

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Кроль О.С., Соколов В.І.**

**ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ТА  
ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ**

*Навчальний посібник*

**Сєвєродонецьк 2016**

УДК 621.9.06-658:512  
ББК 30.2-5-05  
К83

Рекомендовано Вченою радою  
Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля  
(протокол № 5 від 25.11.2016 р.)

Рецензенти:

*Пермяков О.А.*, завідувач кафедри технології машинобудування та металорізальних  
верстатів НТУ (ХПІ), д.т.н., проф.  
*Драгобецький В.В.*, завідувач кафедри технології машинобудування Кременчуцького  
національного університету ім. М. Остроградського, д.т.н., проф.

**Кріль О.С., Соколов В.І.**

**К83 Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення:** навчальний посібник / О.С. Кріль, В.І. Соколов. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 160 с.: табл. 1, рис. 144, бібліогр. назв. 38.

ISBN 978-617-11-0074-9

Навчальний посібник містить відомості про методику й процедури 3D-моделювання верстатних систем фрезерувально-свердильно-розточного типу та інструментального забезпечення машинобудівного виробництва. Розглянути базові прийоми розробки ескізів та тривимірних операцій, які задіяні в інтегрованих системах автоматизованого виробництва КОМПАС-3D та APM WinMachine. Використані основні бібліотеки стандартних виробів, валів та механічних передач, кінцево-елементного аналізу (модуль APM FEM), які прискорюють роботу конструктора та значно зменшують термін процесу проектування. На базі спеціалізованого додатка «Зубчастопасові передачі» розриті можливості системи, які пов'язані зі взаємодією бібліотеки Вали і механічні передачі 2D з системою КОМПАС-3D. Така взаємодія дозволяє генерувати тривимірні твердотільні моделі на основі параметричної моделі, створеної у бібліотеці Вали і механічні передачі 2D, і підключати засоби редагування КОМПАС-3D. Надано рекомендації, що до створення фото реалістичного зображення конструкцій верстатів за допомогою модуля Artisan Rendering, інтегрованого в систему КОМПАС-3D. Представлені багато розроблених на кафедрі Машинобудування та прикладної механіки тривимірних моделей металорізальних верстатів та інструментів.

Для студентів спеціальностей «Галузеве машинобудування» та «Прикладна механіка», аспірантів та викладачів.

УДК 621.9.06-658:512  
ББК 30.2-5-05

ISBN 978-617-11-0074-9

© Кріль О.С., Соколов В.І., 2016  
© Східноукраїнський національний  
університет ім. В. Даля, 2016

---

---

## ВСТУП

Створення нових виробів в машинобудуванні пов'язане з побудовою і використанням на усіх етапах його життєвого циклу 3D-моделей в середовищі інтегрованих САПР і поступовий перехід інженерів-проектувальників на стратегію 3D - конструювання. Основні переваги тривимірного моделювання полягають в наступному:

1. Конструктору у своїй практиці ефективніше оперувати саме об'ємними об'єктами.

2. 3D- моделі є максимально інформативними. В процесі тривимірного моделювання з'являється можливість, проаналізувати внутрішню будову деталі, виконати віртуальні складення і розбирання.

3. Конструювання металорізальних систем базується на тривимірних моделях, на основі яких можуть бути отримані робочі креслення їх компонент

4. Математичний опис 3D-моделей дозволяє здійснити перетворення в програму, що управляє, для верстатів з ЧПУ і тривимірних принтерів.

У минулому залишилася неавтоматизована технологія виконання конструкторських розрахунків, креслень і документації. Одним з головних недоліків перебував у відсутність механізму редагування графічної інформації і процедур вдосконалення конструкцій. Час створення конструкторської документації робили проект не конкурентоздатним.

У сучасних графічних редакторах впроваджуються функції оперативного створення складних конструктивних елементів, збільшується кількість прикладних бібліотек валів, механічних передач, стандартних виробів, з'являється можливість вбудовування «авторських», спеціалізованих бібліотек. Впроваджуються

досконаліші механізми параметризації графічного зображення, що лежать в основі нових технологій проектування.

Одним з найбільш ефективним прийомів є створення механізму встановлення асоціативних зв'язків, які забезпечують взаємодію в САПР між моделлю виробу, його кресленнями, а також специфікаціями. В результаті цього реалізується автоматичне відображення змін конструкторської документації при будь-яких перетвореннях в 3D-моделях.

Серед систем автоматизованого проектування виділяється система тривимірного твердотілого моделювання КОМПАС-3D, до складу якої інтегрується розрахунковий модуль АРМ FEM, ґрунтований на методі кінцевих елементів в дослідженнях конструкцій верстатних систем за критеріями міцності, жорсткості і вібростійкості. САПР КОМПАС є багатофункціональною системою САД/CAM/PDM з власним математичним ядром. Система має зручний креслярсько-графічний редактор, велику кількість прикладних бібліотек і додатків, які реалізують процес проектування якісно і в стислі терміни.

На кафедрі машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля в 2012...2016 р.р. проведені масштабні роботи по 3D-моделюванню металорізальних верстатів і інструментів. Студенти кафедри ставали переможцями Міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделювання», що проводиться групою компаній АСКОН. З конкурсними проектами можна ознайомитися в Галереї проектів за 2012...2016 р.р.

Автори виражають вдячність студентам кафедри Бурлакову Е.І., Осіпову В.І., Сухорутченко І.О., Журавльову В.В., Хмельницькому А.В., Литвиненко С.С., Фіронову Д.В. за високий рівень професійної майстерності при створенні 3D-моделей верстатних систем.

---

---

## 1. СИСТЕМА ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ САПР АРМ WINMACHINE

Невід'ємною частиною відомих програм САПР є система геометричного моделювання, яка дозволяє працювати з формами в тривимірному просторі (зміна форми моделі; додавання і видалення її частини; деталізація форми візуальної моделі і тому подібне). Системи геометричного моделювання діляться на каркасні, поверхневі і твердотільні.

У системах каркасного моделювання (wireframe modeling systems) форма представляється у вигляді набору ліній, що характеризують її, і кінцевих точок. Лінії і точки використовуються для представлення тривимірних об'єктів на екрані, тобто візуальна модель є каркасним кресленням форми, а відповідний математичний опис є набором рівнянь кривих, координат точок і відомостей про зв'язність кривих і точок (приналежність точок до конкретних кривих, а також перетин кривих один з одним). Проте візуальна модель, що складається з одних тільки ліній може бути неоднозначною, а відповідний математичний опис не містить відомостей про внутрішні і зовнішні поверхні модельованого об'єкту. Без цих відомостей неможливо розрахувати масу об'єкту, визначити траєкторії переміщення інструменту при обробці об'єкту або створити сітку для кінцево-елементного аналізу. Оскільки ці операції є невід'ємною частиною процесу проектування, системи каркасного моделювання витіснені системами поверхневого і твердотільного моделювання.

## 1.1. Системи поверхневого моделювання

### 1.1.1. Математичний опис моделі

У системах поверхневого моделювання (surface modeling systems) математичний опис візуальної моделі включає не лише відомості про характеристичні лінії і їх кінцеві точки, як в каркасному моделюванні, але і дані про поверхні. При роботі з моделлю, що відображається на екрані, змінюються рівняння поверхонь, рівняння кривих і координати кінцевих точок. Якщо поверхні не забарвлені і не затушовані, візуальна модель в системі поверхневого моделювання може виглядати точно так, як і в системі каркасного моделювання.

Математичний опис може включати відомості про зв'язність поверхонь, тобто про те, як поверхні з'єднуються один з одним і по яких кривих. У деяких застосуваннях ці відомості виявляються дуже корисними. Наприклад, програма для формування траєкторії переміщення фрези з ЧПУ може скористатися цією інформацією для перевірки, чи не зачіпає фреза поверхні, що примикають до оброблюваної. Проте в математичний опис моделей, що створювалися в системах поверхневого моделювання, зазвичай включалися тільки рівняння нескінченних поверхонь (чи їх параметри) без відомостей про зв'язність.

Прикладами атрибутів, що визначають поверхню, являються положення і напрям центральної осі і радіус циліндра. Через відсутність відомостей про зв'язність додатку типу програми для формування траєкторій переміщення доводилося визначати межі поверхонь і перевіряти їх зв'язність самостійно. У сучасних системах поверхневого моделювання такі незручності виключаються завдяки включенню відомостей про зв'язність поверхонь.

Існує три стандартні методи створення поверхонь в системах поверхневого моделювання.

1. Інтерполяція вхідних точок.
2. Інтерполяція криволінійних сіток.
3. Трансляція або обертання заданою кривою.

Способи введення для кожного методу можуть залежати від конкретної системи поверхневого моделювання. Проте базовий

метод введення для кожної системи легко визначити за уявленням кривих і площин.

Системи поверхневого моделювання використовуються для створення моделей із складними поверхнями, тому що візуальна модель дозволяє оцінити естетичність проекту, а математичний опис дозволяє побудувати програму для обробки поверхонь деталі на верстаті з ЧПУ.

### *1.1.2. Поверхневе моделювання в модулі «APM Studio»*

У системі «APM WinMachine» є модуль поверхневого і твердотільного моделювання «APM Studio». Зовнішній інтерфейс модуля при створенні поверхневих моделей представлений на рис.1.1.

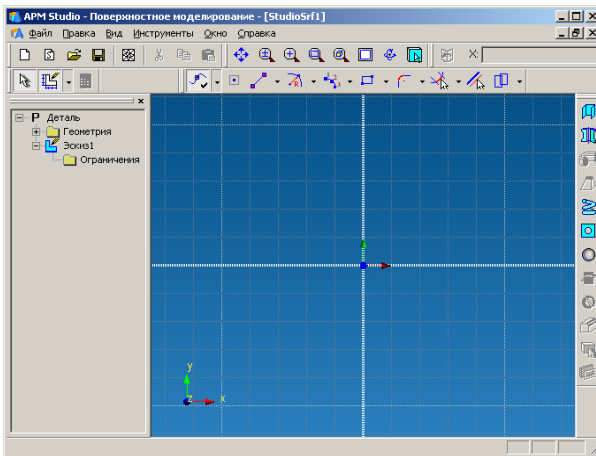


Рис. 1.1. Зовнішній інтерфейс поверхневого моделювання

Створення будь-якої тривимірної моделі розпочинається з роботи в двовимірному ескізі. У рамках цього режиму в APM Studio є повний спектр команд для створення складних геометричних об'єктів, які можуть надалі виступати такими, що утворюють різного роду поверхонь.

Для створення складних геометричних об'єктів використовуються стандартні процедури. Передусім, це операції «Виштовхування» (рис. 1.2, а) і «Поворот навколо осі» (рис. 1.2, б). Вони застосовуються при формуванні вісесиметричних і постійних по довжині поверхонь. На той випадок, якщо утворюють виступають геометричні об'єкти, що відрізняються один від одного, передбачена функція «Виштовхування по перерізах»

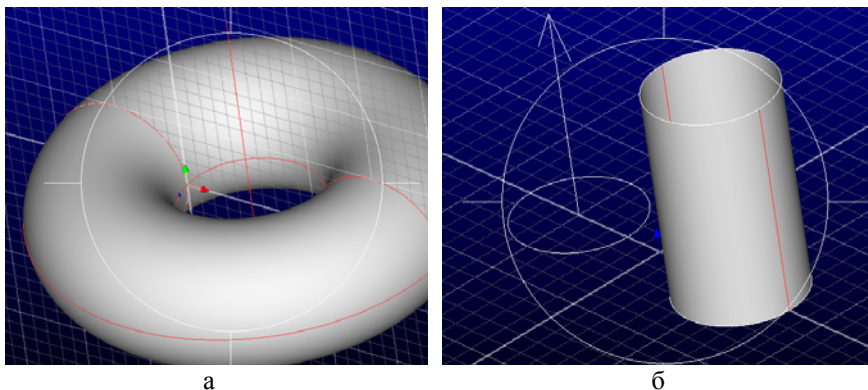


Рис. 1.2. Операції виштовхування і повороту навколо вісі

Особливу увагу слід звернути на процедуру виштовхування довільного контуру по дорозі (рис. 1.3) – це ефективний інструмент, що дозволяє з мінімальними витратами моделювати різного роду оболонкові деталі будь-якої міри складності.

