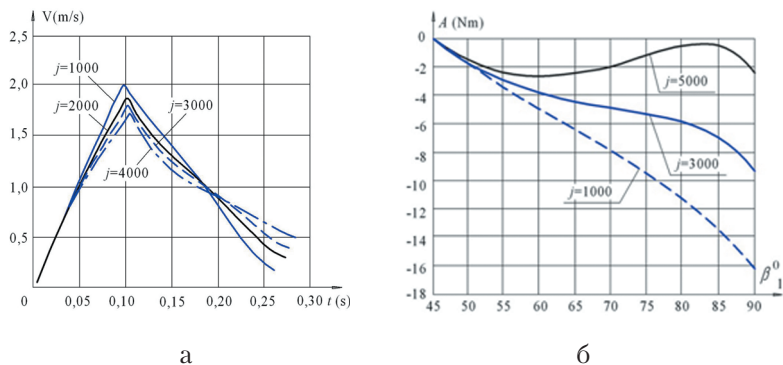


Рис. 6.2. Вплив жорсткості  $j$  (N/m) пружного елемента на зміну швидкості (а) і виконувану їм роботу (б) на другому етапі  $\beta_1 > 45^\circ$  переміщення робота

*Другий принцип* синтезу визначає інтеграцію приводів переміщення для їхнього зменшення, а значить і маси робота з метою зниження гравітаційного навантаження. Відомо, що в Декартові системі координат ми маємо шість ступенів свободи — три поступальних й три обертальних, кожному з яких згідно із класичними розв'язками відповідає автономний привод. Пропонована на рис. 6.3 технічна реалізації даного принципу виключає необхідність у приводах по кожній з координатних осей. Для цього робот оснащений гнучкими крокуючими механізмами, установленими на корпусі. Кожна пара педіпуляторів через зубчаті трансмісії постачена електроприводами. Захвати утримують робот на поверхні переміщення, а приводи повороту погоджують положення захватів відносно поверхні переміщення. На платформі робота розміщений модуль енергетичного забезпечення, генератор тиску газу або рідини, а також контролер керування [13].

Педіпулятори робота виконані у вигляді набору напівсферичних кілець, зібраних у пакет пружним елементом, а усередині пакета кілець розміщені гофровані трубопроводи під різним тиском  $p_1$  і  $p_2$ , створюваним через відповідні канали. Завдяки такій схемі педіпуляторів робот має здатність працювати в різних системах координат: пря-

мокутної Декартові, сферичної й циліндричної без додаткових приводів по кожній координатній осі.

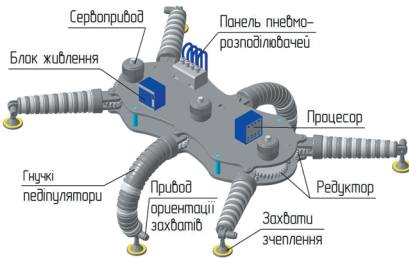


Рис. 6.3. Модель робота із гнучкими педипуляторами

просторі. Залежно від різниці тисків в гофрованих трубопроводах, педипулятори робота (тобто його ноги) мають можливість вигину в різних

площинах системи координат XYZ під різними кутами, що й забезпечує довільну орієнтацію мобільного робота у технологічному просторі. Як видно на рис. 6.4, де показані довільні три положення А, В, С ноги робота, кут вигину педипулятора залежить від різниці тисків в гофрованих трубопроводах і сил та моментів, що виникають при створенні тиску певного значення за відповідною програмою керування орієнтацією робота.

Внаслідок дії вказаних тисків на торці кожного трубопроводу виникають сили  $F_i$ :

$$F_1 = p_1 \frac{\pi d^2}{4}; F_2 = p_2 \frac{\pi d^2}{4}; F_3 = p_3 \frac{\pi d^2}{4}; F_4 = p_4 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (6.8)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр торця гофрованих трубопроводів. Оскільки осі трубопроводів зміщені відносно осі педипулятора на ексцентриситет “ $e$ ”, то виникають моменти, які згинаючи ногу робота по радіусу  $R$  (див. рис. 6.4), переводять її з положення «А» у положення «В»,

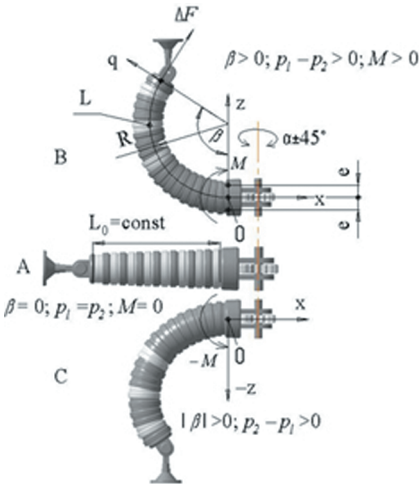


Рис. 6.4. Конструкція педипулятора робота

здійснюючи орієнтацію робота в просторі:

$$M_1 = \frac{\pi d^2}{4} (p_1 - p_2) e; \quad M_2 = \frac{\pi d^2}{4} (p_3 - p_4) e \quad (6.9)$$

де:  $e$  – ексцентриситет зміщення осей гофрованих трубопроводів в одній із площин систем координат.

Таким чином, реалізація другого принципу синтезу роботів, тобто інтеграція його приводів, надає можливість досягатися довільної орієнтації крокуючого мобільного робота в різних робочих просторах: прямокутної Декартові, сферичної й циліндричної систем координат. Цей ефект забезпечує розширення технологічних можливостей робота.

