

Розділ 2

СТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ТІЛА

Створення геометричної моделі – важливий етап повного циклу проведення обчислення елемента конструкції.

У FEMAP 9.3 можна застосовувати одне з двох ядер (наборів команд) геометричного моделювання: **Parasolid** (фірми Electronic Data Systems Corporation (EDS), версії 18.1.178 або **Standard** (стандартизована версія). Ці ядра також застосовуються в інших програмах: Uni-graphigs, SolidWorks, SolidEdge, CATIA тощо. Це забезпечує повну сумісність FEMAP зі вказаними та іншими програмами. За замовчанням (тобто, заздалегідь встановлене значення) у FEMAP застосовується ядро **Parasolid**, при необхідності його можна замінити на ядро **Standard** у діалогові „Geometry Engine” (команда **File**→**Preferences...**, вкладка **Geometry/Model**).

Геометрична модель у FEMAP може мати такі об'єкти: точка, лінія (пряма або крива), поверхня (прямолінійна або криволінійна), об'єм та „тверде” тіло (різновид об'єму). Лінія спирається на точки; поверхня – на лінії та точки; об'єм – на поверхні, лінії та точки. Поверхня повинна мати замкнутий контур, створений лініями; об'єм – загальну замкнуту поверхню, створену з єдиної (куля, тор та інші) або декількох поверхонь.

Увага: неможливо видалити будь-який об'єкт, що є основою для іншого. Цю властивість можна рекомендувати для очищення моделі від вже непотрібних або помилково введених об'єктів нижчого рівня. Наприклад, після створення кривих (ліній) можна дати команду: видалити всі точки (**Delete**→**Geometry**→**Point...** →**Select All**→**OK**); після створення поверхні (поверхонь) – видалити всі лінії (**Delete**→**Geometry**→**Curve...** →**Select All**→**OK**) та потім – точки; після створення об'єму (об'ємів) – всі поверхні (**Delete**→**Geometry**→**Surface...** →**Select All**→**OK**), потім всі криві, потім всі точки.

Якщо ініціювати якийсь діалог, в якому потрібно обирати об'єкти конкретного класу (точки, лінії, поверхні, об'єми тощо), то кожний об'єкт цього типу, який є у моделі, на екрані монітора змінює зображення (виділяється, обирається), коли *мигтучий* курсор поміщено у відповідному полі діалогової панелі (наприклад, для введення **ID**), а курсор „миші” знайде саме цей об'єкт. Тоді достатньо натиснути на ліву кнопку „миші” або клавішу „Enter”, щоб **ID** цього об'єкта помістився у відведене для **ID** поле на діалоговій панелі. Аналогічно, якщо потрібно ввести координати точки тіла, то (окрім введення з клавіатури) достатньо помістити *мигтучий* курсор у одно з полів для координат, навести курсор „миші” на відповідне місце на робочому полі та натиснути на ліву кнопку „миші” або клавішу „Enter”.

Після ініціації трикутника на правій частині електронної кнопки  („View Style”) на панелі динамічного меню, що з'являється (див. рис.2.1), можна обрати стиль зображення геометричної моделі:

- каркасний (**Wireframe**): зображаються точки та лінії; поверхні позначаються додатковими тонкими лініями;
- полігональний поверхневий (**Hidden** – схований): зображаються тільки границі поверхонь, причому тільки видимі;
- зображення моделі – як тверде тіло (**Solid**): заповнене кольором тоноване тривимірне, у досконалому графічному режимі (див. Розділ 1.5).

Ще є декілька опцій: „**Fill**” (заповнення поверхні кольором), „**Filled Edges**” (показ ребер скінчених елементів), „**Shading**” (тонування поверхонь) та „**Transparency**” (прозоре зображення), які дозволяють окремо включати або виключати вказані інструменти.

Також є перемикач „**Workplane**” (зображати/прибрати робочу площину), команда „**Options**” для виклику діалогової панелі „**View Options**”. Ще є п'ять опцій: „**Mesh Size**” (розмір сітки), „**Shrink**” („стиснути” CE),

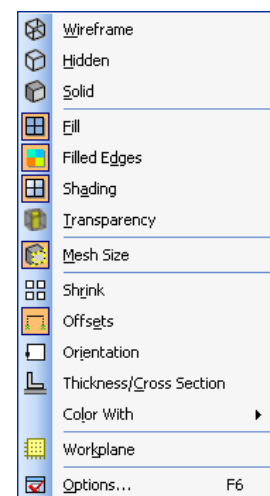


Рис.2.1

„Offset” (зсув одновимірних та двовимірних CE), „Orientation” (орієнтація одновимірних та двовимірних CE), „Thickness/Cross Sections” (товщина, поперечний перетин), які застосовують при роботі зі скінченно-елементною сіткою (розглянемо у відповідних розділах). Ще є команда „Color With”, яка викликає один з трьох перемикачів кольору для зображення поверхонь скінченних елементів: „Element Colors”, „Property Colors” або „Material Colors”.

Є два варіанта створення геометричної моделі у FEMAP:

- імпорт вже повністю або частково готової моделі та подальше її редагування;
- створення моделі „з нуля”.

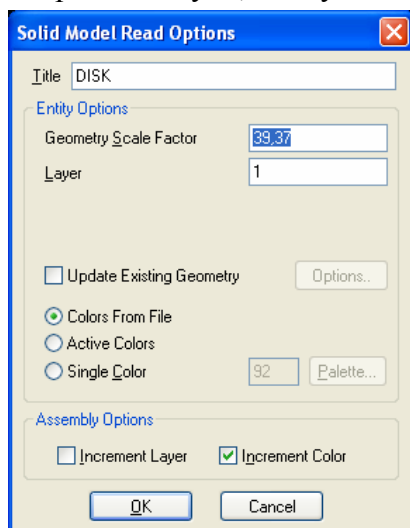
2.1. Імпорт та експорт геометричної моделі тіла

Щоб імпортувати об’єкт, необхідно у FEMAP мати *відкритий* проект: або зовсім новий (**File**→**New**), або поточний. Об’єкт, що імпортується, додається до того, що є у відкритому проекті, причому як додатковий та у активний рівень (про рівні див. у Розділі 1.7.1). Іноді зображення на робочому полі не змінюється. Щоб побачити усі об’єкти, можна рекомендувати команду „Ctrl+G” (регенерація всієї моделі), або викликати панель „View Select” (клавішею „F5”, або кнопкою ) , обрати для „Model Style” інший варіант моделі зображення, наприклад, „Draw Model”.

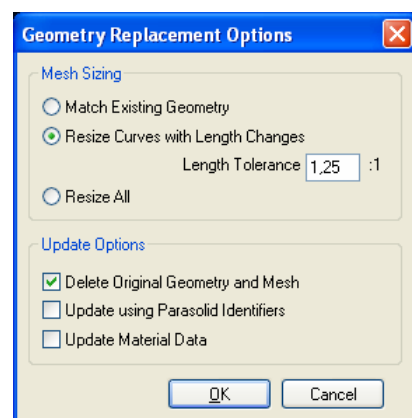
Для імпорту геометричної моделі викликається діалог „Geometry File to Import” (команда **File**→**Import**→**Geometry...**). Призначається тип формату файлів: **All Geometry** (усі варіанти) або конкретний тип: **ACIS** (*.SAT, до версії 16.0 включно), **Parasolid** (*.X_T, до версії 17.0 включно), **IGES** (*.IGS, версії 4.0...5.3), **Stereolithography** (*.STL), **AutoCAD DXF** (*.DXF), **STEP** (*.STP), **I-DEAS** (*.IDI), **Catia v4.x** (*.MDL, *.EXP, *.DLV), **Catia v5** (*.CATP), **Pro/E** (*.PRT, *.ASM), **Solid Edge** (*.PAR, *.PSM, *.PWD, *.ASM) або **Unigraphics** (*.PRT). У файловій системі ПЕОМ знаходиться потрібний файл, дається команда „Open”.

Увага: версії форматів файлів повинні відповідати можливостям FEMAP 9.3, рік випуску якого – 2007.

На діалоговій панелі „Solid Model Read Option” (див. рис.2.2-а), яка з’являється при імпортуванні геометричної моделі **Parasolid** (*.X_T), потрібно звернути увагу на значення коефіцієнта „Geometry Scale factor” (коефіцієнту масштабу геометрії). За замовчанням він дорівнює числу **39.37** (приблизна кількість дюймів у метрі). Якщо файл, що імпортується, створено програмою FEMAP, то змінювати його не треба. Але якщо, наприклад, при імпортуванні файлу, створеного програмою **SolidWorks**, його не змінити, то міліметри будуть перераховані в дюйми. Щоб цього не відбувалося, потрібно задати величину коефіцієнта рівною 1000. Ще можна змінити назву проекту; номер рівня (**Layer**), до якого проводити імпорт (якщо такого рівня не було, він буде створений автоматично); колір зображення тощо.



а)



б)

Рис.2.2. Діалогові панелі: а) – імпортування геометричної моделі Parasolid; б) – оновлення попередньої моделі

Якщо імпорт геометрії проводиться у проект, який вже має „тверде” тіло (**Solid**), то буде доступною опція „**Update Existing Geometry**” (оновити геометрію, що існує) та відповідна кнопка „**Options...**”, яка викликає діалогову панель „**Geometry Replacement Options**” (див. рис.2.2-б) з опціями, що призначаються для „старої” моделі: „**Match Existing Geometry**” (не змінювати розмітку сітки CE), „**Resize Curves with Length Changes**” (змінити розмітку сітки CE на кривих, якщо довжини ліній („старого” та „нового” проектів) будуть відрізнятися (змінені) більше (в ту або іншу сторону) ніж вказана у полі „**Length Tolerance**” пропорція) або „**Resize All**” (оновити всю початкову сітку). **Увага:** таке оновлення проводиться тільки для *активного* „твердого” тіла: однакові (за типом та **ID**) об’єкти замінюються, при цьому на них переносяться всі призначення (розмітка, граничні умови тощо), але сітку CE ще потрібно створювати. Ще одна опція: „**Delete Original Geometry and Mesh**” дозволяє видалити всю „стару” геометричну модель. Ця можливість оновлення „твердого” тіла передбачена для прискорення редагування геометрії тіла із застосуванням іншої програми геометричного моделювання з ядром **Parasolid**. Опція „**Update using Parasolid Identifiers**” дозволяє оновити модель, користуючись ідентифікаторами **Parasolid**, а опція „**Update Material Data**” – властивості матеріалу.

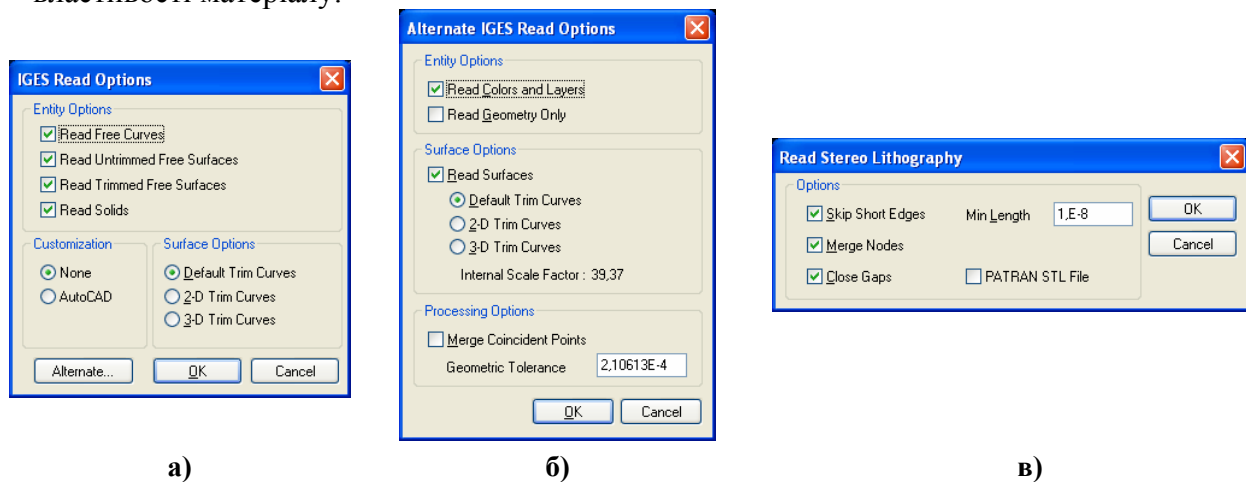


Рис.2.3. Діалогові панелі імпортування геометричної моделі: а) – IGES стандартне; б) – IGES альтернативне; в) – Stereo Lithography

При імпортуванні геометрії із файлів *.IGS „тверді тіла” (**Solid**) можуть не передаватися, та й з поверхнями можуть бути проблеми. Тому на діалоговій панелі „**IGES Read Option**”, яка з’являється при імпортуванні (див. рис.2.3-а), є три варіанта перетворення („обрізання”) поверхонь: „**Default Trim Curves**”, „**2-D Trim Curves**” та „**3-D Trim Curves**”, а також – альтернативні призначення (див. рис.2.3-б), тобто можна підібрати кращий варіант. У альтернативному випадку модель повинна „вписатися” у куб розміром сторони 500 одиниць (інакше імпортована модель буде проблемною). Тому потрібно заздалегідь підрахувати необхідне значення коефіцієнта „**Internal Scale factor**” (скільки одиниць довжини вихідної моделі поміщується в одиниці FEMAP) та встановити його (див. Розділ 1.5). **Увага:** при цьому відстані між елементами моделі, які заміряються за допомогою команди **Tools→Distance...**, не змінюються. Можна також встановити опцію об’єднання точок, що співпадають (**Merge Coincident Points**) та допуск на об’єднання (**Geometric Tolerance**). Якщо й після перетворень „тверді тіла” не з’явилися, то між поверхнями можуть бути щілини, тому необхідно задати команду для „зшивання” поверхонь: **Geometry→Solids→Stitch...** та вказати допуск на „зшивання”. Тільки потім з’являється можливість об’явити об’єм: **Geometry→Solid→Activate**. Імпортування завжди проводиться у ядро **Parasolid**, навіть якщо було встановлено ядро **Standard**.

