

С.І. Блаженко, С.Д. Беседа, І.В. Житнецький, Ю.Ю. Доломакін, А.І. Маринін. Сучасні методи проектування харчових виробництв: Конспект лекцій для студентів спеціальностей 7.090221 “Обладнання переробних і харчових виробництв” денної та заочної форм навчання та 7.090226 “Обладнання фармацевтичної та мікробіологічної промисловості” денної форми навчання. – К.: НУХТ, 2007. – 90 с.

Рецензент І.М. Литовченко, доц., к. т. н.

С.І. БЛАЖЕНКО, доц., к. т. н.  
С.Д. БЕСЕДА, ст. викл.  
І.В. ЖИТНЕЦЬКИЙ, доц., к.т.н.  
Ю.Ю. ДОЛОМАКІН, асистент  
А.І. МАРИНІН, асистент

© Ю.Ю. Доломакін, 2007

© НУХТ, 2007

## Зміст

Вступ .....	4
Розділ I. <i>APM WinBeam</i> – модуль розрахунку і проектування бруса і балок .....	5
1. Задача, вихідні дані і результати .....	5
2. Розрахунок балок і стрижнів .....	5
3. Редактор балок <i>APM WinBeam</i> .....	8
3.1 Загальні принципи роботи з редактором .....	9
4. Навантаження, що діють на балку .....	11
5. Редактор поперечних перетинів сегмента балки .....	14
6. Довідник команд <i>APM WinBeam</i> .....	16
6.1 Довідник команд редактора перетинів .....	18
Розділ II. <i>APM WinTrans</i> – модуль проектування передач обертання .....	27
1. <i>APM WinTrans</i> – задачі і результати .....	27
1.1 Типи передач .....	28
1.2 Типи розрахунків .....	28
1.3 Вихідні дані .....	29
2. Методи і стандарти .....	31
2.1 Стандарти циліндричних передач .....	31
2.2 Стандарти конічних коліс .....	32
2.2.1 Геометрія конічних зубчастих передач .....	33
2.3 Стандарти черв'ячних передач .....	33
3. Створення робочих креслень .....	34
4. Порядок роботи із системою <i>APM WinTrans</i> .....	35
5. Елементи інтерфейсу користувача <i>APM WinTrans</i> .....	41
Розділ III. Система розрахунку і проектування валів і осей – <i>APM WinShaft</i> .....	46
1. Задачі, вихідні дані і результати .....	46
2. Редактор валів .....	48
2.1 Компоненти редактора валів .....	48
3. Загальні принципи роботи з модулем <i>APM WinShaft</i> .....	49
4. Команди <i>APM WinShaft</i> .....	55
Розділ IV. <i>APM WinJoint</i> – задачі і можливості .....	63
1. Вихідні дані і результати .....	63
2. Методи і критерії розрахунку .....	66
3. Редактор з'єднань та його компоненти .....	68
4. Загальні принципи роботи з редактором .....	68
5. Проектування з'єднань у середовищі <i>APM WinJoint</i> .....	70
5.1 Задання геометрії з'єднання .....	70
6. Довідник команд .....	72
7. Піктографічне меню й інструментальна панель .....	81
8. Довідник по командах підсистеми розрахунку з'єднань циліндричних деталей .....	82
9. Інструментальна панель .....	86
Додатки .....	86
Список літератури .....	90

## Вступ

*APM WinMachine* – CAD/CAE система автоматизованого розрахунку й проектування механічного устаткування й конструкцій розроблена в НТЦ "Автоматизированное Проектирование Машин" (Російська федерація).

Наявні в системі *APM WinMachine* можливості інструментального забезпечення дозволяють вирішувати велике коло прикладних завдань:

- Проектувати механічне устаткування і його елементи з використанням інженерних методик;

- Проводити аналіз пружно-деформованого стану (з використанням методу кінцевих елементів) тривимірних об'єктів будь-якої складності при довільному закріпленні, статичному або динамічному навантаженні;

- Створювати конструкторську документацію відповідно до ЄСКД;

- Використовувати при проектуванні бази даних стандартних виробів і матеріалів, а також створювати власні.

Система *APM WinMachine* являє собою енциклопедію по машинобудуванню, що включає інструменти й програми для автоматизованого розрахунку й проектування деталей машин, механізмів, елементів конструкцій і вузлів. Крім цього, вона має сучасні графічні засоби, вбудовані бази даних, необхідну інформаційну базу знань та розгалужену систему підказок.

*APM WinMachine* містить сучасні, ефективні й надійні програми для розрахунку:

- енергетичних і кінематичних параметрів
- міцності, твердості й стійкості
- витривалості при змінних режимах навантаження
- імовірності, надійності й зносостійкості
- динамічних характеристик

Крім того, в *APM WinMachine* є набором інструментальних засобів розрахунку й аналізу. Ці засоби, а також проєктовані деталі, залежно від призначення розділені на підсистеми (модулі), які можуть функціонувати як у складі системи, так і самостійно.

Кожний модуль надає користувачеві інтегроване середовище, що у загальному випадку містить у собі:

- спеціалізований графічний редактор
- вбудовані бази даних
- повний цикл обчислень
- різноманітні засоби подання результатів розрахунку

Модулі системи *APM WinMachine* які розглянуті в даному конспекті:

*APM WinBeam* – модуль розрахунку й проектування балкових елементів конструкцій, призначений для виконання комплексного перевірочного розрахунку балки в умовах довільного навантаження й закріплення. При цьому балка може складатися з декількох ділянок різної довжини й різного поперечного переріза.

*APM WinTrans* – модуль проектування передач обертання, дозволяє виконати весь комплекс проєктувальних і перевірочних розрахунків передач.

зробити вибір найбільш раціональних параметрів цих передач, а також одержати робочі креслення ведучого й веденого коліс, шківів, зірочок і т.д.

*APM WinShaft* – модуль розрахунку, аналізу й проектування валів і осей, дозволяє виконати весь цикл проектування валів і осей, починаючи від розробки конструкції й закінчуючи статичним і динамічним розрахунком.)

*APM WinJoint* – модуль розрахунку й проектування з'єднань деталей машин і елементів конструкцій, призначений для виконання проектувального й перевірконого розрахунків з'єднань (різбовими, звареними, заклепувальними й т.п.) з метою вибору найкращих конструктивних варіантів.

## *Розділ I*

### *APM WinBeam* – модуль розрахунку і проектування бруса і балок

*APM WinBeam* являє собою програму для розрахунку і проектування балок і брусів.

За допомогою *APM WinBeam* можна розрахувати наступні параметри:

- реакції в опорах і замуруваннях (жорстке закріплення);
- розподіл моментів згину і кутів вигину;
- розподіл моментів кручення і кутів кручення;
- розподіл деформацій;
- розподіл напруг;
- розподіл коефіцієнта запасу втомлювальної міцності;
- розподіл поперечних і повздовжніх сил;
- власні частоти згинальних і крутильних коливань.

#### **1. Задача, вихідні дані і результати**

*Призначення і класифікація балок*

Тверде тіло, поперечні розміри котрого на багато менше повздовжніх, називається брусом.

Брус із прямолінійною віссю називається стрижнем, а конструкція, що перебуває із сукупності стрижнів, називається стрижньова. Стрижневі конструкції навантажуються переважно напруженням розтягу і стиску. Вони можуть сприймати також і момент кручення.

Стрижні круглого поперечного перетину, що передають переважно момент кручення називаються валами.

Якщо прямолінійні бруси навантажені переважно моментом згину то вони називаються балками.

*APM Beam* являє собою модуль для розрахунку балкових і стрижневих конструкцій довільного поперечного перетину при довільному просторовому навантаженні і довільному закріпленні. При цьому балки і стрижні можуть бути перемінного поперечного перетину по довжині.

#### **2. Розрахунок балок і стрижнів**

Критерії, що використовуються при розрахунку балок:

- статична міцність; жорсткість при вигині, крученні і розтягу (стиску);
- статична стійкість;

- динамічна стійкість.

#### *Розрахунок статичної міцності*

Цей розрахунок є перевіркою. З його допомогою для балки заданої форми обчислюються значення найбільших еквівалентних напруг у поперечному перетині і зміни цих напруг по довжині. Як правило, форма і геометричні розміри балки визначаються з конструктивних міркувань. Розрахунок повинний підтвердити або спростувати запропоновану проєктантом конструкцію з погляду статичної міцності. Зауважимо, що статична міцність не є єдиним критерієм перевірки достовірності вибору конструкції. Остаточний висновок може бути зроблений тільки в результаті перевірки всіх критеріїв (див. вище).

Балки виготовляються зі сталі, механічні характеристики якої визначають розмір запасу міцності при заданому навантаженні. Таким чином, мета розрахунку балки може бути сформульована як визначення таких значень механічних характеристик матеріалу балки (стрижня), що забезпечують задані значення коефіцієнтів запасу міцності при заданому навантаженні.

Якщо в кожному перетині балки напруги однакові за розміром, то така балка (стрижень) називається рівноміцною. У силу ряду причин створити рівноміцну конструкцію на практиці неможливо, але чим ближче фактичні напруги до середніх, тим краще буде використовуватися матеріал проєктованої конструкції.

В якості вихідних даних при розрахунку статичної міцності, крім геометричних характеристик, повинні бути задані навантаження. У модулі *APM Beam* до них відносяться:

- зосереджені і розподілені радіальні сили;
- осьові сили;
- моменти згину та моменти кручення.

Необхідно також зазначити умови закріплення балки, задавши кінцеве число опор (кількість опор не повинна перевищувати п'ятдесят). Крім того, допускається жорстке закріплення крайніх поперечних перетинів зліва і справа або з однієї зі сторін.

Якщо жорстке закріплення відсутнє, то при додаванні осьового навантаження потрібно стежити за виконанням умови осьової рівноваги, а при додаванні моменту кручення потрібно перевірити виконання умови рівноваги від моментів кручення. У випадку, якщо сума сил в осьовому напрямку не буде дорівнювати нулю, то наявність осьових сил буде проігнорована. Якщо при відсутності жорсткого закріплення сума моментів не дорівнює нулю, то наявність моментів кручення буде також проігнорована.

Розрахунок статичної міцності представляє собою визначення моментів згину і кручення в обраних перетинах, а також розрахунок напруг згину і кручення. Розрахунки нормальних напруг поперечного перетину виконуються методами опору матеріалів, а розрахунки напруг кручення – методом кінцевих елементів.

Міцність балки визначається за величиною еквівалентних напруг, розрахованих виходячи з гіпотези максимальних дотичних напруг. У випадку

статично невизначених конструкцій розрахунок реакцій опор виконується методом сил. Результати розрахунку моментів згину представляються у вигляді епюр, побудованих у двох взаємно перпендикулярних площинах. Моменти кручення і результати розрахунку еквівалентних напруг представляються у вигляді графіка їхньої зміни по довжині балки. Статична міцність вважається достатньою, якщо коефіцієнт запасу складає 1,3...1,5 і більше. Під коефіцієнтом запасу розуміється відношення межі текучості матеріалу балки (стрижня) до розміру еквівалентної напруги в найбільш навантаженій точці. У якості додаткових параметрів обчислюються розміри реакцій опор, що необхідні для розрахунку сполучених елементів.

#### *Розрахунок жорсткості*

У деяких випадках важливим критерієм, що обумовлює придатність запропонованої конструкції балки (стрижня), є жорсткість. Нагадаємо, що під жорсткістю розуміється навантаження, що викликає одиничну деформацію (у прийнятій системі одиниць виміру).

Розрахунок жорсткості в модулі *APM Beam* містить у собі визначення деформацій, що виникають під дією прикладеного навантаження. Для розрахунку радіальних деформацій використовується метод інтеграла Мору. Відповідно до характеру навантаження жорсткість ділиться на згинну, крутильну й осьову. У *APM Beam* Ви можете розрахувати кожен із цих жорсткостей, причому результати розрахунку виводяться у вигляді графіка зміни деформації вздовж осі в горизонтальній і вертикальній площинах. У деяких випадках буває необхідно визначити кути повороту поперечних перетинів балки і параметри кручення, отримані диференціюванням кривої деформацій. *APM Beam* дозволяє провести такі розрахунки. Деформації кручення визначаються методом кінцевих елементів. Умова жорсткості вважається виконаним, якщо фактичні деформації і кути нахилу розглянутих перетинів не перевищують максимально припустимих значень. Розміри припустимих значень залежать від призначення проектного устаткування і необхідної міцності.

#### *Розрахунок динамічних характеристик балки*

При розрахунку нежорстких балок і балок, що працюють при циклічному навантаженні, виникає задача визначення власних частот згинальних і крутильних коливань.

*APM Beam* дозволяє розрахувати як абсолютні значення власних частот, так і їхні власні форми.

В основу визначення власних частот в *APM Beam* покладений метод початкових параметрів. При розрахунку згинальних коливань враховується як власна маса балки, так і інерція повороту перетину балки.

При розрахунку враховуються також зовнішні маси, до яких відносяться маси й осьові моменти інерції. При розрахунку крутильних коливань передбачається, що моменти інерції описують тіла обертання (для який осьовий момент інерції у два рази менше, ніж полярний).

Модуль дозволяє розрахувати балку для різних граничних умов і різних типах опор.

Розглядаються опори наступних видів:

- жорстка безмоментна опора (зсув осі балки і реактивний момент рівні нулю);
- пружна безмоментна опора (реактивний момент дорівнює нулю, зсув осі балки пропорційно реакції в опорі);
- замурування (зсув осі балки і кут повороту рівні нулю).

З параметрів матеріалів системи потрібна: щільність матеріалу, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона.

### 3. Редактор балок *APM WinBeam*

Редактор, що входить до складу модуля *APM Beam*, являє собою спеціалізований графічний редактор, призначений для задання геометрії балки. Редактор дає в розпорядження користувача гнучкі і зручні засоби для завдання конструкції балки, введення навантажень, розміщення опор.

Основна відмінність редактора модуля *APM Beam* від традиційних графічних редакторів перебуває в наборі примітивів, з якими він оперує. Набір примітивів містить у собі основні елементи конструкції балки, умовні позначення для навантажень і опор. Це значно спрощує введення геометрії й інших даних, необхідних для виконання розрахунків.

Зовнішній вигляд редактора *APM WinBeam* показаний на рис. 1.1. Його основними елементами є інструментальна панель, інформаційна панель, лінійки і робоче поле (вікно редагування).

*Робоче поле* є головним компонентом редактора. У ньому відображається балка і виконуються операції по її формуванню і зміні.

#### *Лінійки зі смугами прокручування*

Редактор містить у собі дві лінійки – вертикальну і горизонтальну. На лінійках показані шкали, що залежать від поточного масштабу зображення і від того, яка частина проєктованої балки показується в даний момент у робочому полі. Смуги прокручування дозволяють “переміщати” зображення щодо робочого поля редактора.

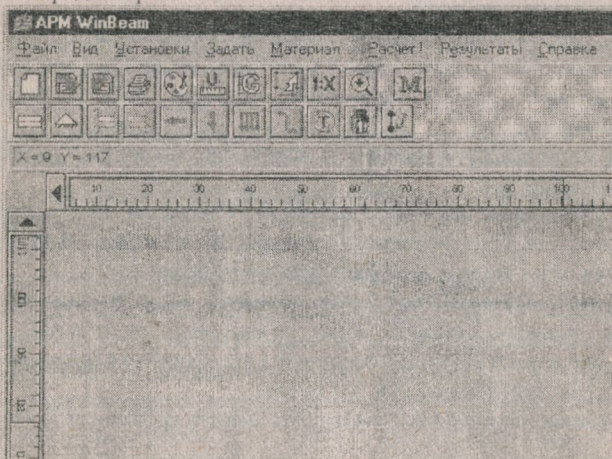


Рис. 1.1 Загальний вид редактора балок

*Інформаційна панель* використовується для виводу поточних значень параметрів у процесі моделювання балки. Набір відображаємих параметрів залежить від того, з яким елементом Ви працюєте. Так, наприклад, при моделюванні сегмента балки на інформаційній панелі показуються координати курсору, а також поточні значення довжини сегмента.

*Інструментальна панель* містить кнопки виклику основних команд редактора. Для виклику потрібної команди просто клацніть лівою кнопкою миші по відповідній кнопці.

#### *Збільшення розмірів робочого поля*

Користувач може збільшити розміри робочого поля за рахунок видалення з екрана лінійок, а також інструментальної й інформаційної панелей. Для цього використовуються команди *Линейки*, *Інструменти*, *Статус* спливаючий меню *Вид*. У будь-який момент кожний із цих елементів можна знову повернути на екран.

Для зміни *масштабу зображення* служить команда *Установки | Масштаб*. У діалоговому вікні Ви можете ввести потрібний масштаб у полі *Масштаб* або вибрати один із стандартних масштабів (1:2, 1:5, 1:10 і т.д.).

*Палітрою* називається сукупність кольорів, які використовуються для зображення компонентів балки, навантажень і опор, а також кольори фону і ліній допоміжної сітки. У розпорядженні користувача є чотири палітри ("сіра", "біла", "чорна" і "принтерна"). Для вибору палітри використовується команда *Установки | Палітра*.

Для кращого візуального контролю при малюванні балки в полі редактора може виводитися *допоміжна прямокутна сітка*. За допомогою команди *Установки | Сетка* користувач може вибрати крок сітки і тип ліній сітки.

#### *Крок курсору*

При роботі з редактором є можливість регулювати точність задання координат і розмірів. По умовчанням використовується точність, рівна 1 мм. Це значить, що всі розміри елементів балки і всі координати будуть округлятися до міліметрів. Ви можете ввести інше значення за допомогою команди *Установки | Шаг курсора*.

### **3.1 Загальні принципи роботи з редактором**

#### *Вибір режиму*

Для того, щоб змоделювати балку, потрібно послідовно задати елементи її конструкції; для проведення розрахунків потрібно також увести навантаження і розмістити опори. Щоб задати або відредагувати елемент розрахункової схеми балки, потрібно переключити редактор у режим моделювання цього елемента. Для цього потрібно вибрати або відповідну кнопку на інструментальній панелі, або команду в меню. Показником поточного режиму є стан інструментальної панелі і форма курсору на робочому полі = вона відповідає об'єктам, із якими в даний момент працює редактор.

#### *Моделювання*

Безпосередньо моделювання сегмента балок і введення навантажень і опор у системі робиться за допомогою миші. У процесі моделювання курсором миші



Ви вказуєте точку або ділянку, де потрібно помістити черговий елемент; після цього параметри елемента можуть бути уточнені в діалоговому вікні.

По особливостях завдання примітиви редактора балок можна умовно розділити на дві групи – “крапкові” і “протяжні”.

До “крапкових” елементам відносяться ті, для розміщення котрих потрібно зазначити тільки осьову координату (приклад – зосереджені сили й опори). Для завдання цих елементів потрібно помістити курсор у потрібну точку і клацнути лівою кнопкою миші. На екрані з’являється діалогове вікно, у якому вводяться характеристики елементів (наприклад, розмір сили).

До числа “протяжних” відносяться сегменти балки і розподілені сили. При введенні цих примітивів звичайно потрібно задати габарити відповідного елемента, наприклад, початкову і кінцеву точки. Послідовність дій у цьому випадку наступна. Спочатку потрібно помістити курсор у ту точку, де починається елемент, і клацнути лівою кнопкою миші. Потім перемістити курсор у ту точку, де елемент закінчується, і знову клацнути лівою кнопкою. У процесі переміщення курсору при натиснутій кнопці миші на екрані рисується поточна форма (або поточні габарити) елемента, а в інформаційному вікні виводяться поточні значення основних параметрів. Після того, як користувач відпустить кнопку миші, на екрані з’являється діалогове вікно для уточнення значень параметрів.

Елементи балки можна також розділити на “первинні” і “вторинні”. До первинного відносяться сегменти балки. Всі інші елементи є вторинними – вони можуть бути введені тільки після того, як Ви задали первинні елементи, і тільки в їхніх межах (тобто, наприклад, Ви не зможете ввести навантаження при відсутності балки).

Рекомендується наступна послідовність проведення розрахунку балки:

- задати сегменти балки;
- задати поперечний перетин балки;
- ввести прикладені до балки навантаження;
- закріпити балку (розмістити опори або вказати замуровування);
- задати матеріал балки;
- провести розрахунок;
- проаналізувати результати та при необхідності внести зміни у вихідні данні.

#### *Редагування*

Редагування в модулі *APM Beam* являє собою зміну параметрів елементів балки, а також їхнє видалення. При редагуванні потрібно переключити редактор у режим моделювання елементів того типу, що Ви хочете редагувати. Потім необхідно зазначити об’єкт, що Ви хочете видалити або змінити. Для цього потрібно помістити курсор на об’єкт і натиснути праву кнопку миші. (Точність вибору об’єкта курсором повинна бути достатньою для того, щоб програма могла визначити, який саме об’єкт Ви хочете редагувати; не обов’язково поміщати курсор безпосередньо на об’єкт, досить, щоб він був найближчим серед об’єктів даного типу). На екрані з’являється діалогове вікно,

що містить параметри об'єкта і з доступною кнопкою *Видалити*. Користувач може ввести нові значення параметрів або видалити об'єкт.

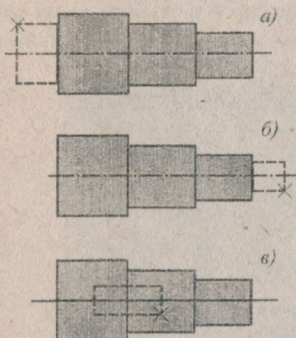


Рис. 1.2 Додавання нових сегментів до балки: а) додавання сегмента до лівого краю балки; б) додавання сегмента до правого краю балки; в) вставка сегмента усередині балки (хрестиком вказано початкове положення курсору)

#### Моделювання сегмента балки

Для моделювання сегмента балки виберіть команду *Рисувати | Сегмент* або кнопку "Сегмент" на інструментальній панелі.

Введення сегмента може здійснюватися в трьох режимах: додавання сегмента зліва; додавання сегмента справа; вставка сегмента.

Вибір режиму визначається вибором початкового положення курсору (мається на увазі положення курсору в той момент, коли Ви натискаєте ліву кнопку миші). Якщо найближчим до курсору в початковий момент введення буде лівий край балки, новий сегмент буде додано до балки зліва, якщо правий – то справа. Якщо найближчою є межа між двома існуючими сегментами всередині балки, то новий сегмент буде вставлений між ними (див. рис. 1.2).

#### Редагування і видалення сегмента балки

Щоб відредагувати або видалити будь-який із сегментів балки, потрібно спочатку вибрати його. Для цього ввійдіть у режим моделювання (за допомогою команди меню або піктографічної кнопки) і виберіть потрібний елемент, підвівши до нього курсор і натиснувши праву кнопку миші. При цьому на екрані з'явиться діалогове вікно. Воно містить поля введення, заповнені поточними значеннями параметрів елемента що редагується, і клавішу для видалення елемента.

Для редагування сегмента балки використовується одне і теж діалогове вікно (див. рис. 1.3). У ньому містяться поля, у яких Ви можете ввести нові значення довжини сегмента. Так само за допомогою цього діалогу Ви зможете задати/відредагувати поперечний перетин сегмента.

#### 4. Навантаження, що діють на балку

За допомогою редактора *APM Beam* можна задати радіальні й осьові зосереджені сили, розподілені сили, а також моменти згину і кручення.

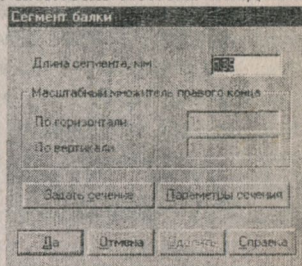


Рис. 1.3 Діалогове вікно для редагування вимірів сегмента балки

Радіальні сили спрямовані перпендикулярно осі балки. У *APM Beam* завжди мається на увазі, що радіальна сила проходить крізь центр ваги перетину. Щоб увести радіальну силу, розмістіть курсор у ту точку, де ця сила повинна бути прикладена, і клацніть лівою кнопкою миші. На екрані з'явиться діалогове вікно для введення параметрів сили (рис. 1.4).

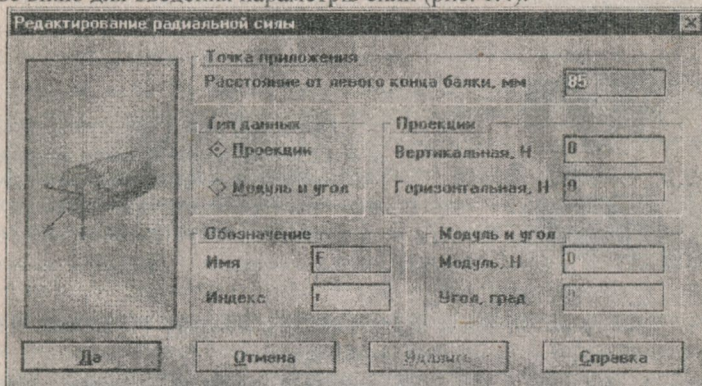


Рис. 1.4 Діалогове вікно для введення і редагування радіальних сил

Радіальна сила характеризується осьовою координатою (відстанню від початку балки), напрямком і розміром. Ви можете задати силу двома способами. В одному випадку Ви вводите модуль сили і кут, що складає напрямок лінії дії сили з вертикаллю; ці параметри вводяться в полях *Модуль* і *Угол*. У другому випадку Ви задасте горизонтальну і вертикальну проекцію сили в полях *Вертикальная* і *Горизонтальная*. Переключення між способами завдання сили робиться за допомогою радіо-кнопок *Модуль* і *Проекция*. При переключенні система автоматично перераховує дані відповідно до необхідного способу введення. Користувач може задати ідентифікатор сили, що перебуває з назви й індексу, що вводяться у відповідних полях (наприклад,  $F_1$ ).