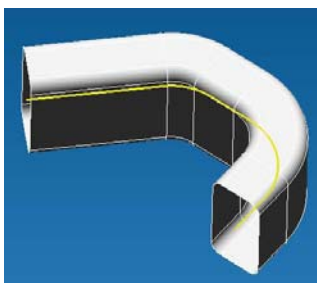


Рис. 1.3. Виштовхування довільного контуру по дорозі



Відомо, що шляхом може виступати як крива, що знаходиться в одній площині, так і крива, що належить одночасно декільком площинам. Створення просторових кривих стало можливим завдяки реалізації такого робочого простору, як тривимірний ескіз. Крім того, в APM Studio є окремі процедури для побудови контурних площин і сферичних поверхонь.

Вищеперелічені інструменти для створення поверхневої моделі в цілому мало чим відрізняються від аналогічних процедур, призначених для формування твердотільних моделей і добре відомих тим користувачам, хто має досвід роботи з будь-яким з відомих 3D-редакторів. Проте на цьому схожість між оболонками і об'ємними елементами закінчується.

Слід знати, що при роботі над твердотільною моделлю цих інструментів цілком достатньо, так що створена з їх допомогою модель може вважатися готовою (або до подальшого розрахунку, або до яких-небудь подальших складальних маніпуляцій). А результат аналогічної роботи з поверхнями не є підсумковим. Отримані тонкостінні елементи, що входять до складу моделі, не будуть пов'язані один з одним, що, по-перше, неадекватно відбиває реальну конструкцію, а по-друге, веде до отримання невірних результатів розрахунку. І станеться це як мінімум з двох причин:

- незв'язність поверхонь автоматично призводить до незв'язності кінцевих елементів після їх генерації, що, у свою чергу, відіб'ється на загальній картині розподілу напруги, деформацій і величин силових чинників;

- у ряді випадків незв'язність поверхонь веде до того, що колись єдина деталь стане складальною одиницею, що складається з цілого ряду окремих деталей.

Для того, щоб уникнути подібних проблем, необхідно виконати певну послідовність дій. Передусім, потрібно визначити лінії перетину поверхонь, для чого в APM Studio є відповідна функція (рис. 1.4, а). Завершальним етапом є процедура зшивання отриманих поверхонь по знайдених лініях їх перетинів (рис. 1.4, б).

Завершальним етапом в процесі підготовки поверхневої моделі є генерація кінцево-елементної сітки. Ця операція реалізується автоматично, прямо в APM Studio. В якості кінцевого елемента вибрана найбільш універсальна трикутна трьохвузлова

оболонка (пластина) з шістьма ступенями свободи в кожному вузлі. Цей елемент дозволяє отримати якісні результати за досить невеликий період часу, потрібний для розрахунку. Крім того, за інших рівних умов використання цього виду елементів дозволяє ефективно зменшувати розмірність вирішуваної задачі, що знижує вимоги до апаратних засобів і відповідно скорочує час, що витрачається на розрахунок. У генератор кінцево-елементної сітки вбудований автоматичний «покращувач», який стежить за тим, щоб в якості кінцевих елементів застосовувалися переважно рівносторонні трикутники, погрішності розрахунку напружено-деформованого стану, що є оптимальними з точки зору мінімізації. Крім того, у рамках генератора реалізований алгоритм, що відстежує правильність введення кроку розбиття. У разі вибору величини кроку, сумірної з габаритами внутрішніх контурів, користувачеві буде видано відповідне попередження з вказівкою причин, які можуть привести до некоректності створюваної моделі.

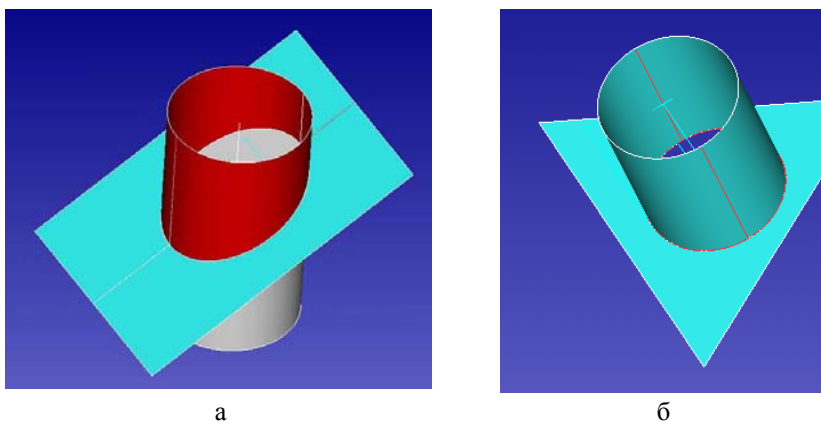


Рис. 1.4. Перетин і зшивання поверхонь  
а – лінія перетину поверхонь; б – зшивання поверхонь

## 1.2. Системи твердотільного моделювання

Системи твердотільного моделювання (Solid Modeling System) призначені для роботи з об'єктами, що складаються із замкнутого об'єму, або моноліту (Solid). У системах твердотільного моделювання, на відміну від систем каркасного і поверхневого моделювання, не допускається створення наборів поверхонь або характеристичних ліній, якщо вони не утворюють замкнутого об'єму. Математичний опис об'єкту, створеного в системі твердотільного моделювання, містить відомості, по яких система може визначити, де знаходиться яка-небудь точка: усередині об'єму, зовні нього або на його межі. За цими відомостями можна отримати будь-яку інформацію про об'єм тіла, тобто можуть бути написані додатки, працюючі з об'єктом на рівні об'єму, а не на рівні поверхні.

Наприклад, можна написати додаток, що формує сітку кінцевих елементів об'ємного типу по твердотільній моделі. Можна написати програму для формування усіх траєкторій фрези з ЧПУ, необхідних для виготовлення деталі із заготовлі. Ця програма працюватиме не з окремими площинами, а з об'ємом в цілому, що виключить потребу у введенні даних для кожної площини. Усі ці можливості реалізуються у тому випадку, якщо модель створюється у вигляді замкнутого об'єму. Проте створення моделі у вигляді замкнутого об'єму вимагає більшої кількості вхідних даних в порівнянні з кількістю даних, що дають математичний опис. Це одна з причин, по яких були розроблені системи моделювання нерізноманітних об'єктів. Такі системи моделювання дозволяють працювати з поверхнями і замкнутими об'ємами одночасно.

Якби система твердотільного моделювання вимагала введення усіх даних для повного математичного опису, вона була б занадто складною для користувачів, і вони відмовилися б від неї. Процес деталізації форми не був би схожий на інтуїтивний процес фізичного моделювання, і в результаті вийшло б зовсім не те, на що розраховували творці систем геометричного моделювання. Тому розробники систем твердотільного моделювання намагаються надати прості і природні функції, щоб користувачі могли працювати з об'ємними формами точно так, як і вони працюють з фізичними моделями, не вдаючись до подробиць математичного опису. Функції моделювання, подібні до створення примітивів, булевих операцій, підняття, побудови фігури обертання, повороту і закруглення, досить наглядні і природні для сприйняття.

### 1.2.1. Функції моделювання

Функції моделювання, підтримувані більшістю систем твердотільного моделювання, можуть бути розділені на п'ять основних груп. До першої групи входять функції, використовувані для створення простих форм на основі об'ємних заготовель, наявних в програмі, – так звані функції створення примітивів (Primitive Creation Function). До цієї ж групи відносяться функції додавання і віднімання об'єму – булеві оператори (Boolean operations). Функції моделювання з першої групи дозволяють проектувальникові швидко створити форму, близьку до остаточної форми деталі, подібно до створення приблизної фізичної моделі.

До другої групи відносяться функції створення об'ємних тіл шляхом переміщення поверхні. Функція «замітання» (sweeping) дозволяє створювати об'ємне тіло трансляцією або обертанням області, заданої на площині. Побудова тіла обертання з плоскої кривої називається також «гойданням» або обертальним замітанням (swinging). Задаючи замкнуту плоску область, користувач може вказувати геометричні обмеження або вводити дані про розміри, а не малювати форму вручну. Тут під геометричними обмеженнями розуміються співвідношення між елементами рисунку (перпендикулярність відрізків, торкання дуги кола відрізком і т. д.). В цьому випадку система побудує точну форму, що задовольняє обмеженням, самостійно.

Зміна геометричних обмежень або розмірів дасть іншу плоску область і інше об'ємне тіло. Такий підхід називається параметричним моделюванням, оскільки зміна параметрів дозволяє отримати різні об'єкти. Параметрами можуть бути постійні, такі, що входять в геометричні обмеження, а також розміри. Функція скіннинга (skinning) створює об'ємне тіло, натягуючи поверхню на задані поперечні перерізи. Функції другої групи дозволяють проектувальникові розпочати моделювання з форми, дуже близької до кінцевого результату, оскільки одних поперечних перерізів вистачає для точного опису кінцевого об'ємного тіла.

До третьої групи входять функції моделювання, призначені головним чином для зміни існуючої форми. Типовими прикладами є функції зкруглення або плавного сполучення (rounding, blending) і підняття

(lifting). До четвертої групи відносяться функції, що дозволяють безпосередньо маніпулювати складовими об'ємних тіл, тобто вершинами, ребрами і гранями. Робота з цими функціями (аналогічними функціям систем поверхневого моделювання) називається моделюванням меж (boundary modeling).

До останньої групи входять функції, використовуючи які проектувальник може моделювати тверде тіло за допомогою вільних форм. Наприклад, він може давати системі команди типу «зробити отвір такого-то розміру в такому-то місці» або «зробити фаску такого-то розміру в такому-то місці». Робота з такими функціями називається об'єктно-орієнтованим моделюванням (feature based modeling). Останнім часом функціям п'ятої групи приділяється особлива увага, оскільки модель, побудована з їх допомогою, містить інформацію про процес створення, без якої неможливе автоматичне формування плану технологічного процесу для деталі. При цьому модель, створена іншими засобами, містить тільки елементарні геометричні відомості про вершини, ребра і грані.

**Функції створення примітивів.** Функції створення примітивів дозволяють вибирати і створювати прості об'єкти, заздалегідь визначені авторами системи моделювання. Розмір примітиву задається користувачем. Примітиви, підтримувані більшістю систем твердотільного моделювання (брус, циліндр, конус, куля, клин, тор), показані на рис. 1.5. Розміри, вказані на цьому малюнку буквами, можуть встановлюватися користувачем. Примітиви зберігаються у базі даних процедурою, що здійснює їх створення, а параметри примітивів передаються цій процедурі в якості аргументів.