*Третій принцип* – застосування генераторів тяги як засобу протидії гравітаційній силі, реалізує робот, показаний на рис. 6.5. Як і в попередньому випадку, він також містить на корпусі гнучкі педипулятори, оснащені захватами для зчеплення з поверхнею переміщення робота, трансмісією і електроприводом. Однак принципово відмінністю даного робота є установка в центрі його мас Карданового підвісу із трьома ступенями свободи й зміщеного від центру мас пневматичного генератора тяги. Такий принципово новий розв'язок – розміщення генератора тяги на Кардановому підвісі, дозволяє генератору тяги зберігати збіг ліній дії протилежних сил: піднімальної пневматичної й гравітаційної, незалежно від положення робота в просторі.

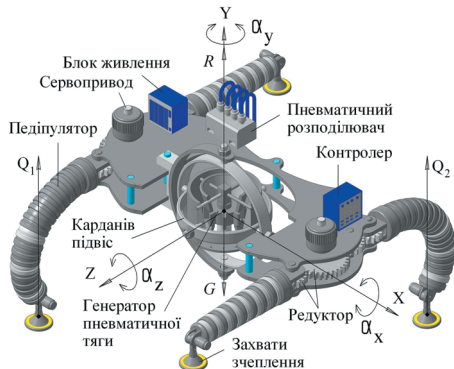


Рис. 6.5. Мобільний робот із генератором реактивної тяги

Даний принцип, будучи заснованим на узгодженні технологічного навантаження  $G$  й зусиль зчеплення робота з поверхнею переміщення, з одного боку, і сили реактивної пневматичної тяги  $R$ , з іншого боку, дозволяє здійснити диференційований підхід до регулювання аеродинамічної піднімальної сили робота залежно від його орієнтації в просторі. Точніше, регулювати силу втримання робота на поверхні переміщення (більш докладно див. [2]) залежно від кутів Ейлера осей робота відносно обрію, оскільки генератор пневматичної тяги розміщено на Кардановому підвісі із 3 ступенями свободи (рис. 6.6). Таким чином, завжди буде мати місце сподівання по одній лінії протилежних

сил, а саме: сили реактивної тяги та гравітаційного навантаження мобільного робота. На рис. 6.7 показано принципову схему модуля керування продуктивністю генератора тяги, що встановлений на Кардановому підвісі на корпусі робота [15].

Зазначене регулювання необхідне, щоб при критичних кутах нахилу робота пневматична реактивна тяга  $G_I$  по своїй величині не перевищувала силу зчеплення

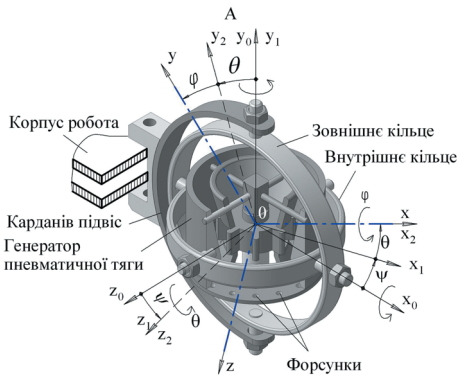


Рис. 6.6. Карданів підвіс із 3 ступенями свободи за кутами Ейлера

робота з поверхнею переміщення. Інакше кажучи, щоб робот не перетворився на лігальний апарат, а генератор тяги долав негативний вплив сили гравітації, одночасно не перевищуючи силу зчеплення захватів робота. Ця задача вирішується розрахунками критичного кута нахилу робота до обрію, коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги. Оскільки нормальні реакції опор ніг робота залежать кута нахилу робота, то й критичне значення кута нахилу робота буде визначатися чисельними значеннями вказаних реакцій.

Для забезпечення надійності втримання робота, щоб не допустити відрив хоча б однієї з його ніг, необхідне включення генератора тяги при нахилі робота під критичним кутом до обрію. Безумовно, критичний кут нахилу буде змінюватися при різних масово-центрувальних характеристиках робота. Для розрахунків критичного кута нахилу робота до обрію, тобто коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги, достатньо скласти ситому рівнянь квазістатичного стану робота, керуючись схемою діючих сил на робот (рис. 6.8). На цій схемі показано всі сили, що діють на робот при довільному куті його нахилу до обрію в системі коор-

ревищувала силу зчеплення захватів робота з поверхнею переміщення. Інакше кажучи, щоб робот не перетворився на лігальний апарат, а генератор тяги долав негативний вплив сили гравітації, одночасно не перевищуючи силу зчеплення захватів робота. Ця задача вирішується розрахунками критичного кута нахилу робота до обрію, коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги. Оскільки нормальні реакції опор ніг робота залежать кута нахилу робота, то й кри-

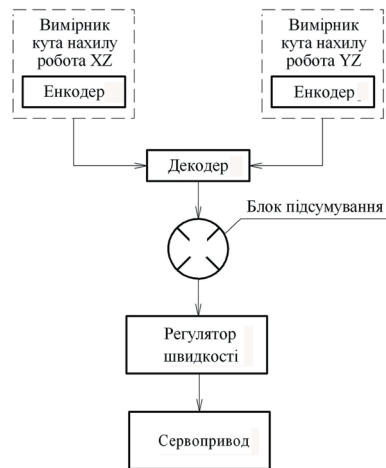


Рис. 6.7. Модуль автоматичного керування продуктивністю генератора тяги

динат  $OXY$ . Задача полягає в тому, щоб знайти критичні значення сил навантаження робота та нормальних реакцій від опор його ніг, тобто коли педипулятори (ноги) робота починають проковзувати. Саме в цей час потрібно включення генератора пневматичної тяги, щоб протидіяти гравітаційному навантаженню та запобігти неприпустимому положенню аварійного стану, а саме падінню робота. З цією метою складемо рівняння рівноваги всіх сил, діючих на робот:

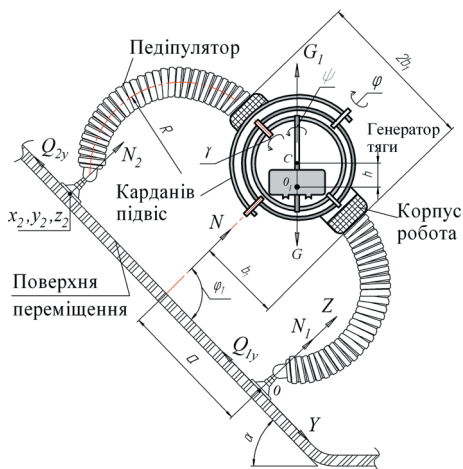


Рис. 6.8. Схема сил, що діють на робота під час переміщення по довольній поверхні

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad 2Q_{1y} + 2\mu N_2 - (G - G_1) \sin \alpha = 0; \\ \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0; \quad 2N_1 + 2N_2 - (G - G_1) \cos \alpha = 0; \\ \sum_{i=1}^n M_{ix} = 0; \quad 2N_2 y_2 - (G - G_1) \cos \alpha y_c + (G - G_1) \sin \alpha z_c = 0, \end{array} \right. \quad (6.10)$$

де:  $Q_{1y}$  – сила тертя;  $N_1, N_2$  – нормальні реакції технологічного навантаження;  $G, G_1$  – сили гравітації та реактивної тяги генератора.

Із системи рівнянь (6.10) знаходимо відповідні параметри:

$$\begin{aligned} Q_{1y} &= (G - G_1) \left( -\mu b_{12} + \frac{1}{2} \sin \alpha \right); \quad N_1 = (G - G_1) \left( -b_{12} + \frac{1}{2} \cos \alpha \right); \\ N_2 &= b_{12} (G - G_1); \quad b_{12} = \frac{\cos \alpha y_c - \sin \alpha z_c}{2 y_2}. \end{aligned} \quad (6.11)$$

де:  $\alpha$  – кут нахилу робота до обрїю;  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $y_c, z_c$  – координати центру ваги робота.

Кут нахилу робота до обрїю може змінюватись в межах  $0 < \alpha < 180^\circ$ . Як видно із графіків рис. 6.9 при певних характеристиках робота (ваги, жорсткості педипуляторів, потужності приводів і т.п.) обидві реакції  $N_1$  і  $N_2$  позитивні до значення кута нахилу поверхні переміщення  $\alpha > 54^\circ$  (на графіках позначено штрихами). Інакше кажучи, при

цих кутах нахилу робота до обрію сила ваги сприяє збільшенню технологічного навантаження. Це означає, що включення генератора реактивної тяги необхідно при куті нахилу робота до обрію  $\alpha > 54^\circ$ , незважаючи на те, що друга сила реакції  $N_2$ , на відміну від першої  $N_1$ , стає негативною тільки коли  $\alpha > 128^\circ$ . Тому для забезпечення надійності утримання робота, щоб не допустити відрив хоча б однієї з його ніг, необхідне включення генератора тяги вже при нахилі робота до обрію  $\alpha > 54^\circ$ . Безумовно, критичний кут нахилу буде змінюватися при інших масово-центрувальних характеристиках робота.

Таким чином, реалізація способу протидії гравітаційному навантаженню за допомогою пневматичного генератора тяги, дозволяє при регулюванні сили

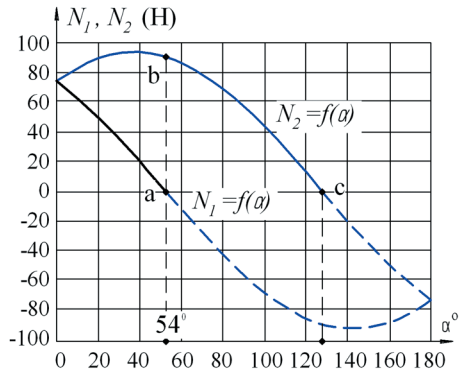


Рис. 6.9. Залежність нормальних реакцій  $N_1$  та  $N_2$  від кута нахилу мобільного робота до обрію

тяги залежно від кута нахилу робота до обрію, підвищити надійність утримання робота на поверхні довільної орієнтації, що, у свою чергу, надає можливість зменшення потужності приводів зчеплення робота з поверхнею переміщення при одночасному збільшенню корисного технологічного навантаження. А вище розглянуті засоби нагромадження потенційної енергії приводів з наступним її перетворенням у кінетичну енергію руху робота, а також інтеграція приводів поздовжнього й вертикального переміщення, надає можливість суттєво зменшити їх сумарну потужність, що має принципове значення для мобільних роботів довільної орієнтації в просторі, як шлях до зниження гравітаційного навантаження.

Пропонований підхід синтезу конструкцій роботів дозволяє за рахунок зниження сумарної потужності приводів пропорційно зменшити вагу робота, а звільнений енергетичний ресурс направити на підвищення ефективності виконання як транспортних, так і технологічних операцій, що виконуються мобільними роботами у різних областях промисловості.

Усі три розглянуті принципи синтезу роботів довільної орієнтації можуть бути застосовані автономно й у сукупності залежно від технологічного призначення мобільного робота і його рентабельності, що у свою чергу, визначається галузю промислової експлуатації.