Для завдання *осьової сили* потрібно клацнути лівою кнопкою миші в точці розміщення сили. На екрані з'являється діалогове вікно, у котрому необхідно ввести чисельне значення сили.

*Розподілена сила* характеризується ділянкою, на якому вона діє, а також значеннями питомої сили на лівій і правій межах (проміжні значення утворюються лінійною інтерполяцією). Для завдання розподіленої сили потрібно помістити курсор на одну з меж зони дії сили (байдуже, ліву або праву), клацнути лівою кнопкою миші і потім перемістити курсор у точку, що відповідає іншій межі зони, де знову клацнути лівою кнопкою. Після другого натискання на екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 1.5), у якому Ви можете уточнити межі зони дії розподіленої сили і ввести значення питомих сил, що діють на лівій і правій межах. Тут же Ви можете зазначити, у якій площині діє дана сила.

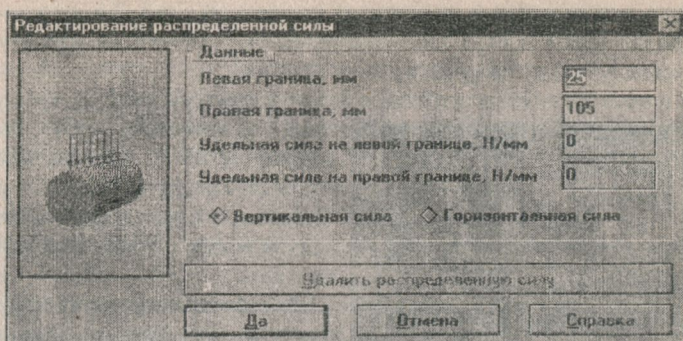


Рис. 1.5 Диалогове вікно для введення і редагування розподілених сил

**Зауваження.** При редагуванні розподіленої сили натискання на праву кнопку миші викликає діалогове вікно тільки для вертикальних сил; щоб відредагувати горизонтальне розподілене навантаження, використовуйте комбінацію *SHIFT* + натискання на праву кнопку миші.

Момент згину задається так само, як радіальна сила. Після натискання на ліву кнопку миші в точці прикладання моменту на екрані з'являється вікно, що дозволяє задати момент згину, або сукупністю проекцій на координатні осі, або через модуль і кут із вертикаллю.

#### Моменти кручення

Момент кручення характеризується розміром і координатою точки прикладання. Щоб його задати, потрібно помістити курсор у точку прикладання моменту і клацнути лівою кнопкою миші. У діалоговому вікні (рис. 1.6), необхідно ввести величину моменту.

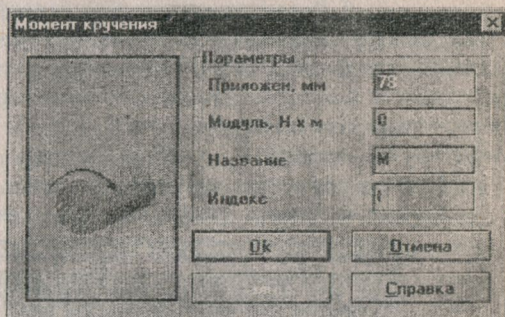


Рис. 1.6 Диалогове вікно для введення і редагування моментів кручення

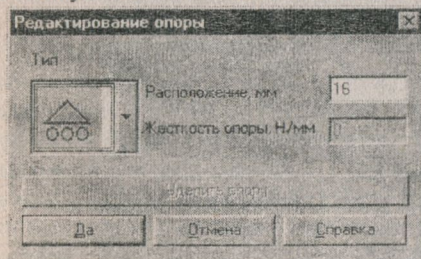


Рис. 1.7 Диалогове вікно для введення і редагування опор

Для розміщення опори виберіть команду *Задати | Опора*, що переключає редактор у режим малювання опор. Потім клацніть мишею в тій точці, де повинна бути встановлена опора, проконтролювавши значення осьової координати в інформаційній панелі. На екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 1.7), у

якому Ви можете вибрати тип опори (рухома або нерухома) й уточнити її параметри.

#### Характеристики матеріалів

Для розрахунку балки необхідно задати характеристики матеріалу, із якого

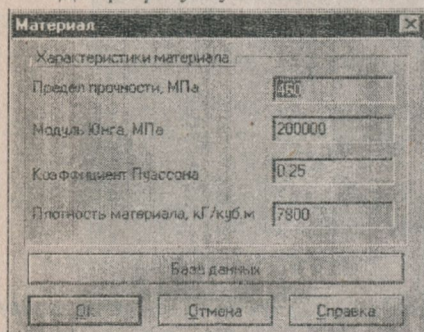


Рис. 1.8 Діалогове вікно для введення характеристик

підтвердження видалення; виберіть кнопку *OK*.

#### 5. Редактор поперечних перетинів сегмента балки

Редактор створення поперечних перетинів сегмента балки, що входить до складу системи *APM Beam*, являє собою спеціалізований графічний редактор, що дозволяє імпортувати готові поперечні перетини у форматі *DXF*, а також дає в розпорядження користувача гнучкі і зручні засоби для завдання поперечного перетину безпосередньо в цьому редакторі.

Компоненти редактора графічних даних

Зовнішній вигляд редактора створення графічних даних *APM Beam*

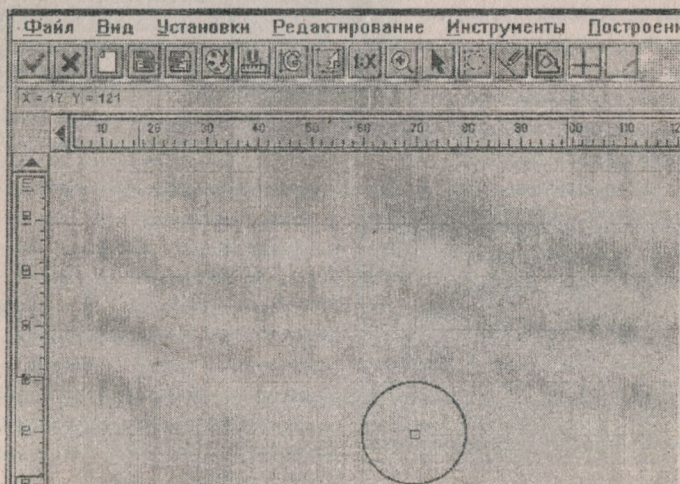


Рис. 1.9 Зовнішній вигляд редактора поперечних перетинів

вона виготовлена. До числа цих характеристик відносяться межа міцності, модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона. Користувач може задати значення цих параметрів одним із двох способів:

- вибрати з бази даних *APM Data*, що входить до складу системи *APM WinMachine*;

- ввести в діалоговому вікні (рис. 1.8).

#### Видалення балки

Для видалення балки виберіть команду *Задать | Новая*. На екрані з'явиться вікно з запитом на

показаний на рис. 1.9. Його основними елементами є інструментальна панель, інформаційна панель, лінійки і робоче поле (вікно редагування). Всі елементи цього редактора несуть те ж функціональне призначення, що й у редакторі балки.

#### *Типи елементів*

Всі геометричні об'єкти (лінія, відрізок, коло, дуга, точка), що створюються за допомогою редактора, поділяються на основні і допоміжні.

Для завдання основних і допоміжних елементів в *АРМ Beam* використовуються різні команди: для основних елементів – команди спливаючого меню *Построение*, для допоміжних – команди меню *Инструменты*. Основні і допоміжні елементи розрізняються і зовні – перші зображуються суцільними лініями, другі – пунктирними.

#### *Зв'язки між елементами*

У редакторі *АРМ Beam* у процесі побудови об'єктів між ними встановлюються зв'язки, тип яких залежить від способу побудови кожного елемента. Цей зв'язок обумовлює залежність розмірів і розташування одного об'єкта від параметрів інших об'єктів, із якими він зв'язаний. Розглянемо це на конкретних прикладах.

Нехай Ви побудували коло, дотичне до двох допоміжних прямих. Тоді при зміні положення однієї із цих прямих змінить положення й коло. Інший приклад: припустимо, Ви побудували відрізок, кінці якого прив'язані до двох вузлів, тоді, змінюючи положення цих вузлів, Ви будете змінювати розміри і положення відрізка.

#### *Креслення*

Креслення елемента (примітива) зводиться до задання точок, що визначають його розміри і положення на площині, причому ці точки і порядок їхнього введення залежать від того, яким способом креслиться об'єкт. Так, наприклад, якщо Ви будете коло по центру і радіусу, то спочатку потрібно задати центр кола, а потім установити необхідний радіус. Щоб задати точку, потрібно підвести до неї курсор і натиснути ліву кнопку миші. У процесі переміщення курсору при кресленні примітива на екрані відображається поточна форма (або поточні габарити) елемента, а у вікні статусу виводяться поточні значення основних параметрів. Повторне натискання лівої кнопки миші фіксує задані розміри примітива.

#### *Редагування*

Редагування в системі *АРМ Beam* представляє собою зміну параметрів елементів графічних даних, а також їхнє видалення. Щоб перейти в режим редагування елементів, потрібно вибрати команду *Редактирование* | *Редактирование* або натиснути відповідну піктограму. Редагування здійснюється в декілька етапів і залежить від способу побудови елемента і його зв'язку з іншими елементами: вибір елемента, що редагується; вибір параметра, що редагується; установка необхідних розмірів; підтвердження встановлених розмірів.

#### *Двохвимірний область і контури*

Перетин балки в *APM Beam* визначається двохвимірною областю. У *APM Beam* двохвимірна область визначається набором контурів. Контуром, є замкнута крива, що складається з основних елементів, тобто побудованих за допомогою команд меню *Построение* – відрізків і дуг. Коло – найпростіший вид такого контуру. Користувачу пропонуються два види контурів – зовнішній і внутрішній. Зовнішній контур відображається товстою лінією синього кольору, внутрішній – червоного. Область, обмежена зовнішнім контуром, включається в результуючу поверхню, а обмежена внутрішнім контуром виключається з неї (рис. 1.10). Цифрами показані номери контурів, зовнішні контури виділені синім кольором «1», внутрішні – червоним «2», а результуюча поверхня «3» – сірим.

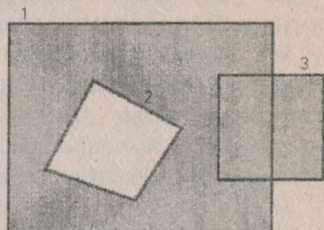


Рис. 1.10 Приклад поверхні й утворюючих її контурів

Щоб задати перетин, необхідно спочатку його накреслити, а потім визначити його зовнішній та внутрішній контури, використовуючи команди *Данные | Внешний контур* і *Данные | Внутренний контур*.

#### 6. Довідник команд *APM WinBeam*

На рис. 1.11 представлені всі команди головного і спливаючого меню

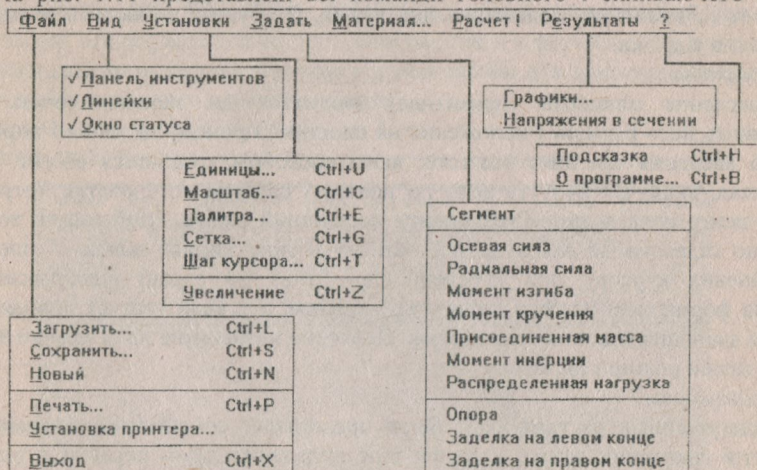


Рис. 1.11 Структура меню системи *APM*

системи *APM Beam*, а також усі команди і опції діалогових вікон, наявних у системі.

#### Меню *Файл*

Спливаюче меню *Файл* містить команди для створення і завантаження архівних файлів, а також друку вихідних даних і результатів розрахунків.

### Меню Вид

Спливаюче меню Вид містить команди, що управляють видимістю окремих об'єктів системи (панелі інструментів, лінійки, вікно статусу) й елементів балки (рис. 1.12).

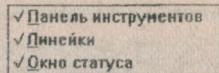


Рис. 1.12 Спливаюче меню Вид

Єдиниці...	Ctrl+U
Масштаб...	Ctrl+S
Палітра...	Ctrl+E
Сітка...	Ctrl+G
Шаг курсора...	Ctrl+T
Увеличення	Ctrl+Z

Рис. 1.13 Спливаюче меню Установки

### Меню Установки

Команди спливаючого меню Установки дозволяють змінювати такі параметри системи, як масштаб зображення, використовувана палітра, наявність і тип допоміжної сітки, крок курсору, прив'язка зображення до сітки (рис. 1.13).

### Меню Задать

Спливаюче меню Задать містить команди, що управляють роботою редактора балок. Кожна з цих команд переключает редактор у режим уведення/редагування відповідного елемента балки, навантаження або опори.

### Команда Материал

Команда Материал викликає на екран діалогове вікно, у якому користувач може ввести параметри матеріалу балки. Також у вікні передбачений вибір матеріалу з бази даних APM Data, що входить до складу системи APM WinMachine.

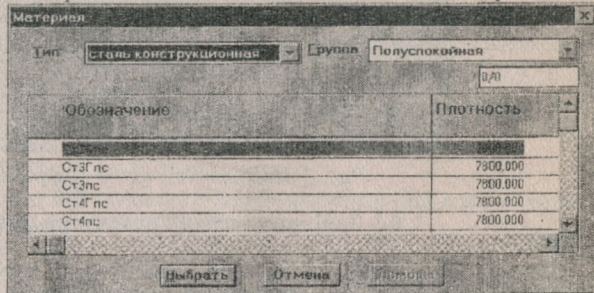


Рис. 1.14 Вибір матеріалу з бази даних

На рис. 1.14 показано діалогове вікно для вибору параметрів із бази даних.

### Команда Расчитать

По команді Расчитать виконуються розрахунки характеристик балки. Перед розрахунком Вас попросять вибрати необхідні типи розрахунків (рис. 1.15).

### Меню Результаты

Спливаюче меню Результаты містить команди,

необхідні для перегляду результатів розрахунку.

### Команда Графики...

Команда Графики... викликає на екран діалогове вікно, за допомогою якого Ви можете переглянути результати розрахунків. Кожна кнопка цього

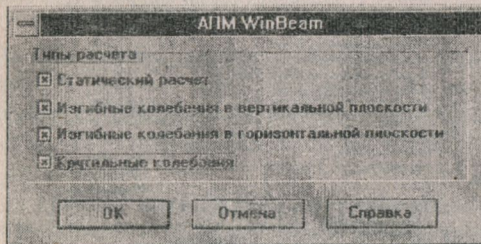


Рис. 1.15 Діалогове вікно Типы расчета



вікна виводить на екран значення відповідного параметра, у вигляді графіка або таблиці.

### Меню Справка

Спливаюча меню *Справка* містить команду *Содержание*, що викликає систему підказки і вікно *О программе*, у якому містяться назва і версія програми, а також відомості про розробника і власника ліцензії на програму.

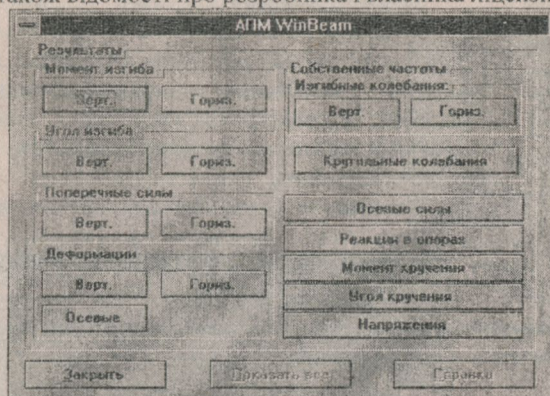


Рис. 1.16 Діалогове вікно Графики

## 6.1 Довідник команд редактора перетинів

Надалі ми розглянемо повний опис команд меню й опцій вікон діалогу

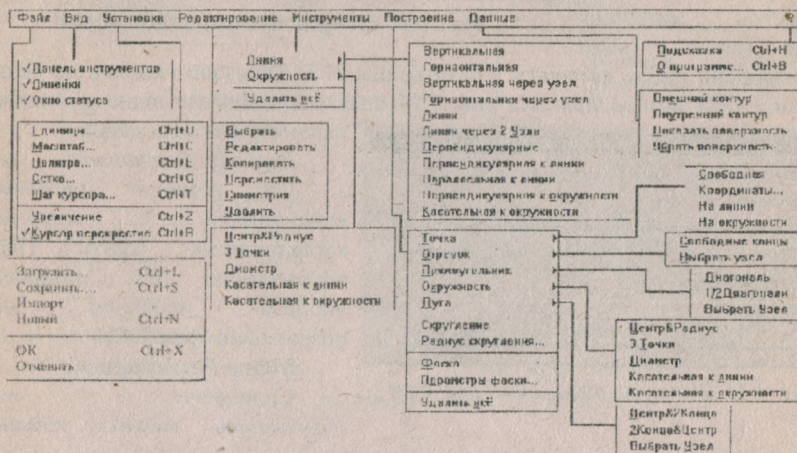


Рис. 1.17 Структура меню підсистеми редагування перетинів APM редактора поперечного перетину APM Beam. На рис. 1.17 показане основне меню APM Beam із усіма підменю, що викликаються з основного.

### Меню Файл

Спливаюче меню *Файл* містить команди для створення і завантаження архівних файлів, імпорту поперечного перетину з файлу *DXF* формату.

В меню *Файл* частина аналогічних команд цілком збігається з аналогічними командами меню *Файл* основного редактора системи.

Команда *Импорт*

За допомогою команди *Файл | Импорт* Ви можете імпортувати в

редактор перетинів попередньо створений в графічному редакторі поперечний перетин сегмента балки, збережений в файлі формату *DXF*. При виборі цієї команди з'являється діалогове вікно (рис. 1.18) у якому Ви повинні ввести ім'я архівного файлу.

Меню *Редактирование*

Команда *Редактирование* головного меню викликає спливаюче меню *Редактирование*, показане на рис. 1.19.

Команда *Выбрать*

Команда *Редактирование | Выбрать* переводить редактор у режим вибору об'єктів для використання їх в операціях, запропонованих у цьому ж меню (тобто в операціях переміщення, копіювання, видалення і операції симетрії щодо прямої).

Обрані об'єкти показуються жовтим кольором. Об'єкти можна вибирати рамкою і окремо. Щоб вибрати рамкою, натисніть ліву кнопку миші в точці першої вершини рамки і, не відпускаючи її, перемістіть мишу в точку протилежної вершини, а потім відпустіть. У результаті всі елементи, які потрапили у рамку, будуть обрані.

Перемістивши мишу до необхідного об'єкта, а потім натиснувши й відпустивши ліву кнопку миші, можна вибрати об'єкт або повернути його в „невибраний” стан.

Натискання правої кнопки миші в цьому режимі повертає всі об'єкти в початковий „невибраний” стан.

Команда *Редактирование*

Команда *Редактирование | Редактирование* переводить програму у режим редагування об'єктів. У цьому режимі Ви можете змінювати параметри об'єктів у залежності від типу їхньої побудови. Так, наприклад, якщо редагується коло, побудоване по центру і радіусу, то в цьому режимі може змінюватися радіус.

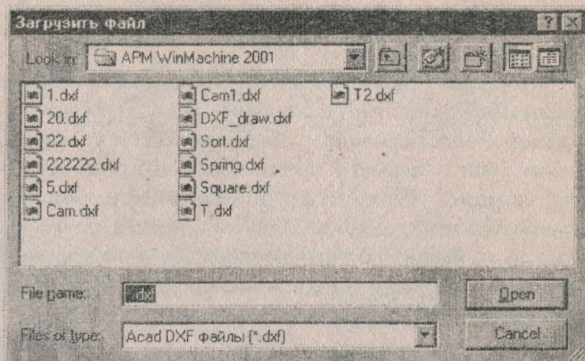


Рис. 1.18 Діалогове вікно імпортувати файл *DXF*

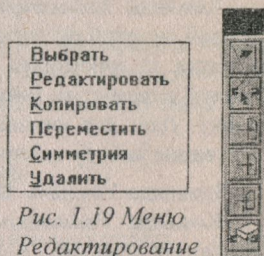




Рис. 1.19 Меню *Редактирование*


Для редагування потрібно спочатку вибрати об'єкт, а потім встановити потрібні параметри.

Команда *Копировать* 


Команда *Редактировать* | *Копировать* переводить редактор у режим копіювання об'єктів. Ця операція застосовується до вибраного за допомогою команди *Редактировать* | *Выбрать* об'єкту. Для копіювання натисніть ліву кнопку миші у вихідній точці. Після цього об'єкти що копіюються з'являться біля курсору. Потім знову натисніть ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, перемістіть мишу на необхідну відстань, а потім відпустіть. В результаті усі виділені (вибрані) об'єкти копіюються в необхідне місце. Натискання правої кнопки миші до виконання копіювання приводить до вихідного стану, а після копіювання – до скасування вибору всіх об'єктів.

Команда *Переместить* 

Команда *Редактирование* | *Переместить* переводить редактор у режим переміщення об'єктів. Ця операція застосовується до вибраного за допомогою команди *Редактирование* | *Выбрать* об'єкта. Для переміщення натисніть ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, перемістіть мишу на необхідну відстань. В результаті усі виділені (вибрані) об'єкти перемістяться на відстань, рівній переміщенню миші.

Команда *Симметрия* 


Команда *Редактирование* | *Симметрия* переводить редактор у режим операції симетрії об'єктів щодо прямої. Ця операція застосовується до об'єктів, вибраних за допомогою команди *Редактирование* | *Выбрать*. Для вибору осі симетрії перемістіть мишу до необхідної допоміжної прямої і натисніть її ліву кнопку. Далі для виконання операції натисніть ліву кнопку ще раз, або для скасування вибору осі праву кнопку миші.

Команда *Удалить* 

Команда *Редактирование* | *Удалить* видаляє всі об'єкти, вибрані за допомогою команди *Редактирование* | *Выбрать*.

Меню *Вид* і *Установки*

Команди меню *Вид* та *Установки* цілком співпадають з аналогічними меню основного редактора системи.

Меню *Инструменты* 

Команда *Инструменты* головного меню викликає спливаюче меню *Инструменты*, показане на рис. 1.20. Команди цього меню дають користувачу можливість побудови допоміжних прямих і кіл.

Команда *Линия*

Команда *Инструменты* | *Линия* викликає спливаюче меню нижнього рівня (рис. 1.21), що представляє засоби для побудови допоміжних ліній. Всі команди цього меню доступні також через кнопкове меню *Инструменты*.




Рис. 1.20 Меню *Инструменты*


Вертикальная  
 Горизонтальная  
 Вертикальная через узел  
 Горизонтальная через узел  
 Линия  
 Линия через 2 Узла  
 Перпендикулярные  
 Перпендикулярная к линии  
 Параллельная к линии  
 Перпендикулярная к окружности  
 Касательная к окружности

Рис. 1.21 Меню Линия


Меню Инструменты | Линия

Команда Вертикальная 


Команда побудови вертикальних прямих.

Команда Горизонтальная 


Команда побудови горизонтальних прямих.

Команда Вертикальная через узел 

Команда побудови допоміжних вертикальних ліній через вузол.


Команда Горизонтальная через узел 

Команда побудови допоміжних горизонтальних ліній через вузол.


Команда Линия 

Команда побудови допоміжних ліній через вузол під визначеним кутом.


Для введення лінії перемістіть курсор до необхідного вузла і натисніть ліву кнопку миші. Далі, встановіть необхідний кут і натисніть ліву кнопку миші.

Команда Линия через 2 Узла 


Команда побудови допоміжних ліній через два вузла.

Команда Перпендикулярные 

Команда побудови двох допоміжних перпендикулярних ліній, вертикальної і горизонтальної.


Команда Перпендикулярная к линии 

Команда побудови перпендикуляра до лінії. Щоб вибрати лінію, перпендикуляр до якої Ви хочете побудувати, підведіть до неї курсор і натисніть ліву кнопку миші. Потім, переміщуючи курсор, потрібно вказати місце розташування перпендикуляра знову натиснувши ліву кнопку миші.

Команда Параллельная к линии 

Команда побудови ліній, паралельних до вибраної.


Для вибору лінії підведіть до неї курсор і натисніть ліву кнопку миші. Потім, переміщуючи курсор, встановити відстань від вибраної і знову натисніть ліву кнопку миші.

Команда Перпендикулярная к окружности 

Команда побудови лінії, перпендикулярної до окружності.

Команда Окружность

Команда Инструменты | Окружность  
 викликає спливаюче меню нижнього рівня (рис. 1.22), що надає засоби для побудови допоміжних кіл. Всі команди цього меню доступні також через кнопкове меню Инструменты.


Команда Удалить Все 

Команда Инструменты | Удалить Все  
 видаляє всі допоміжні побудови.

Центр&Радиус  
 3 Точки  
 Диаметр  
 Касательная к линии  
 Касательная к окружности

Рис. 1.22 Меню Окружность


Для вибору кола підведіть до нього курсор і натисніть ліву кнопку миші. Потім, переміщуючи курсор, досягти необхідного розташування прямої і натисніть ліву кнопку миші.