При імпортуванні геометрії із файлів *.STL імпортовані поверхні та об’єми описуються вузлами та трикутними поверхневими (двовимірними) скінченними елементами. На діалоговій панелі „**Read Stereo Lithography**” (див. рис.2.3-в), яка з’являється, доцільно встановити опції „**Skip Short Edges**” (відкинути короткі кромки за вказаним розміром), „**Merge Nodes**”

(об'єднати вузли, що співпадають) та „**Close Gaps**” (знищити зазори). При необхідності встановлюється опція „**PATRAN STL File**” (STL-файл програми PATRAN). Потім поверхнева скінченно-елементна сітка може бути змінена командою **Mesh→Remesh...**, а об'ємна – створена командою **Mesh→Geometry→Solid from Elements...** (докладніше див. Розділ 3.6.3).

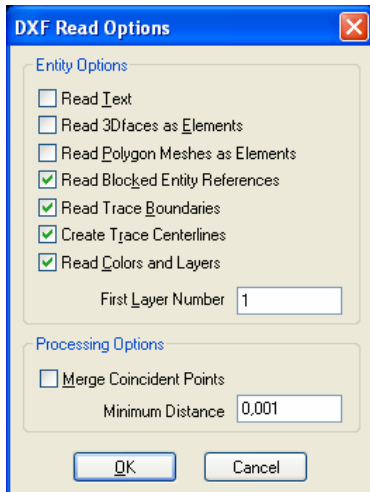
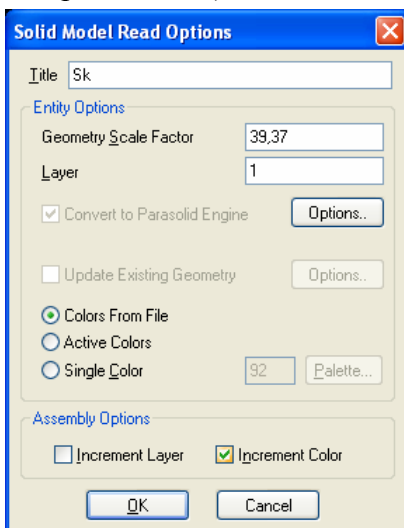


Рис.2.4. Діалогова панель імпортування геометричної моделі *.DXF

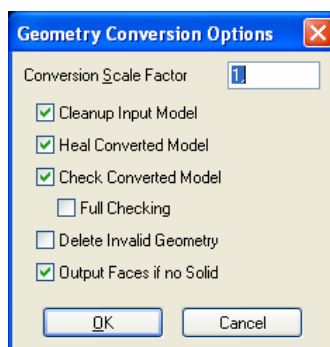
При імпортуванні геометрії із файлів *.DXF (файли програми AutoCAD) імпортовані поверхні та об'єми описуються каркасним чином: лініями, поверхнями та/або скінченними елементами. На діалоговій панелі (див. рис.2.4) можна використовувати такі опції: „**Read Text**” (читати текст), „**Read 3Dfaces as Elements**” (читати тривимірні грані як елементи), „**Read Polygon Meshes as Elements**” (читати полігональні чарунки як елементи), „**Read Blocked Entity References**” (читати блоки), „**Read Trace Boundaries**” (читати границі смуги), „**Create Trace Centerlines**” (створити осі смуг) та „**Read Colors and Layers**” (читати кольори та рівні), причому у полі „**First Layer Number**” можна змінювати номер початкового рівня.

Опція „**Merge Coincident Points**” вказує на необхідність об'єднання точок, що співпадають із заданою точністю (значення у полі „**Maximum Distance**”). Увага: FEMAP 9.3 не зчитує зміст файлів формату *.DXF у повному обсязі, тобто адекватно.

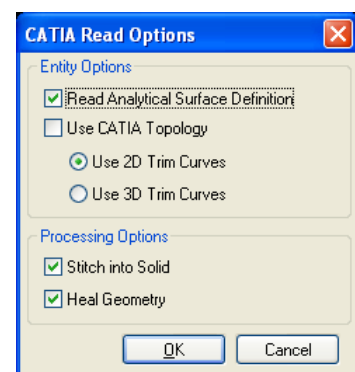
При імпортуванні геометрії із файлів *.SAT з'являється діалогова панель „**Solid Model Read Options**” (див. рис.2.5-а), а також можна викликати діалогову панель „**Geometry Conversion Options**” (див. рис.2.5-б). Перша з них є варіантом панелі, зображеної на рис.2.2-а, тому не потребує додаткових пояснень. На другій є опції: „**Conversion Scale Factor**” (масштабний фактор при конверсії), „**Cleanup Input Model**” (очистити введену модель), „**Heal Converted Model**” (вилікувати конвертовану модель), „**Check Converted Model**” (перевірити конвертовану модель), „**Full Checking**” (повна перевірка), „**Delete Invalid Geometry**” (видалити несправну геометрію), „**Output Faces if no Solid**” (показати поверхні при відсутності „твердого” тіла).



а)



б)



в)

Рис.2.5. Діалогові панелі: а) – імпортування геометричної моделі *.SAT; б) – додаткові опції; в) – імпортування геометричної моделі *.MDL (від CATIA v4.x)

При імпортуванні геометрії із файлів *.MDL (від CATIA v4.x) з'являється діалогова панель „**CATIA Read Options**” (див. рис.2.5-в). На ній є опції: „**Read Analytical Surface Definition**” (читати поверхні, що задані сплайнами), „**Use CATIA Topology**” (фактично – не зшивати „тверді” тіла, якщо вони є у моделі), „**Use 2D Trim Curves**” та „**Use 3D Trim Curves**”

(використовувати **2D** або **3D** параметричні криві), „**Stitch into Solid**” (зшити „тверді” тіла з отриманих поверхонь), „**Heal Geometry**” (вилікувати геометрію).

При імпортуванні геометрії із файлів *.CATP (від CATIA v5) з’являється діалогова панель „**CATIA V5 Read**” (див. рис.2.6). На ній є опції: „**Simplify Geometry**” (спростити геометрію (поверхонь та ребер)), „**Read No Show**” (не показувати повідомлення при читанні (їх може бути дуже багато)). У секції „**Assembly Search Path**” (читати файли зборки моделі зі вказаних папок) можна сформувати список цих папок за допомогою клавіш „**Add...**” та „**Remove**”.

При імпортуванні геометрії із файлів *.STEP з’являється діалогова панель „**STEP Read Options**” (див. рис.2.7-а), а також можна викликати діалогову панель „**Advanced STEP Read Options**” (див. рис.2.7-б). Перша з них фактично є варіантом панелі, зображеної на рис.2.2-а, тому не потребує додаткових пояснень. На другій є опції: „**Read ...**”, за допомогою яких можна вказати, які класи геометричних об’єктів моделі не читати (якщо відключена опція „**Read 2D Curves on Surfaces**”, то замість **2D** будуть використовуватися **3D** опис зчитаних **2D** об’єктів), „**Smooth G1 Discontinuities**” (при наявності незначних розривів – зшити), „**Explode and Restitch (Class VI)**” (спробувати зчитати „тверде” тіло як поверхні, а потім зшити „тверде” тіло), „**Convert to Analytics**” (конвертувати до аналітики), „**Stitch into Solid (Class II)**” (спробувати зшити у „тверде” тіло поверхні класу II), „**Fix Closed Surface Orientation (Class II)**” (фіксувати орієнтацію закритих поверхонь – для поверхонь на основі сфери та тору), „**Read STEP from old Pro/E**” (читати STEP від старих версій Pro/E, щоб розв’язати проблему з різними одиницями виміру кутів), „**Check Input**” (перевірити файл ще перед імпортуванням моделі), „**Check Output**” (перевірити всю модель після імпортування).

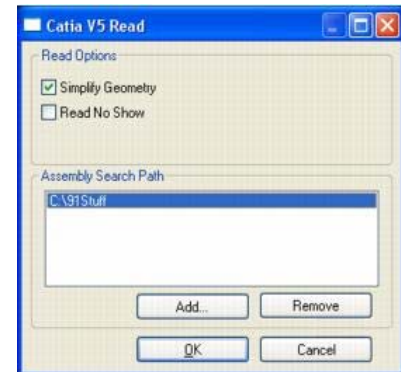


Рис.2.6. Діалогова панель імпортування геометричної моделі *.CATP (від CATIA v5)

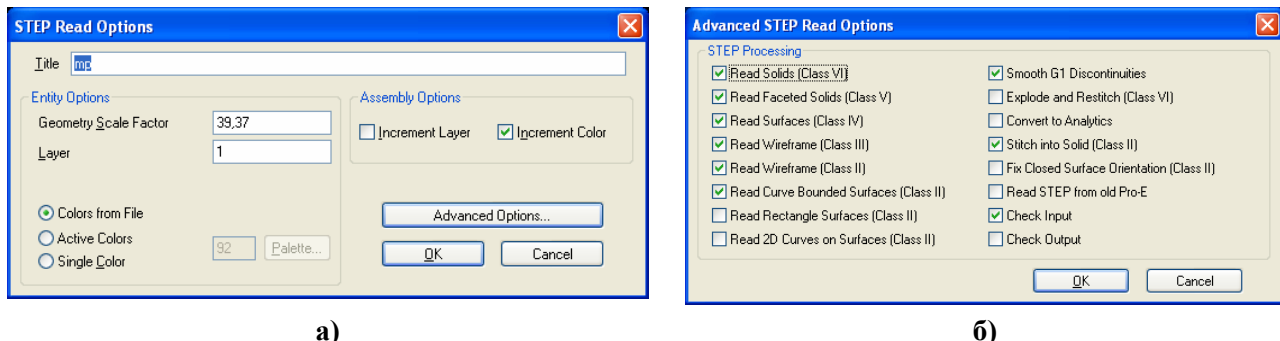


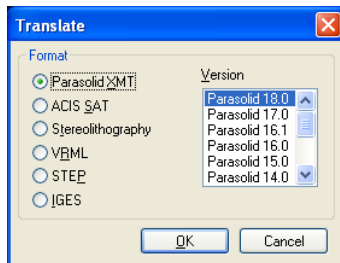
Рис.2.7. Діалогові панелі імпортування геометричної моделі формату STEP:
а) – стандартна; б) – розширена

При експорті геометричної моделі командою **File**→**Export**→**Geometry...** викликається діалогова панель „**Translate**” (див. рис.2.8-а), де обирається один із форматів: Parasolid XMT, ACIS SAT, Stereolithography, VRML, STEP або IGES. **Увага:** у форматі STEP експортуються тільки „тверді” тіла; у форматі Stereolithography – тільки двовимірні та тривимірні СЕ.

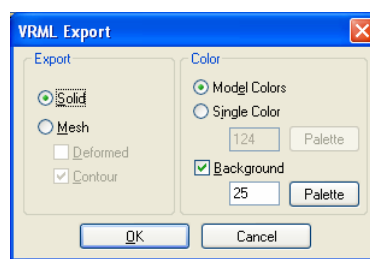
У випадку експорту у форматі VRML ще з’явиться діалогова панель „**VRML Export**” (див. рис.2.8-б), де можна вказати, що зберігати: „тверде” тіло (**Solid**) або сітку об’ємних скінченних елементів (**Mesh**). Для сітки СЕ ще можна вивести інформацію про zdeформовану модель (**Deformed**) та контурні призначення (**Contour**). У секції „**Color**” можна зробити такі призначення: „**Color Model**” (кольори моделі), „**Color Single**” (єдиний колір) та „**Color Background**” (колір фону). Останні два кольори можна ввести з клавіатури або за допомогою панелі „**Color Palette**” (див. рис.1.5-б), яка викликається кнопкою „**Palette**”.

У випадку експорту у форматі IGES на панелі „**Translate**” з’являється кнопка „**Options...**”, яка викликає іншу панель – „**IGES Write Options**” (див. рис.2.8-в). У секції „**Export As**” встановлюється спосіб експортування геометрії: як „тверде” тіло (**Solids – MSBO**), пове-

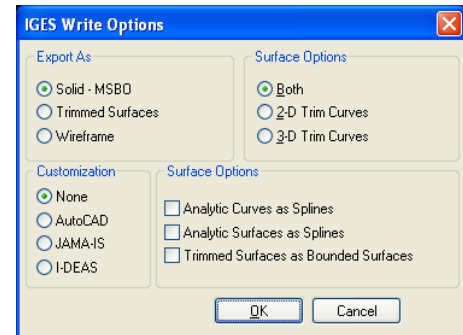
рхніми типу 144 (**Trimmed Surfaces**) або каркасом (**Wireframe**). У секції „**Surface Options**” можна вказати, на основі яких кривих повинні описуватися поверхні: плоских (**2-D Trim Curves**), неплоских (**3-D Trim Curves**) або на обох видах (**Both**); можна встановити опції „**Analytic Curves as Splines**” та/або „**Analytic Surfaces as Splines**” (описувати криві/поверхні сплайнами), „**Trimmed Surfaces as Bounded Surfaces**” (представити поверхні типу 144 (**Trimmed Surfaces**) як поверхні типу 143 (**Bounded Surfaces**)). У секції „**Customization**” можна обрати один з варіантів CAD-систем, щоб FEMAP міг врахувати специфіку цих систем.