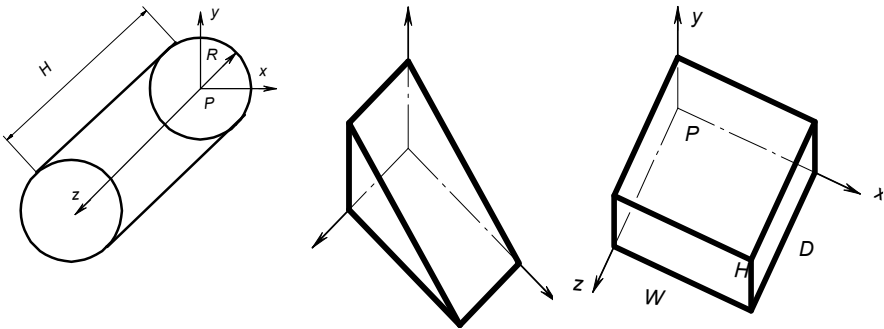


Рис. 1.5. Графічні примітиви (фрагмент) в твердотільному моделюванні

**Булеві операції.** Із-за різноманітності можливих застосувань систем геометричного моделювання зберегти заздалегідь усі мислимі форми неможливо. Набагато простіше наблизитися до рішення, надавши користувачеві засобу для комбінування примітивів. В якості методу комбінування в твердотільному моделюванні застосовуються булеві операції теорії великих кількостей. Іншими словами, кожне примітивне об'ємне тіло вважається безліччю точок, до множин застосовуються булеві операції, а в результаті виходить об'ємне тіло, що складається з точок, отриманих після перетворень.

Більшість систем твердотільного моделювання підтримуються наступні булеві операції: об'єднання, перетин і різниця. До застосування булевих операцій необхідно визначити відносне положення і орієнтацію примітивів. Булеві операції можуть застосовуватися не лише до примітивів.

Ще одна функція моделювання реалізується подібно до булевих операцій. Це функція розрізання об'ємного тіла площиною, після застосування якої виходить тіло з двох частин. Того ж результату можна досягти, застосувавши операцію віднімання до об'ємного тіла, яке має розрізати, і куба, однією з граней якого є січна площина. З цієї причини функція розрізання також може бути віднесена до булевих операцій.

### ***1.2.2. Твердотільне моделювання в модулі «APM Studio»***

Тверді тіла в APM Studio створюються також за допомогою операцій над плоскими кривими створеними в ескізах. Але для кожної операції встановлюється тип операції: об'єднання, віднімання або перетин.

У APM Studio є присутніми наступні операції для отримання твердих тіл.

1) Операція *Виштовхування*.

Робиться зміщенням що утворює перпендикулярно площини ескізу, в якому задана твірна.

2) Операція *Обертання*.

Робиться обертанням тієї, що утворює, заданою в ескізі, навколо деякої осі. Причому вісь повинна належати тому ж ескізу, що і твірна.

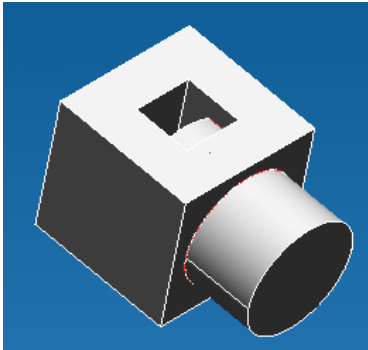
### 3) Операція *Кручення*.

Робиться обертанням тієї, що утворює, заданою в ескізі, навколо деякої осі, з додатковим виштовхуванням уздовж цієї осі. Причому вісь повинна належати тому ж ескізу, що і твірна.

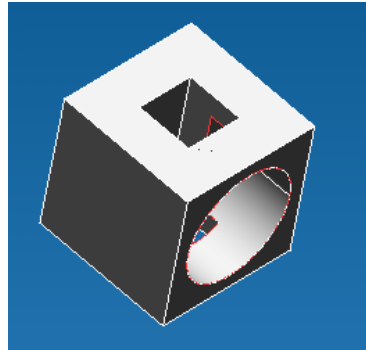
Типи операцій в твердотілому моделюванні.

#### 1) *Об'єднання* (рис 1.6, а).

Результатом операції є тверде тіло, що містить в собі об'єм як існуючого твердого тіла, так і твердого тіла, що вийшло в результаті операції.



а



б

Рис. 1.6. Взаємодія твердих тіл: а – об'єднання; б – віднімання

#### 2) *Віднімання* (рис. 1.6, б).

Результатом операції є початкове тверде тіло без об'єму твердого тіла, що вийшло в результаті операції.

#### 3) *Перетин* (рис. 1.7).

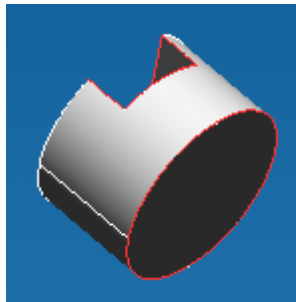


Рис. 1.7. Операція перетину

Результатом операції є тверде тіло, що містить в собі загальний об'єм існуючого і отриманого твердих тел.

### 1.3. Застосування поверхневого моделювання в завданнях проектування деталей і вузлів металорізальних верстатів

#### 1.3.1. Поверхневе моделювання кронштейна в APM Studio

Завдання. Як приклад розглянемо побудову поверхневої моделі кронштейна (рис. 1.8). Кронштейн є деталлю, що складається з двох фланців і квадратної труби. Пластини фланців мають товщину 2 мм, квадратна труба – товщину 1 мм. Матеріал усіх пластин – сталь Ст 3кп. Лівий фланець прикріплений до вертикальної опори за допомогою болтів, а на правий діє спрямована вертикально вниз розподілене навантаження величиною 150 Н. Крім того, слід врахувати дію сили тяжіння, викликаного наявністю власної ваги конструкції.

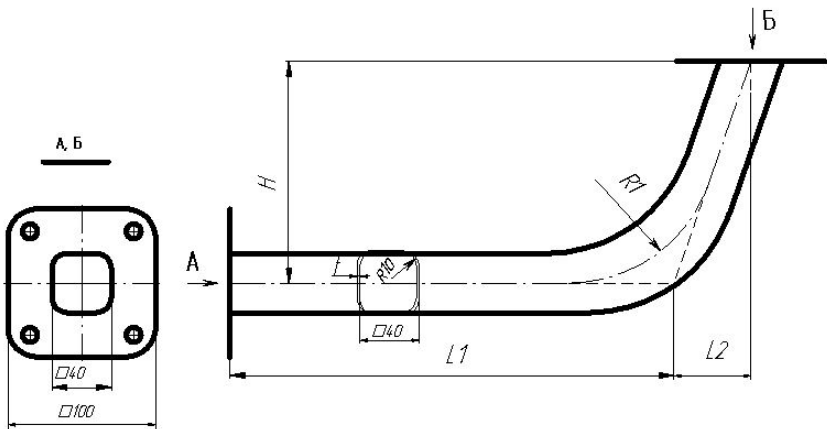


Рис. 1.8. Ескіз кронштейна



## Рішення

Після запуску модуля **APM Studio** слід переконатися, що він знаходиться в режимі поверхневого моделювання - режим вказаний в заголовку відкритого вікна : «*Створити поверхневу модель*», розташованою на панелі інструментів «Файл».

Побудову моделі проводимо по наступному плану:

а) Створення ескізу, що містить наступні елементи лівого фланця :

- 1) контур фланця;
- 2) зкруглення;
- 3) внутрішній квадрат;
- 4) отвори;
- 5) контурну площину.

б) Створення ескізу, в якому вказується шлях виштовхування внутрішнього контуру фланця.

в) Виштовхування внутрішнього контуру фланця по вказаному шляху.

г) Створення нового ескізу для побудови елементів правого фланця. Креслення елементів правого фланця і завдання контурної площини.

д) Перетин квадратної труби з поверхнею правого фланця. Видалення зайвих поверхонь.

Розглянемо усі етапи побудови моделі детальніше.

а) створення ескізу, що містить елементи лівого фланця. Побудову ескізу доцільно організувати так, щоб вісь Z (вісь дії сили тягіння) була розташована у вертикальному напрямі, що еквівалентно розміщенню ескізу в площині XZ, співпадаючій з площиною екрану.

Для побудови контуру фланця можна скористатися кнопкою «*Прямокутник по діагональних точках*», розташованою на панелі інструментів «Ескіз». Переводимо курсор в робоче вікно редактора. Аналогічно здійснюється побудова внутрішнього квадрата із стороною 40 мм. Його будуємо так само як і зовнішній прямокутник, а потім округляємо відрізки з радіусом  $R = 10$  мм.

При побудові отворів за допомогою команди «*Малювати коло по центру і радіусу*» скористаємося полем введення панелі інструментів «*Ручне введення*» і введемо координати центру лівого

верхнього кола :  $X = -35$ ;  $Y = 35$ . При вказівці радіусу колу, діаметр який по умові дорівнює 10 мм. Необхідно перейти до панелі інструментів «*Ручне введення*» і добитися активізації наступного режиму введення радіусу - ( $R = 5$  мм). Є варіанти завдання режиму не лише величини радіусу, але і діаметру або координати однієї з точок кола. При побудові чотирьох кіл доцільно скористатися командою «Круговий масив» панелі інструментів.

Завершальною процедурою створення лівого фланця є побудова контурної площини. Для цього за допомогою кнопки «*Контурна площина*» на панелі інструментів «*Операції*», відкривається однойменне діалогове вікно, в полях якого треба вказати зовнішній і внутрішні контури, між якими будуватиметься контурна площина. Для виділення контуру слід клацнути на нім лівою кнопкою миші. Спочатку виділяємо зовнішній контур, а ним усі внутрішні (якщо вони є). Виділений контур міняє колір на зелений.

б) Створення ескізу, в якому вказується шлях виштовхування внутрішнього контуру фланця. Другу ескізну площину створимо в площині  $YZ$ , аналогічно тому, як була створена ескізна площина в площині  $XZ$ . Система координат створеної таким чином ескізної площини розташовуватиметься в центрі лівого фланця. У цьому ескізі необхідно задати шлях, по якому виштовхуватиметься внутрішній контур фланця (квадрат  $40 \times 40$ ). Створюємо відрізок завдовжки 300 мм, використовуючи команду «*Малювати відрізок*». Переводимо курсор в робоче вікно редактора. На панелі інструментів «*Ручне введення*» вводимо першу точку відрізка з координатами  $X = 0$  і  $Y = 0$ . Далі по умовчання програма пропонує задати кінцеву точку по довжині  $L$  і куту  $A$ , що в даному випадку нас не влаштовує. Тому послідовним натисненням кнопки, розташованої на панелі інструментів «*Ручне введення*» переходимо у режим завдання координат і записуємо координати кінцевої точки:  $X = 300$ ,  $Y = 0$ .

Створюємо другий відрізок, проекції якого на осі  $X$  і  $Y$  рівні відповідно до 52 мм і 150 мм. Для створення цього відрізка використовуємо команду «*Малювати відрізок*». у режимі приростів, після чого вводимо з клавіатури значення  $dX = 52$  і  $dY = -150$ . Робимо скруглення створених відрізків з радіусом 100 мм. Останній

із створених відрізків необхідно продовжити, для того, щоб забезпечити можливість перетину створеної квадратної труби з поверхнею правого фланця. З цією метою подовжуємо останній відрізок, наприклад, на 50 мм. Робиться це таким чином.

Спочатку вибираємо з групи кнопок «Прив'язки», розташованих на панелі інструментів «Ескіз», кнопку «Паралельна пряма». Потім починаємо будувати новий відрізок, прив'язуючись до останньої точки останнього відрізка, і, зміщуючи його, домагаємося паралельності з попереднім відрізком. Базовий відрізок при цьому набув червоного кольору. Нарешті, на панелі інструментів «Ручне введення» задаємо довжину нового відрізка  $L = 50$ , а значення кута залишаємо без зміни. Таким чином, шлях для виштовхування внутрішнього контуру фланця створений (рис. 1.9).