Команда *Касательная к окружности* 


Команда побудови допоміжних ліній, дотичних до кола або до двох кіл.

Для вибору першого кола підведіть до нього курсор і натисніть ліву кнопку миші. Потім, якщо Ви хочете побудувати дотичну до обраного кола, переміщуйте курсор до необхідної точки для розташування лінії і натисніть ліву кнопку миші. Якщо Ви хочете побудувати дотичну пряму до двох кіл, то для вибору другого кола знову ввійдіть у цей же пункт меню, потім підведіть курсор до необхідного кола і натисніть ліву кнопку миші.


Меню *Инструменты* | *Окружность*

Команда *Центр&Радиус* 


Команда побудови допоміжних кіл, по центру і радіусу, причому в якості центру вибирається вже існуюча точка. Для вибору точки в якості центру підведіть до неї курсор і натисніть ліву кнопку миші. Потім переміщуючи курсор, задайте необхідний радіус і натисніть ліву кнопку миші.

Команда *3 Точки* 

Команда побудови допоміжних кіл за трьома точками. Для вибору першої точки підведіть до неї курсор і натисніть ліву кнопку миші – обрана точка змінить колір. Аналогічно виберіть другу точку. Потім Ви можете встановити необхідне положення кола або натиснувши ліву кнопку миші в потрібній точці, фіксуєючи при цьому радіус, або обравши третю точку з вже існуючих.


Команда *Диаметр* 

Команда побудови допоміжних кіл по двох точках розмішених на діаметрі, причому перша вибирається з вже існуючих, а друга може вибиратися довільно.

Команда *Касательная к линии* 

Команда побудови допоміжних кіл, дотичних до прямої або до двох прямих. Для вибору прямої підведіть до неї курсор і натисніть ліву кнопку миші, обрана лінія змінить колір. Потім натисканням лівої кнопки миші в необхідній точці встановлюється потрібне положення кола і її радіус.

Ви також можете побудувати коло, дотичне до двом прямих. Для цього після вибору першої прямої повторно надати цю ж команду і вибрати аналогічно другу пряму. Після цього задати необхідне положення кола і радіус, переміщуючи курсор, і натиснувши ліву кнопку миші. Натискання правої кнопки приводить до повернення у вихідний стан даного режиму.

Команда *Касательная к окружности* 

Команда побудови допоміжних кіл, дотичних до кола. Для вибору окружності підведіть до неї курсор і натисніть ліву кнопку миші, обрана окружність змінить колір. Потім встановіть необхідне положення окружності і радіус і натисніть ліву кнопку миші.

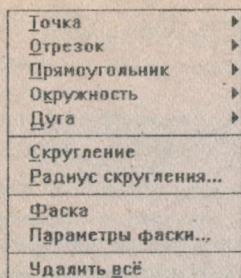


Рис. 1.23 Меню Построение

відрізків, дуг, кіл і допоміжних ліній.

#### Команда Свободная

Команда побудови точок безпосередньо за розташуванням курсору. Для введення точки перемістіть курсор у необхідне місце, і натисніть ліву кнопку миші.

#### Команда Координаты

Викликає діалогове вікно (рис. 1.25), що дозволяє користувачу вводити точки, задаючи їхні координати з клавіатури в поля X: і Y: та натиснути кнопку *Ок* або *Добавить*. (Відмінність між кнопками перебуває в тому, що після натискання *Ок* діалогове вікно закривається).

#### Команда На линии

Команда побудови точок на лінії, перетинанні двох ліній або перетинанні кола і лінії в залежності від попереднього режиму.

Якщо раніше Ви не вибрали пряму або коло у цьому режимі, то можна вводити точки на прямій. Для вибору прямої, перемістіть курсор до необхідної прямої і натисніть ліву кнопку миші. Далі, щоб зафіксувати положення точки, перемістіть курсор у необхідну позицію і натисніть ліву кнопку миші.

#### Команда На окружности

Команда побудови точок на колі, перетинанні двох кіл, перетинанні лінії й окружності в залежності від попереднього режиму.

Для вибору примітиву перемістіть курсор до необхідного кола і натисніть ліву кнопку миші. Далі, щоб зафіксувати положення точки, перемістите курсор у необхідну позицію і натисніть ліву кнопку миші.

#### Підменю Отрезок

Команда Построение | Отрезок меню

#### Меню Построение

Команда Построение головного меню викликає спливаюче меню Построение, показана на рис 1.23. Команди цього меню дають користувачу можливість побудови точок, відрізків, окружностей і дуг – примітивів, необхідних для завдання поверхні пластини або геометрії поперечного перетину бруса.

#### Підменю Точка

Підменю Построение | Точка (рис. 1.24) включає засоби для побудови точок, що можна потім використовувати в якості вузлів прив'язки при побудові

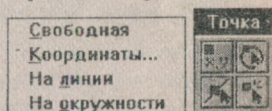


Рис. 1.24 Меню Точка

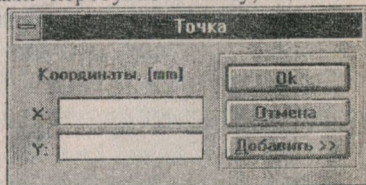


Рис. 1.25 Діалогове вікно Точка

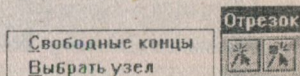




Рис. 1.26 Підменю Отрезок


*Построение* викликає спливаюче меню нижнього рівня (рис. 1.26), за допомогою якого користувач може побудувати відрізки.

Команда *Свободные концы* 


Команда побудови відрізків із вільними кінцями безпосередньо по положенню курсору. Для введення чергової кінцевої точки перемістіть курсор у необхідне місце і натисніть ліву кнопку миші.

Команда *Выбрать узел* 


Команда *Отрезок* | *Выбрать узел* переводить редактор у режим побудови відрізків із кінцевими точками на вже побудованих вузлах. Нагадуємо, що під вузлами ми розуміємо точки, кінці відрізків і дуг. Для введення чергової кінцевої точки перемістіть курсор до необхідного вузла і натисніть ліву кнопку миші.

Підменю *Прямоугольник* 


Підменю *Построение* | *Прямоугольник* меню *Построение* викликає спливаюче меню нижнього рівня (рис. 1.27), що дає користувачу засоби для побудови прямокутників із відрізків.

Команда *Диагональ* 


Команда побудови прямокутників по діагоналі, причому в якості точок, що визначають діагональ, можна вибирати вже існуючі вузли. Якщо пункт меню *Выбрать узел* активний, то в якості кінцевої точки діагоналі буде вибиратися найближчий вузол і здійснюватися прив'язка до нього.

Команда *1/2 Диагонали* 


Команда побудови прямокутників по половині діагоналі, причому в якості точок, що визначають половину діагоналі, можна вибирати вже існуючі вузли.


Команда *Выбрать Узел* 


Дана команда встановлює або відмінює режим прив'язки при виборі вузла, дія якої застосовується в двох попередніх командах.


Підменю *Окружность* 


Команда *Построение* | *Окружность* меню *Построение* викликає спливаюче меню нижнього рівня (рис. 1.28), у якому представлені засоби побудови кіл. Ці засоби аналогічні тим, що використовуються для побудови допоміжних кіл.


Команда *Центр&Радиус* 

Команда *3 Точки* 

Команда *Диаметр* 

Команда *Касательная к линии* 

Команда *Касательная к окружности* 

Підменю *Дуга* 

Диагональ  
1/2 Диагонали  
Выбрать Узел



Рис. 1.27 Підменю *Прямоугольник*

Центр&Радиус  
3 Точки  
Диаметр  
Касательная к линии  
Касательная к окружности




Рис. 1.28 Підменю *Окружность*

Центр&2Конца  
2Конца&Центр  
Выбрать Узел

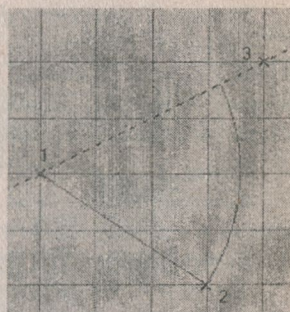



Рис. 1.29 Підменю *Дуга*

Підменю *Построение* | *Дуга* меню *Построение* викликає спливаюче меню нижнього рівня, показана на рис. 1.29, в якому представлені засоби для побудови дуг.

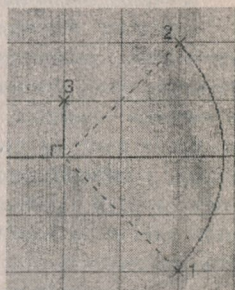
Команда *Центр&2Конца* 


Команда *Дуга* | *Центр&2Конца* переводить редактор у режим побудови дуги по центру, радіусу і двом кінцевим точкам, причому в якості визначальних точок можна вибирати вже існуючі вузли. Для введення центру перемістіть курсор у необхідне місце і натисніть ліву кнопку миші (точка 1), причому якщо пункт меню *Выбрать Узел* активований, то в якості координат центру будуть вибиратися координати найближчого вузла. Потім перемістіть курсор у точку початку дуги і натисніть ліву кнопку миші (точка 2), фіксуючи при цьому ще і радіус. Для завдання другого кінця дуги перемістіть курсор у необхідну точку і натисніть ліву кнопку миші (точка 3).




Команда *2Конца&Центр* 

Команда *Дуга* | *2Конца&Центр* переводить редактор у режим побудови дуги по кінцевих точках і центру, причому в якості визначальних точок можна вибирати вже існуючі вузли. При виконанні команди послідовно задається положення кінцевих точок дуги (точки 1 і 2), і завершує побудову фіксація центру (точка 3).



Команда *Выбрать Узел* 

Дана команда встановлює або відмінює режим автоматичної прив'язки до вузлів під час виконання команд побудови дуг.

Команда *Скругление* 

Команда *Построение* | *Скругление* переводить редактор у режим побудови скруглень до двох відрізків. Для вибору відрізка підведіть до нього курсор і натисніть ліву кнопку миші. Обраний відрізок виділиться іншим кольором. Аналогічно виберіть другий відрізок. Далі в користувача є можливість вибору області для побудови скруглення у випадку неоднозначності. Для цього перемістіть курсор у необхідну область і натисніть ліву кнопку миші.

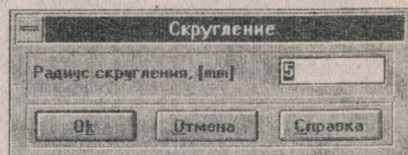




Рис. 1.30 Діалогове вікно *Скругление*


Команда *Радиус скругления* 

Команда *Построение* | *Радиус скругления* викликає діалогове вікно, показана на рис. 1.30, що дозволяє користувачу встановлювати радіус дуги скруглення.

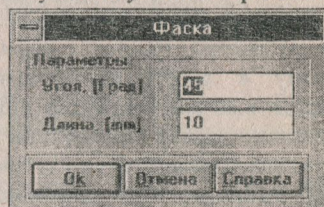



Команда *Фаска* 

Команда *Построение* | *Фаска* переводить редактор у режим побудови фаски до двох відрізків, що мають один загальний кінець. Для вибору відрізків по чергово підведіть до них курсор і натисніть ліву кнопку миші. При виборі відрізків їх колір зміниться.

Команда *Параметры фаски* 

Команда *Построение* | *Параметры фаски* викликає діалогове вікно, показане на рис. 1.31, що дозволяє користувачу встановлювати кут і довжину фаски.




Команда *Удалить все* 

Команда *Построение* | *Удалить все* видалляє всі основні об'єкти, побудовані за допомогою меню *Построение*.

Меню *Контур*

Команда *Контур* головного меню викликає спливаючий меню *Контур* рис. 1.32. Команди цього меню дають користувачу можливість завдання поперечного перетину (балки) бруса через зовнішні і внутрішні контури.

Команда *Внешний контур* 

Команда *Контур* | *Внешний контур* переводить редактор у режим вибору користувачем зовнішніх контурів для визначення поверхні перетину балки. Для виділення контуру перемістіть курсор до одного з об'єктів, що входить у контур, і натисніть ліву кнопку миші. По цьому натисканню здійснюється пошук контуру і, якщо він знайдений, то виділяється синім кольором. Щоб зняти виділення зовнішнього контуру, підведіть курсор до нього і натисніть праву кнопку миші.

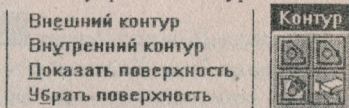





Рис. 1.32 Меню *Контур*

Команда *Внутренний контур* 

Команда *Контур* | *Внутренний контур* переводить редактор у режим вибору користувачем внутрішніх контурів для визначення поверхні перетину балок. Данна команда виконується аналогічно попередній (*внешний контур*).

Команда *Показать Поверхность* 

Команда *Контур* | *Показать поверхность* зафарбовує в білий колір поверхню, що утворюють зовнішні і внутрішні контури.

Команда *Убрать Поверхность* 

Команда *Контур* | *Убрать Поверхность* знімає виділення поверхні з екрана, що утворюють зовнішні і внутрішні контури, раніше показану командою *Контур* | *Показать Поверхность*.

Меню *Справка*

Спливаюче меню *Справка* цілком ідентично аналогічному меню основного редактора.

*Піктографічне меню й інструментальна панель*

Інструментальна панель представляє собою групу піктографічних кнопок, розташовану нижче головного меню (рис. 1.33). Інструментальна панель призначена для прискореного вибору деяких найбільше часто використовуваних команд.



Рис. 1.33 Інструментальна панель

Піктографічні меню (рис. 1.34) являють собою групу кнопок, що утворюють спливаючі меню нижнього рівня і з'являються після натискання відповідних кнопок панелі інструментів. Піктографічне меню також призначено для прискореного вибору команд.

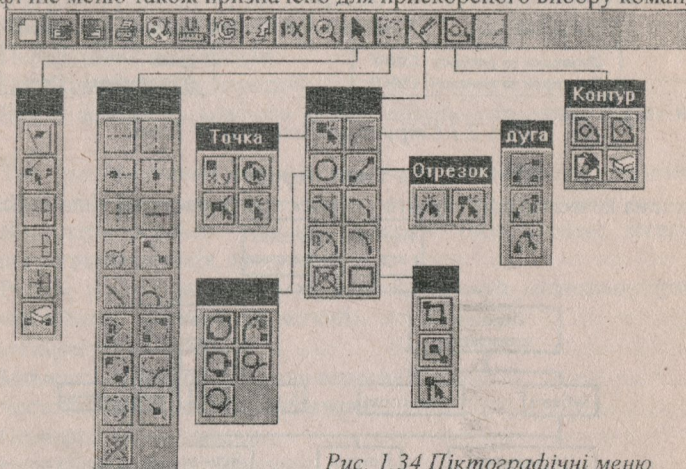


Рис. 1.34 Піктографічні меню

## Розділ II

### APM WinTrans – модуль проектування передач обертання

#### 1. APM WinTrans – задачі і результати

Система *APM Trans* призначена для розрахунку механічних передач обертання, тобто елементарних механізмів, що служать для передачі крутного моменту від одного вала (ведучого) іншому (веденого). За допомогою *APM Trans* Ви можете:

- задати конструкцію передачі;
- виконати всі необхідні розрахунки;
- одержати робочі креслення передачі.

На рис. 2.1 Ви можете побачити головну панель *APM Trans* разом із усіма випадаючими меню.

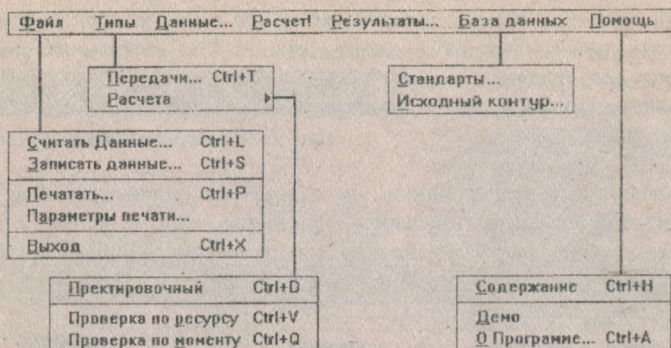


Рис. 2.1 Структура меню APM Trans

### 1.1 Типи передач

Система дозволяє розрахувати і спроектувати наступні типи передач:

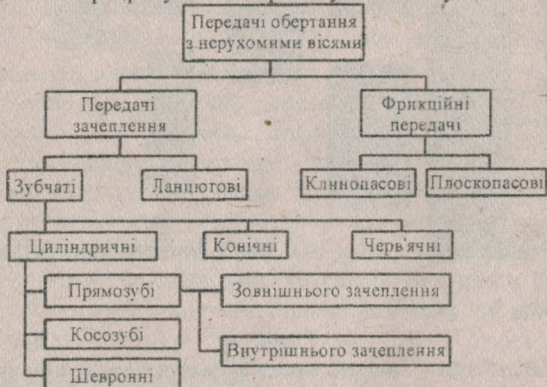


Рис. 2.2 Структура типів передач що розраховується системою APM Trans

### 1.2 Типи розрахунків

За допомогою APM Trans можна виконати такі види розрахунків:

#### Проектувальний розрахунок

При проектувальному розрахунку користувач задає значення параметрів, таких як зовнішнє навантаження, матеріали, тип термообробки, кінематичні характеристики, довговічність. Використовуючи ці дані, APM Trans розраховує основні геометричні розміри передачі, ґрунтуючись на критеріях втомлюваної міцності на згин та опір викришуванню поверхні контакту.

#### Перевірочний розрахунок

За допомогою перевірного розрахунку визначається навантажувальна здатність передачі при заданих значеннях параметрів (геометричних розмірів, характеристик конструкційних матеріалів і т. п.). Реалізовано два види перевірочних розрахунків:

- визначення максимального моменту при заданій довговічності;
- визначення довговічності при заданому навантаженні.

## Проектування з обмеженнями

*APM Trans* здатна проектувати передачі з обмеженнями міжосьових відстаней, подовжніх і поперечних розмірів, зсувів вихідного контуру коліс, кутів нахилу зуба й ін.

### 1.3 Вихідні дані

Для розрахунку передач системи *APM Trans* потрібні такі основні вихідні дані:

#### *Циліндричні передачі:*

1. Момент на вихідному валу передачі;
2. Частота обертання вихідного вала;
3. Передаточне відношення;
4. Необхідний ресурс передачі;
5. Число зачеплень кожного колеса передачі за один оборот ведучого колеса;
6. Тип розташування колеса на валу (симетричне, несиметричне, консольне);
7. Вид термообробки кожного з коліс (поліпшення, загартування, цементация і нітроцементация, азотування);
8. Режим роботи передачі (постійний, важкий, середньо-нормальний, середньо-ймовірний, легкий, дуже легкий).

#### *Конічні передачі:*

1. Момент на вихідному валові передачі;
2. Частота обертання вихідного вала;
3. Передаточне відношення;
4. Необхідний ресурс передачі;
5. Вид термообробки кожного з коліс (див. циліндричну передачу);
6. Режим роботи передачі (див. циліндричну передачу).

#### *Черв'ячні передачі:*

1. Момент на вихідному валу передачі;
2. Частота обертання вихідного вала;
3. Передаточне відношення;
4. Необхідний ресурс передачі;
5. Матеріал вінця черв'ячного колеса (олов'яна бронза, безолов'яна бронза, чавун);
6. Режим роботи передачі (див. циліндричну передачу).

#### *Ланцюгові передачі:*

1. Момент на вхідному валу передачі;
2. Частота обертання вхідного вала;
3. Передаточне відношення;
4. Необхідний ресурс передачі;
5. Вид профілю зірочки (опукло-ввігнутий і прямолінійний);
6. Вид навантаження передачі (плавна, спокійна, з легкими ударами, із середніми ударами, з важкими ударами, вібраційна);
7. Тип ланцюга використовуваної в передачі (втулково-роликів легкої серії, втулково-роликів нормальної серії, втулково-роликів багатоланкова,

втулково-роликів з вигнутими пластинами);

8. Вид режиму змащення використовуваної в передачі (без змащення, періодична, неперіодична, внутрішарнірна, масляна ванна, розпиленням, циркуляційна, краплинна).

*Пасові передачі:*

1. Потужність, передана передачею;
2. Частота обертання вхідного вала;
3. Передаточне відношення;
4. Коефіцієнт динамічності;
5. Тип механізму регулювання натягу ременя (тільки для плоско-пасових передач).

Крім цих параметрів Ви можете задати *додаткові параметри*, що дозволяють накласти обмеження на передачу, що розраховується.

*Циліндричні передачі:*

1. Міжосьова відстань;
2. Коефіцієнт ширини колеса (щодо міжосьової відстані);
3. Модуль;
4. Кут нахилу лінії зубів;
5. Коефіцієнт зсуву інструмента для кожного з коліс;
6. Середня твердість поверхні зубів коліс. За замовчуванням приймається середня твердість, забезпечувана обраною термообробкою.
7. Реверсивність передачі (реверсивна або нереверсивна передача). За замовчуванням передача вважається нереверсивною.
8. Стандартна міжосьова відстань (за ДСТ). За замовчуванням міжосьова відстань вибирається з ряду R40.

*Конічні передачі:*

1. Зовнішній дільний діаметр колеса;
2. Ширину зубчастого вінця коліс;
3. Зовнішній торцевий модуль;
4. Середня твердість поверхні зубів коліс. За замовчуванням приймається середня твердість, забезпечувана обраною термообробкою;
5. Осьова форма зубів;
6. Тип опор ведучого вала (шарикопідшипник, роликпідшипник, змішані опори);
7. Реверсивність передачі (реверсивна або нереверсивна передача). За замовчуванням передача вважається нереверсивною.

*Черв'ячні передачі:*

1. Міжосьова відстань;
2. Модуль;
3. Коефіцієнт діаметра.

Ви можете також указати системі, що Вам потрібно вибрати передачу з бази даних. За замовчуванням розраховується нова передача.

*Ланцюгові передачі:*

1. Число зубів зірочок;
2. Міжосьова відстань.

Пасові передачі:

1. Міжосьова відстань (у межах реалізованих стандартними довжинами пасів);
2. Кут нахилу осі передачі до обрію (тільки для плоско-пасових передач);
3. Максимальне число ременів у передачі, але не більш 8 (тільки для клино-пасових передач).

## 2. Методи і стандарти

### 2.1 Стандарти циліндричних передач

• ISO CD 9085-1 (Calculation of load capacity of spur and helical gears) використовується для розрахунків на міцність передачі.

- СТ СЭВ 308-76 - для зубчастих передач с  $m \geq 1.0$ . Регламентує параметри вихідного контуру, під яким розуміється контур зубів номінальної вихідної зубцюватої рейки в перетині площиною, перпендикулярної до її ділильної площини і нормальної до напрямку зубів.

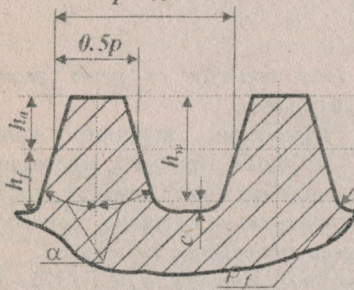


Рис. 2.3 Параметри вихідного контуру циліндричних передач

характеризується кутом головного профілю  $\alpha$ , коефіцієнтом висоти голівки  $h_a^*$ , коефіцієнтом радіального зазору в парі вихідних контурів  $c^*$ , коефіцієнтом висоти ніжки  $h_f^* = h_a^* + c^*$ , коефіцієнтом граничної висоти  $h_i^* = 2h_a^*$ , коефіцієнтом глибини заходу зубів у парі вихідних контурів  $h_w^* = 2h_a^*$ , коефіцієнтом радіуса кривизни перехідної кривої  $\rho_f^*$ .

Висота голівки  $h_a^*$ , радіальний зазор  $c$ , висота ніжки  $h_f$ , гранична висота зуба  $h_i$ , глибина заходу  $h_w$ , радіус перехідної кривої  $\rho$  визначаються множенням відповідного коефіцієнта на модуль. Значення параметрів, що характеризують стандартний вихідний контур використовуваній у системі АРМ Trans при розрахунку циліндричних передач приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Параметри вихідного контуру по СТ СЭВ 308-76

Параметр	Умовна позначка	Чисельне значення
1	2	3
Кут головного профілю	$\alpha$	20°
Коефіцієнт висоти голівки зуба	$h_a^*$	1,0
Коефіцієнт радіального зазору в парі вихідних контурів	$c^*$	0,25
Коефіцієнт висоти ніжки зуба	$h_f^*$	1,25
Коефіцієнт граничної висоти	$h_i^*$	2,0
Коефіцієнт глибини заходу зубів у парі вихідних контурів	$h_w^*$	2,0

1	2	3
Коефіцієнт радіуса кривизни перехідної кривої	$\rho_f$	0,38

- ДСТ 2475-62 і ДСТ 3722-60: використовуються при виборі розмірів роликів для розрахунку відповідних контрольних параметрів.
- СТ СЭВ 310-76 – використовується при виборі модуля.

### 2.2 Стандарти конічних коліс

При розрахунку конічної передачі приймаються наступні допущення:

- Середній кут нахилу зубів для коліс із круговими зубами – 35 градусів;
- Розрахунковий перетин вибирається посередині зубчатого вінця;
- Коефіцієнт ширини приймається рівним – 0,285;
- Передача вважається рівнозміщеною.

Використовуються наступні стандарти:

- ISO/DIS 10 300 (*Calculation of load capacity of bevel gears*) використовується для розрахунків на міцність передачі.