а)



б)



в)

Рис.2.8. Діалогові панелі експортування геометричної моделі у файли:

- а) – основна панель (обрано формат Parasolid XMT); б) – додаткова для формату ACIS SAT;
в) – додаткова для формату IGES

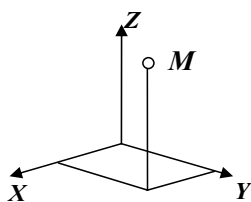
Для перегляду результатів експорту можна застосувати команду імпорту геометрії FEMAP, а також різні програми, наприклад, SolidView, SolidWorks, AutoCAD, Unigraphics тощо.

2.2. Створення геометричної моделі тіла

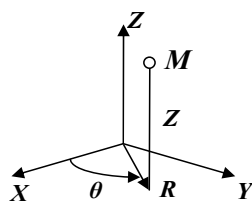
Починається новий проект командою **File**→**New**. З'являється зображення робочої площини та глобальних осей на ній.

2.2.1. Системи координат, орієнтація і розміри зображення, робоча площина

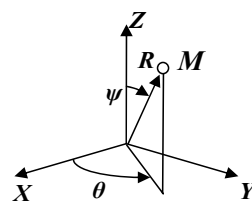
Для встановлення необхідної *глобальної системи координат* необхідно командою **Tools**→**Parameters...** викликати діалогову панель „**Model Parameters**” та обрати у списку „**Coord Sys**” потрібний варіант системи: декартову, циліндричну або сферичну (див. рис.2.9), причому мати на увазі, що в останніх двох системах кути задаються у градусах. Ще один варіант: обрати курсором „миші” відповідну назву координатної системи у об'єкті „**Coordinate Systems**” інформаційно-навігаційної панелі „**Model Info**”, клацнути правою кнопкою „миші” та на динамічній діалоговій панелі, що з'явиться (див. рис.2.9-г), дати команду **Activate**.



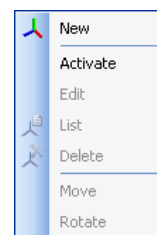
а)



б)



в)



г)

Рис.2.9. Декартова (а), циліндрична (б), сферична (в) системи координат;
динамічна командна панель керування системами координат (г)

Примітка 2.1. Іноді потрібна система координат, яка має іншу орієнтацію осей, ніж глобальна. Інструменти FEMAP для цього описані у Розділі 6.1.2.1.

У процесі побудови геометрії доволі часто необхідно зміщати, повертати або масштабувати зображення на екрані. Усі ці дії можна виконувати після ініціації електронної кнопки  (у мнемонічному меню „**View**”, зліва). На діалоговій панелі „**Dynamic Display**”, що з'явиться (див. рис.2.10-а), є радіокнопки для переключення режимів: „**Rotate**” (обертання),

„**Pan**” (переміщення) та „**Zoom**” (масштабування); а також підказки, як швидко обирати різні режими без радіокнопок: натиснути клавішу „**Alt**” – обертання навколо осі **Z**; клавішу „**Ctrl**” – переміщення; клавішу „**Shift**” – масштабування (додатково потрібно натиснути на ліву кнопку „миші” та рухати курсором по екрану). Є ще опції (кнопка „**Options^**”): „**Single Axis**” – одинична вісь; „**Model Axes**” – осі моделі; „**AutoCenter**” – автоматично помістити у центр; „**Use Rotation Center**” – використовувати центр обертання; „**Rotation Center...**” – вказати центр обертання; „**Rotation Axis...**” – вказати вісь обертання.

Нагадаємо, що відображення будь-яких об’єктів, зокрема геометричних, можна змінити із застосуванням діалогової панелі „**View Options**” (викликається командою **View→Options...** або клавішею „**F6**”) – див. Розділ 1.5 та рис.1.10. Також нагадаємо, що за допомогою мнемонічного меню „**Select**” (див. табл.1.4) можна викликати динамічну панель меню (див. рис.2.10-б), на якій – обрати тип об’єкта (точки, лінії, поверхні, об’єми, ...), щоб потім переглядати дані про обраний на робочому полі об’єкт цього типу.

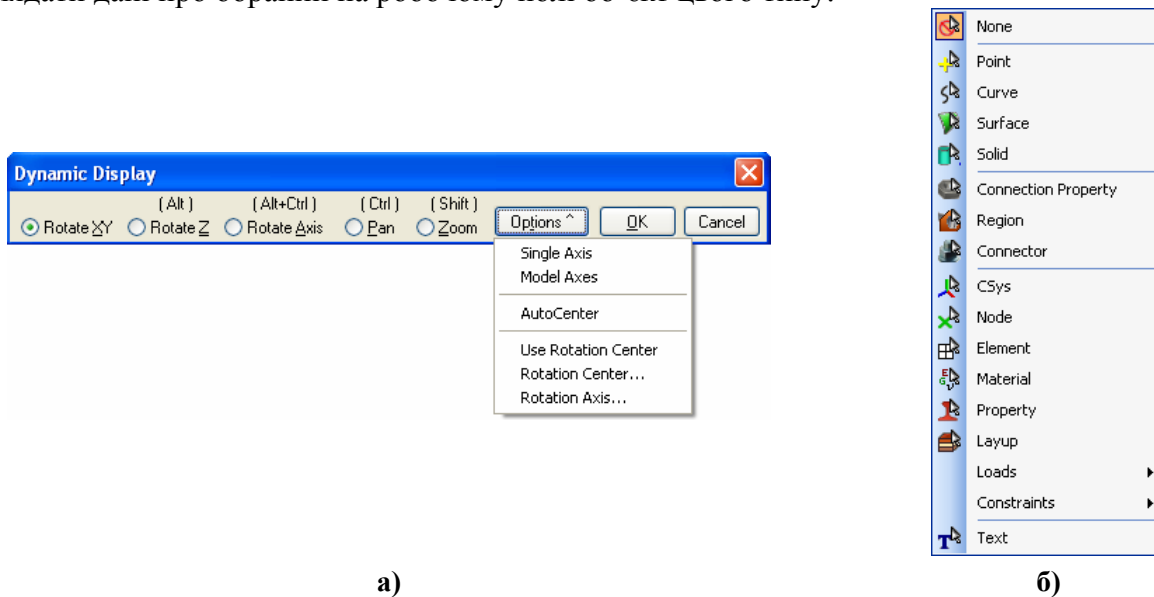


Рис.2.10. Діалогова панель динамічного керування геометричною моделлю з натиснутою кнопкою „Options^” (а); динамічна панель меню типів об’єктів (б)

Для повороту глобальних осей і всього зображення на робочому полі є й інші можливості:

- група електронних кнопок мнемонічного меню „**View**” (див. рис.1.1 та табл.1.2). Ліва кнопка цієї групи змінює напрям повороту на протилежний;
- команда **View→Align By→Along Vector...**. На діалоговій панелі, що з’явиться (див. рис.2.11-а), потрібно обрати координатну систему та метод, яким буде задаватися напрям вектора, вздовж якого буде розглядатися модель (на рис.2.11-а – **Locate**), потім ввести необхідні значення у поля, відповідні методу. Після призначень вектор можна побачити на екрані (кнопка „**Preview**”). Наприклад, у методі „**Locate**” у рядку „**Tip**” вводяться значення напрямних косинусів цього вектора, або пропорційних їм величин. Кнопка дозволяє викликати відповідний розділ з „**Help**” (за допомогою Internet-браузера);

- команда **View→Rotate→Model...** (клавіша „**F8**”). На діалоговій панелі „**View Rotate**” (див. рис.2.11-б) можна або плавно (повзунками) або фіксовано (9-ма кнопками) встановити положення осей та зображення. З цієї панелі кнопкою „**Pan...**” викликається діалогова панель „**View Pan**” (див. рис.2.11-в) для зміни положення зображення на робочому столі; кнопкою „**Mag...**” – панель „**View Magnify**” (див. рис.2.11-г) для змінювання масштабу зображення (зокрема, кнопкою „**Fill View**” – повне зображення); кнопкою „**Zoom...**” – панель „**View Zoom**” (див. рис.2.11-д) для призначення прямокутної області на екрані, зображення з якої буде збільшено (**Zoom In**) або зменшено (**Zoom Out**) пропорційно співвідношенню розмірів прямокутної області та робочого поля (аналог кнопки з мнемонічного меню „**View**”).

Доволі часто виникає необхідність у зміні положення *робочої площини*. Нагадаємо (див. Вступ), що робоча площина (**Workplane**) – допоміжна площина з „самостійними” ко-

ординатами **X** та **Y**. Її призначення – полегшення побудови геометричних об'єктів. Координати введених на робочій площині геометричних об'єктів автоматично перераховуються в поточну глобальну систему координат (**CSys**).

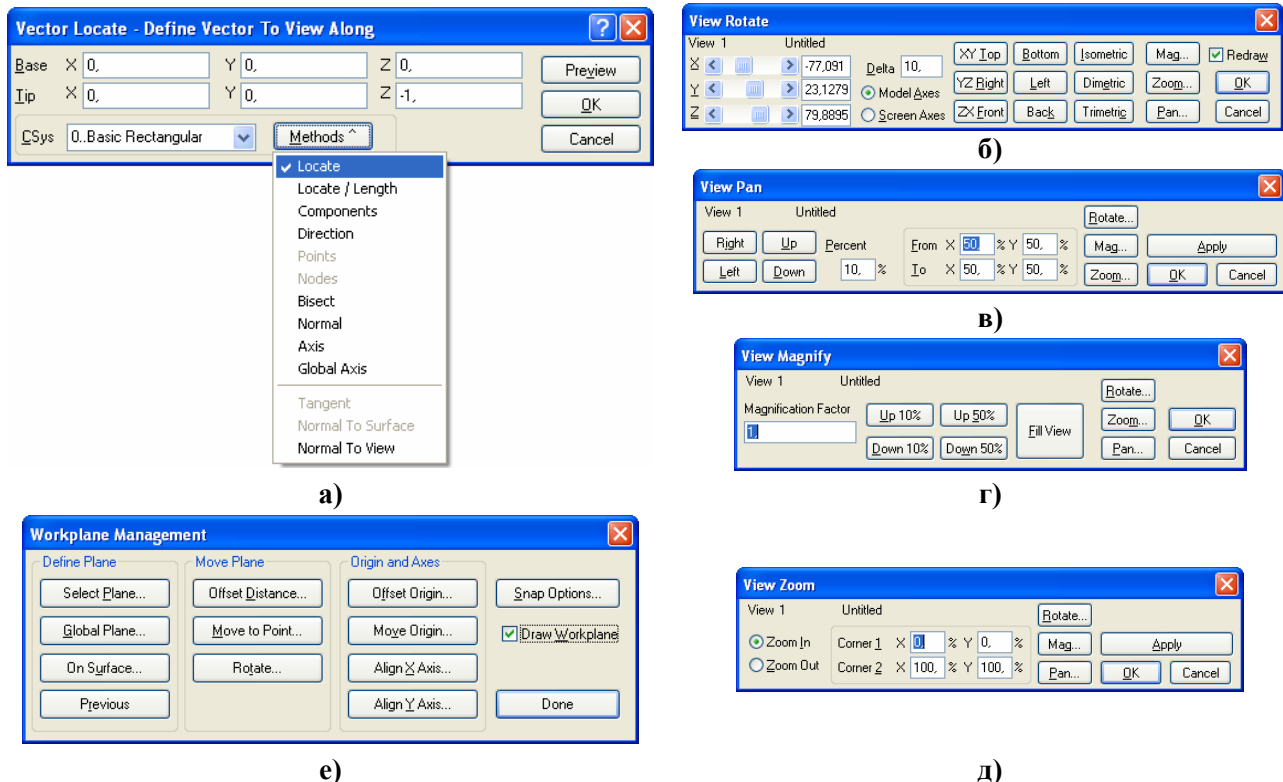


Рис.2.11. Діалогові панелі для: а) – завдання напрямку вектора; б) – повороту; в) – зміщення; г) – зміни масштабу; д) – „вирізання” зони зображення; е) – настроювання робочої площини

Для настроювання робочої площини та зміни її розташування викликається діалогова панель „**Workplane Management**” (клавішею „F2” або командою **Tools**→**Workplane...** або командою **Workplane...** після натиснення на праву кнопку „миші”) та ініціюється одна з кнопок (див. рис.2.11-е): „**Select Plane...**”, „**Global Plane**” або „**On Surface...**” (призначити положення робочої площини обраним способом); „**Offset Distance...**”, „**Move to Point...**” та „**Rotate...**” (її зміщення або повертання); „**Offset Origin...**” та „**Move Origin...**” (зміщення початку координат на робочій площині); „**Align X Axis...**” та „**Align Y Axis...**” (орієнтування координати **X** (або **Y**) робочої площини вздовж вектора, що буде вказаний). Якщо відмінити опцію „**Draw Workplane**”, то робоча площина на екрані не буде відображатися. Після ініціювання кнопки „**Snap Options...**” можна змінити оформлення робочої площини: крок, кількість рисок та стиль розмітки сітки тощо.

Для побудови геометричних об'єктів можна користуватися командами відповідних мнемонічних меню (див. табл.1.5).