### 6.3. Структура і склад підсистем мобільних роботів

У загальному випадку структура мобільного робота (рис. 6.10) містить у собі підсистему керування, підсистему втримання на поверхні й приводи переміщення, сенсори аналізу навколишнього середовища, систему живлення й технологічне оснащення. Сенсорна підсистема здійснює зв'язок робота з топологією технологічного простору. Останнє може бути презентовано у прямокутній Декартовій  $X, Y, Z$  або сферичній системах координат, точки яких досяжні виконавчими органами робота радіусом  $R$  при кутах їх вигину в зоні сервісу, обумовленої відповідним кутом дії. Апаратною реалізацією системи керування може бути спеціалізований контролер або бортова ЕОМ.

Найбільших енергетичних витрат вимагає система втримання на поверхні й приводи переміщення, а також функціональні пристрої технологічного оснащення. При цьому зі збільшенням загальної маси робота, виникає необхідність у підвищенні потужності приводів робота й потужності пристроїв, які втримують робота на поверхні переміщення довільної орієнтації. Мобільні роботи, як ніякий інший вид технологічного встаткування, характеризуються переважним використанням автономних джерел енергії від традиційних акумуляторів з їхнім обмеженим ресурсом ємності (А·годин) до сонячних батарей, що вимагають великої ефективної площі приймачів.

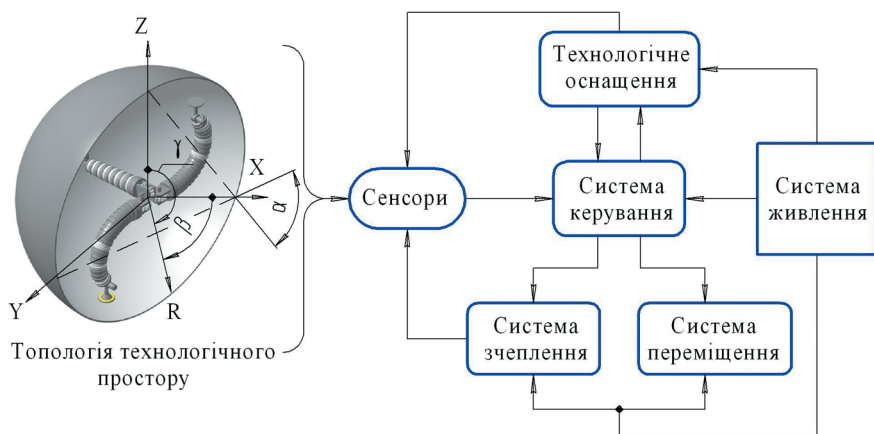


Рис. 6.10. Загальна структура підсистем мобільних роботів довільної орієнтації у технологічному просторі

## Контрольні запитання

1. Назвіть основні сфери експлуатації мобільних роботів довільної орієнтації у просторі
2. Надайте характеристики підсистем зчеплення роботів із поверхнею переміщення
3. Розкрийте сутність трьох основоположних принципів синтезу мобільних роботів
4. Наведіть принципову схему модуля автоматичного керування продуктивністю генератора тяги
5. В чому полягає перевага кожного з трьох принципів синтезу мобільних роботів
6. Надайте схему структури підсистем мобільних роботів довільної орієнтації у технологічному просторі та поясніть їх призначення



## Література

1. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование. Информатика в техническом университете. Москва, 2000. 188с.
2. Комплекс методичних вказівок до виконання дипломних проєктів: методичне видання [Авт. кол.: М.М. Поліщук, М.М. Ткач, В.П. Пасько, О.І. Лісовиченко, О.І. Чумаченко, О.А. Стенін]. Під загал. ред. проф. Л.С. Ямпольського. Київ: Дорадо-Друк, 2014. 112 с.
3. ЕСКД. Технический проект. ГОСТ 2.120-73. [Введен 1974-01-01, Изм. №10. 2009-10-24]. – (Межгосударственный стандарт).
4. ЕСПД. Стадии разработки. ГОСТ 19.102-77. [Введен 1980-01-01]. (Межгосударственный стандарт).
5. Документація. Звіт у сфері науки та техніки. Структура і правила оформлення. (ISO 5566:1982, IDT): ДСТУ 3008-95. – [Чинний від 1995-02-23]. – (Національний стандарт України).
6. Компас 3D v17 Руководство пользователя. «АСКОН Системы проектирования». URL: [https://kompas.ru/source/info\\_materials/2018/KOMPAS-3D-v17\\_Guide.pdf](https://kompas.ru/source/info_materials/2018/KOMPAS-3D-v17_Guide.pdf) (дата звернення 30.09.2020).
7. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проєктування, моделювання і управління: підручник. [Авт. кол.: Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б.Самотокін, М.М.Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко]. Житомир: ЖДТУ, 2005. 680 с2.
8. Полищук М.Н., Тышкевич Ю. В. Проектирование технологического оснащения и наладка промышленных роботов./Под общ. ред. проф. Ямпольского Л.С.К: Дорадо-Друк, 2014. 272 с.
9. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов. М.: КНОРУС, 2016, с. 75.
10. Polishchuk, M. Anthropomorphic gripping device for an industrial robot: design and calculation of parameters. SN Appl. Sci. (2019) 1: 503. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0535-z>
11. Поліщук М.М. Напрямки розвитку мобільних роботів довільної орієнтації в просторі. International Multidisciplinary Conference: Key issues of education and sciences: development prospects for Ukraine and Poland (Stalowa Wola, Republic of Poland 21 July 2018). Stalowa Wola, Volume 6, 2018, p.p. 95-99.
12. Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота і пристрій для його здійснення: пат. 111021 Україна: МПК B62D57/032. № a201411741; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. 10с.