• При розрахунку геометричних параметрів конічних коліс використовується стандарт ДСТ 13754-81 і ДСТ 16202-81. Прийняті, відповідно до стандарту, параметри *торцевого теоретичного вихідного контуру*, тобто контуру зубів умовної рейки, ідентичному розгорненню на площину торцевого перетину *теоретичного вихідного плоского колеса*, приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Параметри вихідного контуру за ДСТ 13754-81

Параметр	Умовна позначка	Чисельне значення
Кут головного профілю	$\alpha$	20°
Коефіцієнт висоти голівки зуба	$h_a^*$	1.0
Коефіцієнт радіального зазору в парі вихідних контурів	$c^*$	0.25
Коефіцієнт радіуса кривизни перехідної кривої	$\rho_f$	0.2

Теоретичний вихідний контур за ДСТ 16202-81, застосовуваний для коліс із круговим зубом, має такі ж параметри за наступним виключенням: коефіцієнт радіуса кривизни перехідної кривої  $\rho_f$  приймається рівним 0,25.

- СТ СЭВ 310-76 – використовується при виборі модуля.
- ДСТ 11902-77 – використовується при розрахунку параметрів нарізної голівки.

### 2.2.1 Геометрія конічних зубчастих передач

Найбільш розповсюдженою формою зуба є наступна: зуб конічного колеса пропорційно зменшується в залежності від відстані до торця (рис. 2.4 *a*, форма 1). Існують також конструкції, у яких вершини діляльного конуса і конуса западин не збігаються (рис. 2.4 *b*, *c* форма 2). Зустрічаються колеса з рівновисоким зубом (рис. 2.4 *d*, форма 3). Осьова форма 1, що є часткою форми 2, застосовується для коліс із прямим зубом і в окремих випадках – із круговим. Однак для коліс із круговим зубом найчастіше використовують форму 2. Форма 3 застосовується рідше попередніх, і в основному для неортогональних передач.

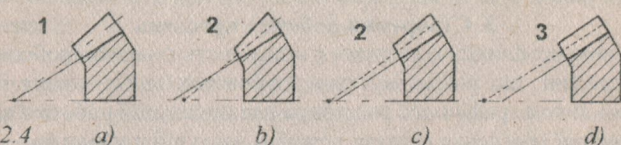


Рис. 2.4

### 2.3 Стандарти черв'ячних передач

• СТ СЭВ 266-76 - визначає параметри вихідного черв'яка і вихідного виробляючого черв'яка. Вихідний виробляючий черв'як визначає пропорції витків реального черв'яка і відповідного черв'ячного колеса. Для черв'ячного колеса висотні пропорції зубів задаються в середній торцевій площині, у якій лежить загальний перпендикуляр до осей черв'яка і колеса.

Відповідно до стандарту в системі *APM Trans* приймається (див. рис. 2.5):

- кут профілю витків, рівний  $20^\circ$  у перетинах: у нормальному до витка для черв'яків *ZN1*; нормальному до западини для черв'яків *ZN2*; осьовому для черв'яків *ZA*; нормальному до зубів рейки, сполученої з черв'яком *Z1*;
- кут профілю конічної виробляючої поверхні  $\alpha_0 = 20^\circ$  для черв'яків *ZK1* і *ZK2*.

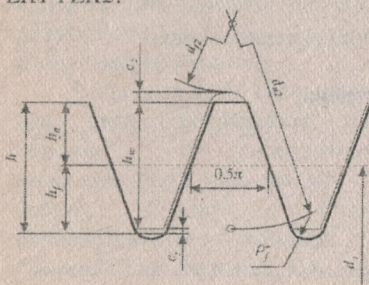


Рис. 2.5 Параметри вихідного контуру черв'ячних передач

Також як і для циліндричних передач, реальні параметри якість: висота голівки  $h_a$ , радіальний зазор  $c$ , висота ніжки  $h_f$ , висота зуба  $h$ , радіус перехідної кривої  $\rho$  визначаються множенням відповідного коефіцієнта на модуль. Значення параметрів, що характеризують стандартний вихідний контур, використовуваний у системі *APM Trans* при розрахунку черв'ячної передачі, приведені в таблиці 2.3.



Таблиця 2.3 Параметри вихідного контуру по СТ СЭВ 266-76

Параметр	Умовна позначка	Чисельне значення
Коефіцієнт висоти голівки зуба	$h_a^*$	1.0
Коефіцієнт радіального зазору в парі вихідних контурів	$c^*$	0.2
Коефіцієнт висоти ніжки зуба	$h_f^*$	1.2
Коефіцієнт висоти зуба	$h_i^*$	2.2
Коефіцієнт радіуса кривизни перехідної кривої	$\rho_f^*$	0.3

### 3. Створення робочих креслень

Унікальною особливістю системи є можливість генерації робочих креслень елементів передачі, що розраховується, (зубчастих коліс, шківів і зірочок) з наступним викликом графічного редактора для подальшої роботи з кресленням.

Для генерації креслення системи потрібні наступні параметри:

*Конструктивні особливості проєктованого елемента передачі*

1. Тип маточини колеса;
2. Тип закріплення колеса на валові;
3. Параметри шлицевого з'єднання;
4. Геометричні параметри:
  - діаметр отвору в маточині;
  - число отворів у диску колеса;
  - довжина маточини;
  - зсув лівого торця маточини щодо торця шківів (зірочки) (тільки для ланцюгових і пасових передач).
5. Для конічних коліс – тип конструктивного виконання колеса;
6. Для ланцюгових передач – тип виконання диска зірочки і бічної поверхні зуба;
7. Для плоско-пасових передач – тип робочої поверхні шківів.

*Параметри технічних вимог*

1. Радіуси незазначених на кресленні скруглень;
2. Незазначені відхилення розмірів:
  - у системі вала;
  - у системі отвору;
  - інших розмірів.
3. Твердість робочих поверхонь.

*Параметри таблиці зачеплення*

1. Позначення сполученого креслення;
2. Напрямок лінії зуба;
3. Ступінь точності передачі по СТ - СЭВ 641-77;
4. Тип черв'яка.

*Параметри головного напису креслення*

1. Прізвище й ініціали особи, що розробила креслення;
2. Прізвище й ініціали особи, що перевірила креслення;

3. Прізвище й ініціали нормоконтролера;
4. Прізвище й ініціали тех. контролера;
5. Прізвище й ініціали особи, що затвердила креслення;
6. Позначення креслення;
7. Марка матеріалу;
8. Стандарт на матеріал;
9. Літера креслення;
10. Найменування організації, що розробила креслення;
11. Найменування підрозділу організації, що розробило креслення.

#### 4. Порядок роботи із системою APM WinTrans

Типова послідовність дій при роботі із системою APM Trans містить у собі наступні операції:

1. Запуск програми;
2. Вибір типу передачі для розрахунку;
3. Вибір типу необхідного розрахунку;
4. Введення необхідних параметрів;
5. Виконання розрахунків;
6. Вибір результатів для перегляду;
7. Безпосередній перегляд результатів;
8. Завдання конструктивних параметрів необхідних для створення креслень;
9. Вихід у систему AutoCAD для остаточної роботи над кресленням;
10. Повернення в систему APM Trans.

##### Вибір типу передачі

Для вибору типу передачі використовуйте команду *Тип | Тип передачі*. У діалоговому вікні, що з'явиться на екрані (див. рис. 2.6), виберіть тип передачі, що Ви хочете розрахувати.

##### Вибір типу розрахунків

У системі APM Trans реалізовано два типи розрахунків зубчастої передачі – перевірочний і проектувальний (див. розділ 1.2). Для вибору типу розрахунків використовується команда *Тип | Расчет | Тип Расчета*. *Тип Расчета* є пунктом меню і може приймати одне з трьох значень:

- проектувальний розрахунок;
- перевірочний розрахунок на максимальний момент;
- перевірочний розрахунок на довговічність.

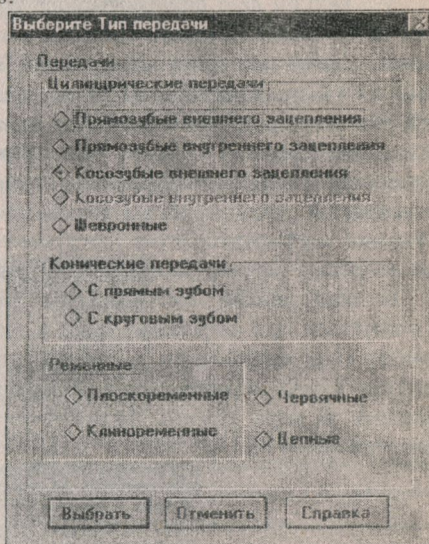


Рис. 2.6 Діалогове вікно вибору типу передачі

### Введення вихідних даних

Для того щоб задати вихідні дані служить команда *Данные* головного меню. У відповідь на цю команду з'являється діалогове вікно для введення даних. Зміст цього вікна залежить від типу передачі і від типу розрахунку (див. рис. 2.7).

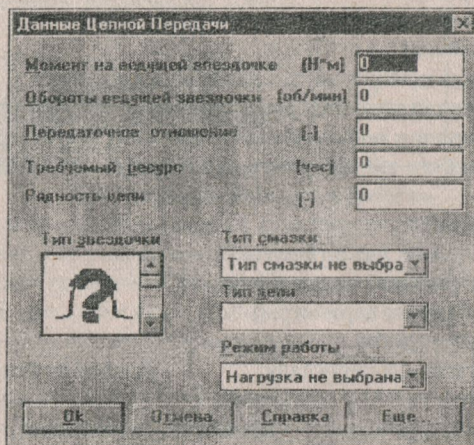


Рис. 2.7 Вікно введення початкових параметрів ланцюгової передачі

Усі вихідні дані поділяються на дві групи: "основні дані", тобто дані без яких неможливий розрахунок передач, і "обмеження". У відповідь на команду *Данные* з'являється вікно для введення "основних" даних. Воно містить кнопку "Еще..." (якщо додаткові данні не містяться в основному вікні). Якщо Ви виберете цю кнопку, на екрані буде відображене діалогове вікно для введення додаткових даних. У цьому вікні Ви можете установити необхідні Вам обмеження. Ознакою встановленого параметра є будь-яке відмінне від нуля значення. Ця угода діє на всі додаткові параметри крім одного випадку – при установці коефіцієнтів зсуву інструмента (які можуть мати нульове значення) Вас попросять підтвердження їхнього значення у випадку рівності їх нулеві.

В обох вікнах діє перевірка параметрів, що вводяться. Перевірка активізується при натисканні кнопки підтвердження введення (кнопка *Ok*). У випадку якщо введені дані лежать у припустимих межах, вікно закриється, і Ви зможете провести обчислення. Якщо ж хоч один із уведених параметрів виходить за межі області припустимих значень, то система видасть вікно з попередженням про некоректність параметра (див. рис. 2.8).

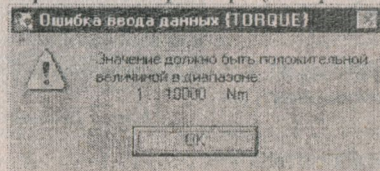


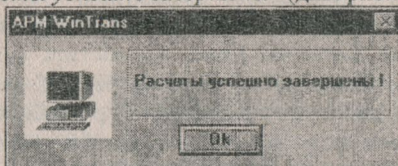
Рис. 2.8 Повідомлення про некоректність параметра

Після того як Ви натиснете в цьому вікні кнопку "Ok" система автоматично установить фокус введення на необхідний параметр. Змінивши некоректне значення, Ви можете знову підтвердити введення.

#### *Виконання розрахунків*

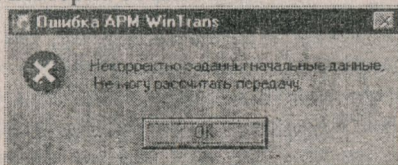
Після того як введені вихідні дані, Ви можете провести обчислення, вибравши команду *Расчет* головного меню.

При успішному завершенні розрахунків на екран виводиться вікно з повідомленням "*Расчеты успешно завершены*" (див. рис. 2.9).



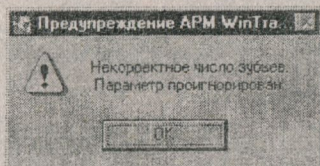
*Рис. 2.9 Вікно повідомлення про закінчення розрахунків*

Якщо система не може розрахувати передачу з зазначеними Вами параметрами, вона виводить повідомлення про помилку (див. рис. 2.10). Змініть значення параметрів і повторіть обчислення.



*Рис. 2.10 Повідомлення про помилку при розрахунку*

У деяких випадках після проведення розрахунків з'являється вікно з попередженням (рис. 2.11). Це означає, що система проігнорувала який-небудь додатковий параметр. Таке можливо або по конструктивних розуміннях (дуже тонке колесо, наприклад), або якщо зазначено занадто багато додаткових параметрів (наприклад, при розрахунку циліндричної прямозубої передачі була одночасно задана міжосьова відстань, модуль і коефіцієнт зсуву інструмента коліс).



*Рис. 2.11 Попередження системи*

Якщо виконувався перевірючий розрахунок, то безпосередньо після завершення обчислень з'являється вікно з результатами розрахунків (значенням максимально припустимого моменту або довговічності передачі) (див. рис. 2.12). При виконанні розрахунку черв'ячної передачі з'являється вікно з вимогами до системи охолодження передачі.

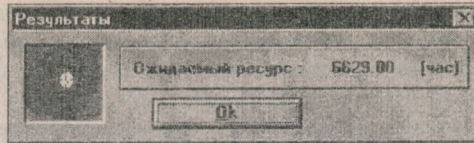


Рис. 2.12 Вікно результатів перевірного розрахунку

Перегляд результатів розрахунків

Після того як був проведений розрахунок, Ви можете переглянути результати обчислення, вибравши команду *Результаты* головного меню. По цій команді з'являється діалогове вікно, що містить кнопки, кожна з яких відповідає за демонстрації окремої групи результатів. Уміст вікна залежить від типу передачі. Приклад діалогового вікна вибору результатів Ви можете бачити на рис. 2.13, де показано вікно вибору результатів розрахунку циліндричної передачі. Для полегшення вибору всіх результатів у вікнах, де груп результатів досить багато, додані кнопки – "Отметить все" і "Отменить все". Одержати довідку за результатами Ви можете, натиснувши кнопку "Справка". Вибравши необхідні Вам результати, натисніть кнопку "Ok". Після натискання цієї кнопки вікно вибору результатів закривається, і Ви попадаєте в ланцюжок показу діалогових вікон з результатами. У кожен момент часу для перегляду доступно тільки одне вікно. Перейти до іншого вікна можна натиснувши кнопку "Продолжить". Ви можете перервати показ результатів, натиснувши в будь-який момент часу кнопку "Прервать". Зазначена схема працює для всіх типів передач, крім пасових передач. Для цих передач по команді *Результаты* виводиться таблиця, що містить результати розрахунків для всіх типів ременів, що знаходяться в базі даних.

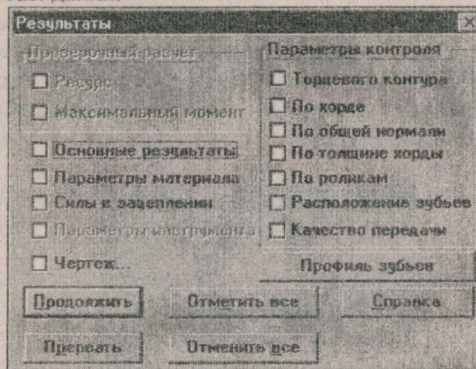


Рис. 2.13 Діалогове вікно вибору результатів для перегляду

Виведення на принтер

Для того щоб одержати результати розрахунків на папері, скористайтеся командою *Файл | Печать*. По цій команді система видасть діалогове вікно для вибору результатів для друку. Воно виконує такої ж функції, як і вікно вибору результатів для перегляду і схоже з вікном, що з'являється у відповідь на команду *Результаты* (див. вище). Головною відмінністю є те, що кнопка

підтвердження вибору має назву "Печать".

*Створення робочого креслення*

Створення робочих креслень елементів передач, що розраховуються, є важливою особливістю системи *APM Trans*. Для створення креслення Вам потрібно проробити наступні дії:

- Вибрати опцію *Чертеж...* в діалоговому вікні вибору результатів (рис. 2.13).

- З появою головного вікна оформлення креслення (рис. 2.14) необхідно ввести параметри, що характеризують креслення і конструкцію елемента передачі.

- Якщо необхідно, виконайте остаточне редагування креслення в будь-якому графічному редакторі і отримайте його на твердому носії (роздрукуйте або виведіть на графобудівник).

*Введення параметрів, що описують креслення*

Головне вікно підсистеми генерації креслень розбито на кілька зон, кожна з яких відповідає за свою групу параметрів (див. рис. 2.14).

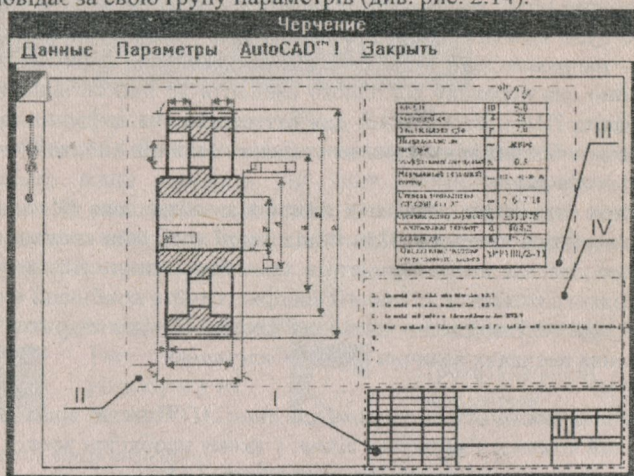


Рис 2.14 Головне вікно підсистеми генерації креслень

Зона I – головний напис креслення.

Зона II – конструктивні параметри елемента передачі (зірочки, колеса, шківів).

Зона III – табличні параметри.

Зона IV – технічні вимоги.

*Введення параметрів конструктивного виконання*

Для введення цих параметрів виберіть зону II головного клацніть лівою клав'яшею миші в межах зони II. При цьому ланцюжок діалогів введення параметрів. Кожне наступне ланцюжку з'явиться тільки в тому випадку, якщо Ви натиснете поточному вікні, підтвердивши тим самим вибір.

В останню чергу вводяться параметри, що описують креслення.

розміри колеса, що не можуть бути строго визначені системою. При проектуванні шківів і зірочок Ви можете зробити несиметричну маточину. Причому якщо Ви раніше вибрали одnobічну маточину, то можете вдвигнути торець маточини до диска. Якщо ж Ви вибрали двосторонню маточину, то Ви можете визначити зсув лівого торця маточини щодо торця шківа або зірочки.

#### *Введення параметрів головного напису*

Для введення параметрів головного напису виберіть зону *I*. По цій команді з'явиться вікно для введення параметрів. Поле введення має вигляд стандартного головного напису креслення. Для доступу до невидимих полів використовуйте смугу прокручування.

#### *Введення табличних параметрів*

За введення параметрів таблиці зачеплення відповідає зона *III* головні вікна підсистеми генератора креслень. У випадку, якщо креслення проєктованої деталі не повинне мати таблиці або ж таблиця не містить нерозрахованих параметрів, те ця зона буде недоступна. При ініціалізації цієї зони система виводить діалогове вікно для введення параметрів таблиці зачеплення. У вікні Вам потрібно буде ввести ті дані, що не можуть бути отримані в результаті розрахунків – напрямок лінії зуба, позначення креслення сполученої деталі і т.п. Як звичайно для переходу від одного елемента до іншого використовуйте комбінації клавіш *TAB* і *SHIFT+TAB*, для підтвердження введення кнопка *Ok*, для закриття вікна без запам'ятовування уведених величин кнопка *Отмена*.

#### *Введення технічних вимог*

За введення параметрів технічних вимог відповідає зона *IV* головні вікна підсистеми генератора креслень. При ініціалізації цієї зони система виводить діалогове вікно для введення параметрів технічних вимог. Як звичайно для переходу від одного елемента до іншого використовуйте комбінації клавіш *TAB* і *SHIFT+TAB*, для підтвердження введення кнопка *Ok*, для закриття вікна без запам'ятовування уведених величин кнопка *Скасування*.

#### *Виклик AutoCAD*

*CAD* система викликається по команді *AutoCAD™* меню вікна підготовки креслень. По цій команді з'являється вікно, у якому необхідно ввести ім'я *DXF* файлу, у якому Ви хочете зберегти креслення (рис. 2.15).

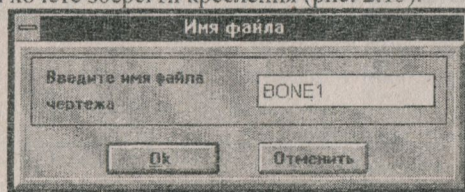


Рис. 2.15. Діалогове вікно введення імені *DXF* файлу

Вводити розширення *DXF* необв'язково. Файл буде збережений у директорії, зазначеної в рядку *DXFFILE* розділу *[PATH]* файлу ініціалізації системи. Натиснувши кнопку *Ok*, Ви ініціюєте створення креслення.

## 5. Елементи інтерфейсу користувача *APM WinTrans*

### Вікно поточної передачі

Вікно поточної передачі розташовано у верхньому лівому куті екрана системи *APM Trans*. У цьому вікні представлений як малюнок поточної передачі, так і її найменування.

### Вікно опцій поточної передачі

Це вікно показує Вам опції поточної передачі у виді піктограм (див. рис. 2.16).

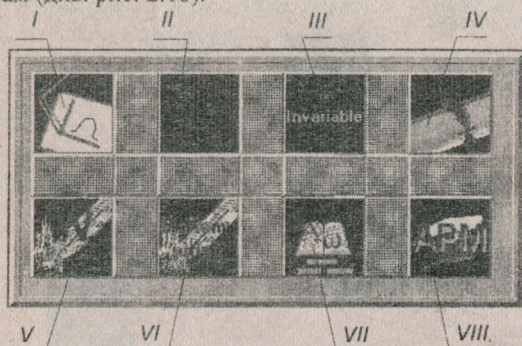


Рис. 2.16 Фрагмент вікна опцій поточної передачі

Зміст цього вікна залежить від типу поточної обраної передачі і розрахунку. Кожна піктограма відповідає за свою опцію для кожного типу передачі. Приведемо опис і вид деяких піктограм кожної позиції:

#### Незалежні від типу передачі

##### Позиція I –

Показує тип проведеного розрахунку і може мати такий вигляд:



Тип розрахунку не обраний



Проектувальний розрахунок

#### Залежні від типу передачі

##### Позиція II –

Циліндрична передача – показує тип розташування ведучого колеса на валові:



Тип розташування не обраний



Консольне розташування



Несиметричне розташування



Симетричне розташування

Кінцева передача – показує тип опори ведучого вала передачі:

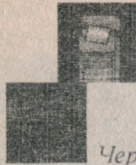


Тип опори не обраний



Шарикопідшипники





Роликопідшипники

*Черв'ячна передача* – тип розташування черв'яка, прийнятий за замовчуванням у системі.

*Пасові передачі* – не використовується.

*Ланцюгові передачі* – тип ланцюга.



Тип ланцюга не обраний



Втулково-роликоролика легкої серії

Позиція III –

*Циліндрична передача, конічна передача, черв'ячна передача* - показує режим роботи передачі:



Режим роботи не обраний



Постійний режим

Особливо легкий режим

*Для пасової і ланцюгової передач* – не використовується.

Позиція IV –

*Для циліндричної і конічної передачі* – показує реверсивність передачі



Реверсивна передача



Нереверсивна передача

*Для черв'ячної, пасової і ланцюгової передачі* – не використовується.

Позиція V –

*Для циліндричної і конічної передачі* – показує тип термообробки ведучого колеса передачі



Термообробка не обрана



Поліпшення

*Черв'ячна передача* – тип матеріалу зубцюватого вінця черв'ячного колеса.



Безолов'яниста бронза



Чавун

*Пасові передачі* – тип механізму натягу ременів.



Тип механізму не обраний



Натяг зсувом валів

*Ланцюгові передачі* – тип змашення ланцюга.



Тип змашення  
не обраний

Періодичне  
змашення



Передача працює  
без змашення

Неперіодичне  
змашення

#### Позиція VI –

Для *циліндричної і конічної передачі* – показує тип термообробки веденого колеса передачі (див. попередню позицію).

*Черв'ячна передача* – матеріал черв'яка (сталь).

*Пасові передачі* – не використовуються.

*Ланцюгові передачі* – тип профілю зубів зірочки.



Профіль не  
обраний

Опукло-  
вгнутий  
профіль



Прямолінійний  
профіль

#### Позиція VII –

*Циліндрична передача* – показує з якого ряду буде братися міжосьову відстань при розрахунку



Нестандартна  
міжосьова  
відстань



Стандартна  
міжосьова  
відстань



*Конічна передача* – показує, що модуль розраховує тільки ортогональні передачі.

Для *черв'ячної, пасової і ланцюгової передачі* – не використовуються.

#### Позиція VIII –

Для всіх типів передач не використовуються.

#### Вікно заданих параметрів

Це вікно показує Вам початкові параметри поточної передачі. Якщо параметр не визначений, то замість його чисельного значення Ви побачите "Ндопр.". Якщо ж параметр Вами не використовуються (Додаткові параметри, наприклад), то Ви побачите – "Нчисп.".

Команда *База Даних | Стандарт* дозволяє Вам установити стандарт, що буде використовуватися при розрахунку. У результаті цієї команди на екран виводиться діалогове вікно *Стандарт* (рис. 2.17).

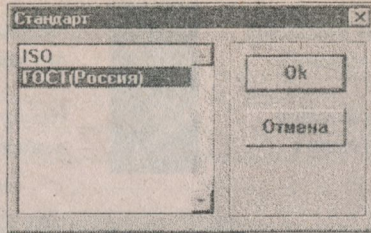


Рис. 2.17 Діалогове вікно *Стандарти*

Команда *База Даних Вихідний контур* дозволяє Вам установити вихідний контур, що буде використовуватися при розрахунку. У результаті цієї команди на екран виводиться діалогове вікно *Вихідний контур*, робота з яким зводиться до простого вибору існуючих у базі даних контурів.