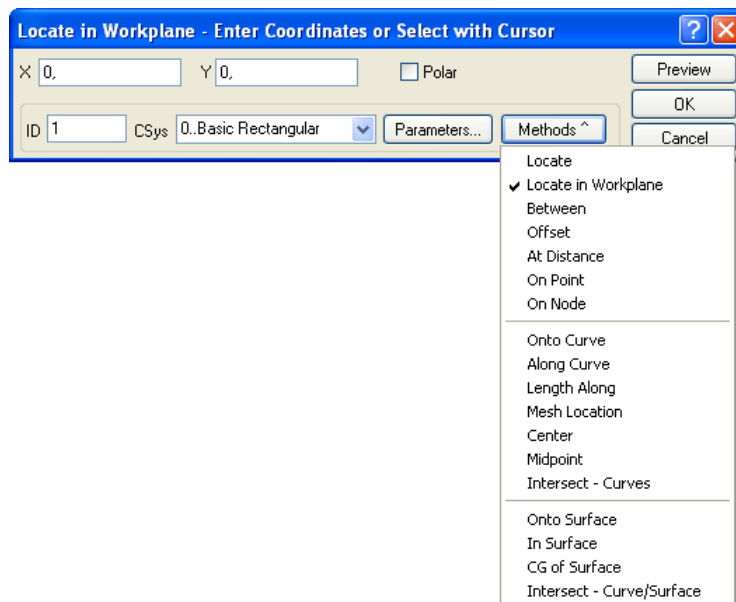
Увага: якщо після видалення будь-якого об'єкта він і надалі відображається на робочому полі, необхідно очистити файл збереження проекту (з розширенням імені **.mod**) командою **File**→**Rebuild...** (див. Розділ 1.4).

2.2.2. Введення точок

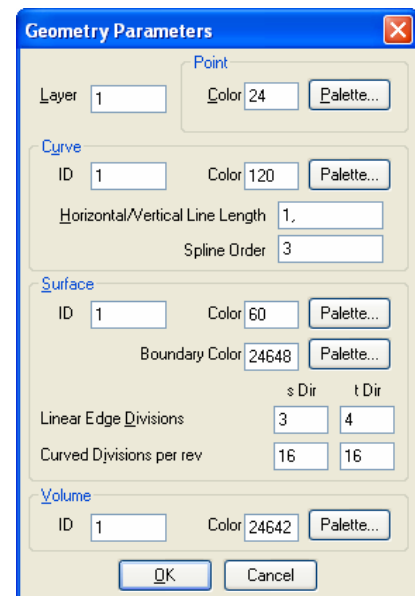
Точки звичайно вводять як опорні (елемент-основа) при створенні ліній та поверхонь. Точки можна вводити або окремим процесом (**Geometry**→**Point...**), або у процесі побудови лінії або поверхні. Наприклад, якщо потрібно задати ламану криву з декількох відрізків ліній, доцільно спочатку задати точки, потім проводити лінії через точки, що вже існують. Можна обрати такі методи (кнопка „**Methods**”) введення точки (див. рис.2.12-а; кнопка  дозволяє викликати відповідний розділ з „**Help**”, за допомогою Internet-браузера):

- двома координатами робочої площини (**Locate in Workplane**). Якщо встановити опцію „**Polar**”, координати точки будуть задаватися в полярній системі координат;

- трьома координатами в глобальній системі координат (**Locate**);
- посередині між двома обраними точками (**Between**);
- величинами зміщення від базової точки (**Offset**);
- на вказаній дистанції вздовж вектора (**At Distance**);
- на основі вже існуючих точки (**On Point**) або вузла (**On Node**);
- на кривій (**Onto Curve**) або на поверхні (**Onto Surface**);
- на вказаній дистанції (відсотки від довжини) від початку кривої (**Along Curve**);
- від кінця вказаної кривої у напрямку початку цієї кривої на вказану відстань (**Length Along**);
- на сітці (**Mesh Location**): точка отримує координати існуючої точки, найближчої до положення курсору у момент надавлювання на ліву кнопку „миші”;
- посередині кривої (**Center**) або прямої (**Midpoint**);
- як точка перетинання кривих (**Intersect – Curves**);
- в чотирьохкутній поверхні (**In Surface**): координати точки задаються параметрично, тобто частинами одиниці (**Param Loc**) вздовж координат **U** та **V** (їх початок – у куті);
- у геометричному центрі геометричної (не конструкційної, див. Розділ 2.2.4) поверхні (**CG of Surface**);
- як точка перетинання лінії з поверхнею (**Intersect – Curves/Surface**).



а)



б)

Рис.2.12. Діалогові панелі: а) – для введення точок координатами, при обраному методі „Locate in Workplane”; б) – параметрів геометричних об’єктів

Кнопкою „Parameters...” викликається панель „Geometry Parameters” (див. рис.2.12-б) загального призначення. На ній можна змінити параметри точки, зокрема рівень (**Layer**) та колір зображення.

Заключні дії: або, встановивши курсор у відповідне вікно редагування, за допомогою курсору „миші” знайти відповідний об’єкт (він поміняє вигляд – активізується) та натиснути на ліву кнопку „миші”, або за допомогою клавіатури ввести (відредагувати) необхідні значення координат або **ID** об’єктів.

Точки ще можна створювати операціями модифікації (однаковий для усіх команд початок **Modify**→ опускаємо) як результат:

- проектування існуючої точки (точок, вузла, вузлів) на вказану лінію або поверхню (**Project**→**Point onto Curve...** або **Project**→**Point onto Surface...**). **Увага:** вихідний об’єкт (точка, вузол, вузли) видаляється автоматично як вже непотрібний. Команди **Project**→**Point along Vector...**, **Project**→**Point onto Vector...** або **Project**→**Point onto Plane...** дозволяють

використовувати додаткову інформацію: допоміжні вектор (**along** – вздовж вектора; **onto** – перпендикулярно вектору) або площину (**onto Plane**);

- переміщення у точку (**Move To...**), або у вказаному вектором напрямку (**Move By...**); опціями „**Update Coordinate**” вказується, які координати змінювати;

- повороту точки навколо вказаної осі, коли двома точками вказується кут повороту (**Rotate To...**);

- повороту точки навколо вказаної осі та одночасного її зміщення вздовж цієї осі (**Rotate By...**);

- поєднання операцій повороту та переміщення точки (**Align...**);

- масштабування координат точки (**Scale...**) за формулами типу $\bar{x} = x_0 + (x - x_0) * m_x$, де x_0 – координата базової точки, m_x – масштабний коефіцієнт;

Координати будь-якої точки можна просто редагувати (**Modify→Edit→Point...**). Ще точки можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7), робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

Коли точки вже непотрібні, їх можна видалити (**Delete→Geometry→Point...**).

2.2.3. Побудова ліній

Лінії можуть бути прямими або кривими. Криві лінії: окружність та її відрізки – дуги, а також побудовані сплайнами лінії.

Докладні дані, зокрема зображення для кожного варіанта побудови ліній, можна отримати у „**Help**” UGS.F93: команда **Help→Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Femap→Contents**, розділ **Commands→3.Geometry→3.2.Creating Curves**.

2.2.3.1. Побудова прямих ліній

Прямі лінії можна проводити (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Curve-Line→** опускаємо):

- через дві точки, що створюються (**Project Points...** чи **Coordinates...**) або вже існують (**Points...**);

- через одну точку, горизонтальну (**Horizontal...**) або вертикальну (**Vertical...**) пряму, причому в обидві сторони від вказаної точки та зі загальною довжиною, що удвічі перевищує встановлене значення на діалоговій панелі „**Geometry Parameters**” (викликається кнопкою „**Parameters**”). Вертикальна пряма паралельна глобальній осі **Y**, а горизонтальна – осі **X**;

- через точку, перпендикулярно до існуючої прямої лінії (**Perpendicular...**);

- паралельно існуючій прямій на вказаній відстані від неї (**Parallel...**);

- паралельно двом існуючим паралельним прямим посередині між ними (**Midline...**); довжина лінії буде дорівнювати середньоарифметичному довжин опорних ліній;

- через точку під кутом до осі **X** (**At Angle...**);

- через точку під кутом до вказаної прямої лінії (**Angle to Curve...**);

- через точку та дотичною до окружності або до частини її дуги (**Point and Tangent...**);

- дотичною до двох окружностей або до частин двох окружностей (**Tangent...**);

- як контур прямокутника (**Rectangle...**): задаються два протилежних кута;

- як замкнута ламана лінія, тобто багатокутник (**Continuous...**);

- зі зміщенням від обраної існуючої прямої (**Offset...**);

- через точку паралельно вказаному вектору (**Vectored...**);

Відповідні цим командам інструменти можна ще викликати за допомогою мнемонічного меню (див. табл.1.5).

У кожному з варіантів можна обирати метод (електронна кнопка „**Methods**”), яким вказуються координати об’єктів. Ці методи – такі ж, що й при створенні точок. Також за допомогою кнопки „**Parameters...**” можна викликати діалогову панель „**Geometry Parameters**” (див. рис.2.12-б) і змінити параметри лінії. Наприклад, колір лінії.

Окрім створення, з лініями можна проводити операції модифікації:

- зміна положення лінії за допомогою редагування координат її опорних точок (**Modify→Edit→Point...**);
- видалення (відсікання) частини лінії від точки її перетинання з іншою лінією або лініями (**Modify→Trim...**): обираються дві або більше ліній, що перетинаються; потім курсором обирається та частина лінії, яку потрібно видалити (вказується точка в околі частини, яка видаляється), та дається команда на видалення (**OK**). Якщо „прапорець” на опції **“Extended Trim”** зняти, то видалення проводиться тільки для лінії, де вказувалася точка;
- подовження лінії до точки, яка створюється проекцією вказаної точки на напрям лінії (**Modify→Extend...**);
- розрізування лінії на частини точкою, яка створюється проекцією іншої точки на напрям лінії (**Modify→Break...**);
- створення загальної точки перетинання двох ліній (**Modify→Join...**) з можливістю видалення їх „зайвих” частин, що лежать за межами кута, створеного цими лініями, який містить деяку вказану точку (необхідно ініціювати опцію **„Update 1”** та/або **„Update 2”**);
- створення округлення двох ліній дугою заданого радіуса з центром, близьким до вказаної точки (**Modify→Fillet...**), з можливістю видалення їх „зайвих” частин (необхідно ініціювати опцію **„Trim Curve 1”** та/або **„Trim Curve 2”**);
- створення фаски вказаних розмірів між двома лініями (**Chamfer Length**) на кожній лінії близько до вказаної точки (**Modify→Chamfer ...**) з можливістю видалення їх „зайвих” частин (необхідно ініціювати опцію **„Trim 1”** та/або **„Trim 2”**).

Вказані операції модифікації ще можна розпочати за допомогою кнопок мнемонічного меню **„Curve Edit”** (див. табл.1.5).

Ще лінії можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7), робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

Коли лінії вже непотрібні, їх можна видалити (**Delete→Geometry→Curve...**).

2.2.3.2. Побудова окружностей та їх частин (дуг)

Криві лінії у вигляді окружності або її частини (дуги) можна створювати, опираючись на декілька варіантів даних. У FEMAP ініціація відповідних процесів можлива через команди меню, електронних кнопок і команд мнемонічних меню (див. табл.1.5).

Для створення *дуги* (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Curve-Arc→** опускаємо) вказуються:

- центр та дві точки, що визначають початок та кінець дуги (**Center-Start-End...**), причому остання точка фактично визначає *напрямок* радіуса до кінця дуги (його розмір визначається відстанню між центром та першою точкою);
- дві точки, що визначають початок та кінець дуги, та її радіус (**Radius-Start-End...**);
- дві точки, що визначають початок і кінець дуги, та кут між радіусами до цих точок (**Angle-Start-End...**);
- дві точки, що визначають центр і початок дуги, та кут (**Angle-Center-Start...**);
- дві точки, що визначають центр і початок дуги, та довжину хорди, що „стягує” дугу (**Chord-Center-Start...**);
- три точки на дузі (**Points...**);
- центр та три точки на дузі (**Center and Points...**), причому дві перші задають початок та кінець дуги, а третя точка задається наближено та вказує напрям проведення дуги: коротшим шляхом або навколо центру;
- дві точки, що визначають початок та кінець дуги, та дотичну до дуги; дотична задається вектором з кінцевої точки (**Start – End-Direction...**).

Перші 5 варіантів створюють дуги тільки у робочій площині (**Workplane**).

У кожному з варіантів можна обирати метод (електронна кнопка **„Methods”**), яким вказується об’єкт.

На лінії дуги FEMAP додатково створює від однієї до трьох опорних точок (в залежності від розміру кута дуги), а також точку – центр дуги, якщо вона не існувала.

Для створення *окружності* (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Curve-Circle→** опускаємо) вказуються:

- центр та точка на окружності (**Radius...**);
- дві точки на окружності, що фактично задають її діаметр (**Diameter...**);
- центр та радіус окружності (**Center...**);
- дві точки на окружності та її радіус (**Two Points...**);
- три точки (**Points on Arc...**);
- центр та дві точки на дузі окружності (**Center and Points...**), причому остання фактично визначає *площину*, в якій створюється окружність (розмір радіуса визначається відстанню між центром та першою точкою).

Крім того, окружність створюється:

- на основі центра окружності дотичною до вказаної лінії (**Point-Tangent...**); лінія може бути прямою або кривою;
- дотичною до двох вказаних ліній (**Tangent to Curves...**), з вказаним радіусом та орієнтовними координатами центру; лінії можуть бути прямими або кривими;
- концентричною до існуючої окружності, з вказаним радіусом (**Concentric...**).