13. Крокуючий мобільний робот: пат. 117065 Україна: МПК B62D 57/032. № а201701440; опубл. 11.06.2018, Бюл. 11. 8 с.
14. Polishchuk M., Opashnianskyi M., Suyazov N. Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*. 2018. Vol.8, No.3. P. 1–11.
15. Антигравітаційний мобільний робот Поліщука: пат. 120410 Україна: № а201805661. МПК B62D57/024; заяв. 22.05.2018; опубл. 25.11.2019, Бюл. № 22 К.: Укрпатент, 2018. 4 с.
16. Raju D.D, Jaju S.B. Developments in wall climbing robots: a review. *International journal of engineering research and general science*. 2014. №. 2. P. 35.

ДОДАТОК А  
Оформлення титульного аркуша Технічного завдання

Перв. застосування	<p>Міністерство освіти і науки України НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського"</p>				
	<p>"УЗГОДЖЕНО" Керівник проекту (наук. ступінь, звання) _____ (підпис)    (особисте ім'я, прізвище)</p>		<p>"ЗАТВЕРДЖУЮ" Зав. кафедри _____ (наук. ступінь, звання) _____ (підпис)    (особисте ім'я, прізвище)</p>		
Довід. №	<p>ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ на дипломний проєкт освітньо-кваліфікаційного рівня « _____ » назва ОКР  _____ (тема проєкту)</p>				
	<p>Примітка: Розміри таблиць основних надписів: ЄСКД. Основні надписи. (ГОСТ 2.104-2006): ДСТУ ГОСТ 2.104-2006</p>				
Підп. і дата	<p>Номер проєкту. ТЗ</p>				
	Змін.	Арк.	№ Докум.	Підп.	Дата
Підп. і дата	<p>Назва проєкту Технічне завдання</p>				
	Літ.	Аркцш.	Аркцшів.	НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського" гр. ____	
№, № оригін.					
	Розроб.				
Заст. №					
	Перевір.				
Підп. і дата					
	Наявн.				
Заст. №					
	Затв.				

[illegible]

ДОДАТОК В

Зразок оформлення наступних аркушів текстового документу

Розміри таблиць основних надписів:  
ЄСКД. Основні надписи. (ГОСТ 2.104-2006):  
ДСТУ ГОСТ 2.104-2006

№№ оригін.	Підп. і дата	Замість №	№ № дубл.	Підп. і дата
Змін.	Арк.	№ Докум.	Підп.	Дато

Номер проєкту. ПЗ

Формат

Арк.

[illegible]



ДОДАТОК Д  
Специфікація креслення

Перв. застосування	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.			
Довід. №					Документація					
				Номер креслення. Код	Найменування документу					
Підп. і дата					Примітка:					
					Розміри таблиць					
					основних надписів:					
					ЄСКД. Основні надписи.					
					(ГОСТ 2.104-2006):					
					ДСТУ ГОСТ 2.104-2006					
Замість №	Підп. і дата	№ докл.	№ доп.	Номер дипломного проєкту						
Інв. № оригін.	Змін.	Арк.	№ Докум.	Підп.	Допо	Назва креслення		Лист	Аркш	Аркшів
	Розроб.									
	Перевір.									
	Нжонтр.									
Затв.						НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського" гр. ....				

Перв. засвідчення	Довід. №	<div>Номер ДП. Код</div>																																	
		<div>Розміри таблиць основних надписів: ЕСКД. Основні надписи. (ГОСТ 2.104-2006): ДСТУ ГОСТ 2.104-2006</div>																																	
Підп. і дата	Інф. № змін.	Змість інв. №	Інф. № змін.	Підп. і дата	<div>Номер ДП. Код документа</div>																														
					<div> <table border="1"> <tr> <td>Змін.</td> <td>Арк.</td> <td>№ Док-м.</td> <td>Підп.</td> <td>Дата</td> <td colspan="6" rowspan="4"> <div> <div>Найменування креслення</div> <div>Найменування документа</div> </div> </td> </tr> <tr> <td>Розроб.</td> <td>Перевір.</td> <td>І контр.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td>Замб.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div>										Змін.	Арк.	№ Док-м.	Підп.	Дата	<div> <div>Найменування креслення</div> <div>Найменування документа</div> </div>						Розроб.	Перевір.	І контр.			Н.контр.	Замб.			
Змін.	Арк.	№ Док-м.	Підп.	Дата	<div> <div>Найменування креслення</div> <div>Найменування документа</div> </div>																														
Розроб.	Перевір.	І контр.																																	
Н.контр.	Замб.																																		
Інф. № оригін.									<div>Літ.</div> <div>Маса</div> <div>Масштаб</div>		<div>Аркуш</div> <div>Аркушів</div>																								
										<div>НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського" гр.---</div> <div>Формат</div>																									

ДОДАТОК Ж  
Зразок наступних аркушів креслення

Номер ДП. Код														
Розміри таблиць основних надписів: ЕСКД. Основні надписи. (ГОСТ 2.104-2006): ДСТУ ГОСТ 2.104-2006														
№№ аркушів	Підп. і дата	Замість №	№ № аркушів	Підп. і дата										
Вид	Арку	№ Докум.	Підп.	Дата	Номер ДП. Код документа									
					Формат									

## ДОДАТОК К

### Оформлення графічного матеріалу до програмного забезпечення

Схеми алгоритмів і програм повинні бути виконані у суворій відповідності до стандартів ГОСТ 19.005-85 і ГОСТ 19.701-90. Згідно вказаних стандартів для позначення операторів використовуються наступні символи:

- 1) процес – виконання операції чи групи операцій, у результаті яких змінюється значення, форма подання чи розташування даних (рис. К1, а);
- 2) рішення – вибір напрямку виконання алгоритму в залежності від деяких змінних умов (рис. К1, в);
- 3) визначений процес – використання раніше створених або окремо описаних алгоритмів та програм (рис. К1, е);
- 4) ввід/вивід (рис. К1, б);
- 5) початок/кінець, переривання обробки даних (рис. К1, к);
- 6) цикл – циклічне повторення одного або кількох блоків та операторів (рис. К1, г, д). Для кращого читання схем можна використовувати також символи: з'єднувач (рис. Р1, м); коментар (рис. К1, л); документ чи кілька їх (рис. К1, з, і).