Команда *Результаты* головного меню виводить діалогове вікно *Результаты*. Уміст цього вікна залежить від типу поточної передачі. Використовуючи це вікно Ви можете вибрати групи результатів для наступного показу й ініціювати сам показ результатів.

Кожна група результатів при перегляді розміщається в окремому вікні з схемою для пояснення. У кожному вікні присутні кнопки "*Прервать*" і "*Продолжить*". Кнопка *Прервать* перериває показ результатів і повертає програму в той же стан, який був перед виконанням команди *Результаты*. Кнопка *Продолжить* закриває поточне вікно з результатами і викликає наступне. Якщо поточне вікно є останнім у ланцюжку, то ця кнопка буде недоступна. Приклади типових вікон груп результатів представлені на рис. 2.18 ÷ 2.20:

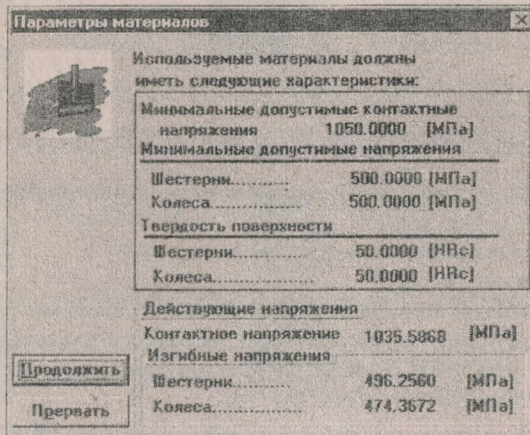


Рис. 2.18 Вікно результатів: *Параметри необхідного матеріалу передачі*

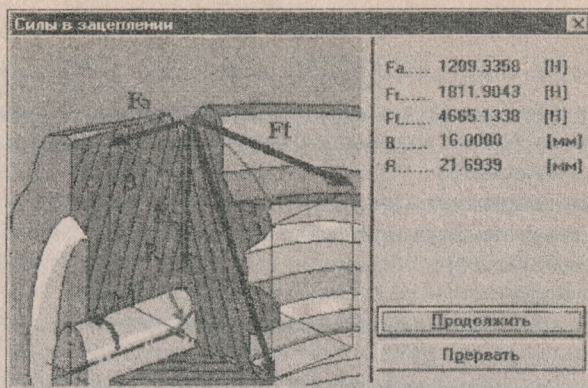


Рис. 2.19 Вікно результатів: Сили в зацепленні



Рис. 2.20 Вікно результатів: Параметри загальної нормалі

По команді *Результаты* при розрахунку пасових передач відразу з'являється вікно зі списком варіантів розрахованих передач (рис. 2.21). Вікно містить у собі три кнопки і вікно таблиці результатів, що перегортається.

Таблиця варіантів – показує варіанти передач, а також передачу обрану для креслення. Обрана передача показана в інвертованому виді.

$\delta$ [мм]	D1 [мм]	D2 [мм]	b [мм]	L [мм]	A <sub>w</sub> [мм]	U [-]	F [Н]
4.0	125.00	250.00	125.0	2093.96	750.00	2.00	900.00
4.5	140.00	280.00	100.0	2345.23	840.00	2.00	810.00
5.0	160.00	320.00	75.0	2680.27	960.00	2.00	675.00
5.0	180.00	360.00	60.0	3015.30	1080.00	2.00	640.00
6.5	200.00	400.00	50.0	3350.33	1200.00	2.00	585.00
7.0	225.00	450.00	40.0	3769.12	1350.00	2.00	504.00
8.0	250.00	500.00	30.0	4187.92	1500.00	2.00	432.00

Рис. 2.21 Приклад діалогового вікна результатів розрахунку клино-пасової передачі

### Розділ III

#### Система розрахунку і проектування валів і осей – *APM WinShaft*

*APM Shaft* є програмою для розрахунку і проектування валів і осей. За допомогою *APM Shaft* можна розрахувати наступні параметри:

- реакції в опорах валів;
- розподіл моментів і кутів згину;
- розподіл моментів і кутів кручення;
- розподіл деформацій;
- розподіл напруг;
- розподіл коефіцієнта запасу втомлювальної міцності;
- розподіл поперечних сил;
- власні частоти і власні форми вала.

#### 1. Задачі, вихідні дані і результати

##### *Призначення і класифікація валів*

Вали й осі служать для установки обертових деталей машин, таких як зубчасті колеса, шків, зірочки і т.п. Вал призначений для підтримки розташованих на ньому деталей і для передачі обертаючого моменту. При роботі вал витримує згин і кручення, а в окремих випадках додатково розтяг і стиск. Вісь призначена тільки для підтримки розташованих на ній деталей. На відміну від валу вісь не передає обертаючого моменту і, отже, не сприймає кручення. Осі можуть бути нерухомими або обертатися разом із приєднаними до них деталями.

##### *Критерії, що використовуються при розрахунку валів*

У процесі роботи вали витримують значні навантаження, тому при визначенні оптимальних геометричних розмірів валів необхідно виконати комплекс розрахунків, що включає в себе визначення:

- статичної міцності;
- втомлювальної міцності;
- жорсткості при вигині і крученні;
- розрахунок динамічних характеристик вала.

При високих швидкостях обертання необхідно визначати частоти власних коливань вала для того, щоб запобігти влученню в резонансні зони.

Довгі вали перевіряють на стійкість.

##### *Розрахунок статичної міцності*

Цей розрахунок є перевіркою. З його допомогою для вала заданої форми обчислюються значення коефіцієнтів запасу. Як правило, форма і геометричні розміри вала визначаються з конструктивних міркувань. Розрахунок повинен підтвердити або спростувати запропоновану конструктором конфігурацію вала з погляду статичної міцності. Зауважимо, що статична міцність не є єдиним критерієм перевірки конструкції вала. Остаточний висновок може бути зроблений тільки в результаті перевірки всіх критеріїв (див. вище).

Якщо в кожному перетині вала напруження однакові за розміром, то такий вал називається *рівномісним*. У силу ряду причин спроектувати рівномісний

вал на практиці неможливо, але чим ближче фактичні напруження до напружень, що мають місце для рівномірного вала, тим краще буде використовуватися матеріал проєктованого вала.

При введених моментах кручення варто стежити за тим, щоб дотримувалася умова рівноваги по крученню. Якщо ця умова не виконується, система проігнорує введені моменти кручення.

Розрахунок статичної міцності містить у собі визначення моментів згину і кручення в обраних перетинах вала, а також розрахунок напружень згину і кручення. Міцність вала оцінюється величиною еквівалентних напружень, розрахованих виходячи з гіпотези максимальних дотичних напружень.

Статична міцність вважається достатньою, якщо коефіцієнт запасу складає 1,3...1,5 і більше. Під коефіцієнтом запасу розуміється відношення межі текучості матеріалу вала до величини еквівалентного напруження в найбільш навантаженій точці. У якості додаткових параметрів обчислюються величини реакцій опор, що необхідні для розрахунку сполучених із валом деталей.

#### *Розрахунок вала на втомлювальну міцність*

Обертання вала приводить до виникнення змінних за часом напружень. У випадку зміни прикладеного до вала зовнішнього навантаження нерівномірність напружень ще більш зростає. Змінний характер напружень приводить до появи втомлювальних тріщин, що можуть стати причиною руйнації. Руйнація починається в найбільш напружених точках вала.

Велику роль у виникненні і розвитку руйнації відіграють місцеві напруження. Ці напруження з'являються в місцях розміщення канавок, галтелей, шліцевих з'єднань, шпонок, різьб і т.п.

Розрахунок втомлювальної міцності робиться виходячи з номінальних напружень згину і кручення, з врахуванням місцевих напружень, що діють у розглянутій точці вала. Вплив місцевих напружень враховується введенням коефіцієнтів концентрації напружень; значення цих коефіцієнтів залежать від типу концентратора.

Результати розрахунку втомлювальної міцності представляються у виді графіка зміни коефіцієнта запасу втомлювальної міцності по довжині вала. Мінімально припустиме значення коефіцієнта запасу не повинно бути менше 2,5.

У модулі передбачений також механізм обліку перемінності зовнішніх силових чинників, при якому перемінний режим навантаження доводиться до еквівалентного постійного режиму.

#### *Розрахунок жорсткості*

У деяких випадках важливим критерієм, що обумовлює придатність запропонованої конструкції вала, є його жорсткість. Нагадаємо, що під жорсткістю розуміється навантаження, що викликає одиничну деформацію (у прийнятій системі одиниць виміру).

Розрахунок жорсткості в модулі *APM Shaft* містить у собі визначення деформацій, що виникають під дією прикладеного навантаження. Для розрахунку деформацій використовується метод інтеграла Мора. Відповідно до характеру навантаження жорсткість вала ділиться на згинаючу і крутильну; в

*APM Shaft* Ви можете розрахувати обидва цих типи. Результати розрахунку виводяться у вигляді графіка зміни жорсткості уздовж осі вала.

У деяких випадках буває необхідно визначити кути повороту поперечних перетинів вала і параметрів кручення, отриманих диференціюванням кривої деформацій; *APM Shaft* дозволяє провести такі розрахунки. Умова жорсткості вважається виконаним, якщо фактичні деформації і кути нахилу розглянутих перетинів не перевищують максимально припустимих значень. Величини припустимих значень залежать від призначення проєктованого устаткування і необхідної точності.

#### *Розрахунок динамічних характеристик вала*

При розрахунку швидкохідних або нежорстких валів виникає задача визначення власних частот згинаючих і крутильних коливань.

*APM Shaft* дозволяє розрахувати як абсолютні значення власних частот, так і їхні власні форми.

У основу визначення власних частот в *APM Shaft* покладений метод початкових параметрів. При розрахунку згинаючих коливань враховується як власна маса вала, так і інерція повороту перетину вала.

При розрахунку враховуються зовнішні маси, до яких відносяться маси й осьові моменти інерції. При розрахунку крутильних коливань передбачається, що моменти інерції описують тіла обертання (для який осьовий момент інерції в два рази менше, ніж полярний).

Модуль *APM Shaft* дозволяє розрахувати вал при різних *граничних умовах і різних типах опор*.

Розглядаються опори наступних видів:

- жорстка безмоментная опора (зсув осі вала і реактивний момент рівні нулю);

- пружна опора (зсув осі вала пропорційно реакції в опорі).

З *параметрів матеріалів* системи використовується:

- щільність матеріалу;
- модуль пружкості;
- коефіцієнт Пуассона.

## **2. Редактор валів**

Редактор валів, що входить до складу модуля *APM Shaft*, являє собою спеціалізований графічний редактор, призначений для:

- завдання геометрії вала;
- завдання навантажень, що діють на вал;
- розміщення опор, на яких установлений вал.

Основна відмінність редактора валів модуля *APM Shaft* від традиційних графічних редакторів є в наборі примітивів (циліндричні і конічні сегменти, фаски, галтели, канавки, отвори, ділянки з різьбою, шпонки і шлицевые з'єднання) з які використовуються при моделюванні конструкції вала.

### **2.1 Компоненти редактора валів**

Основними елементами редактора є інструментальна панель, інформаційна панель, лінійки і робоче поле (вікно редагування).

*Робоче поле* є головним компонентом редактора валів. У ньому відображається вал і виконуються операції по його формуванню і зміні.

*Лінійки*. Редактор містить у собі дві лінійки – вертикальну і горизонтальну. На лінійках показані шкали, що залежать від поточного масштабу зображення і від того яка частина вала показується в даний момент у робочому полі.

*Інформаційна панель* використовується для зображення поточних значень параметрів у процесі моделювання вала. Набір відображуваних параметрів залежить від того з яким елементом Ви працюєте.

*Інструментальна панель* містить кнопки для виклику основних команд редактора.

*Полоси прокручування* дозволяють “переміщати” вал щодо робочого поля редактора.

#### *Масштаб зображення*

Для зміни масштабу зображення використовується команда *Установки Масштаб*. У діалоговому вікні показаному Ви можете ввести потрібний масштаб в полі *Масштаб* або вибрати один із стандартних масштабів (1:2, 1:5, 1:10 і т.д.).

### **3. Загальні принципи роботи з модулем *APM WinShaft***

Рекомендується наступна послідовність моделювання вала:

1. задати циліндричні і конічні ділянки вала;
2. задати перехідні елементи (фаски, галтелі, канавки);
3. задати отвори, ділянки з різьбою, шлицевые і шпоночные з'єднання;
4. ввести прикладені до вала навантаження;
5. розмістити опори;
6. залаги матеріал вала;
7. провести розрахунок;
8. проаналізувати результати та при необхідності внести корекцію у вихідні данні.

#### *Вибір режиму*

Для того, щоб *задати або відредагувати елемент вала, потрібно переключити редактор у режим задання цього елемента*. Для цього потрібно вибрати або відповідну кнопку на інструментальній панелі, або команду в меню. Показником поточного режиму є форма курсору на робочому полі – вона відповідає об'єктам, із якими в даний момент працює редактор.

#### *Задання елементів вала*

Безпосередньо задання елементів вала, введення навантажень і опор у системі *APM Shaft* робиться за допомогою миші. У процесі моделювання курсором миші Ви вказуєте точку або ділянку де потрібно помістити черговий елемент; після цього параметри елемента можуть бути уточнені в діалоговому вікні.

По особливостях завдання примітиви редактора валів можна умовно розділити на дві групи – “крапкові” і “протяжні”.

До “крапкових” елементам відносяться ті, для розміщення котрих потрібно зазначити тільки осьову координату (приклад – зосереджені сили, опори), або



ділянка (наприклад, для розміщення галтелі потрібно зазначити зону контакту циліндрів, для завдання фаски – край циліндра). Для завдання цих елементів потрібно помістити курсор у потрібну точку або в потрібну зону і клацнути лівою кнопкою миші. На екрані з'являється діалогове вікно, у якому вводяться характеристики елементів (наприклад, величина сили або радіус галтелі).

До числа "протяжних" відносяться циліндричні і конічні секції вала, ділянки з різьбою, отвори, шпоночні і шлицеві з'єднання, розподілені сили. При введенні цих примітивів звичайно потрібно задати габарити відповідного елемента, наприклад, початкову і кінцеву точки циліндричної ділянки і його діаметр. Послідовність дій у цьому випадку наступна. Спочатку потрібно помістити курсор у ту точку де починається елемент і натиснути ліву кнопку миші. Потім, утримуючи кнопку, перемістити курсор у ту точку де елемент кінчається і відпустити кнопку. У процесі переміщення курсору при натиснутій кнопці миші на екрані рисується поточна форма (або поточні габарити) елемента, а в інформаційному вікні виводяться поточні значення основних параметрів. Після того, як користувач відпустить кнопку на екрані може з'явитися діалогове вікно для уточнення значень параметрів.

Елементи вала можна також розділити на "первинні" і "вторинні". До первинного відносяться циліндричні і конічні ділянки вала. Всі інші елементи є вторинними – вони можуть бути введені тільки після того як Ви задали первинні елементи і тільки в їхніх межах (тобто, наприклад, Ви не зможете ввести навантаження при відсутності вала або прикласти її за його межами).

#### *Редагування*

Редагування в системі *APM Shaft* дозволяє змінювати параметри елементів вала, а також їхнє видалення. При редагуванні потрібно *прекючити редактор у режим задання елементів того типу, що Ви хочете редагувати*. Потім необхідно зазначити об'єкт який ви хочете видалити або змінити. Для цього потрібно помістити курсор на об'єкт і натиснути *праву* кнопку миші. (Точність вибору об'єкта курсором повинна бути достатньою, щоб програма могла визначити який об'єкт Ви хочете редагувати; не обов'язково поміщати курсор безпосередньо на об'єкт, досить, щоб він був найближчим серед об'єктів даного типу). На екрані з'являється діалогове вікно, що містить параметри об'єкта і кнопку *Удалити*. Користувач може ввести нові значення параметрів або видалити об'єкт.

#### *Елементи конструкції вала*

Використовуючи графічний редактор можна задати наступні елементи вала: циліндричні ділянки, конічні ділянки, фаски, галтелі, канавки, отвори, ділянки з різьбою, шпонки, шлицеві з'єднання

#### *Задання циліндричної секції*

Для задання циліндричної секції потрібно вибрати команду *Рисувати* | *Циліндр* або кнопку "*Циліндр*" в інструментальній панелі.

Задання циліндричної секції може здійснюватися в трьох режимах (рис. 3.1):

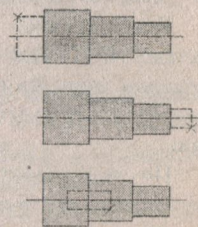


Рис. 3.1

- додавання секції зліва;
- додавання секції справа;
- вставка секції.

Щоб додати нову секцію до лівого кінця вала поставте курсор зліва від лівого кінця вала і натисніть ліву клавішу миші. Далі переміщуючи курсор задайте ширину і радіус секції. Поточні значення цих параметрів відображаються у вікні довідкової інформації. Форма нової секції показується на екрані кольором відмінним від кольору уже введених ділянок вала. Коли Ви відпустите кнопку миші секція буде перемальована нормальним кольором.

Якщо спочатку курсор розмістити на першу секцію (але ближче до її лівого краю) то нова секція буде додана також зліва, при цьому вал як би зрушиться вправо, так що його ліва межа залишиться на колишньому місці.

Таким же способом добавляється нова секція до правого кінця вала – початкове положення курсору повинно бути ближче до правого кінця.

Якщо Ви хочете вставити нову секцію усередину вала, розмістіть курсор на межу тих ділянок, між якими Ви хочете вставити нову секцію, натисніть ліву кнопку миші й утримуючи її задайте розміри нової секції.

#### *Редагування і видалення циліндричних і конічних секцій*

Щоб відредагувати або видалити якийсь з елементів вала потрібно спочатку вибрати його. Для цього ввійдіть у режим задання цього елемента (за допомогою команди меню або піктографічної кнопки) виберіть потрібний елемент підвівши до нього курсор і натиснувши праву кнопку миші. При цьому на екрані з'явиться діалогове вікно. Воно містить поля введення, заповнені поточними значеннями параметрів елемента і клавішу для видалення елемента.

Для редагування циліндричних і конічних ділянок використовується одне і теж діалогове вікно (див. рис. 3.2). У ньому містяться поля в який Ви можете ввести нові значення довжини секції, а також радіусів секції на її лівому і правому краї.

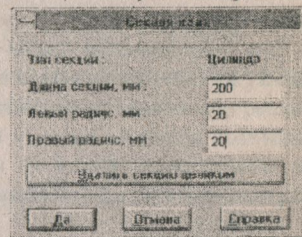


Рис. 3.2 Редагування секції

У такий спосіб за допомогою редагування Ви можете циліндричну ділянку зробити конічною і навпаки.

#### *Задання конічної секції*

Конічна ділянка в редакторі валів може бути задана трьома способами (рис. 3.3):

- а) по початковому і кінцевому радіусах;
- б) по початковому радіусу і значенню конусності;
- в) по початковому радіусу і куту між утворюючим конусом і віссю вала.

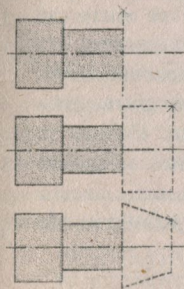


Рис. 3.3

Для вибору способу задання потрібно відкрити спливаюче меню *Задать Конус* і в ньому вибрати одну з команд *По Радіусам*, *По Конусності* або *По Углу*. Якщо

Ви виберете один із двох останніх способів, потрібно ввести значення конусності або кута конуса. Для цього слугує команда *Задать | Конус | Задать Конусность* і *Задать | Конус | Задать Угол*.

#### Галтели

Галтель являє собою перехідний елемент, призначений для зменшення концентрації напруг у зоні контакту двох ділянок вала, що мають різний діаметр (рис. 3.4).

Щоб задати галтель виберіть команду *Задать | Галтель* або піктограму "Галтель" у піктографічному меню. Вставте курсор у ту частину вала де Ви хочете ввести галтель і натисніть ліву клавішу миші. На екрані з'явиться діалогове вікно в якому Ви повинні ввести радіус галтелі.

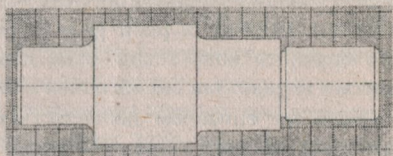


Рис. 3.4 Додавання елементів вала

*Редагування і видалення.* Підведіть курсор до галтелі яку Ви хочете видалити (змінити) і натисніть *праву* клавішу миші. На екран буде виведене діалогове вікно за допомогою якого Ви можете видалити галтель або ввести нове значення її радіуса.

#### Фаски

Фаска являє собою невелику конічну расточку на краю циліндричної ділянки вала (рис. 3.4).

Для моделювання фаски виберіть команду *Задать | Фаска* або кнопку "Фаска" на інструментальній панелі. Підведіть курсор до тому краю сегмента, на якому Ви хочете розмістити фаску і натисніть ліву кнопку миші. На екрані з'являється діалогові вікна, у котрих необхідно зазначити ширину фаски і кут між утворюючої фаски і віссю вала. Введіть потрібні значення або використовуйте ті, що пропонуються по замовченню.

#### Канавки

Програма *APM Shaft* дозволяє задавати канавки трьох типів. Щоб задати канавку виберіть команду *Рисовать | Канавка* або відповідна піктограма. Далі

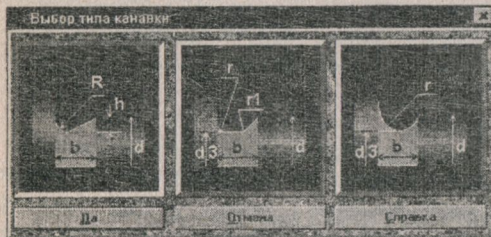


Рис. 3.5 Вибір типу канавки

Далі помістите курсор у те місце де Ви хочете помістити канавку. На екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 3.5) яке дозволить Вам вибрати тип канавки. Слідом за ним буде показане наступне вікно, у якому Ви можете ввести параметри канавки. По умовчання використовуються стандартні значення, що залежать від діаметра вала.

#### Шпонки

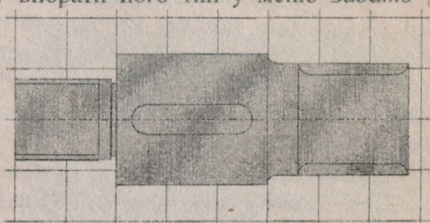
Шпоночні з'єднання використовуються для передачі обертаючого моменту між валом і укріпленої на ньому деталлю, наприклад ступицею зубчастого

колеса. У редакторі *APM Shaft* Ви можете моделювати шпонки чотирьох типів – закруглені вліво і вправо, закруглені по обидва боки, а також прямокутні.

Для моделювання шпонки спочатку виберіть потрібний вам тип у меню *Задать | Шпонка*. Потім розмістіть курсор у точку, що відповідає лівій або правій межі шпонки і натисніть ліву кнопку миші. Утримуючи кнопку перемістіть курсор у точку відповідній іншій межі шпонки з'єднання (при цьому на екрані буде зображений габаритний прямокутний шпонки) і відпустіть кнопку. На екрані з'явиться діалогове вікно, у якому користувач може уточнити параметри шпонки. Варто мати на увазі, що шпонка, закруглена вліво завжди починається на правій межі сегмента, а шпонка закруглена вправо – на лівій.

#### *Шліцеві з'єднання*

Шліцеві з'єднання, як і шпоночні використовуються для передачі обертаючого моменту між валом і насадженою на нього деталлю. При введенні шліцевого з'єднання потрібно спочатку вибрати його тип у меню *Задать | Шлицевое соединение* – евольвентний, прямобочний або трикутний. Потім поставте курсор у точку, що відповідає лівій або правій межі шліцевого з'єднання і натисніть ліву кнопку миші. Утримуючи кнопку переміщуйте курсор у точку, що відповідає іншій межі шліцевого з'єднання (при цьому на екрані буде зображений габаритний прямокутний з'єднання) і відпустіть кнопку. На екрані з'явиться діалогове вікно в якому Ви можете уточнити параметри з'єднання.



*Рис. 3.6 Елементи з'єднання*

#### *Ділянки з різьбою*

Ділянки з різьбою (рис. 3.6) задаються також як і шліцеві з'єднання – вказується одна межа, потім інша, остаточно параметри уточнюються в діалоговому вікні.

#### *Осьові і перпендикулярні отвори*

Редактор *Shaft* дозволяє задавати осьові отвори. Користувач може задати два отвори, що починаються, відповідно, на лівій і правій торцевій поверхні вала. Отвори можуть мати східчасту форму. Отвори моделюються і редагуються так само як циліндричні ділянки вала. *APM Shaft* дозволяє також задати перпендикулярні отвори.

#### *Поверхнева обробка вала*

Редактор *Shaft* дозволяє врахувати тип обробки поверхні вала. Користувач може задати ділянки вала з наступними видами обробки: загартування, азотування, цементация, цианітування, обкатування роликом, обдування дробиною. Ділянки обробки задаються і редагуються так само як і ділянки з різьбою і циліндричні ділянки вала.

#### *Задання навантажень, що діють на вал*

За допомогою редактора *Shaft* можна задати радіальні й осьові зосереджені сили, розподілені сили, а також моменти згину і кручення.