Окрім 2-х варіантів команд: **Points on Arc...** та **Center and Points...**, всі варіанти створюють окружності тільки у робочій площині (**Workplane**).

На лінії окружності FEMAP створює чотири опорні точки: одну – базову, три – допоміжні через кут 90 градусів (для можливого використання), а також точку – центр окружності, якщо вона не існувала.

Ще дуги та окружності можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7), робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

2.2.3.3. Побудова ліній сплайнами

Сплайн (від англ. **Spline** – креслярський пристрій для проведення гладких кривих через задані точки, основний елемент якого – тонка металева лінійка, що розташована ребром до паперу) або сплайн-функція – крива без зломів, що апроксимує функцію, задану таблицею, та створена з відрізків багаточленів однакової степені, які у місцях спряження мають безперервні перші, другі (найбільш поширені у застосуванні кубічні сплайни) або вищі похідні. У залежності від того, які багаточлени застосовуються, розрізняють такі сплайни: **криві Без'є** (Bezier), **В-сплайни** (раціональні рівномірні), **NURBS** (Non-Uniforms Rational B-splines – нерівномірні раціональні В-сплайни) та інші.

Апроксимації еліпса, параболи, введеної формулою кривої, лінії, яка є дотичної до іншої лінії або до поверхні, з'єднання двох кривих у FEMAP проводяться кубічними кривими Без'є. Якщо точок більше 4-х, то застосовуються кубічні В-сплайни. Крім того, до проекту FEMAP криві NURBS можуть бути імпортовані з IGES файлу.

Для побудови сплайнової кривої необхідно не менш 4-х точок. FEMAP має й верхнє обмеження – 110 точок. При побудові сплайнів можуть створюватися додаткові контрольні точки (це робиться для еліпса, параболи, гіперболи тощо).

У FEMAP сплайнові криві починаються та закінчуються в заданих точках, але через задані проміжні точки можуть *не проходити* (ті будуть використовуватися як контрольні – див. рис.2.13-а) або *проходити* (при цьому FEMAP використовує ці точки для того, щоб створити додаткові контрольні точки, див. рис.2.13-б). Відстань між контрольними точками впливає на викривлення сплайнової кривої: при збільшенні відстані викривлення зменшується.

Підменю команди **Geometry→Curve-Spline** розділено на три секції: сплайни у **Workplane**, сплайни від аналітики (також у **Workplane**), і сплайни в тривимірному просторі. Можна користуватися мнемонічним меню „**Splines**” (див. табл.1.5).

Сплайнові криві створюються (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Curve-Spline→** опускаємо):

- через контрольні точки у **Workplane** (**Project Control Points...**) та у просторі (**Control Points...**): крива не проходить через задані проміжні точки; а пари точок, що на кінцях кривої, визначають *дотичні* до кривої у кінцевих точках;

- через точки у **Workplane (Project Points...)** та у просторі (**Points...**): крива проходить через усі задані точки;

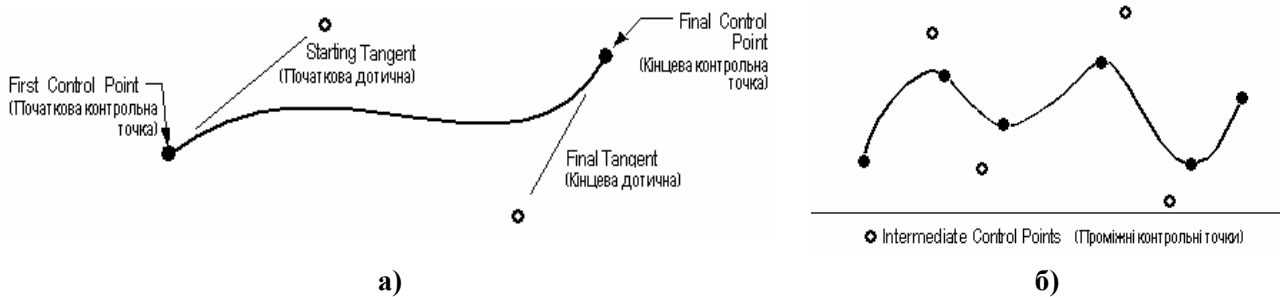


Рис.2.13. Сплайнові криві: а) – через контрольні точки; б) – через точки

- у вигляді еліпса (**Ellipse...**): задаються координати центра еліпса, потім – орієнтацію більшої осі еліпса, потім – розмір більшого (**Vector Radius**) та меншого (**Other Radius**) його радіуса;
- у вигляді параболи (**Parabola...**): задаються координати вершини (**Vertex**) кривої, потім – фокуса, потім – „специфічної” точки поблизу кінця кривої (див. рис.2.14-а);

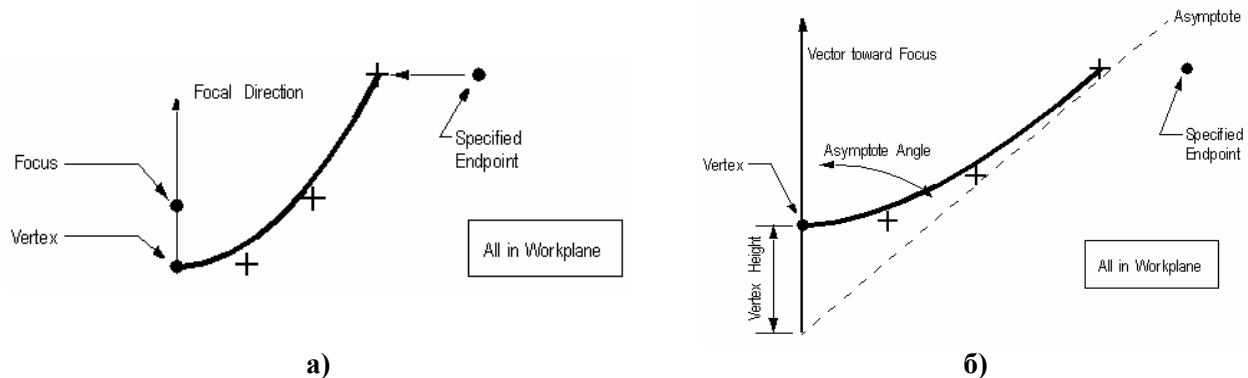


Рис.2.14. Сплайнові криві у вигляді: а) – параболи; б) – гіперболи

- у вигляді гіперболи (**Hyperbola...**): задаються координати вершини (**Vertex**) кривої, потім – напрям вектора від вершини до фокуса (**Vector toward Focus**), потім – висоту вершини (**Vertex Height**) та кут асимптотичної лінії (**Asymptote Angle**), потім – „специфічної” точки поблизу кінця кривої (див. рис.2.14-б);
- завданням коефіцієнтів (кубічні поліноми) параметрично заданої кривої (**Equation...**);
- дотичною (кінцями) до двох векторів, початок та напрям яких послідовно задається (**Tangents...**);
- такою, що з'єднує кінці двох ліній (**Blend...**): обираються дві лінії, причому одночасно вказуються точки десь біля цих кінців;
- проміжної (за положенням) між двома обраними лініями (**Midspline...**);
- на вказаній відстані від *сплайнової* лінії, що існує (**Offset...**), причому додатково задається точка, яка вказує, з якого боку від сплайнової лінії, що існує, створювати нову. **Увага:** якщо помилково відстань вказати такою, яка не може існувати (занадто великою), то можна отримати не передбачувані (тобто помилкові) обрис або положення нової кривої;
- як такі, що „округляють” кути замкнутого контуру (**Multiple Curves...**).

При створенні сплайнових ліній кнопкою „**Parameters...**” можна викликати панель „**Geometry Parameters**” (див. рис.2.12-б) і змінити на ній рівень (**Layer**), колір зображення та порядок сплайна „**Spline Order**”.

Сплайнові лінії можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7); можна робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

Сплайнові лінії часто застосовують для побудови складних поверхонь, наприклад, крила та фюзеляжу літака, лопаток турбомашин, гвинтів, обводів автомобілів, побутової техніки.

2.2.3.4. Побудова ліній на поверхні

Ще лінії можна створювати як (однаковий для всіх команд початок **Geometry→Curve - From Surface→** опускаємо; див. мнемонічне меню „**Curves On Surfaces**” у табл.1.5):

- результат перетинання двох поверхонь (**Intersect...**): вказуються дві поверхні, що перетинаються;
- проекцію лінії на поверхню (**Project...**): вказується поверхня, потім лінія;
- проекцію на поверхню лінії вздовж вектора (**Project Along Vector...**). **Увага:** після виконання цієї та попередньої (**Project...**) команди вихідну лінію не можна редагувати;
- параметричну лінію на поверхні (**Parametric Curve...**). Вказується поверхня, потім обирається метод, яким лінія „прив’язується” до поверхні, наприклад: а) через точку, що існує (**On Point**); б) на поверхні (**In Surface**) з одночасним редагуванням параметра „**Param Loc**” (U або V); в) інший метод; потім задається, який параметр (U або V) застосовується;
- результат розрізування (**Slice...**): вказується поверхня або об’єм, потім – площина, що розрізає (**Specify Cutting Plane**);
- результат розрізування поверхні (**Split at Points...**): вказуються точки на поверхні.

При роботі з поверхнями доцільно встановити опцію **Geometry→Curve - From Surface→Update Surfaces**, щоб їх зображення після побудови на них ліній оновлювалося автоматично.

2.2.4. Побудова поверхонь

У FEMAP є три типи поверхонь:

- *конструкційні*. Створюються та редагуються групою команд з **Geometry→Boundary Surface ►**. У FEMAP враховано те, що доволі часто поверхнева СЕС створюється (автоматично) більш вдалою (див. рис.2.15), якщо декілька геометричних поверхонь об’єднати у єдину. Це тому, що створення поверхневої СЕС проводиться від контуру поверхні. Є поняття „**Multi-surface boundaries**” („граничний контур декількох поверхонь”, коли внутрішні контури – відкинуті) та „**Underlying Surfaces**” („підкладені поверхні” – ті, на основі яких будується поверхня з **Multi-surface boundaries**). Командою **From Curves...** поверхня створюється на основі ліній, які створюють замкнений контур (у Розділі 2.2.6.3 описано, як подолати проблему співпадаючих точок та ліній, яка іноді при цьому заважає; за допомогою команди **Modify→Edit→Boundary...** можна змінити набір ліній у створеному раніше контурі поверхні); командою **From Surfaces on Solid...** – на основі обра-

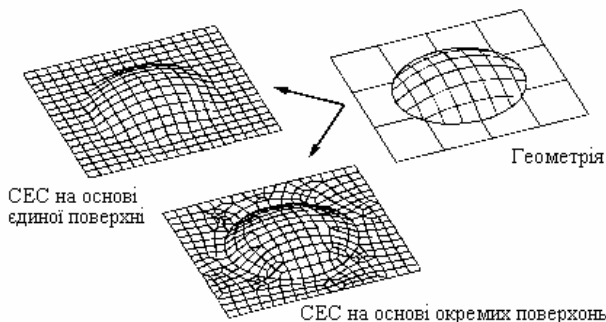


Рис.2.15. До застосування поверхонь з **Multi-surface boundaries**

них поверхонь „твердого” тіла. Для поверхонь, створених командою **From Surfaces on Solid...**, є ще дві команди: **Update Surfaces...** – оновити інформацію про поверхню відповідно до поточного стану „підкладених поверхонь”; **Edit Surfaces...** – приєднати/від’єднати до/від Multi-поверхні ті поверхні, що будуть обрані;

- *серединні* поверхні, що створюються командами меню **Geometry→Midsurface...** як допоміжні для двовимірної скінченно-елементної моделі (див. Розділ 3.3.2.5);
- *звичайні* (геометричної моделі), що можуть створюватися різними методами командами меню **Geometry→Surface...**

Докладні дані, зокрема зображення для кожного варіанта побудови поверхонь, можна отримати у „**Help**” UGS.F93: команда **Help→ Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Femap→Contents**, розділ **Commands→3.Geometry→3.3.Creating Surfaces**.

Можна користуватися командами меню, кнопками і командами мнемонічного меню „**Surfaces**” (див. табл.1.5). Звичайні поверхні у FEMAP можна створювати таким чином (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Surface→** опускаємо):

- по кутах (**Corners...**): вказуються координати трьох або чотирьох кутів поверхні, дається команда **Cancel**;
- по кромкам (**Edge Curves...**): вказуються три або чотири лінії, що створюють замкнений контур;
- по декількох лініях (**Aligned Curves...**): вказуються дві або більше лінії (прямі або криві), що *не перетинаються*. Бічні кромки створюються автоматично;
- по двом прямим або кривим лініям (**Ruled...**). Бічні кромки створюються автоматично;
- по траєкторії переміщення обраної лінії (без зломів, кусково-ломаної або замкнутої):
 - ♦ „видавлюванням” (**Extrude...**); поверхня створюється у вказаному вектором напрямку на довжину цього вектора;
 - ♦ її обертанням навколо заданої осі на вказаний кут (**Revolve...**). **Увага:** лінія, що перетинає задану вісь, нову поверхню створити не зможе;
 - ♦ вздовж раніше створеної лінії без зломів (**Sweep...**): вказуються лінія, що буде створювати поверхню, та лінія напрямку. **Увага:** якщо лінія напрямку є сплайновою, то нова поверхня буде створеною лише тоді, коли ця траєкторія буде дозволяти описувати навколо неї поверхню, тобто характеристики ліній повинні бути погодженими. При застосуванні геометричного ядра **0..Standard** створена на сплайновій кривій поверхня буде ламаною, а **1..Parasolid** – з плавними переходами;
- як плоска поверхня (**Plane...**): задається (обраним методом) положення та орієнтація площини у просторі, потім – її розмір у двох напрямках;
- як бокова поверхня циліндра або конуса (**Cylinder...**): задається вектор локалізації „**Locate Vector**” (початок та кінець вектора), потім – вектор напрямку до точки, з якої буде „починатися” поверхня, потім – обрати тип поверхні (циліндр або конус) та вказати зовнішні (**Outer**) радіуси при основі (**Bottom**) та вершині (**Top**) конуса (для циліндра – тільки першу величину);
- як повна сферична поверхня (**Sphere...**). Задається вектор локалізації „**Locate Vector**” (початок та кінець вектора), потім – вектор напрямку до початку поверхні, потім – радіус (кут довготи (**Longitude Angles**) та кут широти (**Latitude Angles**) не активні);
- на вказаній відстані від обраної поверхні (**Offset...**), причому то, з якого боку від обраної поверхні створювати нову, задається знаком при вказуванні величини відстані (плюс – у сторону „збільшення”). **Увага:** якщо помилково відстань вказати такою, яка не може існувати (занадто великою), то можна отримати не передбачувані (тобто помилкові) обрис або положення нової поверхні.