При виконанні схем алгоритмів основний розмір повинен бути обраний з ряду 10, 15 або 20 мм. Допускається збільшити це значення на число, кратне 5. Розмір  $b$  складає 1.5а (при ручному виконанні схем допускається  $b = 2a$ ).

Символи нумеруються порядковими номерами або координатами зон (по горизонталі – арабські цифри, по вертикалі – великі літери латинського алфавіту). При ручному виконанні схеми в її межах допускається застосовувати не більше двох суміжних типорозмірів символів. Лінії потоків повинні бути паралельні лініям зовнішньої рамки схеми (рис. К2, а). Напрямок лінії потоку згори донизу і зліва направо стрілкою можна не позначати. В інших випадках стрілки обов'язкові. Відстань між окремими символами схеми повинна бути не менше 10 мм.

Для пояснення процесів всередині символів розміщують короткі записи. Для зручності читання схем використовують коментарі до символів та ліній потоку.

За наявності у схемі або алгоритмі циклічних ділянок (циклів) слід використовувати символи початку та кінця циклу (рис. К1, г, д). В середині символів початку та кінця циклу обов'язково вказується ідентифікатор циклу. Для циклів з передумовою умова виходу з циклу вказується в символі початку циклу, для циклів з післяумовою – в

символі кінця циклу. Приклад оформлення циклу з передумовою наведено на рис. К2, б. Для складних алгоритмів рекомендується використовувати схеми різного ступеня деталізації. При цьому в збільшеному вигляді частина алгоритму може позначатися одним

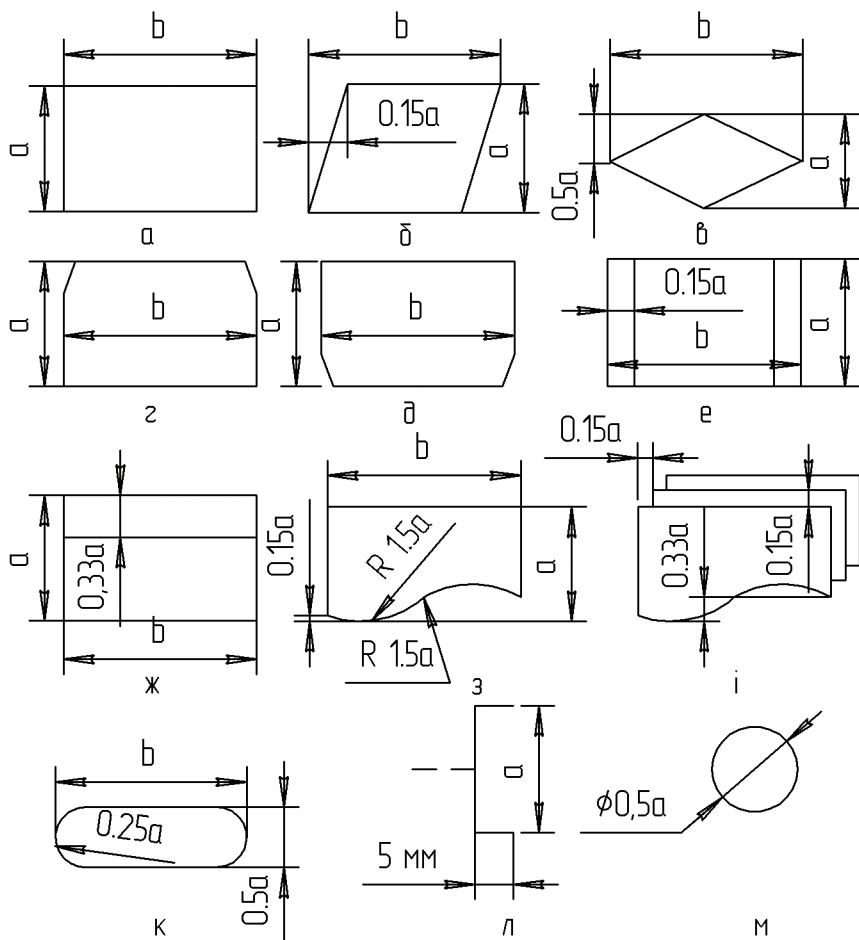


Рис. К1. Основні символи

символом, усередині якого проводиться додаткова горизонтальна лінія, над якою міститься ідентифікатор програми, що буде далі деталізована (XB4), а праворуч – номер листа (015) і координати зони (B3), де розміщується символ “Початок або кінець”. Усередині символу “Початок або кінець”, що позначає початок програми, що деталі-

зується, вказується її ідентифікатор (рис. К3).

У межах одного аркуша лінії потоку можна розривати із застосуванням з'єднувачів, усередині яких міститься їхній унікальний ідентифікатор (рис. К4, а). Якщо ж лініями потоку з'єднують символи на різних аркушах, так само як і в попередньому випадку використовуються з'єднувачі, усередині якого міститься унікальний ідентифікатор. Якщо ж до одного символу підходить кілька ліній потоку, усі вони перелічуються в коментарі (рис. К4, б).