### Радіальні сили

Радіальні сили спрямовані перпендикулярно осі вала. Щоб увести радіальну силу помістите курсор у ту точку, де ця сила повинна бути прикладена і клацніть лівою кнопкою миші. На екрані з'явиться діалогове вікно для введення параметрів сили (рис. 3.7). Радіальна сила характеризується осью координатою (відстанню від початку вала), напрямком і величиною. Ви можете задати силу двома способами. У першому випадку Ви ввести модуль сили і кут який складає напрямком лінії дії сили з вертикаллю; ці параметри вводяться в полях *Модуль* і *Угол*. В другому випадку Ви задаєте горизонтальну і вертикальну проекцію сили в полях *Радіальная* і *Осевая*. Переключення між способами завдання сили робиться за допомогою радіо-кнопок *Модуль* і *Проекции*. Користувач може задати ідентифікатор сили який складається з назви й індексу, що вводяться у відповідних полях.

### Осьові сили

Щоб задати осьову силу потрібно клацнути лівою кнопкою миші в точці прикладання сили. На екрані з'являється діалогове вікно, у котрому необхідно ввести величину сили.

### Розподілені сили

Розподілена сила характеризується ділянкою, на якому вона діє, а також значеннями питомої сили на лівій і правій межі (проміжні значення утворюються лінійною інтерполяцією). Для завдання розподіленої сили потрібно помістити курсор на одну з меж зони дії сили (байдуже, ліву або праву), натиснути ліву кнопку миші й утримуючи її перемістити курсор у точку, що відповідає іншій межі зони. Після того, як Ви відпустите кнопку, на екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 3.8), у якому Ви можете уточнити межі зони дії розподіленої сили і ввести значення питомої сили, що діють на лівій і правій межі.

### Моменти згину

Момент згину задається також як радіальна сила. Після натискання на ліву кнопку миші в точці задання моменту, на екрані з'являється діалогове вікно, що дозволяє задати момент згину.

### Моменти кручення

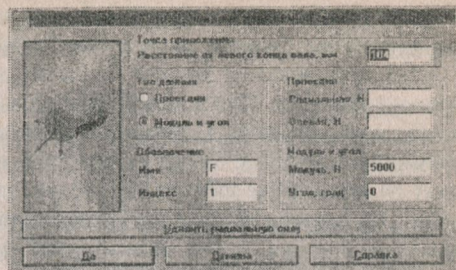


Рис. 3.7 Редагування радіальної сили

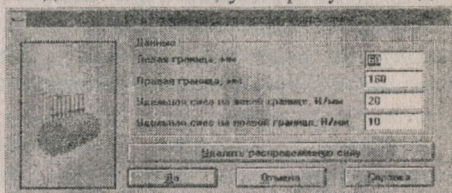


Рис. 3.8 Редагування розподіленої сили

Момент кручення характеризується величиною і координатою точки прикладання. Щоб задати його потрібно помістити курсор у точку прикладання моменту і клацнути лівою кнопкою миші. У діалоговому вікні, що з'явилося (рис. 3.9), необхідно ввести координату точки прикладання та величину моменту.

#### Опори

Для розміщення опори виберіть команду *Задать | Опора* яка переключає редактор у режим моделювання опор. Потім клацніть мишею в тій точці, де повинна бути встановлена опора, проконтролюйте значення осьової координати в інформаційній панелі. На екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 3.10), у якому Ви можете вибрати тип опори й уточнити її параметри.

#### Характеристики матеріалів

Для розрахунку вала необхідно задати характеристики матеріалу з якого він виготовлений. До числа цих характеристик відносяться межа міцності, модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона. Користувач може задати значення цих параметрів одним із двох способів:

вибрати з бази даних, що входить до складу системи *APM WinMachine* (команда *Материал | База Данных*);

ввести в діалоговому вікні (команда *Материал | Параметры*).

#### Видалення вала

Для видалення вала виберіть команду *Задать | Удалить вал*. На екрані з'явиться вікно з запитом на підтвердження видалення; виберіть кнопку *OK*.

### 4. Команди *APM WinShaft*

На рис. 3.12 приведений опис усіх команд головного і спливаючого меню системи *APM Shaft*, а також усіх команд і опцій діалогових вікон, наявних у системі.

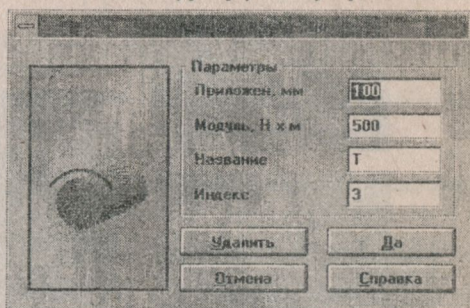


Рис. 3.9 Момент кручення

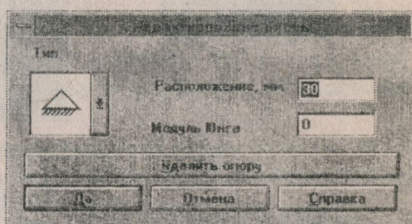


Рис. 3.10 Редагування опор вала

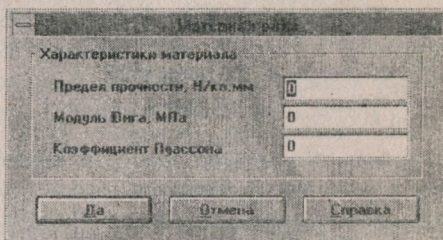


Рис. 3.11 Вибір характеристик матеріалу вала

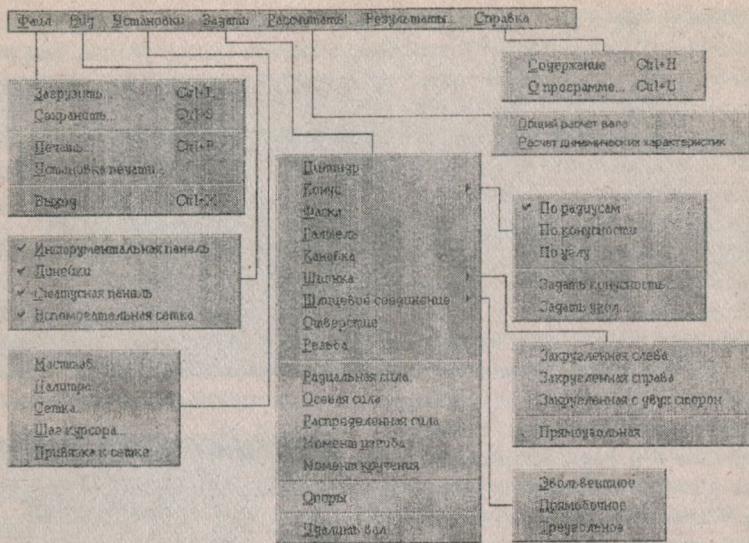


Рис. 3.12 Структура меню системы APM Shaft

### Меню Файл

Спливаюче меню *Файл* містить команди для створення і завантаження архівних файлів, а також друку вихідних даних і результатів розрахунків.

Команда *Загрузить*

Команда *Файл | Загрузить* дозволяє завантажити раніше створений архівний файл. У відповідь на цю команду на екрані з'являється стандартне діалогове вікно для вибору файла, що використовується в *Microsoft Windows*. У цьому вікні потрібно зазначити архівний файл, що Ви хочете завантажити.

Команда *Сохранение*

За допомогою команди *Файл | Сохранить* Ви можете створити архівний файл у який будуть збережені вихідні дані і результати розрахунків. Пізніше Ви можете завантажити цей файл і продовжити роботу з тим об'єктом який у ньому зберігається. При виборі команди з'являється діалогове вікно у якому Ви повинні ввести ім'я архівного файла.

Команда *Печать*

За допомогою команди *Файл | Печать* користувач може роздрукувати зображення вала який відображається в робочому полі редактора.

Команда *Установки печати*

Команда *Файл | Установка Печати* дозволяє вибрати тип принтера, спосіб його підключення до комп'ютера, режими друку. У відповідь на цю команду

Загрузить...	Ctrl+L
Сохранить...	Ctrl+S
Печать...	Ctrl+P
Установка печати...	
Выход	Ctrl+X

Рис. 3.13 Спливаюче меню Файл

визиваються діалогові вікна настроювання друку, параметри якого залежать від принтера, яким Ви користуєтесь.

Команда *Выход*

Команда *Файл | Выход* призначена для виходу з програми.

### Меню Вид

Спливаючий меню *Вид* містить команди, що управляють видимістю окремих об'єктів системи й елементів вала.

Команда *Инструментальная панель*

Команда *Вид | Инструментальная Панель* дозволяє видалити з екрана інструментальну панель (вікно з кнопками прискореного вибору команд). Ця ж команда дозволяє повернути інструментальну панель на екран.

Команда *Линейки*

Команда *Вид | Линейки* видаляє з екрана і повертає на екран допоміжні лінійки.

Команда *Статусная панель*

Команда *Вид | Статусная панель* управляє видимістю статусної панелі. Коли статусна панель видима, що відповідає команда в меню *Вид* позначена галочкою.

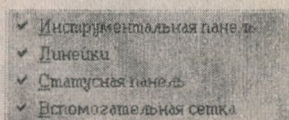


Рис. 3.14 Спливаюче меню Вид

### Меню Установки

Команди спливаючої меню *Установки* дозволяють змінювати такі параметри системи, як масштаб зображення, використувана палітра, наявність і тип допоміжної сітки, крок курсору, прив'язка зображення до сітки.

Команда *Масштаб*

Команда *Установки | Масштаб* виводить на екран діалогове вікно для установки масштабу зображення вала. Це вікно містить поле введення *Масштаб*, у якому Ви можете задати той масштаб, що Вам зручний, а також декілька кнопок, що встановлюють найбільш поширені значення масштабу (1:2, 1:5, 1:10 і т.п.).

Команда *Палитра*

Команда *Установки | Палитра* викликає діалогове вікно, за допомогою якого Ви можете вибрати палітру, використувану для моделювання вала. Палітра являє собою набір кольорів, застосовуваних для моделювання окремих елементів вала, а також компонентів редактора валів.

Команда *Сетка*

Команда *Установки | Сетка* виводить діалогове вікно для установки параметрів допоміжної сітки. У цьому діалоговому вікні користувач може ввести крок сітки по горизонталі і вертикалі, а також вибрати тип ліній сітки (штрихова, пунктирна, штрих-пунктирна). Можна також вибрати режим у якому сітка не буде відображатися.

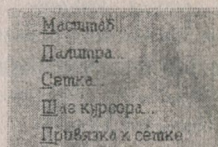


Рис. 3.15 Спливаюче меню



Команда *Шаг курсора*

Команда *Установки | Шаг Курсора* викликає діалогове вікно за допомогою якого можна змінити точність завдання координат і розмірів за допомогою миші.

### Меню *Задать*

Спливаюче меню *Задать* містить команди, що управляють роботою редактора валів. Кожна з цих команд переключає редактор у режим уведення/редагування відповідних елементів вала, навантаження або опор.

Команда *Цилиндр*

Команда *Задать | Цилиндр* переводить редактор валів у режим малювання циліндричних сегментів вала.

Меню *Конус*

Команда *Задать | Конус* викликає спливаюче меню *Конус*.

Команда *По радиусах*

Команда *Задать | Конус | По радиусам* переводить редактор валів у режим малювання конічних ділянок вала по початковому і кінцевому радіусах.

Команда *По конусности*

Команда *Задать | Конус | По конусности* переводить редактор валів у режим малювання конічних ділянок вала по поточному значенню конусности. Для установки конусности використовується команда *Задать | Конус | Задать конусность*.

Команда *По углу*

Команда *Задать | Конус | По углу* переводить редактор валів у режим малювання конічних ділянок вала по поточному значенню кута конуса (тобто кута між утворюючого конуса і віссю вала). Для установки кута конуса використовується команда *Задать | Конус | Задать угол*.

Команда *Задать конусность...*

Команда *Задать | Конус | Задать Конусность...* викликає на екран діалогове вікно для введення поточного значення конусности. Це значення використовується при малюванні конічних ділянок по заданій величині конусности.

Команда *Задать угол...*

Команда *Задать | Конус | Задать угол...* виводить на екран діалогове вікно для введення поточного значення кута конуса. Це значення використовується при малюванні конічних ділянок по заданому куті.

Команда *Фаска*

Команда *Задать | Фаска* переводить редактор валів у режим завдання фасок.

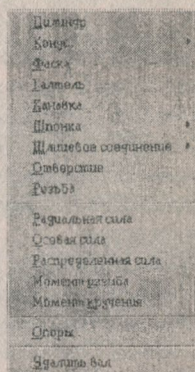


Рис. 3.16 Меню *Задать*

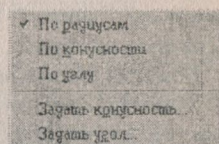


Рис. 3.17 Меню *Конус*

Команда *Галтель*

Команда *Задать* | *Галтель* переводить редактор валів у режим завдання галтелей.

Команда *Канавка*

Команда *Задать* | *Канавка* переводить редактор валів у режим задання канавок.

### Меню *Шпонка*

Команда *Задать* | *Шпонка* викликає спливаюча меню *Шпонка* (див. рис. 3.18).

Команда *Закругленная слева*

Команда *Задать* | *Шпонка* | *Закругленная слева* переключает редактор валів у режим малювання шпонок, що починаються на правому краю сегмента і мають заокруглення зліва.

Команда *Закругленная справа*

Команда *Задать* | *Шпонка* | *Закругленная справа* переключает редактор валів у режим малювання шпонок, що починаються на лівому краю сегмента і які мають заокруглення справа.

Команда *Закругленная с двух сторон*

Команда *Задать* | *Шпонка* | *Закругленная с двух сторон* переключает редактор валів у режим малювання шпонок, що мають заокруглення на обох краях.

Команда *Прямоугольная*

Команда *Задать* | *Шпонка* | *Прямоугольная* переключает редактор валів у режим малювання прямокутних шпонок.

### Меню *Шлицевое соединение*

Команда *Задать* | *Шлицевое соединение* викликає спливаюче меню *Шлицевое соединение* (див. рис. 3.19).

Команда *Эвольвентное*

Команда *Задать* | *Шлицевое соединение* | *Эвольвентное* переводить редактор валів у режим моделювання евольвентних шліцевих з'єднань.

Команда *Прямобочное*

Команда *Задать* | *Шлицевое соединение* | *Прямобочное* переключает редактор валів у режим моделювання прямобочних шліцевих з'єднань.

Команда *Треугольное*

Команда *Задать* | *Шлицевое соединение* | *Треугольное* переключает редактор валів у режим моделювання трикутних шліцевих з'єднань.

Команда *Резьба*

Команда *Задать* | *Резьба* переводить редактор валів у режим задання ділянок із різьбою.

Команда *Отверстие*

Команда *Задать* | *Отверстие* переводить редактор валів у режим моделювання осевих отворів.

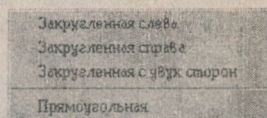


Рис. 3.18 Меню *Шпонка*

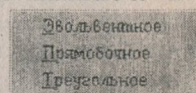


Рис. 3.19 Меню *Шлицевое соединение*

По команді *Общий расчет вала* виконуються розрахунки вала на статичну й втомлювальну міцність. Перед розрахунком на екран виводиться діалог ресурсу роботи вала (рис. 3.23).

Команда *Расчет динамических характеристик*

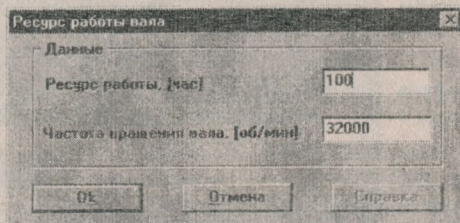


Рис. 3.23 Діалог ресурсу роботи вала

По команді *Расчет динамических характеристик* виконуються розрахунки динамічних характеристик вала.

Команда *Результаты*

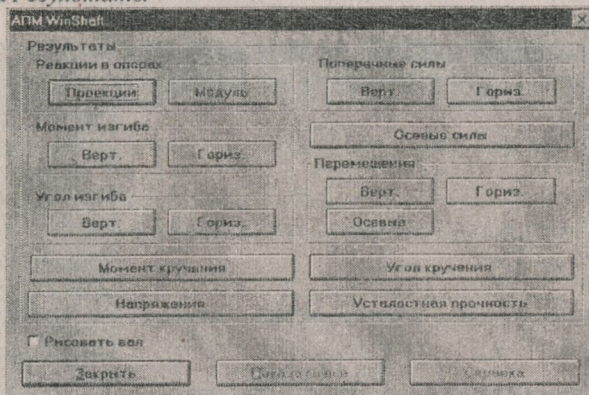


Рис. 3.24 Діалогове вікно Графіки

Команда *Результаты* викликає на екран діалогове вікно (рис. 3.24), за допомогою якого Ви можете переглянути результати розрахунків. Кожна кнопка цього вікна виводить на екран значення відповідного параметра, подані у вигляді графіка (рис. 3.25) або таблиці. Якщо в діалозі включити перемикач *Рисовать вал*, то на графіках розрахункових параметрів буде показано сам вал.

#### Меню Справка

Спливаюче меню *Справка* містить команду *Содержание*, що викликає систему підказки і вікно *О программе*, у якому містяться назва і версія програми, а також відомості про розробника і власника ліцензії на програму.

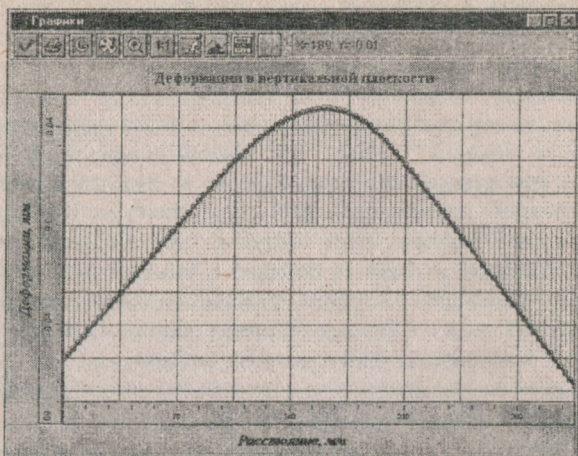


Рис. 3.25 Графік деформацій у вертикальній площині

## Розділ IV

### APM WinJoint – задачі і можливості

Система *APM Joint* призначена для розрахунку і проектування з'єднань елементів машин. З її допомогою можна виконати весь комплекс розрахунків необхідних при проектуванні цих об'єктів використовуваних у машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві. Розрахунки реалізовані у формі перевірного і проектувального. Під проектувальним розрахунком розуміється комплекс обчислень по визначенню основних геометричних розмірів з'єднання, а при перевірочному розрахунку визначаються значення коефіцієнтів запасу. При цьому критерієм розрахунку нарізних сполучень є умова відсутність зрушення і розкриття сполучених поверхонь, а також статична й втомлювана міцність елементів з'єднання; зварні шви розраховуються з умови статичної й втомлюваної міцності; заклепкові з'єднання розраховуються з умови міцності при постійному навантаженні.

Критерієм розрахунку з'єднань деталей обертання може бути (у залежності від типу) умова відсутності зрушення або розкриття сполучених поверхонь, або статична й втомлювана міцності елементів з'єднання, а також сукупність обох критеріїв.

#### 1. Вихідні дані і результати

Вихідними даними для розрахунку з'єднань є геометрія з'єднання, зовнішні навантаження, а також ряд інших параметрів, що характеризують обрані матеріали, коефіцієнти запасу і т.д. Список цих констант приведений нижче:

- коефіцієнт запасу по зминанню 1,1...1,4;
- коефіцієнт запасу по зрушенню 1,1...1,4;

коефіцієнт основного навантаження 0,2...0,3;

границя текучості;

коефіцієнт тертя;

межа міцності.

Це повний список постійних параметрів, з якого формуються параметри для кожного з обраних типів. При виборі ряду коефіцієнтів можна користуватися рекомендаціями зазначеними в дужках. Рекомендації для коефіцієнта основного навантаження дані для контакту металевих поверхонь.

Система дозволяє розрахувати наступні типи з'єднань: групові нарізні сполучення, поставлені в отвір із зазором і без, встановлені в довільному порядку і призначені для з'єднання довільних поверхонь. При цьому як елементи кріплення можуть бути розраховані болти, гвинти і шпильки, що працюють при довільному зовнішньому навантаженні.

Зварні з'єднання, при довільному зовнішньому навантаженні і довільному розміщенні зварених швів нижченаведених типів:

стикові; таврові;

внапуск, а також з'єднання, виконані точковим зварюванням;

заклепкові з'єднання довільного розміщення і при довільному плоскому навантаженні.

З'єднання деталей обертання, конструктивно виконані як:

з'єднання з натягом циліндричної або конічної форми;

шліцеві і шпонкові з'єднання різних типів;

штифтові з'єднання радіальні й осьові;

з'єднання конічними кільцями;

клемові з'єднання різного конструктивного виконання;

профільні з'єднання.

Для всіх типів з'єднань обчислюються наступні геометричні параметри:

1. Площа (крім точкового зварювання).

Під площею для різьбових, заклепкових і стикових зварних з'єднань розуміється площа поверхні стику, а для таврових і зварних внапуск площа шва.

2. Координати центра мас.

3. Осьові моменти інерції, щодо двох взаємно перпендикулярних осей (X і Y).

4. Кут нахилу головних центральних осей.

Далі розраховуються параметри характерні для даного типу з'єднання і типу розрахунку. Нижче приводяться розрахункові параметри по типах.

*Групові нарізні сполучення*

Групові нарізні сполучення з гвинтами встановленими без зазору.

Для цієї групи з'єднань розраховуються:

• Діаметр болта – діаметр стрижня болта.

• Максимальне навантаження, що діє, на болт – навантаження, прикладене в площині стику, що діє на найбільш навантажений болт.

- Мінімальна товщина пластини – найменша товщина пластини, при якій фактичні напруги змінання рівні допустимим.
- При перевірочному розрахунку додається коефіцієнт запасу:
- Коефіцієнт запасу міцності по зрушенню – відношення напруги зрушення, що допускається, матеріалу болта до фактично діючої напруги найбільш навантаженого болта.

В обох випадках тиск в стикі виводиться у виді карти розподілу по поверхні стикі.

#### *Заклепкові з'єднання*

Діаметр заклепки – діаметр стрижня заклепки без внутрішнього отвору. Якщо заклепка має внутрішній отвір, то розрахунок необхідних діаметрів варто вести з умови рівності площ поперечних перерізів.

Максимальне навантаження, що зрушує, на заклепку – навантаження, прикладене в площині стикі, що діє на найбільш навантаженому заклепці.

Мінімальна товщина пластини – найменша товщина пластини, при якій фактичні напруги змінання рівні допустимим.

При перевірочному розрахунку додається коефіцієнт запасу:

Коефіцієнт запасу міцності по зрушенню – відношення напруги зрушення, що допускається, матеріалу заклепки до фактично діючої напруги найбільш навантаженої заклепки.

#### *Таврові і з'єднання з напуском*

Максимальна еквівалентна напруга – напруга, що діє в найбільш навантаженому місці зварного шва. Під еквівалентною напругою розуміється напруга розтягання, що викликає таке ж руйнування, що і сукупність нормальних і дотичних напружень.

Катет зварного шва – геометрична характеристика поперечного переріза шва, контур якого нагадує рівнобедрений прямокутний трикутник. Величина катета дозволяє визначити відповідний діаметр електрода.

При перевірочному розрахунку додаються коефіцієнти запасу:

Коефіцієнт запасу міцності – відношення напруги матеріалу, допустимої, зварного шва до фактично діючої еквівалентної напруги в найбільш навантаженому місці.

Коефіцієнт запасу витривалості – відношення припустимого числа циклів навантаження до фактично діючого числа циклів.

Напруги в зварному шві виводяться у вигляді карти напруг.

#### *Стикове зварювання*

Максимальна еквівалентна напруга – напруга, що діє в найбільш навантаженому місці стикі. Під еквівалентною напругою розуміється напруга розтягання, що викликає таке ж руйнування, що і сукупність нормальних і дотичних напружень.

Коефіцієнт запасу міцності – відношення напруги матеріалу, що допускається, стикі до фактично діючої еквівалентної напруги в найбільш навантаженому місці.

Коефіцієнт запасу плинності – відношення границі текучості матеріалу стику до фактично діючої еквівалентної напруги в найбільш навантаженому місці.

При перевірочному розрахунку додається коефіцієнт запасу:

Коефіцієнт запасу витривалості – відношення припустимого числа циклів навантаження до фактично діючого числа циклів.

Напруги в стику виводяться у виді карти напруг.

*З'єднання деталей обертання:*

*Шпонкові з'єднання*

Усі геометричні параметри шпонки.

Напруги, що допускаються, для обраних матеріалів з'єднання.

Діючі напруги в з'єднанні.

Шпонка вибирається з бази даних у залежності від поточного стандарту.

*З'єднання циліндричних деталей з натягом*

Мінімальний необхідний натяг з умови не розкриття/зрушення стику.

Максимальний натяг з умови контактної міцності деталей з'єднання.

Набір посадок обраних з бази даних.

*З'єднання конічних деталей з натягом*

Необхідна сила затягування.

Переміщення втулки при затягуванні.

Коефіцієнт запасу по плинності втулки.

*З'єднання конічними кільцями*

Необхідна сила затягування.

Переміщення втулки при затягуванні.

Коефіцієнт запасу по плинності втулки.

Коефіцієнт запасу по плинності вала.

*Штифтові з'єднання*

Діаметр штифтів.

Напруги, що допускаються, для обраних матеріалів з'єднання.

Діючі напруги в з'єднанні.

*Клемові з'єднання*

Діаметр гвинтів.

Напруги, що допускаються, для обраного матеріалу гвинта.