Якщо поверхня буде створюватися на основі замкнутого контуру, можна перед цим дати команду **Geometry→Sketch...** З’явиться панель „**Sketch**” (тобто „начерк”). Потім користувачем створюється замкнений контур і на панелі „**Sketch**” натискається кнопка „**Finish Sketch**” – створюється поверхня.

Для поверхонь є ще три команди:

- **Geometry→Surface→Convert...**, за допомогою якої обрані поверхні перетворюються з представлення **Standard**, яке є у FEMAP, в **Parasolid**;
- **Geometry→Solid→Intersect...**, яка дозволяє створювати поверхні перетину обраних „твердих” тіл;
- **Geometry→Surface→Remove Hole...**, яка видаляє отвори (з „твердого” тіла або з поверхонь, які мають властивість „твердого” тіла), видаляючи старі та створюючи нові поверхні без отворів (хоча б одну лінію з ліній, що створюють *замкнений* контур отвору (будь-якого геометричного обрису) необхідно додатково вказати у стандартному діалогові обираючи ліній).

Ще поверхні можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7), робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

Поверхні застосовують як основу для описування поверхні об’єму (**Volume**) або „твердого” тіла (**Solid**), а також для створення двовимірної або тривимірної (для тривимірної – на першому етапі, тобто у допоміжних цілях) скінченно-елементної сітки. Також їх можна ви-

користати як допоміжні об'єкти, наприклад, для побудови лінії як лінії перетину поверхонь, для побудови точки як результат проектування на поверхню іншої точки тощо.

2.2.5. Побудова об'ємів і „твердих” тіл

2.2.5.1. Побудова об'ємів

Увага: об'єми (**Volume**) можуть мати не більш 8 кутів та не більш 6 поверхонь, а також не можуть мати пустот. Це значно знижує значення цього (**Volume**) представлення геометрії тіл, тому звичайно воно застосовується для наступної побудови скінченно-елементної сітки. На вкладці „**Geometry/Model**” (команда **File→Preferences→**) потрібно мати варіант **0..Standard**.

Докладні дані, зокрема зображення для кожного варіанта побудови об'ємів, можна отримати у „**Help**” UGS.F93: команда **Help→Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Contents**, розділ **Femap→Commands →3.Geometry→3.4.Creating Solids/Volumes→3.4.1.Volumes**.

Можна користуватися лише командами меню. Об'єми у FEMAP можна створювати таким чином (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Volume→** опускаємо):

- по точках у кутах (**Corners...**): вказуються координати від 4-х до 8-ми точок у порядку, вказаному на рис.2.16. Якщо введені дані не суперечливі, то об'єм створюється;
- поверхнями (**Surfaces...**): вказується тип фігури (**Brick**, **Wedge**, **Pyramid** або **Tetra**, див. рис.2.16); як бічні (**Sides**), нижня (**Bottom**) та верхня (**Top**) обираються раніш створені поверхні, що описують замкнений простір. **Увага:** не можна застосовувати конструкційні (граничні) поверхні (див. Розділ 2.2.4), та створені командою **Geometry→Surface→Aligned Curves...**, тобто по декільком лініям;
- між двох поверхонь або між поверхнею та точкою (**Between...**): обираються раніш створені поверхні однакового типу (трикутні, чотирикутні: **2 Surface**) або поверхня та точка (**Surface and Point**);

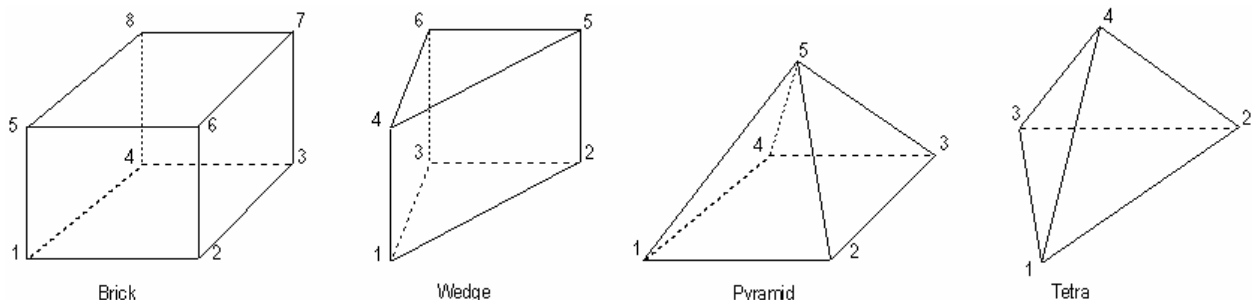


Рис.2.16. Порядок нумерації кутів об'ємних фігур (рисунок з Help)

- видавлюванням (**Extrude...**): обирається поверхня або декілька поверхонь, потім вказується вектором напрям, причому довжина цього вектора є висотою отриманої фігури або отриманих фігур;
- обертанням (**Revolve...**): обирається поверхня або декілька поверхонь, потім вказується вісь обертання, потім – кут обертання;
- як циліндр, конус або труба (**Cylinder...**): задається вектор локалізації **Locate Vector** (початок та кінець вектора), потім – вектор напрямку до точки, з якої буде „починатися” зовнішня поверхня, потім – обрати тип поверхні (циліндр, конус або труба), вказати зовнішні (**Outer**) радіуси при основі (**Bottom Outer**) та вершині (**Top Outer**) конуса (для циліндра – тільки першу величину, для труби додатково – внутрішні (**Bottom Inner** та **Top Inner**) розміри), вказати кут розвороту (360 – повний кут);
- як сфера (**Sphere...**): задається вектор локалізації **Locate Vector** (початок та кінець вектора), потім – вектор напрямку до точки, з якої буде „починатися” зовнішня поверхня, потім – радіус і початкові та кінцеві значення кутів довготи (**Longitude Angles**) та широти (**Latitude Angles**).

Об'єми можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7), робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

2.2.5.2. Побудова „твердих” тіл

Увага: на динамічній панелі команд, що викликається командами **Geometry→Solid→...**, є перемикач „Add/Remove Material”, який встановлює у командах (що розташовані на панелі нижче) значення „Add” (є „прапорець”) або „Remove” (немає „прапорця”) за замовчанням (яке, при бажанні, завжди можна змінити). Це буває зручно, коли виконуються в основному операції додавання або, навпаки, операції видалення.

Докладні дані, зокрема зображення для кожного варіанта побудови „твердих” тіл, можна отримати у „Help” UGS.F93: команда **Help→Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Contents**, розділ **Femap→Commands →3.Geometry→3.4.Creating Solids/Volumes→3.4.2.Solids**.

Можна користуватися командами меню, кнопками і командами мнемонічного меню „Solids” (див. табл.1.5). „Тверді” тіла у FEMAP можна створювати таким чином (однаковий для усіх команд початок **Geometry→Solid→** опускаємо):

- видавлюванням (**Extrude...**). З’являється діалогова панель „Extrusion Options” (див. рис.2.17-а). На ній обирається поверхня (кнопкою **Surface**); завжди автоматично обирається та поверхня, що обиралася останньою). У секції „Material” вказується, що робити з матеріалом „твердого” тіла: це буде нове тіло (**New Solid**) або він буде доданий до існуючого (**Add – Protrusion**) або навпаки – це буде видалення матеріалу (**Remove – Hole**). У секції „Direction” вказується напрям (на робочому полі з’являється зображення вектора): позитивний, негативний або у обидва боки (**Both Directions**). У секції „Length” вказується довжина видавлювання. Якщо видавлювання – у напрямку нормалі до поверхні, то достатньо у вікні „To Depth” вказати значення. Якщо – „під нахилом”, то спочатку необхідно вказати напрям (кнопка „Along Vector”). Також можна у секції „Length” обрати „To Location” та дати команду „OK”: з’являється діалог, у якому вводиться напрям та довжина витискування у термінах опису вектора. Опцію „Try All” (через все тіло) встановлюють, коли в тілі необхідно створити наскрізний отвір. За допомогою кнопки та діалогу „Patterns” (див. рис.2.17-б) можна на основі *однієї* поверхні одночасно створити декілька „твердих” тіл (або отворів), розташованих рядами (**Rectangular**, див. рис.2.17-в): вказується кількість у кожному напрямку (**Number**) та відстань між ними (**Spacing**); або розташованих на окружності (**Radial**, див. рис.2.17-г) з центром (**Center**) та через кут, що дорівнює результату ділення загального кута (**Total Angle**) на кількість (**Number**) таких елементів;

- обертанням обраної поверхні (**Revolve...**): спочатку вказується вісь обертання, потім з’являється діалогова панель „Revolve Options”, майже тотожна панелі „Extrusion Options”, тільки у секції „Length” замість „To Depth” та „Try All” вказуються кути повороту „Angle” та „Full 360” відповідно. За допомогою кнопки „Revolve Axis” (замість кнопки „Along Vector”) можна змінити значення для вже вказаної осі обертання;

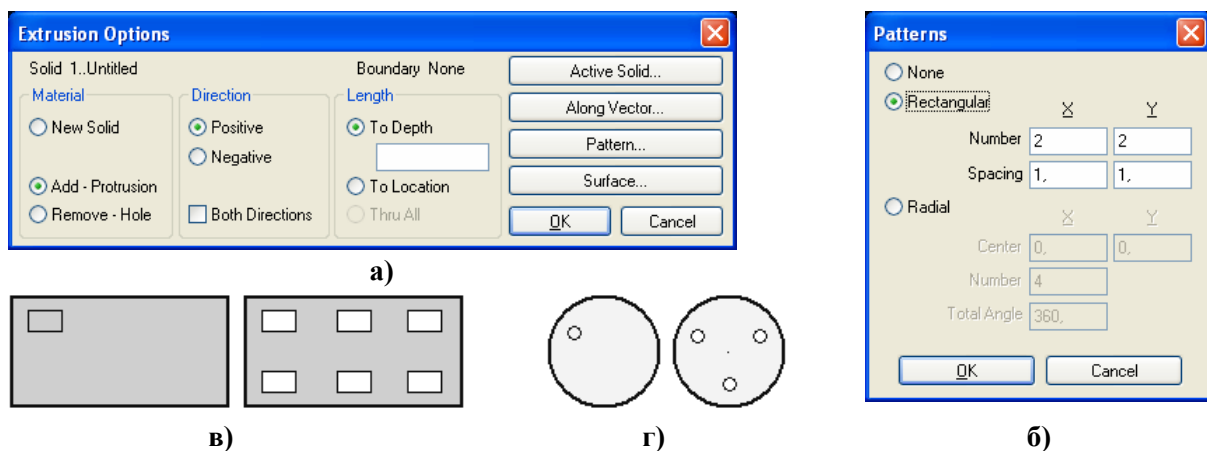
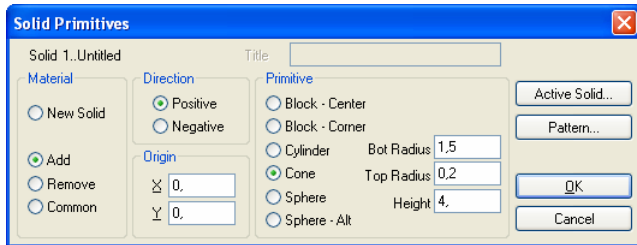


Рис.2.17. Діалогові панелі: а) – для витискування „твердого” тіла; б) – шаблони та результати дії шаблону: в) – Rectangular; г) – Radial

- як один з примітивів (**Primitives...**) – див. рис.2.18-а: паралелепіпед (**Block-Center** або **Block-Corner**), циліндр (**Cylinder**), конус (**Cone**) та сфера (**Sphere** (рис.2.18-б, поверху) або

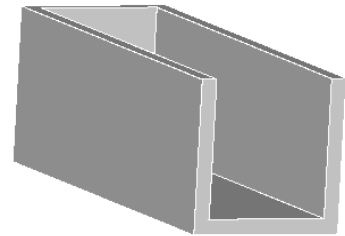
Sphere Alt (рис.2.18-б, понизу)). Тут новому матеріалу можна призначити ім'я (**Title**). У секції „**Material**” є додаткова можливість: радіокнопка „**Common**” вкаже на створення нового тіла, що буде містити лише загальну частину того примітива, що задається, та існуючого активного тіла (загальну частину перетинання). Тіло створюється у напрямку нормалі від робочої площини; нормаль починається з точки, вказаної у секції „**Origin**”, причому у варіанті „**Block-Center**” це є координати центру, а „**Block-Corner**” – кута паралелепіпеда. **Увага:** для конуса нульовою може бути лише величина „**Top Radius**” (див. рис.2.18-а);



а)



б)



в)

Рис.2.18. Діалогова панель створення примітивів (а); два варіанта сфери (б); результат перетворення паралелепіпеда в оболонку командою **Shell...** (в)

- як результат „зшивання” декількох поверхонь, що створюють замкнений простір (**Stitch...**): обираються поверхні, задається величина зазору між поверхнями, яка допускається (може бути ліквідованою). **Увага:** надлишки (з обраних) поверхонь будуть видалені.