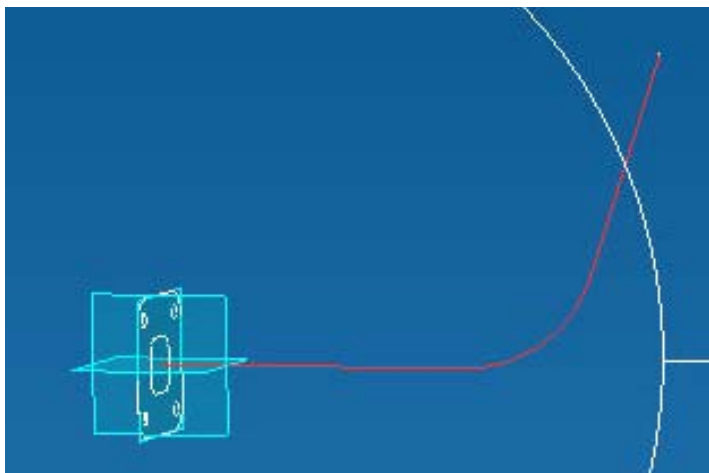


Рис. 1.9. Контур просторового виштовхування

с) Виштовхування внутрішнього контуру фланця по вказаному шляху. Для виконання цієї операції слід вийти з усіх ескізів, відключивши на інструментальній панелі «Управління» кнопку «Новий ескіз». Потім необхідно натиснути кнопку «Виштовхування по шляху», розташовану на інструментальній панелі «Операції», що викличе відкриття діалогового вікна «Виштовхування по дорозі».

д) Створення нового ескізу для побудови елементів правого фланця. Креслення елементів правого фланця і завдання контурної площини. Новий ескіз необхідно створити на відстані 150 мм від базової площини ХУ. Натискаємо кнопку «Новий ескіз» а потім, натиснувши ліву кнопку миші на базовій площині ХУ і не відпускаючи її, зміщуємо курсор у напрямі осі Z. У полі ручного введення вводимо відстань  $D = 150$ . Клацанням лівої кнопки миші завершуємо створення нового ескізу. У отриманому ескізі створюємо елементи правого фланця.

Зовнішній контур зручно будувати у вигляді правильного чотирикутника в режимі «по стороні». Для цього натискаємо кнопку «Полігон» (панель інструментів «Ескіз») і заповнюємо поля введення вікна, що відкрилося, «Багатокутник»: «Число вершин» - 4 і «Тип створення» - *по стороні*. Потім на панелі інструментів «Ручне введення» задаємо спочатку координати  $Y = 0$ ,  $X = 352$ , а потім, зміщуючи курсор, записуємо  $L = 50$ ,  $A = 0$ . Далі вимагається зображувати отвори і виконати закруглення кутів, як у лівого фланця. Внутрішній контур не створюємо: він буде автоматично отриманий в результаті перетину відрізка квадратної труби, що виштовхнув, з площиною правого фланця.

Створюємо контурну площину по аналогії з тим, як це було виконано для лівого фланця.

е) Перетин квадратної труби з поверхнею правого фланця. Видалення зайвих поверхонь. Для перетину поверхні, отриманої виштовхуванням по дорозі з поверхнею фланця, натискаємо кнопку «Перетин поверхонь» на панелі інструментів «Операції» і переводимо курсор в робоче вікно редактора. Потім підводимо курсор до «квадратної труби» і одноразово клацаємо лівою клавішею миші. Далі переміщаємо курсор на поверхню створеного фланця і знову клацаємо лівою клавішею миші. Після чого в Дереві операцій замість «Виштовхування по дорозі» і «Площині» з'явиться цілий набір поверхонь.

Для видалення зайвих поверхонь необхідно поступити таким чином: в режимі вибору елементів (тобто при натиснутій кнопці «Режим вибору» на панелі інструментів «Управління») підвести курсор до тієї поверхні, яку передбачається видалити (поверхня виділиться зеленуватим кольором), і клацанням правої кнопки миші

викликати контекстне меню, вказавши в нім пункт «Видалити». Після підтвердження операції видалення вибрана поверхня буде видалена. Саме таким чином робимо видалення поверхні квадратної труби, що виступає за поверхню фланця. Крім того, аналогічно слід видалити ту ділянку поверхні фланця, який «вирізується» квадратною трубою.

Зшивання поверхонь. Зшивання поверхонь моделі потрібне для того, щоб згенерована згодом кінцево-елементна сітка (КЕ-сітка) була пов'язаною, тобто різні пересічні поверхні мали б загальні вузли по лінії перетину. У даному випадку зшиванню підлягає поверхня квадратної труби з поверхнею фланців. Перехід в режим зшивання здійснюється натисненням кнопки «Зшивання поверхонь», яка знаходиться на панелі інструментів «Операції». У цьому режимі переводимо курсор спочатку в робоче вікно редактора, а потім підводимо його до квадратної труби і одноразово клацаємо лівою клавішею миші. Далі переміщаємо курсор на фланець і знову клацаємо лівою клавішею миші. У результаті після виконання операції зшивання виділення квадратної труби і фланця відбувається спільно, як одній поверхні. Аналогічним чином робимо зшивання першого фланця і квадратної труби. Після цього уся модель має єдину поверхню.

Таким чином поверхнева модель кронштейна побудована (рис. 1.10)

Розрахунок на міцність розпочинається з процедури завдання опор (закріплень) моделі і додаток навантажень. Передусім, натисненням кнопки на панелі інструментів «Файл» треба перейти в режим кінцево-елементного аналізу (рис. 1.11).

Після виконання цієї операції створена раніше модель відкриється у вікні «Кінцево-елементний аналіз». Усі подальші операції із створеною раніше моделлю робитимемо саме в цьому вікні.

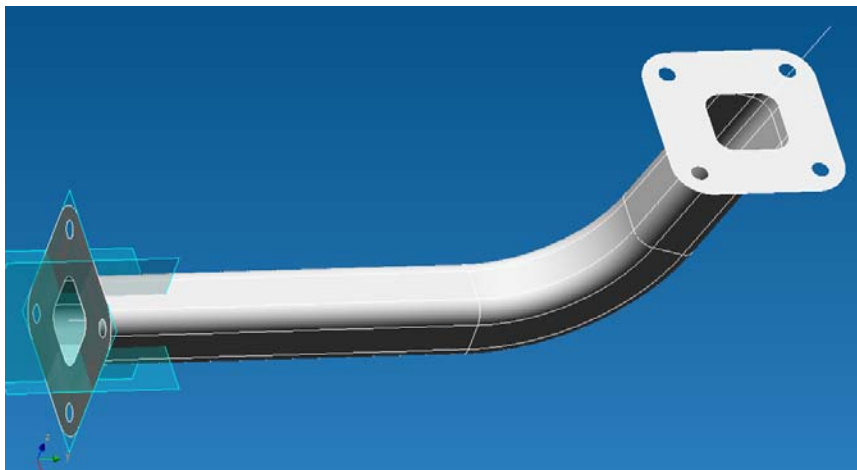


Рис. 1.10. Просторова модель кронштейна

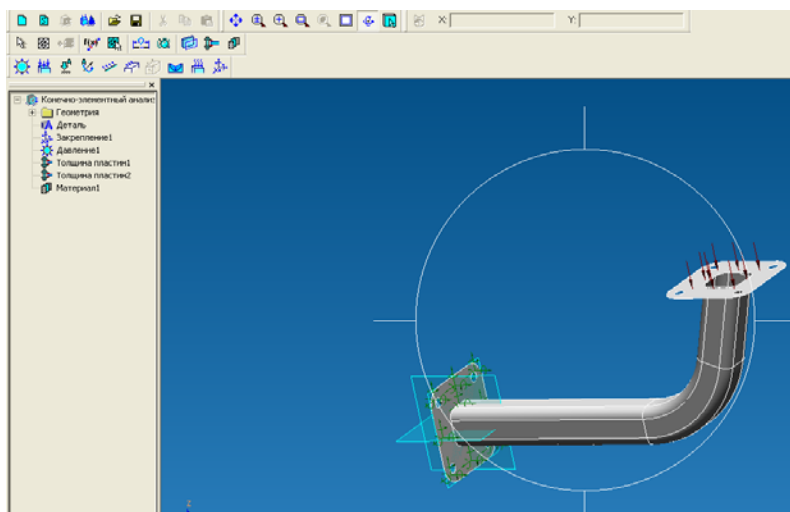


Рис. 1.11. Вікно кінцево-елементного аналізу

У даному прикладі лівий фланець за допомогою болтів кріпиться до вертикальної стінки (рис. 1.7), тому закріплювати будемо усю площину лівого фланця. Для створення закріплення на якому-небудь об'єкті (грані або ребра) необхідно навести курсор на цей об'єкт і клацнути на нім лівою кнопкою миші, після чого вибраний об'єкт буде занесений у відповідний список. Потім треба вказати тип закріплення цього об'єкту, дозволивши або заборонивши його переміщення і повороти навколо глобальних осей координат - це робиться за допомогою групи полів, розташованих в нижній частині діалогового вікна «Закріплення». В результаті цих дій на вибраній поверхні з'являться спеціальні значки, що показують, що задані відповідні закріплення, а сама операція буде додана в Дерево операцій.

Закріплення задаються за допомогою діалогового вікна «Закріплення» (рис. 1.12), яке відкривається натисненням кнопки «Закріплення», розташованого на панелі інструментів «Навантаження».

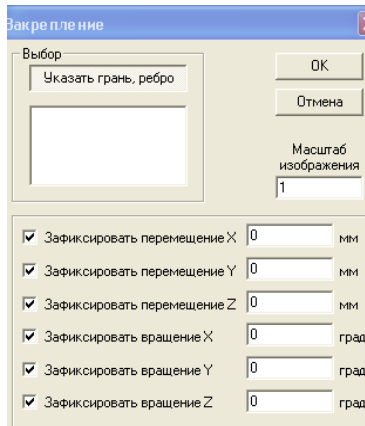


Рис. 1.12. Діалогове вікно «Закріплення»

Для переходу в режим завдання розподіленого навантаження, що діє на правий фланець кронштейна (рис. 1.8) у напрямі стрілки виду Б, натискаємо кнопку «Тиск», що знаходиться на панелі інструментів «Навантаження». Відкривається діалогове вікно

«Тиск» (рис. 1.13), за допомогою якого можна задати силові чинники, що діють на виділений об'єкт (грань).

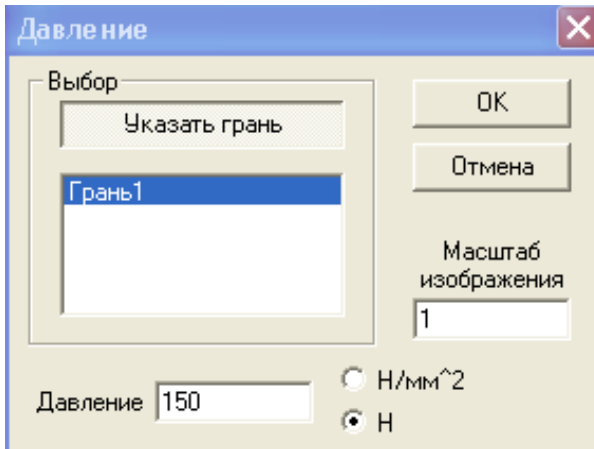


Рис. 1.13. Діалогове вікно «Тиск»

Силовим чинником може виступати як сила (що і має місце в даному випадку), так і тиск. З цією метою у вікні «Тиск» є спеціальний перемикач розмірності. Відповідно до умов цього завдання на правий фланець кронштейна діє сила величиною 150 Н, тому цей перемикач ставимо в положення «Н», а в полі введення «Тиск» записуємо величину сили – 150. Напрямок сили контролюємо по стрілках, які з'являються в полі вікна кінцево-елементного аналізу, і при необхідності міняємо напрям зміною знаку величини сили.