Діючі напруги в з'єднанні.

*Шліцеві з'єднання*

Набір обраних з бази даних з'єднань.

## 2. Методи і критерії розрахунку

*Нарізні сполучення*

Критерій розрахунку групових нарізних сполучень залежить від способу установки гвинтів і від виду зовнішнього навантаження прикладеного до них. У залежності від цього розрахунки бувають на нерозкриття стику і несумісність деталей у контакті. Зовнішні навантаження, що діють на плоский стик, приводяться до головного вектора і до головного моменту, прикладеного до центра мас. Розрахункові параметри нарізних сполучень визначаються на підставі принципу суперпозиції. Гвинти розраховуються на статичну й

втомлювану міцність при розтяганні. Розрахунок втомлюваної міцності виконується тільки у випадку перемінного зовнішнього навантаження. При перевірочному розрахунку визначаються значення коефіцієнтів запасу. У випадку установки гвинтів без зазору критерієм їхнього розрахунку є міцність на зріз і на змінання гвинтів. Навантаження на гвинти отримані за результатами розрахунку представляються у виді карт навантаження на гвинти, а тиск у контакті представляється у виді карти питомих тисків. З аналізу карти тисків можна визначити імовірність руйнування поверхні в контакті. Карти навантажень на гвинти дають представлення про ефективність їхнього використання.

#### *Заклепкові з'єднання*

Розраховуються на зріз і змінання за умови навантажень з'єднань навантаженнями діючими в площині стику. Навантаження, що зрушують, на заклепки представляються у виді карти навантажень.

#### *Зварні з'єднання*

Статична міцність зварних з'єднань виконаних стиковим швом розраховується методом кінцевих елементів, у якому крім номінальних напруг визначаються і місцеві в місцях їхньої концентрації, що використовується при виконанні перевірочного розрахунку на витривалість. Перевірочний розрахунок у цьому випадку зводиться до визначення коефіцієнта запасу статичної й втомлюваної міцності.

Проектувальний розрахунок куткових швів виконується методом полярного й осьового моментів інерції і зводиться до визначення розміру катета зварного шва. Розрахунок міцності виконується по еквівалентних напругах, отриманим на підставі енергетичної теорії міцності. При проектувальному розрахунку напружено деформований стан зварних швів визначається методом кінцевих елементів і зводиться до розрахунку коефіцієнтів запасу статичної й втомлюваної міцності.

Крім того, для всебічного аналізу напружений стан представляється у вигляді карт еквівалентних напруг у кольоровому виконанні, за допомогою яких можна визначити мало напружені ділянки зварного шва і, у разі потреби, відредагувати конфігурацію з метою одержання рівномірних конфігурацій.

#### *З'єднання деталей обертання*

Методи розрахунку з'єднань цього типу широко описані в літературі й у даному конспекті описуються коротко.

Для з'єднань з натягом використовується рішення задачі Ламі.

Для інших з'єднань використовується рівність зовнішнього навантаження і внутрішніх силових факторів.

Критерій для розрахунку з'єднань деталей обертання залежить від типу з'єднання і може бути одним з:

- коефіцієнт запасу по нерозкриттю стику або коефіцієнт запасу по зрушенню;
- коефіцієнт запасу по статичній і втомлюваної міцності елементів з'єднання.



### 3. Редактор з'єднань та його компоненти

Редактор з'єднань, що входить до складу системи *APM Joint*, являє собою спеціалізований графічний редактор.

Зовнішній вигляд редактора показаний на рис. 4.1. Його основними елементами є інструментальна панель 1, інформаційна панель 2, лінійки 3 і робоче поле (вікно редагування) 4.

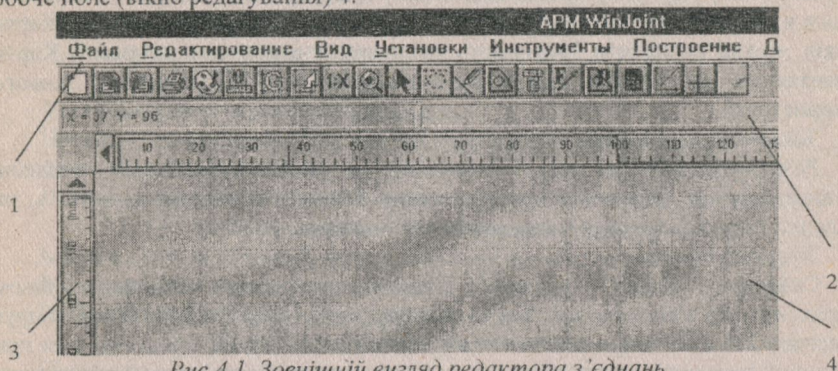


Рис 4.1 Зовнішній вигляд редактора з'єднань

#### Збільшення розмірів робочого поля

Для видалення елементів використовуються команди *Лінійки*, *Інструментальна панель*, *Вікно статусу* спливаюче меню *Вид*. У будь-який момент часу кожний з цих елементів можна знову повернути на екран.

#### Масштаб зображення

Для зміни масштабу зображення служить команда *Установки | Масштаб*. У діалоговому вікні Ви можете ввести потрібний масштаб у полі *Масштаб* або вибрати один зі стандартних масштабів (1:2, 1:5, 1:10 і т.д.).

#### Допоміжна сітка

Для кращого візуального контролю при малюванні геометрії з'єднання в поле редактора може виводитися допоміжна прямокутна сітка. За допомогою команди *Установки | Сітка* користувач може вибрати крок сітки і тип ліній сітки.

### 4. Загальні принципи роботи з редактором

#### Типи елементів

Усі геометричні об'єкти (лінія, відрізок, коло, дуга, точка), що малюються за допомогою редактора *APM Joint*, поділяються на *основні* і *допоміжні*.

Для задання основних і допоміжних елементів використовуються різні команди: для основних елементів команди спливаючого меню *Построение*, для допоміжних – команди меню *Инструменты*. Основні і допоміжні елементи розрізняються і зовні – перші зображуються суцільними лініями, другі – пунктирними.

#### Вибір режиму

Для того щоб намалювати з'єднання потрібно задати його конструктивні елементи; для проведення розрахунків, потрібно також увести навантаження.

Щоб намалювати або відредагувати будь який елемент, потрібно переключити редактор у режим малювання цього елемента. Для цього потрібно вибрати або відповідну кнопку на інструментальній панелі, або команду в меню.

#### Малювання

Малювання елемента (примітива) зводиться до задання точок, що визначають його розміри і положення на площині, причому ці точки і порядок їхнього введення залежать від того яким чином малюється об'єкт. Так, наприклад, якщо ви будете коло за центром і радіусом, то спочатку потрібно задати центр кола як точку, а потім установити необхідний радіус. Щоб задати точку потрібно підвести до неї курсор і натиснути *ліву* кнопку миші. У процесі переміщення курсору при малюванні примітива на екрані малюється поточна форма (або поточні габарити) елемента, а у вікні статусу виводяться поточні значення основних параметрів. Натискання *правої* кнопки миші в більшості випадків приводить до скасування попередньої команди.

#### Редагування

Редагування в системі *APM Joint* містить у собі зміну параметрів елементів з'єднання, а також їхнє видалення. Щоб перейти в режим редагування елементів потрібно вибрати команду *Редактирование* | *Redacting* або натиснути відповідну кнопку. Редагування здійснюється в кілька етапів і залежить від способу побудови елемента і його зв'язку з іншими елементами:

1. Вибір елемента, що редагується;
2. Вибір параметра, що редагується;
3. Установка необхідних розмірів;
4. Підтвердження встановлених розмірів.

#### Поверхня стику і контури

Для розрахунку різьбових, заклепкових, а також стикових зварних з'єднань необхідно задати поверхню стику. В *APM Joint* поверхня стику визначається набором контурів. Контуром є замкнута крива що складається з основних елементів, тобто побудованих за допомогою команд меню *Постройка* – відрізків і дуг. Коло найпростіший вид такого контуру. Користувачеві пропонуються два види контурів, що називаються зовнішній і внутрішній. Вони розрізняються внеском, що дають у результуючу поверхню. Зовнішній контур відображається товстою лінією синього кольору, внутрішній – червоного. Область, обмежена зовнішнім контуром, включається в поверхню стику, а обмежена внутрішнім контуром виключається з поверхні. На рис. 4.2 дається приклад, цифрами показані номери контурів, зовнішні контури синім кольором внутрішні – червоним, а результуюча поверхня стику – сірим.

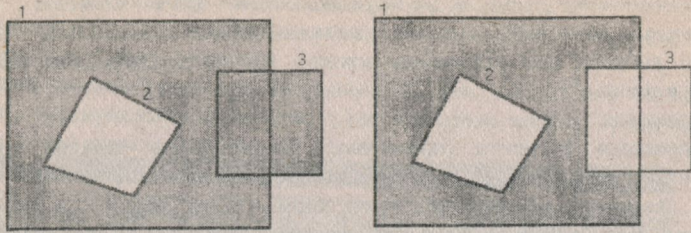


Рис. 4.2 Приклад поверхні й утворюючих її контурів

Щоб задати контур необхідно спочатку його намалювати основними елементами, а потім визначити його як зовнішній або внутрішній використовуючи команди *Данные | Внешний контур* і *Данные | Внутренний контур*.

#### *Навантаження діючі на з'єднання*

Навантаження поділяються на нормальні до площини з'єднання і дотичні до неї. Для кожного типу з'єднання допускаються навантаження визначеного типу: або дотичні або як дотичні, так і нормальні. Навантаження вводяться за допомогою команд *Данные | Касательная сила* і *Данные | Нормальная сила*. Докладніше дивіться відповідні команди нижче в розділі 6.

### **5. Проектування з'єднань у середовищі APM WinJoint**

Загальна схема проектування і розрахунку містить у собі наступні кроки:

- 1) Завдання геометрії з'єднання;
- 2) Розміщення навантажень, що діють на з'єднання;
- 3) Уведення вихідних даних, необхідних для розрахунку;
- 4) Виконання проектувального розрахунку;
- 5) Виконання перевірного розрахунку;
- 6) Перегляд результатів розрахунків.

*Проектувальний* розрахунок деталей машин призначений для визначення їхніх основних параметрів по формулах, що відповідають головним критеріям працездатності (міцності, зносостійкості й ін.).

*Перевірочний* розрахунок є уточнюючим; його роблять, коли форма і розміри деталі уже відомі за результатами проектувального розрахунку або прийняті виходячи з конструктивних вимог.

#### **5.1 Задання геометрії з'єднання**

Для того щоб увести геометрію з'єднання використовується спеціалізований графічний редактор, що входить до складу *APM Joint*. Він включає досить широкий набір графічних примітивів, що дозволяє задати з'єднання довільної форми з довільним розміщенням кріпильних елементів.

*Розміщення навантажень.* Уведення навантажень здійснюється за допомогою редактора. Користувач може задати нормальні і дотичні сили, при цьому дотичні сили можуть бути прикладені як у площині з'єднання, так і на віддаленні від неї. При виконанні проектувального розрахунку задаються постійні навантаження, при перевірочному розрахунку можуть бути введені як постійні, так і змінні навантаження.

*Введення вихідних даних.* Для того щоб виконати розрахунок необхідно задати характеристики матеріалів – межа міцності, границя текучості, коефіцієнт тертя, а також значення коефіцієнтів запасу.

*Проектувальний розрахунок.* Для виконання проектувального розрахунку потрібно в меню *Расчёт* вибрати *Тип* і потім у з'явившомуся додатковому меню вибрати *Проектировочный*. Після цього варто задати зовнішні навантаження і вибрати команду *Расчёт | Расчёт!* у головному меню.

*Перевірочний розрахунок.* Задайте тип розрахунку командою *Расчёт | Тип | Проверочный* і потім виберіть команду *Расчёт | Расчёт!* у головному меню. При проведенні перевірного розрахунку користувач може змінити деякі параметри.

*Перегляд результатів.* Для того щоб переглянути результати розрахунків використовуйте команду *Результаты* головного меню.

Нижче описано особливості характерні для кожного окремого типу з'єднань.

#### *Нарізні сполучення з зазором і без зазору*

*Задання геометрії.* Для того щоб визначити геометрію нарізного сполучення потрібно задати форму опорної поверхні і розмістити на ній болти. Форма опорної поверхні задається сукупністю її зовнішніх і внутрішніх границь. Границі поверхні складаються з *контурів*. Контур являє собою замкнуту лінію і може бути *простим* або *складеним*.

Після того як задана опорна поверхня необхідно розмістити на ній болти. Для цього служить команда *Данные | Болты*.

*Введення навантажень.* Навантаження можуть бути прикладені в будь-якій точці. Для болтів без зазору вони можуть бути тільки в площині стику; із зазором, як у площині стику, так і в перпендикулярній до неї. Навантаження вводяться вибором пункту меню *Данные | Нормальная сила* і *Касательная сила*. Сили можна вводити на будь-якому етапі проектування з'єднання.

*Проектувальний розрахунок.* У процесі розрахунку обчислюються геометричні параметри з'єднання і навантаження, що діють на болти і на площину стику.

*Перевірочний розрахунок.* Перевірочний розрахунок виконується після проектувального при незмінній геометрії. Для його проведення необхідно задати змінні зовнішні навантаження. Це робиться за допомогою тих же пунктів меню що і при проектувальному розрахунку *Данные | Нормальная сила*, і *Данные | Касательная сила*. У даному типі розрахунку можна змінювати діаметр болтів, що буде впливати на значення коефіцієнтів запасу, за допомогою команди меню *Данные | Дополнительный параметр*.

#### *Заклепкові з'єднання*

Проектування заклепок цілком аналогічно проектуванню болтів без зазору.

#### *Таврові і внапуск зварні з'єднання*

*Задання геометрії.* Ці з'єднання складаються зі зварних швів. Шов задається безліччю відрізків, дуг та кіл, що будуються за допомогою команд меню графічного редактора *Построение* редактора *APM Joint*.

*Введення навантажень.* Допускаються навантаження як нормальні, так і дотичні до площини стику. Вони вводяться командами тими ж командами що і для нарізних сполучень.

*Перевірочний розрахунок.* Для його проведення необхідно задати перемінні зовнішні навантаження. Ви можете також задавати катет зварного шва й ефективний коефіцієнт концентрації напруг за допомогою команди меню *Данные | Дополнительные параметры*.

#### *Точкове зварювання*

*Задання геометрії.* Для задання геометрії необхідно розставити крапки, використовуючи команду *Данные | Точки*.

*Введення навантажень.* У даному типі з'єднань допускаються тільки навантаження, що діють у площині стику.

*Перевірочний розрахунок.* Для його проведення необхідно задати перемінні зовнішні навантаження. Ви можете також задавати діаметр крапки й ефективний коефіцієнт концентрації напруг за допомогою команди меню *Данные | Дополнительные параметры*.

#### *Стикові зварні з'єднання*

*Задання геометрії.* Геометрія стикових з'єднань задається точно також як і для різьбових.

*Введення навантажень.* Допускаються навантаження як нормальні, так і дотичні до площини стику. Вони вводяться тими ж командами що і для нарізних з'єднань.

*Перевірочний розрахунок.* Для його проведення необхідно ввести перемінні зовнішні навантаження, а також ефективний коефіцієнт концентрації напруг за допомогою команди меню *Данные | Дополнительные параметры*.

### **6. Довідник команд**

На рис. 4.3 показане основне меню для групи нециліндричних типів з'єднань *APM Joint* із усіма підменю, які викликаються з основного.

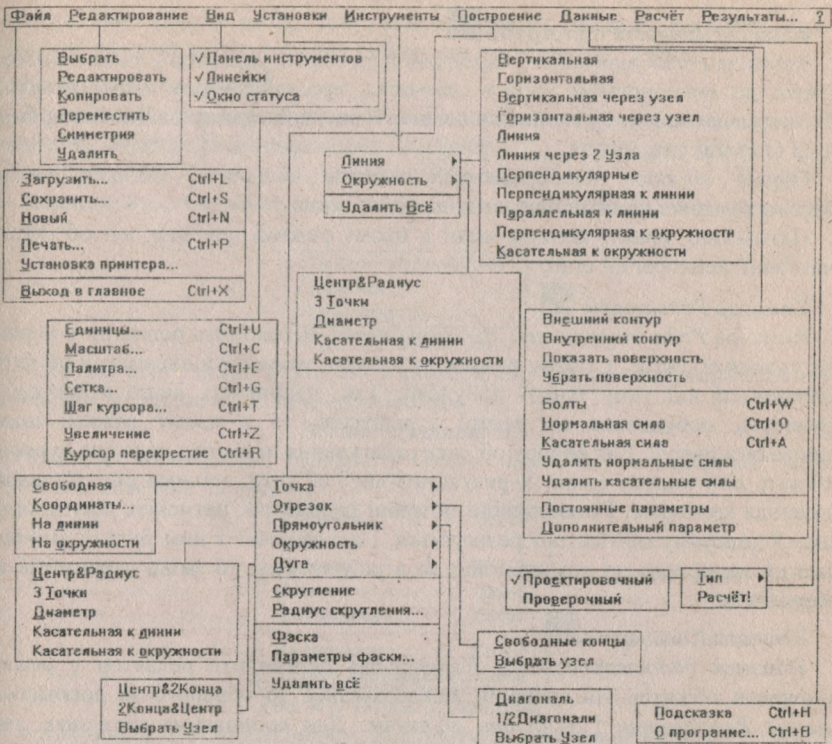


Рис. 4.3 Структура меню APM Joint для нецилиндричных типов з'єднань

### Меню Редагування

Команда Редактирование головного меню викликає спливаюче меню Редактирование, показане на рис. 4.4, а.

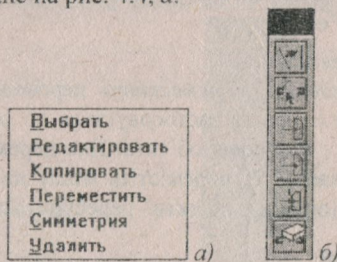




Рис. 4.4 Меню Редагування

Кнопка на панелі інструментів, що відповідає цій команді  викликає еквівалентне кнопкове меню Редактирование, показане на рис. 4.4, б.


Далі ми даємо опис команд меню Редактирование.

Команда *Вибрати піктограма* 


Команда *Редактирование* | *Выбрать* переводить редактор у режим вибору об'єктів для використання їхній в операціях, пропорованих у цьому ж меню, тобто переміщення, копіювання, видалення й операції симетрії відносно прямої. Про ці операції див. нижче.

Обрані об'єкти відображаються жовтим кольором. Об'єкти можна вибирати рамкою і по окремісті за допомогою миші.


Натискання правої кнопки миші в цьому режимі повертає всі об'єкти в початковий невибраний стан.

Команда *Редагувати* 


Команда *Редактирование* | *Редактировать* переводить редактор у режим редагування об'єктів. У цьому режимі ви можете змінювати параметри об'єктів у залежності від типу їхньої побудови. Так, наприклад, якщо редагується окружність, побудована по центрі і радіусові, то в цьому режимі може змінюватися радіус. Для вибору об'єкта редагування підведіть до нього курсор і натисніть ліву кнопку миші. У результаті він і об'єкти, з якими він зв'язаний, виділяться кольором. Установивши потрібні параметри, натисніть ліву кнопку миші. У підсумку об'єкт, що редагується, і всі зв'язані з ним будуть змінені. Якщо ця зміна веде до помилки або до втраті зв'язку, то зміна параметрів не відбувається.

Команда *Копіювати* 

Команда *Редактирование* | *Копировать* переводить редактор у режим копіювання об'єктів. Ця операція застосовується до обраного за допомогою команди *Редагування* | *Выбрать* об'єктам. Для копіювання натисніть ліву кнопку миші у вихідній точці. Після цього об'єкти що копіюються з'являться біля курсору. Потім знову натисніть ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, перемістите мишу на необхідну відстань і відпустите. У результаті усі виділені (обрані) об'єкти копіюються в необхідне місце. Натискання правої кнопки миші до виконання копіювання приводить до вихідного стану, а після копіювання до скасування вибору всіх об'єктів.


Команда *Перемістити* 

Команда *Редактирование* | *Переместить* переводить редактор у режим переміщення об'єктів. Ця операція застосовується до обраного за допомогою команди *Редактирование* | *Выбрать* об'єкта. Для переміщення натисніть ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, перемістите мишу на необхідну відстань. У результаті усі виділені (обрані) об'єкти пересунуться на величину, рівну переміщенню миші.

Команда *Симетрія* 

Команда *Редактирование* | *Симметрия* переводить редактор у режим операції симетрії об'єктів відносно прямої. Ця операція застосовується до об'єктів, обраним за допомогою команди *Редактирование* | *Выбрать*. Для вибору осі симетрії пересуньте мишу до необхідної допоміжної прямої і

натисніть ліву кнопку миші. Далі, для виконання операції натисніть цю ж кнопку ще раз, або для скасування вибору осі праву кнопку миші.

Команда *Видалити* 

Команда *Редактирование* | *Удалить* видаляє всі об'єкти, обрані за допомогою команди *Редактирование* | *Выбрать*.

### Меню Вид

Команда *Вид* головного меню викликає спливаюче меню *Вид*, показане на рис. 4.5.

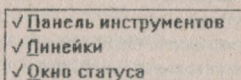


Рис. 4.5 Меню Вид

Команди цього меню дозволяють сховати або навпаки показати елементи екрана. Далі ми даємо опис команд меню *Вид*.

### Меню Установки

Команда *Установки* головного меню викликає спливаючої меню *Установки*, показане на рис. 4.6.

Единицы...	Ctrl+U
Масштаб...	Ctrl+C
Память...	Ctrl+E
Сетка...	Ctrl+G
Шаг курсора...	Ctrl+T
<hr/>	
Увеличение	Ctrl+Z
Курсор перекрестие	Ctrl+R

Рис. 4.6 Меню Установки

Усі команди дають можливість відкоригувати наведені параметри даного меню і доступні через кнопки на інструментальній панелі.

### Меню Инструменты

Команда *Инструменты* головного меню викликає спливаючі меню *Инструменты*, показане на рис. 4.7 а). Команди цього меню надають користувачеві можливість побудови допоміжних прямих і окружностей.

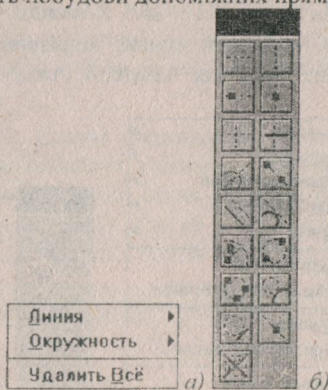



Рис. 4.7 Меню Инструменты



Кнопка на панелі інструментів, що відповідає цій команді  викликає кнопкове меню *Інструменти*, показано на рис. 4.7 б).

Команда *Лінія*

Команда *Інструменти* | *Лінія* меню *Інструменти* викликає спливаюче меню нижнього рівня, показано на рис. 4.8, що дає можливість для побудови допоміжних ліній. Усі команди цього меню доступні через кнопкове меню *Інструменти* | *Лінія*.

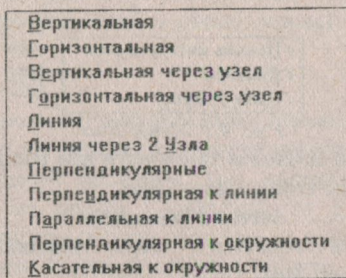


Рис. 4.8 Меню *Лінія*

Команда *Окружність*

Команда *Інструменти* | *Окружність* меню *Інструменти* викликає спливаючого меню нижнього рівня, показано на рис. 4.9, що надає засобу для побудови допоміжних окружностей. Усі команди цього меню доступні через кнопкове меню *Інструменти* | *Окружність*.

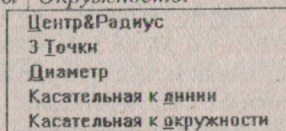


Рис. 4.9 Меню *Окружність*

### Меню *Побудова*

Команда *Построение* головного меню викликає спливаюча меню *Построение*, показана на рис. 4.10 а). Команди цього меню надають користувачеві можливість побудови точок, відрізків, окружностей і дуг – примітивів, необхідних для завдання поверхні стику або геометрії зварного шва.

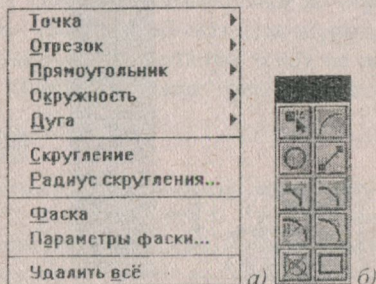



Рис. 4.10 Меню *Побудова*


Кнопка на панелі інструментів, що відповідає цій команді  викликає еквівалентне кнопкове меню *Построение*, показана на рис. 4.10 б).

#### Меню Дані


Команда *Данные* головного меню викликає спливаюче меню *Данные*, показане на рис. 4.11. Команди цього меню надають користувачеві можливість задання поверхні стику через зовнішні і внутрішні контури, введення зовнішніх навантажень і постійних параметрів, необхідних для розрахунку.

Внешний контур	
Внутренний контур	
Показать поверхность	
Убрать поверхность	
Болты	Ctrl+W
Нормальная сила	Ctrl+O
Касательная сила	Ctrl+A
Удалить нормальные силы	
Удалить касательные силы	
Постоянные параметры	
Дополнительный параметр	


Рис. 4.11 Меню Дані

Команда *Зовнішній контур* 

Команда *Данные* | *Внешний контур* переводить редактор у режим вибору користувачем зовнішніх контурів для визначення поверхні стику. Для введення контуру перемістіть курсор до одного з об'єктів, що входить у контур, і натисніть ліву кнопку миші. По цьому натисканню здійснюється пошук контуру і, якщо він знайдений, то виділяється кольором. Щоб видалити зовнішній контур, підведіть курсор до нього і натисніть праву кнопку миші.