Можливі варіанти відображення ходу рішення при кількості можливих виходів два, три і більше показані на рис. К5. Для заповнення аркуша рекомендується розміщувати приблизно 30-35 символів. Формат аркуша обводиться тонкою лінією. Рамка робочого поля обводиться основною лінією і розташовується на відстані зверху, знизу та праворуч і ліворуч. Схеми алгоритмів і програм згідно [4] повинні мати основний напис і додаткові графи.

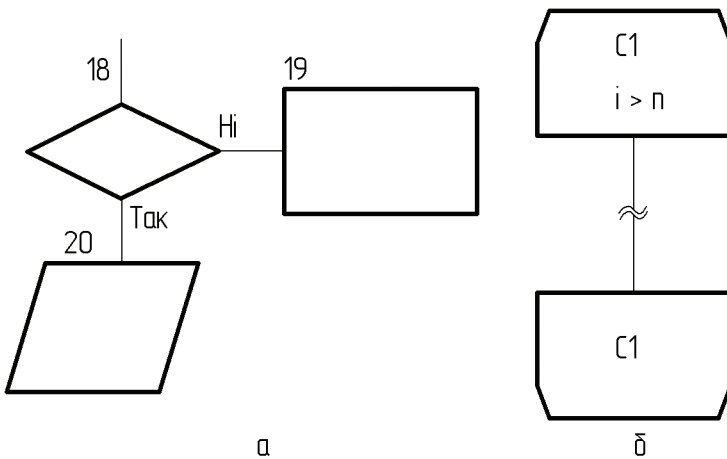


Рис. К2. Типові ділянки схем

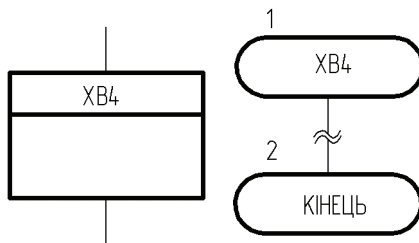


Рис. К3. Використання ступенів деталізації

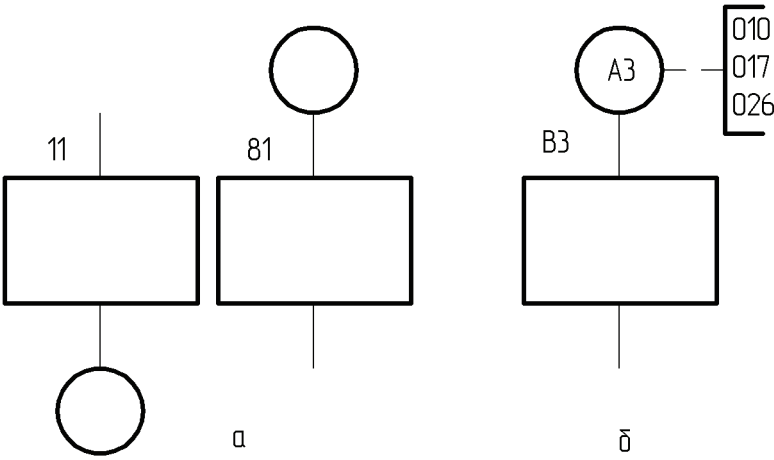


Рис. К4. Використання з'єднувачів

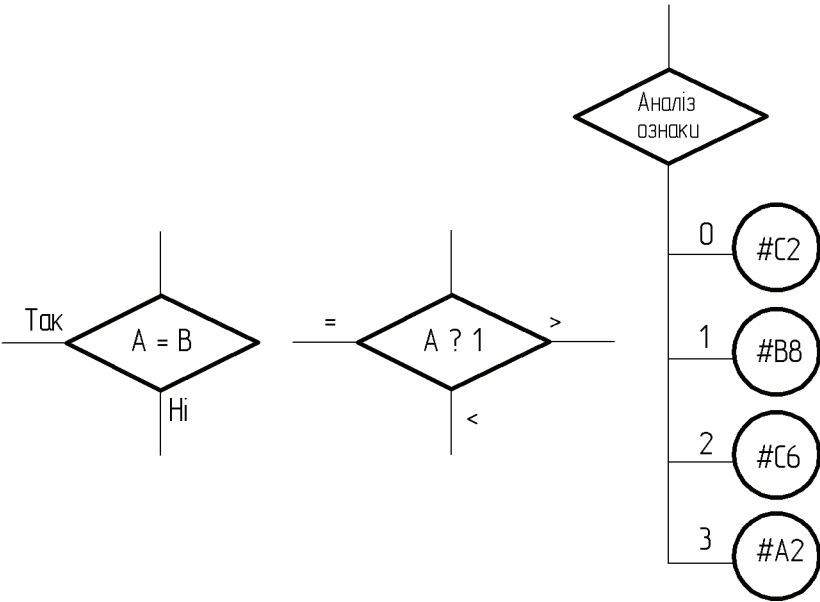
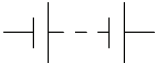



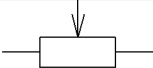
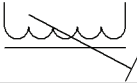
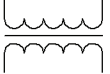

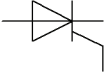
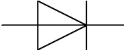

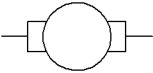



Рис. К5. Використання символу «рішення»

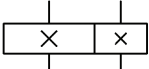
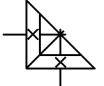
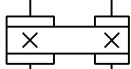
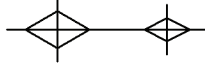


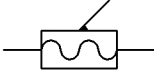
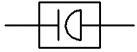