**Привласнення пластинам товщини і параметрів матеріалу.** Перед розбиттям необхідно присвоїти усім пластинам моделі товщину і параметри матеріалу. Для переходу в режим привласнення *товщини* пластинам натисніть кнопку «Товщина пластин» панелі інструментів «Управління». При цьому відкриється діалогове вікно «Товщина пластин» (рис. 1.14), за допомогою якого можна задати товщину вибраним граням.



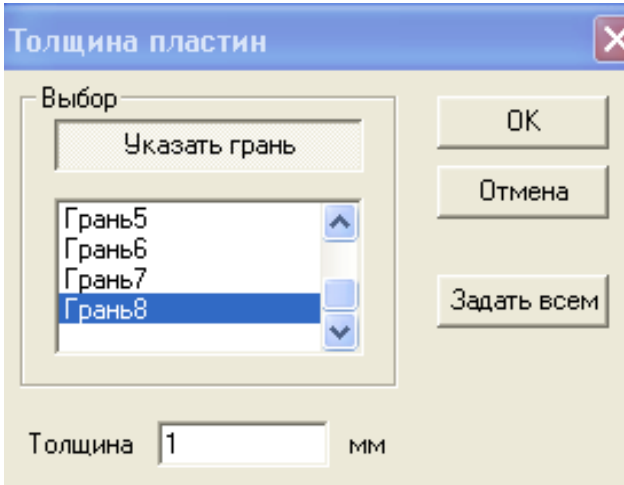


Рис. 1.14. Діалогове вікно «Товщина пластин»

Оскільки в даному прикладі пластини мають різну товщину (1 мм і 2 мм), то доцільно поступити таким чином: спочатку задати усім пластинам однакову товщину, рівну 1 мм, а потім виключити грані з товщиною 2 мм і наново присвоїти їм товщину 2 мм. Для привласнення усім пластинам заданої товщини треба ввести 1 мм і натиснути кнопку «Задати усім».

Для привласнення граням властивостей того або іншого матеріалу слід натиснути кнопку «Матеріали» панелі інструментів «Управління» і за допомогою діалогового вікна «Матеріали» задати властивості матеріалу: відповідно до умов завдання вибираємо *Сталь* і натискаємо кнопку «Задати усім». Параметри матеріалу *Сталь* відповідають стали Ст3кп.

**Розбиття поверхневої моделі на кінцеві елементи.** Натискаємо кнопку «*KE-сітка*» на панелі інструментів «Управління» і в полі введення «*Крок розбиття*» діалогового вікна, що відкрилося, «*Параметри розбиття*» вказуємо величину кроку - наприклад, 5 мм, з тим щоб кола і дуги створеної моделі були описані коректно. Згенерована кінцево-елементна сітка відкривається в окремому вікні (рис. 1.15), і якщо за якими-небудь параметрами вона не влаштовує користувача, то це вікно може бути закрите, а розбиття зроблене наново.

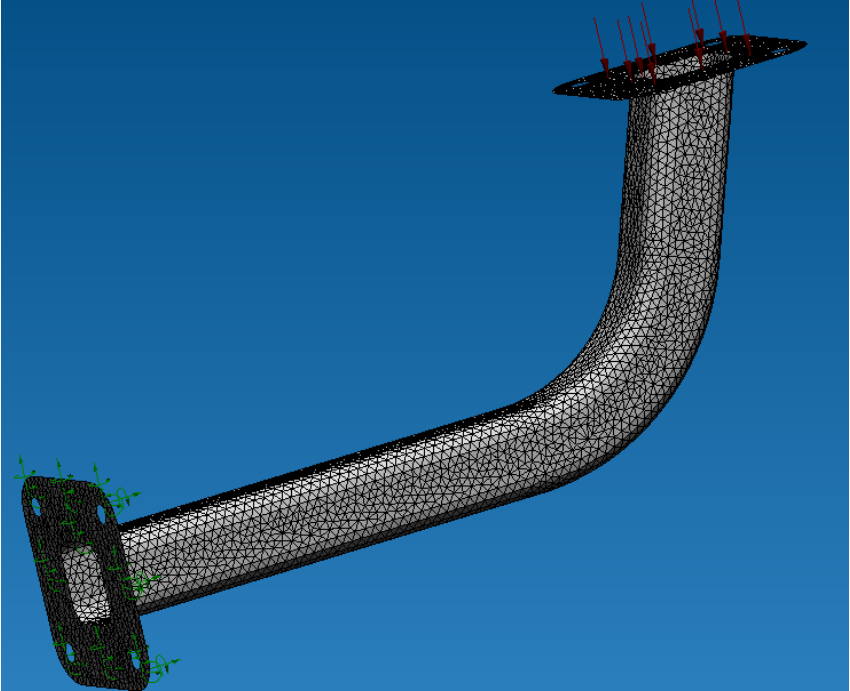


Рис. 1.15. Згенерована кінцево-елементна сітка

**Виконання розрахунку.** Для запуску моделі конструкції на розрахунок слід вибрати команду меню Розрахунок / Розрахунок. і в діалоговому вікні, що відкрилося, «Розрахунок» відмітити прапорцем тип розрахунку, який необхідно виконати, в даному завданні це *Статичний розрахунок*.

Після виконання розрахунку можна візуалізувати його результати в графічному або числовому виді. Команда Результати/Карта результатів. дозволяє вибрати параметр для перегляду. Як приклад на рис. 1.16 представлена карта еквівалентної напруги, що виникає в моделі кронштейна.

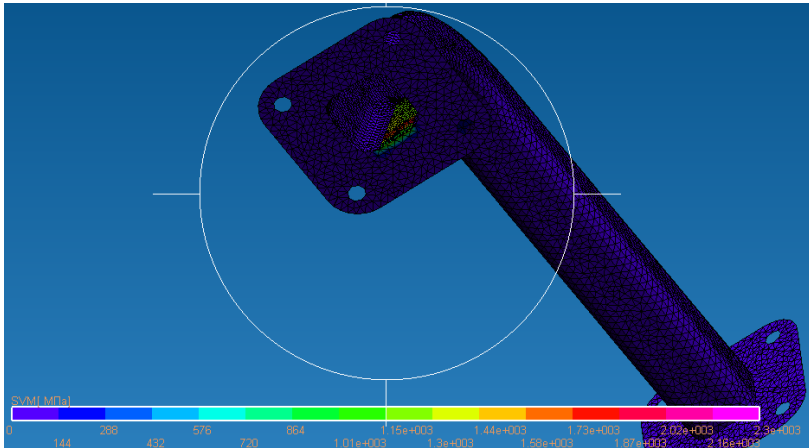


Рис. 1.16. Поля еквівалентної напруги

### *1.3.2. Поверхнєве моделювання трубки в APM Studio*

**Завдання.** В якості другого прикладу розглянемо побудову поверхневої моделі трубки 10×1,6 ГОСТ 8734-75 (рис. 1.17). Трубка є деталлю, що входить в систему циркуляційного мастила зубчатих колі коробки швидкостей багатоопераційного верстата моделі СВМ1Ф4. Як мастило використовується марка олії ИГП- 30 ТУ 38.101.413-78. Олія подається шестерінчастим насосом АГП - ПА ТУ84-738-83 з номінальним поданням насоса - 5 л/мін і номінальним тиском насоса на виході - 0,5 МПа. Централізована система мастила працює в автоматичному режимі і управляється від системи ЧПУ верстата.

**Рішення.** Побудову моделі проводимо по наступному плану:

- a) Створення ескізу, що містить поперечний переріз модельованої трубки;
- b) Створення ескізу, в якому вказується шлях виштовхування контуру трубки;
- c) Виштовхування контуру поперечного перерізу по вказаному шляху.

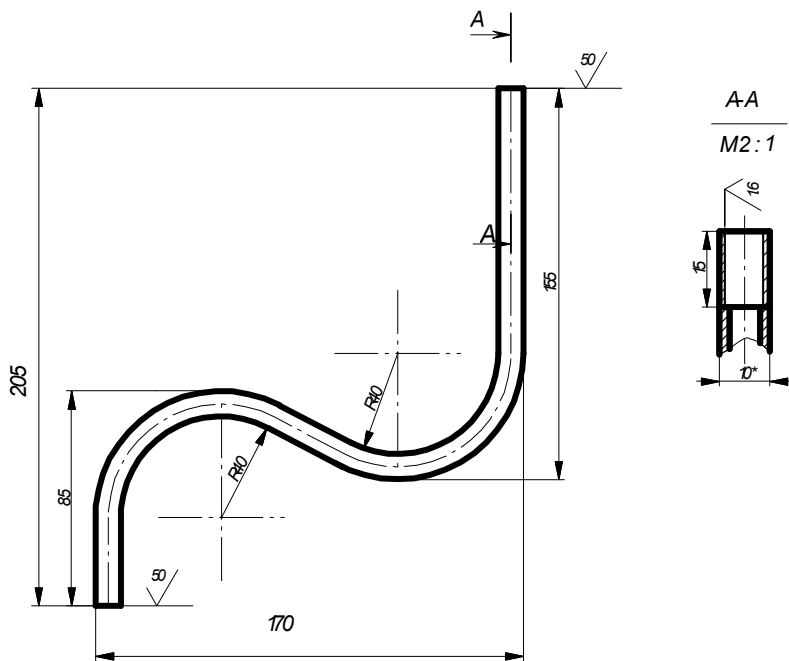


Рис. 1.17. Ескіз трубки

Послідовність дій при моделюванні трубки аналогічна послідовності моделювання кронштейна (п. 1.3). Особливістю є побудова шляху виштовхування, однією з ділянок якого є внутрішня дотична до двох кіл  $R40$ . Така дотична будується по відомому алгоритму, представленому на рис. 1.17. При формуванні шляху виштовхування по просторовій кривій є дві можливості.

Перша пов'язана з побудовою шляху виштовхування в плоскому креслярському графічному редакторі APM GRAPH (рис. 1.18) з подальшим імпортуванням в модуль твердотільного і поверхневого моделювання APM Studio. Імпортування здійснюється за допомогою команди «Імпорт», що випадає зі списку меню «Файл».

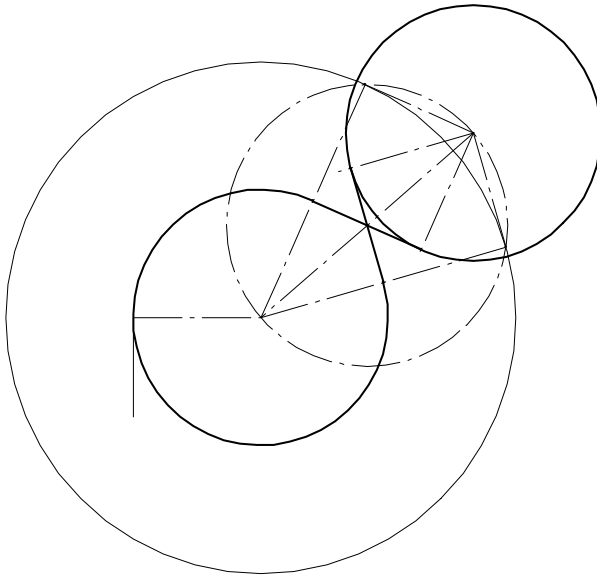


Рис. 1.18. Побудова внутрішньої дотичної до кіл

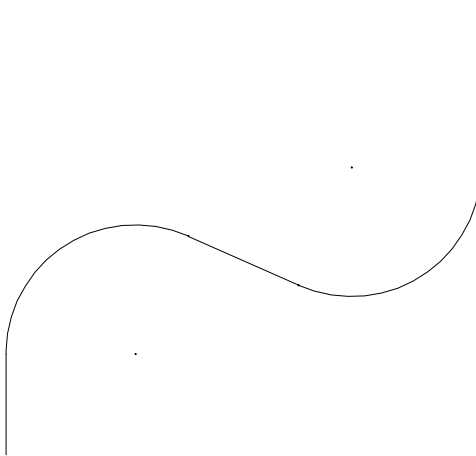


Рис. 1.19. Шлях виштовхування в APM GRAPH

Другим способом є побудова шляху виштовхування безпосередньо в модулі APM Studio (рис. 1.20). Формування кривої може здійснюватися як в звичайному, так і в тривимірному ескізі. У останньому випадку шлях виштовхування виходить не плоский, а тривимірний. Обмеженням цієї операції є те, що шлях повинен виходити з площини контуру, що утворює, і бути йому перпендикулярним.