Окрім вказаних дій є дії, пов'язані з модифікацією існуючих „твердих” тіл:

- знищення „твердого” тіла зі збереженням поверхонь, що містили цей простір (**Explode...**);
- округлення обраних кромek вказаним радіусом (**Fillet...**);
- створення фасок вказаним розміром на обраних кромках (**Chamfer...**);
- перетворення тіла на оболонку вказаної товщини (**Shell...**): обирається тіло, одна або декілька поверхонь для перетворення, потім вказується товщина стінки оболонки. Ті поверхні, що не обрані, залишаються без змін, а ті, що обрані – перетворюються (див. рис.2.18-в);

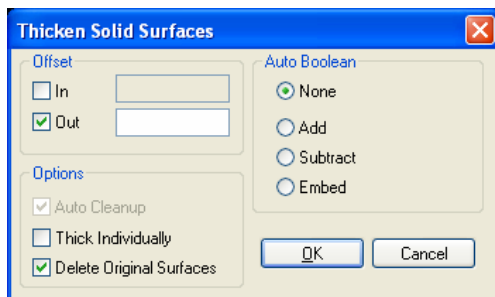


Рис.2.19. Діалогова панель стовщення/стоншення

- стовщення/стоншення (**Thicken...**): обираються поверхні, з'являється панель „**Thicken Solid Surfaces**” (див. рис.2.19). На ній у секції „**Offset**” обираються варіанти „**In**” (у напрямку тіла) та/або „**Out**” (у зовнішньому напрямку) та вказуються відповідні значення змін (в кожній точці – по нормалі до поверхні). У секції „**Options**” можна встановити опції „**Auto Cleanup**” (автоматичне очищення), „**Thick Individually**” (індивідуальне стовщення) та „**Delete Original Surfaces**” (видалити оригінальні поверхні). У секції „**Auto Boolean**” вказується логічна операція: „**None**”

(ніякої), „**Add**” (додати), „**Subtract**” (вирахування), „**Embed**” (включення). Ця операція може застосовуватися для змін товщини стінок, збільшення („**Subtract**”) або зменшення („**Add**”) діаметрів отворів, сфери, інших.

- видалення поверхонь (**Remove a face...**): отворів, округлень, фасок тощо.

Також є декілька команд логічних операцій з тілами:

- додавання або об'єднання декількох „твердих” тіл (**Add...**): створюється нове „тверде” тіло; ті, що увійшли у нове тіло – знищуються. Якщо вказані тіла не перетинаються, то об'єднання не виникає. У діалозі „**Activate Solid**”, що викликається командою **Geometry→Solid→Activate...**, нове тіло буде мати невизначену назву „**Untitled**”, яку можна змінити на іншу;

- видалення загального для обраних тіл матеріалу (**Remove...**): вказується базове тіло (його ім'я буде надано новому) та ще одне або декілька;

- множення (**Common...**), тобто виділення *загального* для обраних тіл матеріалу: вказується базове тіло та ще одне або декілька; не загальні частини обраних тіл зникають;
- врізання (**Embed...**): подібно до **Common...**, але не загальна частина *першого* обраного тіла не зникає, а нове тіло має невизначену назву „**Untitled**”, яку можна змінити;
- пересікання (**Intersect...**): поверхні, що співпадають (різних тіл), будуть відокремлені у нові поверхні, на яких вузли (при створенні у майбутньому СЕС) будуть мати *погоджене* положення. Це будуть різні вузли, а тіла не будуть у них зв'язані; для їх зв'язування необхідно застосувати інструменти команди **Tools→Check→Coincident Nodes...** (аналогічно описаному у Розділі 2.2.6.3 для точок).

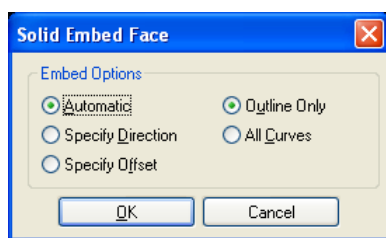
До логічних операцій можна також віднести декілька операцій розсічення тіл на частки:

- розрізування площиною (**Slice...**): обирається тіло (або тіла) та призначається положення площини, що розсіче. На поверхнях тіла (тіл) з'являються нові ребра (у вигляді ліній);
- розрізування площиною „з відповідністю” (**Slice Match...**): аналогічно попередньої операції, але потім при *одночасному* створенні скінченно-елементної сітки вузли на відповідних поверхнях розсічення будуть мати *погоджене* положення (додаткову інформацію див. для команди **Intersect...**);
- розрізування вздовж грані (**Slice Along Face...**): аналогічно попередньої операції, тільки обирається (якщо вона є) грань (площина або криволінійна поверхня), вздовж якої буде розрізане тіло на частини;
- врізання грані (**Embed Face...**): створення нового тіла за рахунок „матеріалу” існуючого, шляхом врізання (вдавлювання) в нього обраної грані тіла. Спочатку обирається грань, що буде врізатися, потім у лівому стовпці опцій на діалоговій панелі „**Solid Embed Face**”, що з'явиться (див. рис.2.20-а), обирається один з варіантів:

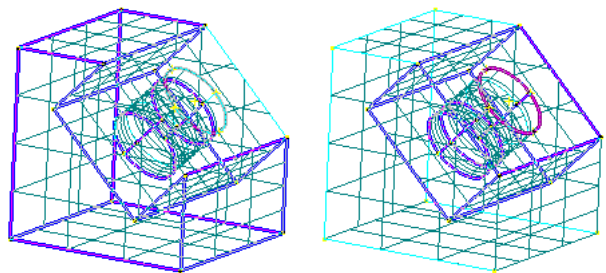
- ♦ „**Automatic**” (автоматично): у напрямку нормалі до грані, наскрізь (через все тіло);
- ♦ „**Specify Direction**” (у вказаному напрямку): додатково необхідно задати напрям та відстань (вектором);
- ♦ „**Specify Offset**” (на вказану відстань): у напрямку *нормалі* до грані, на вказану відстань, причому геометрія не плоскої грані при врізанні перетворюється подібно вихідної геометрії;

Буде реалізовуватися один з двох (обраний з правового стовпця) варіантів:

- ♦ „**Outline Only**” (тільки контур): врізається *наріжний* замкнений контур обраної грані;
- ♦ „**All Curves**” (усі криві): врізаються обрана грань, причому всі отвори, що на ній розташовані, будуть створювати відповідні отвори у новому тілі (див. рис.2.20-б).



а)



б)

Рис.2.20. Діалогова панель **Solid Embed Face** (а) та приклад врізання грані з неглибоким круглим заглибленням (б): створено два тіла, друге – з наскрізним отвором

Нагадаємо, що у FEMAP є ще команда **Geometry→Solid→Intersect...**, яка дозволяє створювати поверхні перетинання обраних „твердих” тіл.

У процесі роботи з *декількома* „твердими” тілами для вибору потрібного тіла його необхідно „активізувати”: командою **Geometry→Solid→Activate...** викликається діалогова панель „**Activate Solid**”, на якій можна обрати необхідне тіло, а також змінити його назву.

Ще „тверді” тіла можна поміщати в різні рівні та групи (див. Розділ 1.7), робити з ними інші загальні операції модифікування (див. Розділ 2.2.6).

2.2.5.3. Очищення „твердих” тіл

Остання операція, яку доцільно проводити зі створеними „твердими” тілами завжди, є їх „очищення” від „залишків” після логічних операцій та операцій перетворення при імпортуванні (допоміжних точок, обрізків ліній та поверхонь тощо).

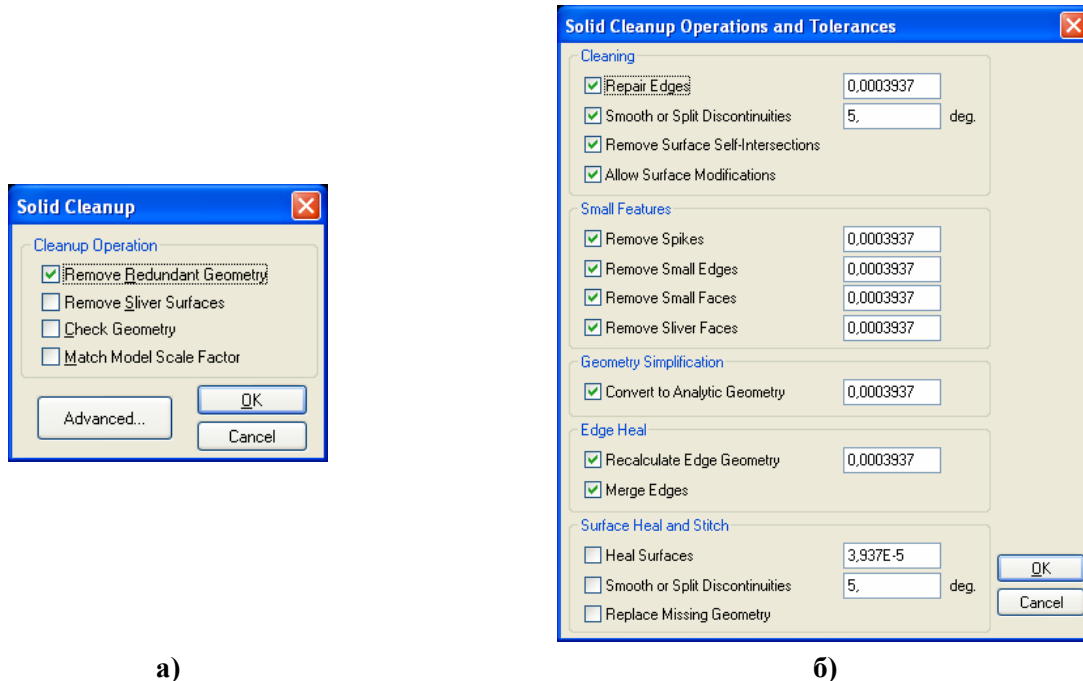


Рис.2.21. Діалогові панелі перевірки „твердого” тіла

Командою **Geometry→Solid→Cleanup...** викликається панель „**Select Solid(s) for Cleanup**”, обираються об’єкти для „очищення”. З’являється панель „**Solid Cleanup**” (див. рис.2.21-а), на якій можна встановити опції „**Remove Redundant Geometry**” (видалити надлишкові об’єкти. **Увага:** додаткові лінії, створені при виконанні операцій **matching** (з відповідністю), будуть видалені), „**Remove Sliver Surface**” (видалити обривки поверхонь: тільки для геометричного ядра **Parasolid**), „**Check Geometry**” (контроль геометрії на її відповідність поняттю „твердого” тіла) та „**Match Model Scale Factor**” (при наявності декількох різних масштабних факторів для „твердих” тіл встановиться єдиний). Для додаткового налаштування процесу очищення кнопкою „**Advanced...**” викликається панель „**Solid Cleanup Operations and Tolerance**” (див. рис.2.21-б), на якій є декілька секцій.

У секції „**Cleaning**” є опції: „**Repair Edges**” (точність на „ремонт країв” для видалення розривів), „**Smooth or Split Discontinuities**” (відновити гладкість, з точністю ... градусів), „**Remove Surface Self Intersections**” (видалити пересікання поверхні з собою), „**Allow Surface Modifications**” (дозволити проведення модифікацій поверхонь). У секції „**Small Feature**” задаються точність для видалення (**Remove ...**): „**Spikes**” (шипів, тобто голкоподібних утворень), „**Small Edges**” (малих ребер), „**Small Faces**” (малих поверхонь), „**Sliver Faces**” (кусків поверхонь). У секції „**Geometry Simplification**” (варіанти спрощення) опція „**Convert to Analytic Geometry**” вказує, що при спрощенні в описуванні об’єктів (ліній, поверхонь) оригінальна геометрія B-сплайна повинна відповідати аналітичному представленню в межах вказаної точності. У секції „**Edge Heal**” (лікування ребер) опція „**Recalculate Edge Geometry**” вказує на точність повторного обчислення геометрії ребра; опція „**Merge Edges**” вказує на необхідність проведення злиття ребер. У секції „**Surface Heal and Stitch**” („загоєння” та зшивання поверхонь) є опції: „**Heal Surface**” (точність „загоєння” поверхонь), „**Smooth or Split Discontinuities**” (відновити гладкість, з точністю ... градусів), „**Replace Missing Geometry**” (заміна поверхонь, яких не вистачає).

Додатково вкажемо, що при „ремонті” FEMAP спочатку проводить операцію роз’єднання, а потім – з’єднання (відтворення). Тому не завжди такий „ремонт” приводить до очікуваних результатів.

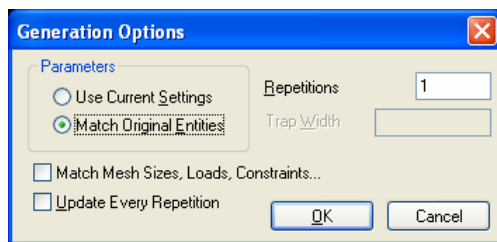
2.2.6. Загальні операції з елементами геометричної моделі

Одна із загальних операцій з елементами геометричної моделі – створення груп. Ці інструменти розглянуто у Розділі 1.7.2. Є й інші.