**ДОДАТОК Л**  
**Позначення елементів електричних схем**

Позначення	Назва елементу
	Джерело живлення
	Конденсатор постійний
	Конденсатор змінний
	Резистор постійний
	Резистор змінний
	Котушка індуктивності
	Трансформатор
	Реле
	Тиристор
	Діод
	Транзистор N-P-N
	Електродвигун постійного струму
	Заземлення загального призначення






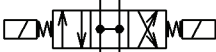





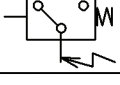
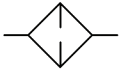
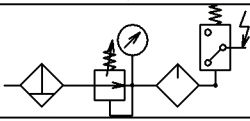
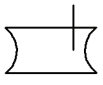
### ДОДАТОК М

#### Позначення елементів кінематичних схем

Позначення	Назва елементу
	Передача зубчаста циліндрична
	Передача зубчаста конічна
	Передача ремінна
	Передача ланцюгова
	Кінематична пара обертальна
	Кінематична пара поступальна
	Гвинтова пара
	Муфта компенсуюча
	Підшипник кочення радіальний
	Підшипник ковзання радіальний
	Пружина розтягання
	Гальмо
	Нерухлива ланка

## ДОДАТОК Н

Позначення елементів пневматичних і гідравлічних схем

Позначення	Назва елементу
	Джерело живлення, насос
	Пнеumo- або гідроциліндр
	Електромагнітний пневморозподільвач
	Електромагнітний гідророзподільвач
	Клапан редукційний
	Клапан запобіжний
	Дросель регульований
	Вентиль
	Манометр
	Реле тиску
	Фільтр
	Блок підготовки стисненого повітря
	Гідробак закритий

## ДОДАТОК П

## Порівняльні характеристики промислових роботів

Вантажопідйомність 3—5 кг

Таблиця П1

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS03N	Fanuc 200/В/3L	Kuka KR5sixxR650	Denso VS-050
Вантажопідйомність, кг	3	3	5	4
Число осей	6	6	6	6
Довжина руки, мм	620	856	653	505
Точність позиціонування, мм	± 0,05	± 0,04	± 0,02	± 0,02
Кут повороту, град				
колона X1	± 160	320	± 170	± 170
передпліччя X2	+150/-60	185	+45/-190	± 120
лікоть X3	+120/-150	290	+165/-119	+151/-120
X4	± 360	380	± 190	± 270
кисть X5	± 135	240	± 120	± 120
(ротація) X6	± 360	±360	± 358	± 360
Швидкість, град/сек	360	140	375	Максимальна швидкість 9000 мм/сек
колона X1	250	150	300	
передпліччя X2	225	160	375	
лікоть X3	540	400	410	
X4	225	330	410	
кисть X5	540	480	660	
(ротація) X6				
Вага, кг	20	47	28	34

Вантажопідйомність 6—7 кг

Таблиця П2

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS06L	Fanuc 100/В/6S	Hyundai HA006	Denso VS-6577G-B
Вантажопідйомність, кг	6	6	6	7
Число осей	6	6	6	6
Довжина руки, мм	1550	951	1394	854
Точність позиціонування, мм	± 0,1	± 0,08	± 0,05	± 0,03
Кут повороту, град.				
колона X1	± 160	340	±180°	±170°
передпліччя X2	+140°/-105°	250	+150°/-90°	+135°/-100°
лікоть X3	+120°/-155°	310	+200°/-160°	+169°/-119°
X4	± 270°	380	±180°	±190°
кисть X5	± 145°	280	±135°	±120°
(ротація) X6	± 360°	±360°	±360°	±360°

## Продовження таблиці П2

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS06L	Fanuc 100/B/6S	Hyundai HA006	Denso VS-6577G-B
Швидкість, град/сек, по осях:				
колона X1	200	200	170	Макси- мальна швидкість 7600 мм/сек
передпліччя X2	140	200	170	
лікоть X3	200	260	170	
X4	360	400	335	
кисть X5	360	400	335	
(ротація) X6	600	720	500	
Вага, кг	170	135	155	—

## Таблиця П3

## Вантажопідйомність 20 – 25 кг

Параметри	Моделі роботів			
	Kawasaki FS20N	Fanuc M-16iB/20	TUR 15	Denso HM-4A60*G
Вантажопідйомність, кг	20	20	25 (15+10)	20
Число осей	6	6	6	4
Довжина руки, мм	1650	1667	1666	600
Точність позиціону- вання, мм	± 0,1	± 0,08	± 0,1	±(0,01 – 0,05)
Кут повороту, град. по осях				
колона X1	± 160	340/360	± 185	± 165
передпліччя X2	+140/–105		+40/–150	± 147
лікоть X3	+120/–155	460	+150/–130	100 – 300 мм
X4	± 270	400	± 350	
кисть X5	± 145	280	± 130	
(ротація) X6	± 360	±450	± 350	
Швидкість, град/сек, по осях:				
колона X1	160	165	156	8780 мм/с 2760 мм/с
передпліччя X2	140	165	156	
лікоть X3	160	175	156	
X4	330	350	330	
кисть X5	330	340	330	1540 мм/с
(ротація) X6	500	520	615	
Вага, кг	275	215	260	—

М.М. Поліщук, Є.О. Батрак

## CAD-проекти та робототехнічні системи: Практикум

Навчальний посібник

Технічний редактор Поліщук М.М.  
Комп'ютерна верстка Савельєва Т.О.  
Поліграфічний макет Поліщук М.М.  
Коректор Савельєва Т.О.

Підписано до видання 14.01.2021 р. Формат 60х90 1/16.

Гарнітура UkrainianPeterburg.

Електронне видання

Видавець і виготовлювач: Кафедра технічної кібернетики  
Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

(044) 204-94-70  
(044) 229-95-40  
borchiv@ukr.net