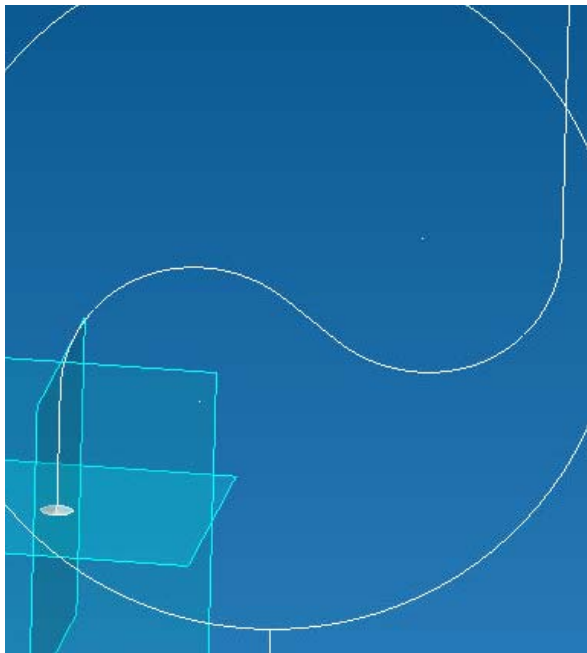


Рис. 1.20. Шлях виштовхування в модулі APM Studio

В результаті реалізації наведеного вище алгоритму здійснюється побудова поверхневої моделі трубки системи циркуляційного мастила зубчастих коліс коробки швидкостей верстата СВМ1Ф4 (рис. 1.21).

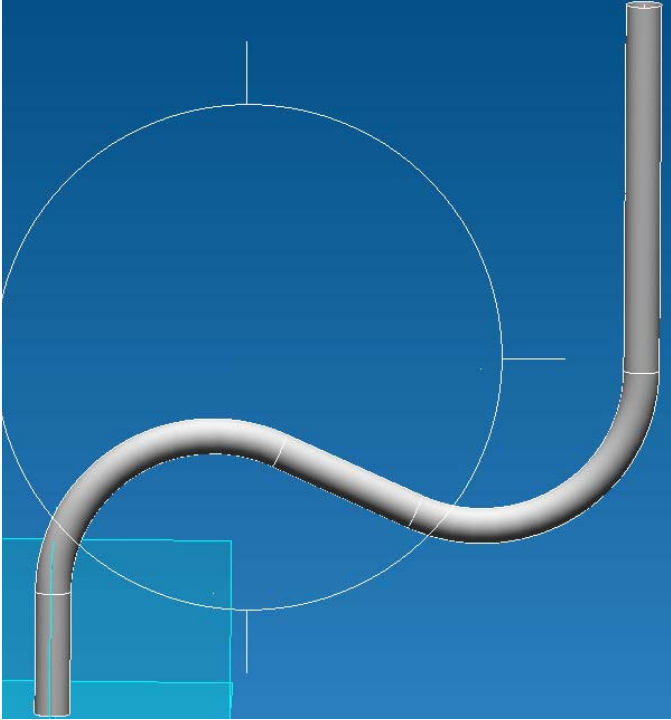


Рис. 1.21. Поверхнева модель трубки в модулі APM Studio

#### **1.4. Твердотільне моделювання опори підшипника в APM Studio**

**Завдання.** Побудувати твердотільну модель нижньої частини опори підшипника ковзання, зображеною на рис. 1.22. Матеріал опори – сталь 45. Основа опори закріплюється на горизонтальній площині за допомогою двох болтів, а до циліндричної поверхні R32,5 прикладене рівномірне розподілене навантаження величиною 14000 Н.





На основі приведеного вище алгоритму побудована твердотільна модель опори (рис. 1.23).

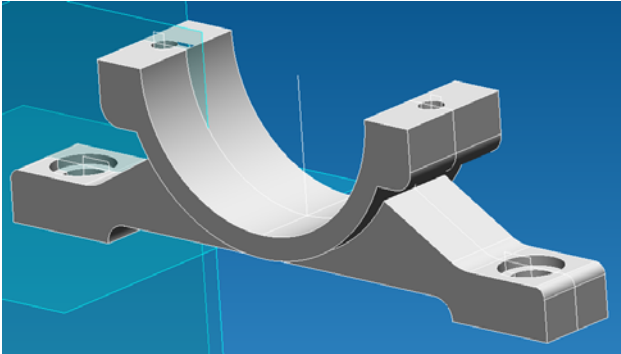


Рис. 1.23. Модель опори підшипника ковзання в APM Studio

#### ***1.4.2. Проведення розрахунку на міцність***

Для проведення розрахунку на міцність за допомогою створеної моделі конструкції є дві можливості.

*Перший спосіб* - зробити розбиття моделі на KE і передати отриману KE-сітку в модуль розрахунку на міцність APM Structure3D, за допомогою якого вказати спосіб закріплення моделі і задати навантаження, що діють на неї. Після цього можна виконати розрахунок.

*Другий спосіб* (прийнятніший) - спочатку задати закріплення і основні види навантажень, приклавши їх безпосередньо до елементів тривимірної моделі, а вже потім розбити модель на KE і передати згенеровану кінцево-елементну сітку з навантаженнями і опорами в модуль APM Structure3D для проведення розрахунку на міцність.

**Завдання опор (закріплень) моделі і додаток навантажень.** Передусім, натисненням кнопки на панелі інструментів «Файл» слід перейти в режим кінцево-елементного аналізу. Після виконання цієї операції створена раніше модель відкриється у вікні «Кінцево-елементний аналіз». Усі подальші операції із створеною раніше моделлю робитимемо саме в цьому вікні.

Закріплення (опори моделі) задаються за допомогою діалогового вікна «Закріплення» на панелі інструментів «Навантаження». На рис. 1.24 показано кріплення основи опори.

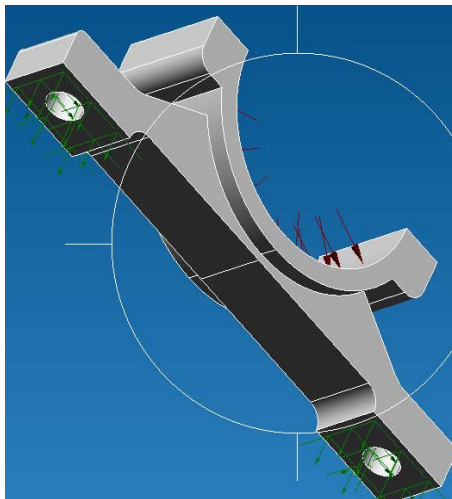


Рис. 1.24. Закріплення моделі опори і завдання навантаження

У даному прикладі нижня площина опори (рис. 1.24) кріпиться до горизонтальної площини за допомогою болтів, тому при моделюванні доцільно закріпити нижню площину деталі по координаті Z, а в посадочних отворах нижніх болтів заборонити переміщення по осях X і Y.

Для створення закріплення на якому-небудь об'єкті (грані або ребрі) необхідно навести курсор на цей об'єкт і клацнути на ній лівою кнопкою миші, після чого вибраний об'єкт буде занесений у відповідний список. Потім треба вказати тип закріплення цього об'єкту, дозволивши або заборонивши його переміщення і повороти навколо глобальних вісей координат - це робиться за допомогою групи полів, розташованих в нижній частині діалогового вікна «Закріплення». В результаті цих дій на вибраній поверхні з'являються спеціальні значки, що показують, що задані відповідні закріплення, а сама операція буде додана в Дерево операцій.

Аналогічно задаємо закріплення по осях X і Y в отворах болтів основи (вказуємо циліндричні поверхні).

Для переходу в режим завдання *розподіленого навантаження*, що діє на циліндричну робочу поверхню (рис. 1.25) опори підшипника ковзання в напрямі, протилежному до осі Z, натискаємо кнопку «Тиск», що знаходиться на панелі інструментів «Навантаження». За допомогою діалогового вікна «Тиск», можна задати силові чинники, що діють на виділений об'єкт (грань).

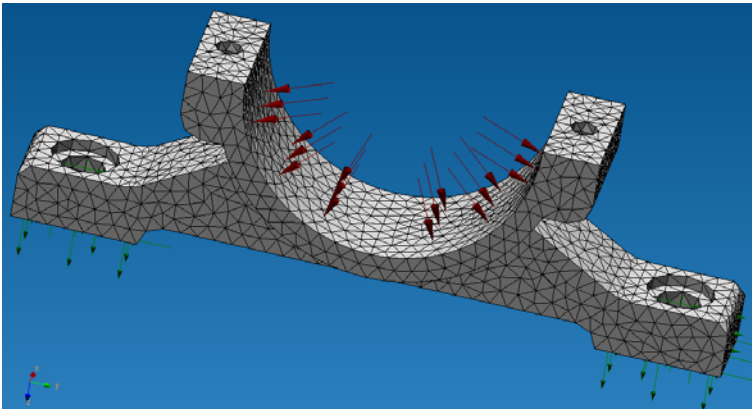


Рис. 1.25. Кінцево-елементне розбиття моделі опори

Помітимо, що силовим чинником може виступати як сила (що і має місце в даному випадку), так і тиск. З цією метою у вікні «Тиск» є спеціальний перемикач розмірності. Відповідно до умов цього завдання на циліндричну поверхню опори підшипника діє сила величиною 14000 Н, тому цей перемикач ставимо в положення «Н», а в полі введення «Тиск» записуємо величину сили – 14000. Напрямок сили контролюємо по стрілках, які з'являються в полі вікна кінцево-елементного аналізу, і при необхідності міняємо напрям зміною знаку величини сили.

**Завдання параметрів матеріалу.** Перед розбиттям на кінцево-елементну сітку необхідно присвоїти усім об'ємним елементам створеної моделі параметри матеріалу, заздалегідь додавши потрібний матеріал в *список матеріалів*. Робиться це таким чином. Кнопка «Матеріали» панелі інструментів «Управління»

викликає діалогового вікна «*Матеріали*». Потім натискаємо кнопку «*Додати*», після чого відкривається діалогове вікно «*Матеріал*». За допомогою полів введення цього вікна можна задати необхідні параметри матеріалу, які потім будуть присвоєні елементам моделі. Можна також вибрати параметри стандартного матеріалу, звернувшись до бази даних натисненням кнопки «*ДВ*». У даному випадку в якості матеріалу по умові завдання слід узяти Сталь 45 з випадного списку *Типи матеріалів – Сталь конструкційна* (прокат товстолистовий), а з випадного списку *Підгрупи – В нормалізованому стані*. Для того, щоб присвоїти властивості матеріалу *Сталь 45*, слід у діалоговому вікні «*Матеріали*» вибрати його зі списку і натиснути кнопку «*ОК*».