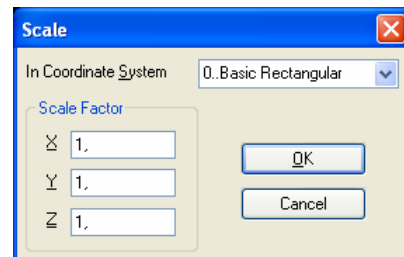
2.2.6.1. Операції копіювання

Для усіх типів геометричних об'єктів (точок, ліній, поверхонь, об'ємів та „твердих” тіл) можна робити операції копіювання (однакову частину команди **Geometry**→ опускаємо):

- звичайного копіювання (**Copy...**): обирається об'єкт, з'являється діалогова панель „**Generation Options**” (див. рис.2.22-а). У секції „**Parameters**” обирається одна з радіокнопок „**Use Current Settings**” (застосувати поточні установки) або „**Match Original Entities**” (відповідати оригінальним об'єктам) та вказується кількість копій „**Repetitions**”. Опція „**Match Mesh Sizes, Loads, Constraints...**” дозволяє переносити розмітку та граничні умови з оригінальних об'єктів на знов створені. Якщо активізувати опцію „**Update Every Repetition**”, то для кожного екземпляра копії буде необхідно вказувати (вектором) її положення, якщо ні – всі копії будуть розташовані у однаковому напрямку на вказаній відстані одна від одної;



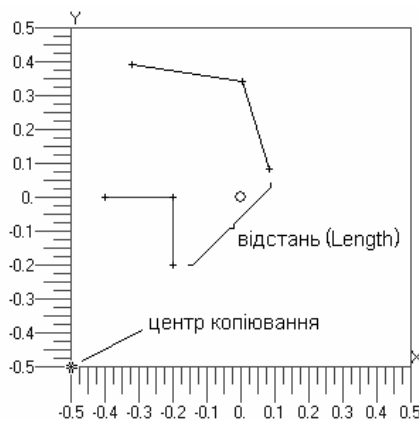
а)



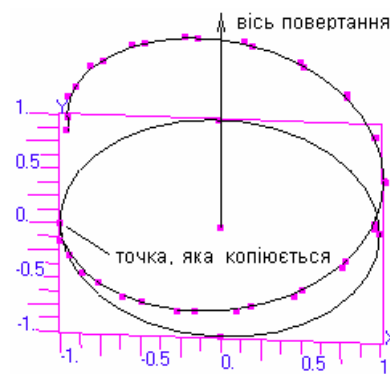
б)

Рис.2.22. Діалогові панелі встановлення: а) – кількості копій та інших опцій копіювання; б) – коефіцієнтів масштабування

- радіальне копіювання (**Radial Copy...**, окрім **Solid**): все майже аналогічно **Copy...**, але зміщення проходить на відстань **Length** вздовж радіуса, що проходить через вказаний центр копіювання та поточну точку обраного об'єкта (див. рис.2.23-а);



а)



б)

Рис.2.23. Приклади копіювання: а) – радіального ліній; б) – точки з обертанням та зміщенням, з наступним створенням сплайнової лінії

- копіювання з одночасним масштабуванням (**Scale...**): обирається об'єкт, вказується кількість копій та координати центра масштабування, потім – масштабні коефіцієнти для трьох координат (див. рис.2.22-б);

- копіювання з одночасним обертанням (**Rotate...**): обирається об'єкт, вказується кількість копій та положення осі обертання, потім – кут обертання та крок зміщення при копіюванні. На рис.2.23-б точка копіювалася 19 разів навколо вертикальної осі з кутом обертання 18 градусів та кроком зміщення 0.05; потім через точки проведено сплайнову лінію (на малюнку видні автоматично створені опорні точки сплайна). Результат – повний оберт гвинтової лінії з кроком 1.0.

• копіювання (тільки одна копія) з дзеркальним відбиттям (**Reflect...**): обираються об'єкти, на панелі „**Generation Options**” вказується значення „**Trap Width**” – фільтр відстані (на рис.2.22-а цей параметр не є активним) та положення площини відбиття. Усі об'єкти, що розташовані близько до площини відбиття, копіюватися не будуть.

2.2.6.2. Операції модифікації

Значну частину цих операцій розглянуто у Розділі 2.2.2 про створення точок: **Modify→Move By..., Rotate To..., Rotate By..., Align..., Scale...** тощо. Їх застосування до інших об'єктів, не тільки геометричних, аналогічне.

Не було розглянуто такі загальні операції модифікації елементів геометричної моделі:

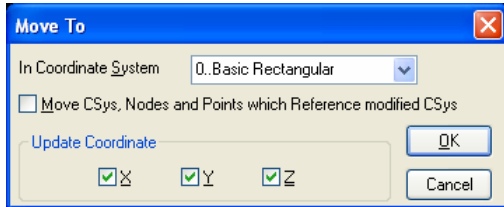


Рис.2.24. Завдання умов переміщення координатної системи

Значну частину цих операцій розглянуто у Розділі 2.2.2 про створення точок: **Modify→Move By..., Rotate To..., Rotate By..., Align..., Scale...** тощо. Їх застосування до інших об'єктів, не тільки геометричних, аналогічне.

• переміщення у вказану точку початку введеної раніше координатної системи (**Modify→Move To→Coord Sys...**). На відміну від переміщення точки є можливість встановити додаткову опцію „**Move CSys, Nodes and Points which Reference modified CSys**” (Перемістити системи координат, вузли та точки, що посилаються на систему координат, яка модифікується). Якщо її обрати, то разом з координатною системою будуть переміщені усі об'єкти, що побудовані у цій системі. Також є можливість вказати, які координати (X, Y або Z) оновити (див. рис.2.24);

- кольору зображення (**Modify→Color...**): обираються об'єкти, встановлюється колір;
- іншого оновлення (**Modify→Update Other...**). Є декілька варіантів:
 - ♦ система координат для точки (**Point Definition CSys...**): точки відносяться до обраної системи координат (звичайно використовують як підготовчу дію перед операціями переміщення, обертання тощо);
 - ♦ порядок сплайна (**BSpline Order...**): обирається сплайнова крива та змінюється порядок сплайна (від 2 до 10, але не більше кількості точок, через які проведена крива);
 - ♦ вузли сплайна (**BSpline Knots ...**): для обраної сплайнової кривої додаються контрольні точки (**Control Points**), що змінює апроксимацію;
 - ♦ зміна напрямку кривої (**Reverse Curve...**), коли це має значення. Не застосовується для кромek поверхонь та ребер „твердих” тіл;
 - ♦ призначити криві такими, що не будуть зникати при проведенні таких операцій, як булеві, очищення, зшивання (**Nonmergeable Curve...**);
 - ♦ границю (помістити) на поверхню (**Boundary On Surface...**). Команда задається як заключна, коли на звичайній криволінійній поверхні за допомогою замкненого контуру створена гранична поверхня (командою **Geometry→Boundary Surface**). Дефект неточної відповідності двох поверхонь може виявитися після створення на поверхні скінченно-елементної сітки;
 - ♦ описування поверхні (**Surface Divisions...**): на обраній поверхні змінюється щільність сітки ліній та точність її відповідності поверхні (за замовчанням це 3x4 та 0.5%);
 - ♦ зміна напрямку нормалі до „твердої” (Solid) поверхні (**Surface Normal...**);
 - ♦ прив'язка системи координат (**CSys Definition CSys...**): майже аналогічна команді **Point Definition CSys...**, але замість точки вказується система координат.

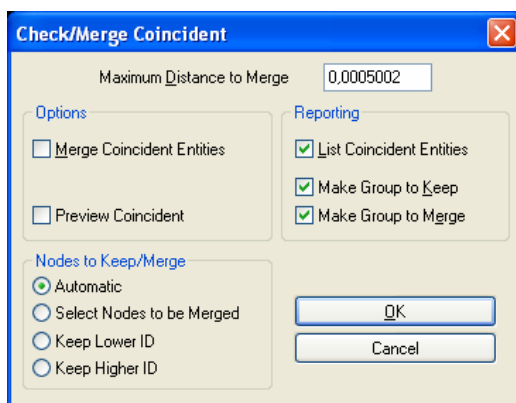
2.2.6.3. Операції контролю геометрії

Доволі часто при створенні геометричних елементів з'являються точки та лінії, що співпадають (точки – частіше). Іноді це явище – негативне, наприклад, не можна створити конструкційну поверхню (командою **Geometry→Boundary Surface...**), якщо ззовні замкнений контур фактично є розірваним, оскільки лінії спираються на співпадаючі точки, або обрано одну (не ту що потрібно) із співпадаючих ліній. Іноді це явище – позитивне, наприклад, при підготовці геометрії до розв'язування контактної крайової задачі, коли точки з однаковими координатами створюють контактні пари та належать різним тілам, що контактують.

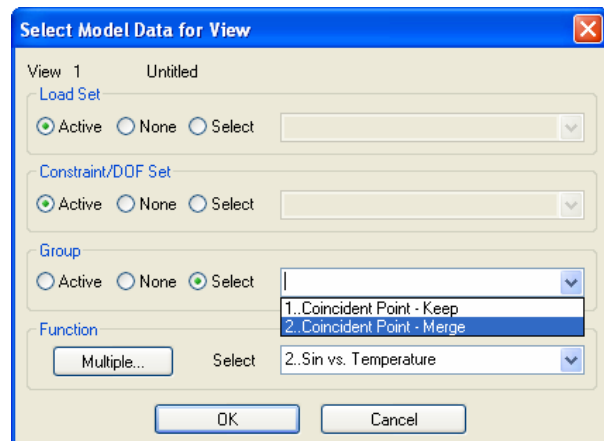
Команди виклику інструментів для виявлення співпадаючих ліній і точок та подальшої роботи з ними такі: **Tools→Check→Coincident Points...** та **Tools→Check→Coincident Curves...** Оскільки дії для виявлення співпадаючих ліній та точок – однакові, то розглянемо їх на прикладі точок.

За допомогою стандартної діалогової панелі для вибору точок створюється їх список (усі точки з прямокутної області робочої зони можна обрати з допомогою натиснутих клавіш „Shift” та лівої кнопки „миші”).

Після команди „OK” з’являється діалогова панель „**Check/Merge Coincident**” (див. рис.2.25-а), на якій можна призначити: допуск на пошук співпадаючих точок „**Maximum Distance to Merge**” та опції „**Merge Coincident Entities**” (Об’єднати об’єкти, що співпадають), „**List Coincident Entities**” (Список об’єктів, що співпадають), „**Make Group to Keep**” (Створити групу для збереження) і „**Make Group to Merge**” (Створити групу для об’єднання).



а)



б)

Рис.2.25. Діалогові панелі:

а) – призначення опцій для роботи з точками; б) – перегляду списків точок, що співпадають

Список точок, що співпадають, а також вказівка на кількість об’єднаних точок з’являється у вікні повідомлень FEMAP, буде мати приблизно такий вигляд (у дужках – відстань між точками):

Coincident Point List

Point	7	Coincident with Point	15	(	3.4986E-2	)	Not Merged, Point 15
Point	9	Coincident with Point	8	(	0.	)	

2 Point(s) Merges

Якщо усі точки, що співпадають, необхідно об’єднати, то достатньо встановити опцію „**Merge Coincident Entities**”. Якщо ні, то доцільно спочатку переглянути список точок, що співпадають, потім робити необхідні об’єднання. Створені дві групи точок, що співпадають (для збереження та для об’єднання), можна переглянути: командою **View→Select→Model Data...** викликати діалогову панель (див. рис.2.25-б), потім обрати необхідну групу. Обирати точки для об’єднання можна, обираючи у діалозі призначення точок для об’єднання групу для об’єднання (зі списку **Group**, як це зроблено на рис.2.25-в).

Якщо проведене об’єднання не задовольняє, потрібно повернутися до попереднього стану та змінити призначення у діях: обрати іншу групу вузлів, призначити інший допуск на пошук співпадаючих точок тощо.

2.2.6.4. Операції вимірювання

У FEMAP є інструменти вимірювання відстані, кутів між обраними об’єктами, довжини, площ, об’ємів, мас, моментів інерції та інших параметрів геометричних об’єктів (а також об’єктів скінченно-елементної моделі).

Командою **Tools→Distance...** (відстань) викликається стандартна діалогова панель обиравання об’єктів, де за допомогою кнопки „**Method...**” встановлюється тип об’єктів, після

чого послідовно обираються два об'єкта. Результат з'являється на інформаційній панелі: пряма відстань та її розклад на глобальні осі. Аналогічні дії – при вимірюванні кута (команда **Tools→Angle...**), причому першу точку потрібно обирати у вершині кута.

Результати наступних вимірів з'являються у вікні повідомлень FEMAP. Це дві групи команд, які викликаються командами:

- **Tools→Mass Properties ►** (масові характеристики): **Measure Curves...** (довжина лінії); **Surface Area...** (площа поверхні); **Solid Properties...** (властивості „твердого” тіла: об'єм, площа поверхонь, координати центру мас, осьові моменти інерції); **Mesh Properties...** (різноманітні властивості скінченних елементів);

- **Tools→Section Properties ►** (властивості обраних перерізів відносно вектора, який буде вказаний): **Surface Properties...** (геометричних поверхонь); **Mesh Properties...** (скінченних елементів).