Команда *Внутрішній контур* 

Команда *Данные* | *Внутренний контур* переводить редактор у режим уведення користувачем внутрішніх контурів для визначення поверхні стику. Для введення контуру перемістіть курсор до одного з об'єктів, що входить у контур, і натисніть ліву кнопку миші. По цьому натисканню здійснюється пошук контуру і, якщо він знайдений, то виділяється кольором. Щоб видалити внутрішній контур підведіть курсор до нього і натисніть праву кнопку миші.

Команда *Болты* 

Команда *Данные* | *Болты* переводить редактор у режим уведення користувачем болтів для болтових з'єднань. Для введення болта перемістіть курсор у необхідну точку поверхні стику і натисніть ліву кнопку миші. Щоб видалити болт підведіть до нього курсор і натисніть ліву кнопку миші. Для видалення усіх раніше розставлених болтів натисніть праву кнопку миші.

Примітка: болти дозволяється ставити тільки на поверхні стику. Спроба поставити їх поза поверхнею приводить до появи відповідного повідомлення.

Команда *Заклейки* 

Команда *Данные* | *Заклейки* переводить редактор у режим введення користувачем заклепок для заклепувальних з'єднань. Дія цієї команди цілком аналогічно дії команди *Данные* | *Болты*.



Нижче приводяться чотири команди для роботи з зовнішніми силами. Усі вони доступні з кнопочового меню *Сила*, що показане на рис. 4.12 і викликаються при натисканні кнопки  на інструментальній панелі.



Рис. 4.12 Кнопочеве меню *Сила*

Команда *Нормальная сила* 

Команда *Данные* | *Нормальная сила* переводить редактор у режим введення користувачем зовнішніх нормальних навантажень. Для введення сили перемістите курсор у необхідну точку і натисніть ліву кнопку миші. У результаті на екрані з'явиться вікно діалогу *Нормальная сила*, показане на рис. 4.13, для проектувального розрахунку. Для редагування раніше введеної сили перемістите курсор до точки введення необхідної сили і натисніть праву кнопку миші.

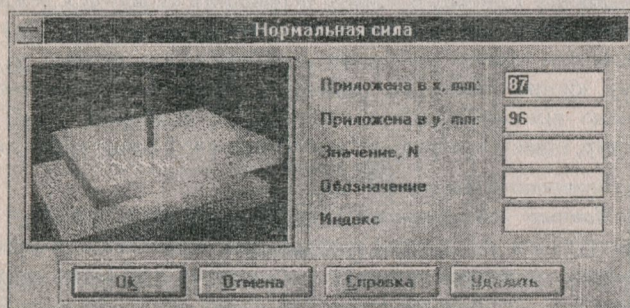



Рис. 4.13 Вікно діалогу для введення нормальної до площини стику сили

Вікно діалогу *Нормальная сила* для проектувального розрахунку містить 5 текстових вікон для введення координат точки додатка сили, значення сили, позначення й індексу. Уведіть необхідні значення і натисніть кнопку *Ок*. Для видалення сили в режимі редагування натисніть кнопку *Удалить*. У режимі перевірконого розрахунку замість цього діалогового вікна з'являється вікно діалогу, у якому замість одного значення сили потрібно вводити максимальне і мінімальне значення.

Команда *Дотичная сила* 

Команда *Данные* | *Касательная сила* переводить редактор у режим введення користувачем зовнішніх дотичних навантажень. Для введення сили перемістите курсор у необхідну точку і натисніть ліву кнопку миші. У результаті для проектувального розрахунку на екрані з'явиться вікно діалогу *Касательная сила*, показане на рис. 4.14. Для редагування раніше введеної сили

перемістите курсор до точки додатка необхідної сили і натисніть праву кнопку миші.



Рис. 4.14 Вікно діалогу для введення дотичної до площини стику сили

Вікно діалогу *Касательная сила* для проектувального розрахунку містить 3 текстові вікна для введення координат точки додатка сили, 2 текстові вікна для значення проєкцій сили, 2 – для модуля і кута дії сили і 2 для позначення й індексу. Маються також два перемикачі для введення сили по проєкціях або по модулі і кутів. Проєкції і модуль задаються в Ньютонах, кут у градусах. Уведіть необхідні значення і натисніть кнопку *Ок*. Для видалення сили в режимі редагування натисніть кнопку *Удалить силу*.

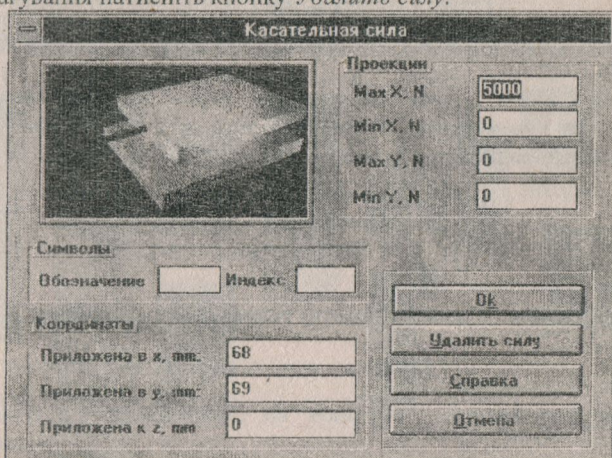



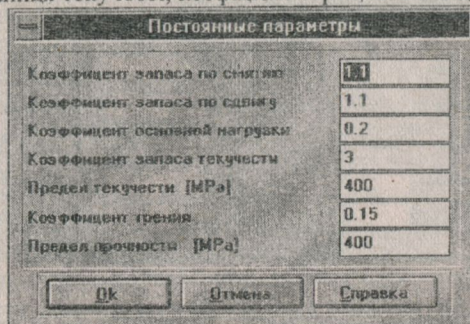
Рис. 4.15 Вікно діалогу для введення дотичної до площини стику сили

У режимі перевірного розрахунку замість цього вікна діалогу з'являється вікно діалогу, показане на рис. 4.15. Діалог містить 3 текстові вікна

для введення координат точки додатка сили, 4 текстові вікна для введення мінімальних і макс. значень проєкції сили, а також 2 для позначення її індексу.

Команда *Постійні параметри* 

Команда *Данные | Постоянные параметры* викликає на екран вікно діалогу, показане на рис. 4.16. Діалог містить текстові вікна для введення значень параметрів, необхідних для проведення розрахунку, таких як коефіцієнт запасу по зминанню, по зрушенню, плинності, коефіцієнт основного навантаження, границя текучості, коефіцієнт тертя, межа міцності.



Постоянные параметры	
Коефициент запаса по смятию	1.1
Коефициент запаса по сдвигу	1.1
Коефициент осевой нагрузки	0.2
Коефициент запаса текучести	3
Предел текучести [МПа]	400
Коефициент трения	0.15
Предел прочности [МПа]	400

Рис. 4.16 Вікно діалогу для введення постійних параметрів

### Меню *Розрахунок*

Команда *Расчёт* головного меню викликає на екран меню *Расчёт*, показане на рис. 4.17.

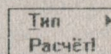


Рис. 4.17 Меню *Розрахунок*

Команда *Тип*

Команда *Расчёт | Тип* викликає на екран підменю для установки необхідного типу розрахунку: проєктувального або перевірного. Для його установки виберіть відповідний пункт меню.

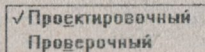




Рис. 4.18 Меню *Тип розрахунку*

Команда *Розрахунок!* 

Команда *Расчёт | Расчёт!* виконує розрахунок з'єднання в залежності від типу розрахунку.

Команда *Результаты...* 

Команда *Результаты...* викликає на екран вікно з результатами для поточного типу з'єднання і типу розрахунку, приклад якого показаний на рис. 4.19.

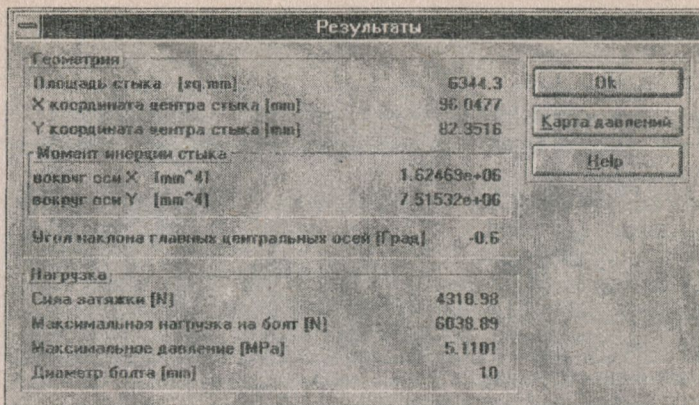


Рис. 4.19 Вікно діалогу з результатами розрахунку

### 7. Піктографічне меню й інструментальна панель

Інструментальна панель являє собою групу піктографічних кнопок, розташовану нижче головного меню (рис. 4.20). Інструментальна панель призначена для прискореного вибору деяких часто використовуваних команд.



Рис. 4.20 Інструментальна панель для розрахунку нециліндричних деталей

Піктографічне меню являє собою групу кнопок, що складається з інструментальної панелі і кнопок нижніх рівнів, що з'являються після натискання відповідних кнопок панелі інструментів (рис. 4.21). Піктографічне меню також призначено для прискореного вибору команд.

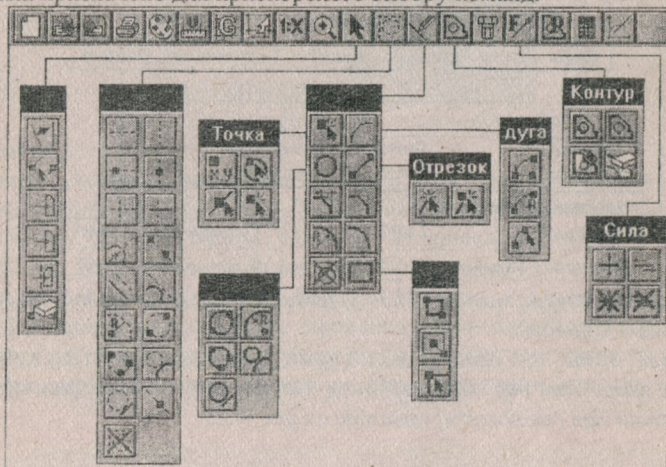


Рис. 4.21 Піктографічне меню

Кнопки інструментальної панелі ініціюють наступні команди (з ліва на право):

- Файл | Новий

- Файл | Завантажити
- Файл | Зберегти
- Файл | Печатка
- Установки | Палітра
- Установки | Одиниці
- Установки | Сітка
- Установки | Крок курсору
- Установки | Масштаб
- Установки | Збільшення
- Редагування
- Інструменти
- Побудова
- Операції з контурами
- Дані | Болти, Заклепки, Точки
- Введення сил
- Дані | Постійні параметри
- Розрахунок | Розрахунок!
- Результати
- Установки | Курсор перехрестя
- | Підказка

Для виконання команди за допомогою інструментальної панелі необхідно клацнути лівою кнопкою миші на потрібній кнопці.

#### 8. Довідник по командах підсистеми розрахунку з'єднань циліндричних деталей

На рис. 4.22 показане основне меню для цієї групи з'єднань *APM Joint* із усіма підменю, викликуваними з основного.

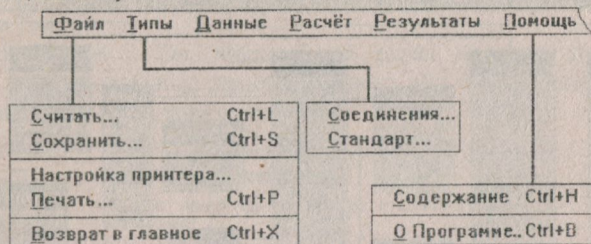


Рис. 4.22 Структура меню *APM Joint* для з'єднань циліндричних деталей

Команда *З'єднання...*

Команда *Типы | Соединения...* служить для вибору типу з'єднання, розрахунок якого Вам необхідно зробити. По цій команді на екран виводиться діалогове вікно *Тип соединения*, показане на рис. 4.23.



Рис. 4.23 Діалогове вікно вибору типу з'єднання Вал-Маточина

У цьому вікні Ви позначаєте відповідну кнопку і натискаєте кнопку **ОК**. Після цього модуль приводиться в стан, придатне для введення даних, необхідних безпосередньо обраному типу.

Команда *Стандарт...*

Команда *Типы | Стандарт...* служить для вибору стандарту, що буде використовуватися при виборі даних з бази даних. По цій команді на екран виводиться діалогове вікно *Стандарт*, показане на рис. 4.24.

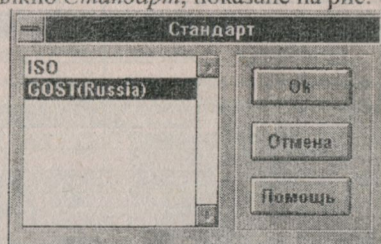


Рис. 4.24 Діалогове вікно вибір стандарту

Команда *Дані*

Команда *Данные* служить для введення даних необхідних для розрахунку конкретного типу з'єднання. По цій команді на екран виводиться діалогове вікно *Исходные данные*. Приклад такого вікна приведений на рис. 4.25.

У цьому вікні Ви звичайним способом вводите всі дані. Кнопки *БД* служать для вибору даних з бази даних. Наприклад, у даному вікні ці кнопки служать для вибору матеріалів, що відповідають компонентам з'єднання. Вибір виконується за допомогою діалогових вікон, у яких дані представлені у виді списку. Приклад такого вікна для вибору матеріалів приведений на рис. 4.26.





Рис. 4.25 Приклад діалогового вікна введення вихідних даних

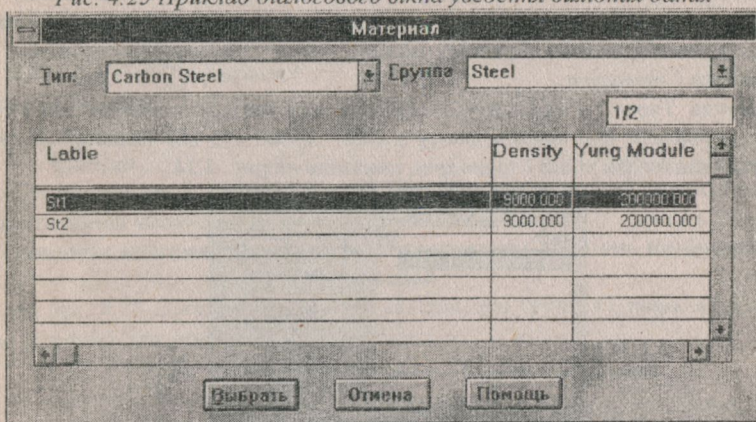


Рис. 4.26 Діалогове вікно вибір матеріалу

У деяких вікнах введення вихідних даних з метою зробити введення більш наочним застосовані піктографічні кнопки. Наведемо призначення кожної кнопки:

Тип параметра	Вид кнопки	Найменування
Вид навантаження		Постійне навантаження
		Ппульсуюче навантаження
		Знакозмінне навантаження

Конструктивне виконання з'єднання		Втулка може переміщатися уздовж вала
		Втулка нерухома щодо вала
Тип шліца		Евольвентний шліц
		Прямокутний шліц
		Трикутний шліц

Команда *Розрахунок*

Команда *Расчёт* виконує розрахунок з'єднання.

Команда *Результати*

Команда *Результаты* виводить на екран діалогове вікно в залежності від типу розрахованого з'єднання. За необхідністю результати доповнено пояснювальними ілюстраціями. Якщо результатом розрахунків є набір деяких даних, наприклад, набір посадок, то у вікні результатів виводиться список цих даних. Для перегляду невидимих результатів використовуйте смуги прокручування. Приклади вікон результатів представлені на рис. 4.27 і 4.28.



Рис. 4.27 Діалогове вікно результатів розрахунку призматичної шпонки

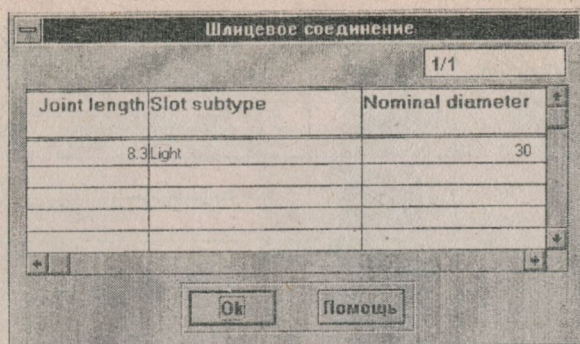


Рис. 4.28 Приклад вікна результатів розрахунку шлицевих з'єднань

### 9. Інструментальна панель



Рис. 4.29 Інструментальна панель для розрахунку циліндричних деталей

Кнопки інструментальної панелі ініціюють наступні команди (з ліва на право):

- Файл | Завантажити
- Файл | Зберегти
- Файл | Друк
- Розрахунок
- Результати
- Допомога | Зміст

### Додатки

#### Акселератори

Акселератор (прискорювач) являє собою комбінацію службових клавіш для прискорення вибору команд. У АРМ *Veat* використовуються наступні акселератори:

Команда	Акселератор
Файл   Загрузить	Ctrl + L
Файл   Сохранить	Ctrl + S
Файл   Печать	Ctrl + P
Файл   Выход	Ctrl + X
?   Справка	Ctrl + H
?   О программе	Ctrl + B
Установки   Единицы	Ctrl + U
Установки   Масштаб	Ctrl + C
Установки   Палитра	Ctrl + E
Файл   Новый	Ctrl + N
Установки   Сетка	Ctrl + G
Установки   Шаг курсора	Ctrl + T
Установки   Увеличение	Ctrl + Z

У системі *APM Trans* використовуються такі прискорювачі.

Команда	Прискорювач
Файл   Зчитати дані	Ctrl + L
Файл   Зберегти дані	Ctrl + S
Файл   Друк	Ctrl + P
Файл   Вихід	Ctrl + X
Типи   Тип розрахунку   Проектувальний Розрахунок	Ctrl + D
Типи   Тип розрахунку   Перевірка за моментом	Ctrl + Q
Типи   Тип розрахунку   Перевірка за ресурсом	Ctrl + G
Допомога   Зміст	Ctrl + H
Допомога   Демонстрація	Ctrl + D
Допомога   Про Програму...	Ctrl + U

В *APM Joint* використовуються наступні акселератори.

Команда	Акселератор
Файл   Завантажити	Ctrl + L
Файл   Зберегти	Ctrl + S
Файл   Друкувати	Ctrl + P
Файл   Вихід	Ctrl + X
?   Підказка	Ctrl + H
?   Про програму	Ctrl + B

*APM Joint* для групи нециліндричних типів з'єднань використовує також наступні акселератори.

Команда	Акселератор
Установки   Одиниці	Ctrl + U
Установки   Масштаб	Ctrl + C
Установки   Палітра	Ctrl + E
Файл   Новий	Ctrl + N
Установки   Сітка	Ctrl + G
Установки   Крок курсору	Ctrl + T
Установки   Збільшення	Ctrl + Z
Установки   Курсор перехрестя	Ctrl + R
Дані   Болти   Заклепки   Точки	Ctrl + W
Дані   Нормальна сила	Ctrl + O
Дані   Дотична сила	Ctrl + A

### Питання для контролю

1. Програма автоматизованого розрахунку та проектування з'єднань. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку болтового з'єднання без зазору.
2. Розрахунок статичної міцності балок.
3. Розрахунок жорсткості балок.
4. Редактор з'єднань в АРМ WinJoint. Команди меню "Редактирование", "Вид", "Инструменты".
5. Програма автоматизованого розрахунку та проектування з'єднань. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку стикового зварного з'єднання.
6. Розрахунок динамічних характеристик балок.
7. Редактор балок АРМ WinBeat, компоненти редактора.
8. Програма автоматизованого розрахунку та проектування з'єднань. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку болтового з'єднання з зазором.
9. Програма автоматизованого розрахунку та проектування з'єднань. Вихідні дані та результати проектного розрахунку заклепочного з'єднання.
10. Загальні принципи роботи з редактором АРМ WinBeat, вибір режиму.
11. Загальні принципи роботи з редактором АРМ WinBeat, малювання.
12. Програма автоматизованого розрахунку та проектування з'єднань. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку заклепочного з'єднання.
13. Редактор з'єднань в АРМ WinJoint. Команди меню "Построение", "Данные".
14. Загальні принципи роботи з редактором АРМ WinBeat, редагування.
15. Загальні принципи роботи з редактором АРМ WinBeat, малювання сегмента балки, вилучення сегмента балки.
16. Типи з'єднань та порядок розрахунків в АРМ WinTrans.
17. Програма автоматизованого розрахунку та проектування механічних передач обертання. Вихідні дані та результати розрахунку циліндричних зубчастих передач.
18. Задання навантажень, діючих на балку (радіальні та осьові сили).
19. Задання навантажень, діючих на балку (розподілені сили, моменти згину).
20. Програма автоматизованого розрахунку та проектування механічних передач обертання. Порядок роботи з програмою та результати розрахунку циліндричних зубчастих передач.
21. Програмні модулі, що входять в АРМ WinMachine, та їх функціональне призначення.
22. Задання навантажень, діючих на балку (моменту кручення).
23. Вибір матеріалів в АРМ WinBeat.
24. Порядок дій отримання креслень шестерні зубчастої передачі в АРМ WinTrans.

25. Критерії, що використовуються при розрахунку валів.
26. Редактор поперечних перерізів сегмента балки, компоненти редактора графічних даних.
27. Редактор поперечних перерізів сегмента балки, зв'язки між елементами, вибір режиму.
28. Розрахунок статичної міцності валів.
29. Розрахунок вала на опір втомленості.
30. Редактор поперечних перерізів сегмента балки, малювання, редагування.
31. Команди АРМ WinBeat, меню "Результати".
32. Розрахунок жорсткості валів, критерії жорсткості, умови жорсткості.
33. Редактор валів АРМ WinShaf, компоненти редактора валів.
34. Команди редактора перерізу АРМ WinBeat. Команди, що входять до меню "Редактирование".
35. Команди редактора перерізу АРМ WinBeat, меню "Инструменты".
36. Загальні принципи роботи з редактором, вибір режиму малювання.
37. Загальні принципи роботи з редактором редагування.
38. Команди редактора перерізу АРМ WinBeat, меню "Построение".
39. Команди редактора перерізу АРМ WinBeat, команди меню "Данные", "Контур".
40. Графічний редактор, побудова з використанням елементів вала (перерахувати).
41. Редагування та вилучення циліндричних та конічних секцій вала.
42. Програма автоматизованого розрахунку та конструювання осей. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку.
43. Програма автоматизованого розрахунку та конструювання балок. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку. Створення вала на екрані за допомогою команди "Циліндр".
44. Програма автоматизованого розрахунку та конструювання балок. Вихідні дані та результати перевіркового розрахунку.
45. Редактор балок АРМ WinBeat. Способи завдання, редагування та усунення секцій балки. Використання команд "Галтель", "Фаска", "Канавка" при створенні вала на екрані.
46. Використання команд "Галтель", "Фаска", "Канавка" при створенні вала на екрані.
47. Призначення та використання команд "Шпонка", "Шлицевые соединения".
48. Редактор балок АРМ WinBeat. Команди меню "Вид", "Установки".
49. Програма автоматизованого розрахунку та конструювання балок. Вихідні дані та результати проектного розрахунку.
50. Призначення та використання команд "Участки с резьбой", "Отверстия".
51. Задання навантажень на вал, радіальні та осьові сили, розподілені сили.
52. Способи завдання та типи навантажень балки.
53. Редактор балок АРМ WinBeat. Команди меню "Вид", "Установки".

54. Задання навантажень на вал, моменти згину, моменти кручення.
55. Програма автоматизованого розрахунку та конструювання валів. Вихідні дані та результати розрахунку.
56. Редактор балок АРМ WinBeat. Команди меню "Задать", "Материал".
57. Редактор поперечного перерізу балки АРМ WinBeat та його компоненти. Загальні принципи роботи з редактором.
58. Редактор валів АРМ WinShaf. Команди меню "Вид", "Установки".
59. Редактор валів АРМ WinShaf. Команди меню "Задать".
60. Редактор з'єднань в АРМ WinJoint. Команди меню "Установки", "Инструменты", "Данные".

### Список літератури

#### Основна

1. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин, М.: Изд-во АПМ, 2000. – 472 с.
2. Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач, М.: Изд-во АПМ, 2004. – 240 с.

#### Додаткова

3. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде АРМ Structure3D, М.: Изд-во АПМ, 2006. – 288 с.
4. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин, К.: Вища школа, 1993. – 555 с.
5. Иванов М.Н. Детали машин, М.: Высш. шк., 1998. – 383 с.
6. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин, Х.: Основа, 1991. – 275 с.
7. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин, М.: Машиностроение, 1985. – 416 с.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя (в 3 томах), М.: Машиностроение, 1982.

Навчальне видання

С.І. Блаженко

С.Д. Беседа

І.В. Житнецький

Ю.Ю. Доломакін

А.І. Маринін

**СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ  
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів спеціальностей 7.090221 “Обладнання переробних і харчових виробництв” денної та заочної форм навчання та 7.090226 “Обладнання фармацевтичної та мікробіологічної промисловості” денної форми навчання

Підп. до друку 05.11.07. Ум. друк. арк. 5,63. Наклад 150 пр.  
Вид. № 217-11/07

---

РВЦ НУХТ. 01033 Київ-33, вул. Володимирська, 68  
[www.book.nuht.edu.ua](http://www.book.nuht.edu.ua)

Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.