**Розбиття об'ємної моделі на кінцеві елементи.** Натискаємо кнопку «*КЕ-сітка*» на панелі інструментів «*Управління*» і в полі введення «*Крок розбиття*» діалогового вікна, що відкрилося, «*Параметри розбиття*» вказуємо величину кроку розбиття – наприклад, 4 мм, щоб кола і дуги створеної моделі були описані коректно. Інші параметри розбиття залишимо без зміни.

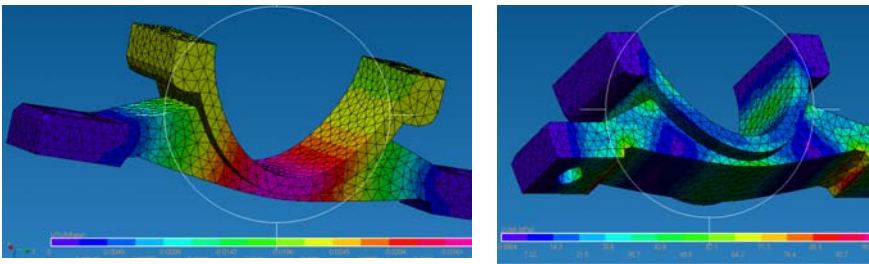
Після натиснення кнопки «*ОК*» починається процедура розбиття моделі. Згенерована кінцево-елементна сітка відкривається в окремому вікні (рис. 1.24) і якщо за якими-небудь параметрами вона не влаштовує користувача, то це вікно може бути закрито, а розбиття зроблене наново.

У лівому верхньому кутку вікна «*кінцево-елементна сітка*» відкривається спеціальне діалогове вікно інструменту «*Глибина перегляду*», що дозволяє візуально контролювати кількість і якість отриманих кінцевих елементів за об'ємом деталі. Для перевірки якості отриманих кінцевих елементів треба за допомогою миші переміщати движок глибини перегляду в напрямі зліва направо. Услід за зміщенням движка площина відсікання кінцевих елементів віддалятиметься. Кінцеві елементи, що знаходяться перед цією площиною, не показуватимуться на екрані монітора. Це дає можливість подивитися на елементи, що знаходяться усередині суцільного матеріалу, і оцінити їх якість. Для того, щоб закрити діалогове вікно «*Глибина перегляду*», треба зробити це вікно активним, клацнувши на нім лівою кнопкою миші, а потім натиснути кнопку «*Esc*» на клавіатурі.

Таким чином, кінцево-елементна модель опори підшипника повністю підготовлена до проведення розрахунку на міцність.

**Виконання розрахунку.** Для запуску моделі конструкції на розрахунок слід вибрати команду меню Розрахунок / Розрахунок. і в діалоговому вікні, що відкрилося, відмітити прапорцем тип розрахунку, який необхідно виконати, – в даному завданні це *Статичний розрахунок*.

Після виконання розрахунку можна візуалізувати його результати в графічному або числовому виді. Команда *Результати / Карта результатів*. дозволяє вибрати параметр для перегляду. Як приклад на рис. 1.26,а і 1.26,б представлені карта напруги і карта переміщень, що виникають в моделі підшипника.



а

б

Рис. 1.26. Карти результатів розрахунку:  
а – поля напруг; б – поля переміщень

**Передача кінцево-елементної сітки в модуль APM Structure3D.** Необхідність передачі моделі в APM Structure3D може виникнути, наприклад, для розрахунку комбінованих конструкцій, що включають стрижневі, пластинчаті та твердотільні елементи.

Створена KE-сітка разом з навантаженнями, що діють на модель, і заданими опорами (чи без них) може бути збережена в окремому файлі, а потім імпортована в модуль *Розрахунок на міцність* APM Structure3D. Можна також передати побудовану модель безпосередньо в APM Structure3D без її проміжного збереження.

Для передачі KE-сітки в модуль APM Structure3D натискаємо кнопку «*Передати KE-сітку в APM Structure3D*», розташовану на

панелі інструментів «Управління». Услід за цим запускається модуль APM Structure3D з відкритою в ній KE-сіткою моделі з прикладеними навантаженнями і встановленими опорами.

### **Контрольні питання**

1. Чим відрізняється математичний опис візуальної моделі в системах каркасного і поверхневого моделювання?
2. На якому етапі в програмі для формування траєкторії для переміщення фрези на верстаті з ЧПУ використовуються відомості про зв'язність (як з'єднуються і по яких кривих) поверхні?
3. Які стандартні методи створення поверхонь використовуються в системах поверхневого моделювання?
4. Які вимоги до наборів поверхонь і характеристичних ліній пред'являються в системах твердотілого моделювання? У чому головна відмінність цих вимог від тих вимог до поверхонь в системах каркасного і поверхневого моделювання?
5. Які функції моделювання підтримуються більшістю систем твердотілого моделювання?
6. Які графічні примітиви використовуються в системах твердотілого моделювання?
7. Який математичний апарат використовується як засіб комбінування примітивів?
8. Які обмеження діють в процедурі «Виштовхування внутрішнього контуру фланця кронштейна по вказаному шляху» в модулі APM Studio?
9. Як реалізувати графічну процедуру проведення дотичної до двох кіл?
10. Яким чином здійснюється кріплення нижньої опори підшипника ковзання в завданні розрахунку на міцність?

---

---

## **2. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ СВМ1Ф4. ЕСКІЗИ І ФОРМОТВОРНІ ОПЕРАЦІЇ**

В якості об'єкту проектування розглядається спеціалізований багатоопераційний верстат з ЧПУ другого типорозміру фрезерно-свердлувально-розточувального типу на базі моделі СВМ1Ф4. На верстаті може виконуватися обробка вертикальних, горизонтальних і похилих площин, фасонних поверхонь, отворів, пазів різними технологічними методами: фрезеруванням, свердлінням, зенкеруванням і розгортанням.

У конструкції даного верстата з ЧПУ (рис. 2.1) є такі специфічні вузли, як гідравлічний блок для точного позиціонування шпинделя і спеціальна шпиндельна бабка, що реалізовує головний формотворний рух. У приводі головного руху використовується регульований привід на базі двигуна постійного струму і перетворювача тиристора напруги.

Для автоматизованого маніпулювання заготівлями і різальними інструментами різних розмірів і форм в цьому верстаті використовується додаткове модульне оснащення і, зокрема поворотний стіл, які дозволяють реалізувати виконання великого числа різних технологічних операцій без переустановлення оброблюваних деталей.

Для аналізу працездатності конструкції і вибору оптимального варіанту проекту спеціалізованого багатоопераційного верстата з ЧПУ моделі СВМ1Ф4, оснащеного автоматичною зміною інструменту і поворотним столом, створена 3D-модель верстата в САПР КОМПАС- 3D (рис. 2. 1).

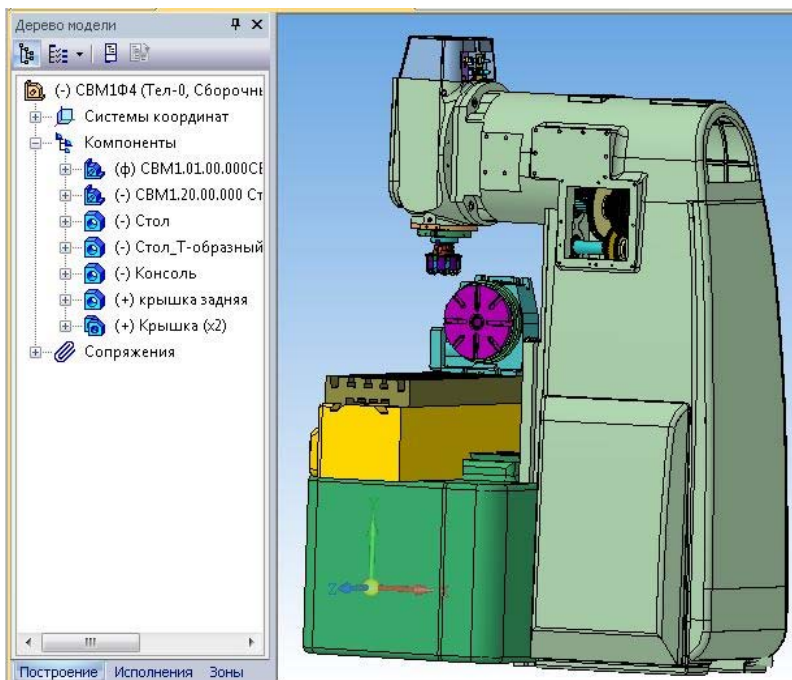
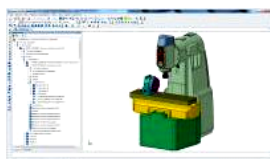


Рис. 2.1. 3D-модель багатоопераційного верстата СВМ1Ф4

Цей проект завоював срібну медаль Міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделювання» в «важкій» ваговій категорії (більше за 1000 3D-моделей в складанні) в 2014 році. Автор проекту студент кафедри «Машинобудування і прикладна механіка» Сухорутченко І.О.



Проект: **Консольно-фрезерний станок с ЧПУ на базе модели СВМ1Ф4**

Разработчик: **Востоchnoукраинский национальный университет им. В.И. Даля, Луганск**

Автор(ы): Сухорутченко Иван, 5 курс  
Руководитель проекта: Крoль Олег Семенович, профессор кафедры «Процессы обработки материалов, станки и инструменты»

Деталей: 1265

**II место в «Тяжелой» весовой категории — свыше 1000 деталей. Машиностроение**

[Подробнее...](#)



## 2.1. Побудова ескізів в системі КОМПАС

У системі КОМПАС загальноприйнятим порядком твердотільного моделювання конструкції є послідовне виконання булевих операцій (об'єднання, віднімання і перетини) над об'ємними елементами (сферами, призмами, циліндрами, конусами, пірамідами і так далі). При завданні форми об'ємних елементів реалізується таке переміщення плоскої фігури в просторі, слід від якого визначає форму елемента (рис. 2.2.) :

- поворот дуги кола навколо осі утворює тор, а переміщення перерізу уздовж певної траєкторії утворює кінематичну поверхню. При цьому переріз поверхні має бути зображений в ескізі, а в якості тієї, що направляє можна прийняти довільну криву або ланцюжок кривих. На рис. 2.2,а представлена трубка - деталь, що входить в систему циркуляційного мастила зубчатих коліс коробки швидкостей багатоопераційного верстата моделі СВМ1Ф4. При побудові цієї моделі застосовуються і поворот перерізу і його переміщення уздовж складної траєкторії. Аналогічні процедури використовуються в САПР АРМ WinMachine (п.1.3.2)

- зміщення багатокутника утворюють призму. Така операція застосовується при створенні такої деталі як штуцер системи мастила шпindelної бабки верстата моделі СВМ1Ф4 (рис. 2.2,б).

Плоска фігура, на основі якої утворюється тіло, називається ескізом, а формотворне переміщення ескізу - операцією. Ескіз може розташовуватися в одній з ортогональних площин координат, на плоскій грані вже побудованої деталі або в допоміжній площині, орієнтацію, в просторі якої, задає конструктор.

Ескіз зображується на площині стандартними засобами креслярсько-графічного редактора КОМПАС-3D. В процесі створення ескізу стають доступними усі команди побудови і редагування зображення, команди параметризації і сервісні можливості. Ефективність конструювання підвищується за рахунок можливості перенесення зображення з раніше підготовленого креслення або графічного фрагмента. Це дозволяє при створенні 3D-моделі застосувати вже існуючу креслярську інформацію

Контури ескізних площин при побудові приводної валшестерні шпindelної бабки показані на рис.2.3.

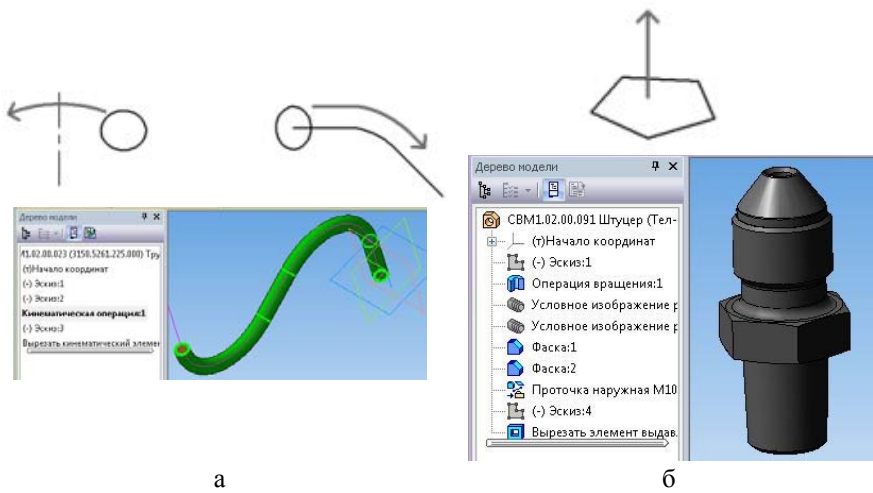


Рис. 2.2. Завдання форми : а – кінематичного елементу;  
б – призматичної поверхні

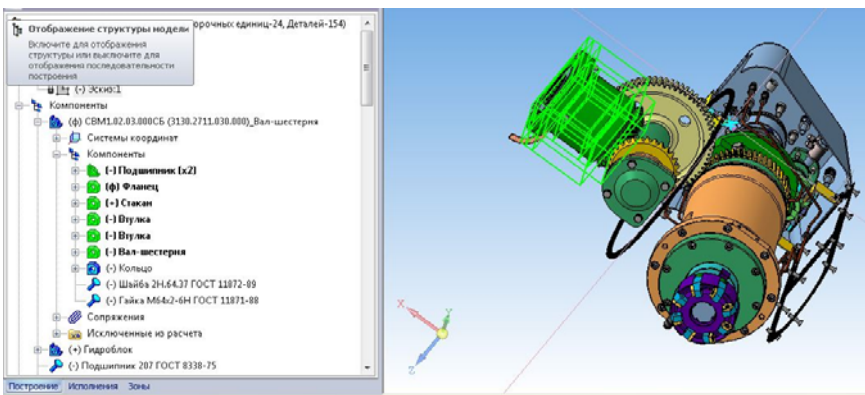


Рис. 2.3. Ескізні площини при побудові вал-шестерні

Плоский контур – ескіз зовнішнього контуру шпинделя представленний на рис. 2.4.

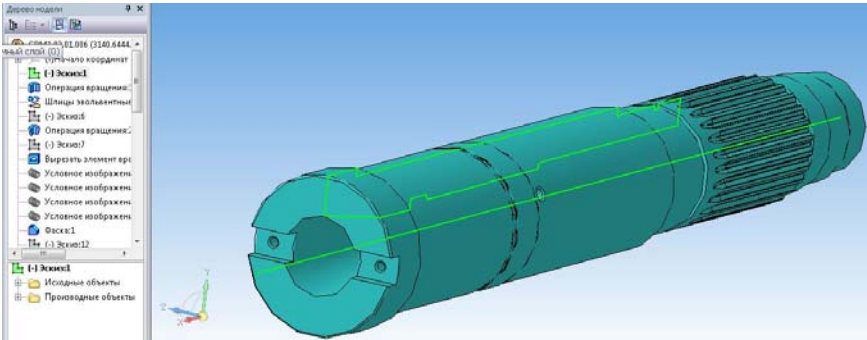


Рис. 2.4. Эскиз внешнего и внутреннего контурів при побудові шпинделя

## 2.2. Формотворні операції в системі КОМПАС

Проектування нової деталі розпочинається з побудови бази (підстави). Тут можливі варіанти вставки у файл запозиченої готової моделі, або виконання різних операцій над ескізами. Доступними є наступні типи операцій :

1. *Витискування* ескизу в напрямі, перпендикулярному його площині. Ця операція ілюструється на прикладі деталі стакан гідро блоку (рис. 2.5,а - ескиз і тривимірна модель - рис. 2.5,б).

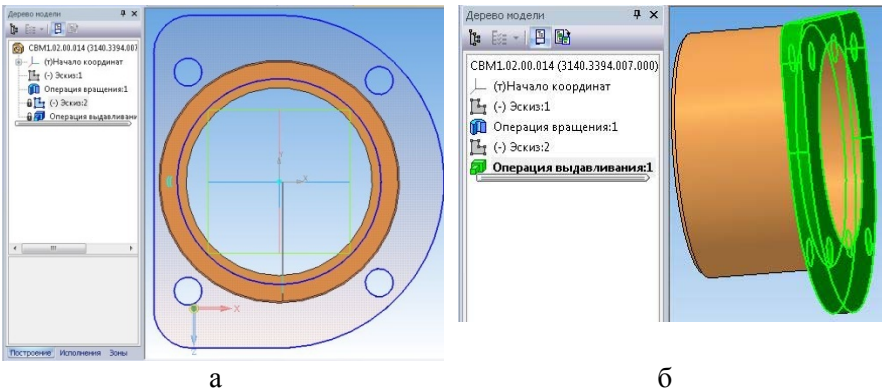


Рис. 2.5. Операція *Витискування*: а – ескиз; б – деталь

При формуванні елемента витискування ескізу, що містить переріз елемента, переміщається в напрямі, перпендикулярному власній площині. Напрямок витискування можна вибрати зі списку *Напрямок* (рис.2.6,а). Можливі варіанти витискування в прямому(використовується при побудові цієї моделі), зворотному і в двох напрямках).

У останньому випадку глибину витискування задають для кожного напрямку окремо в обидві сторони симетрично відносно площини ескізу (рис.2.6, б). При цьому можна задати тільки сумарну глибину витискування. В результаті вийде елемент, у якого площина ескізу є площиною симетрії (середня площина). Після вибору напрямку вимагається задати точну відстань, на яку робитиметься витискування, або вказати спосіб автоматичного визначення глибини витискування. Для цього необхідно вибрати потрібний варіант зі списку *Спосіб*. Якщо витискування робиться в прямому напрямі, використовується список *Спосіб1*. Якщо витискування робиться у зворотному напрямі, використовується список *Спосіб2*.

Якщо витискування робиться в двох напрямках, використовується список *Спосіб1*, щоб задати глибину витискування в прямому напрямі і список *Спосіб2*, щоб задати глибину витискування у зворотному напрямі. Якщо витискування робиться від середньої площини, списки *Спосіб1* і *Спосіб2* недоступні і можливий тільки один спосіб визначення відстані - точне завдання сумарної глибини витискування. Числове значення відстані вводиться у відповідне поле (*Відстань1* або *Відстань2*)

Є різні значення опції списку *Спосіб* визначення глибини витискування :

- а) *На відстань* - точно на відстань, задану в полі *Відстань*;
- б) *Через все* – глибина витискування визначається автоматично. Елемент видавлюється до грані, найбільш віддаленої від площини ескізу у напрямі витискування;
- в) *До вершини* – глибина витискування визначається автоматично по положенню вказаної користувачем вершини;
- г) *До поверхні* – глибина витискування визначається автоматично по положенню вказаної користувачем грані, площини або поверхні. Елемент видавлюється точно до цього об'єкту або на задану відстань від нього;

д) До найближчої поверхні – глибина витискування визначається автоматично. Елемент видавлюється точно до найближчих у напрямі витискування граней (поки не зустрине на своєму шляху грань). В результаті може утворитися неплюскій торець елемента. Ескіз елемента, що видавлюється до найближчої поверхні рекомендується будувати так, щоб він повністю розташовувався всередині контурів проекції деталі на площину ескізу.

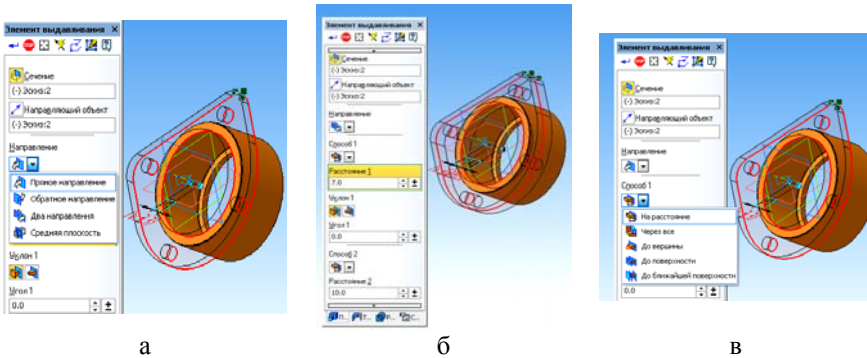


Рис. 2.6. Способи завдання напрямку витискування :  
 а – в прямому напрямі; б – в двох напрямках;  
 в – визначення величини глибини витискування

При будь-якому типі завдання глибини витискування елемента можна надати ухил у напрямі витискування. Завдання напрямку ухилу реалізується активізацією перемикача *Всередину* або *Назовні* в групі *Уклон1* (витискування в прямому напрямі) або *Уклон2* (у зворотному напрямі). У поле *Угол1* (*Угол2*) вводиться значення кута (рис. 2.6,а). При витискуванні в двох напрямках вказані параметри вводяться двічі, а у разі завдання від середньої площини задаються один раз і вважаються однаковими в обох напрямках.

II. Обертання ескізу навколо осі, що лежить в його площині на прикладі зубчастого колеса конічного (рис.2.7)

Якщо контур в ескізі не замкнутий, то можливі 2 варіанти побудови елемента обертання - *Тороїд* і *Сфероїд*, вибір яких здійснюється перемикачем *Тип*. При побудові *Тороїда* обертається тільки контур в ескізі, а до освіченої поверхні додається шар металу.

В результаті виходить тонкостінна оболонка - елемент з отвором уздовж осі обертання.

Розглянемо конструкцію корпусу шпиндельної бабки багатоопераційного верстата моделі СВМ1Ф4 (рис. 2.8). На рис. 2.9 показаний елемент корпусу шпиндельної бабки типу *Торрид*.

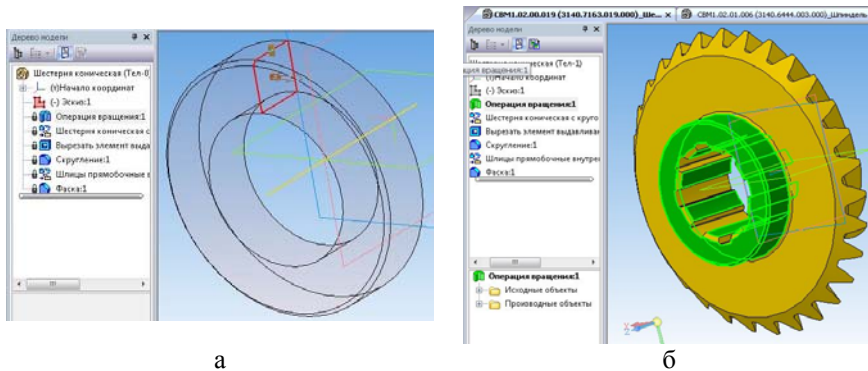


Рис. 2.7. Операція *Обертання*: а – ескіз; б – деталь

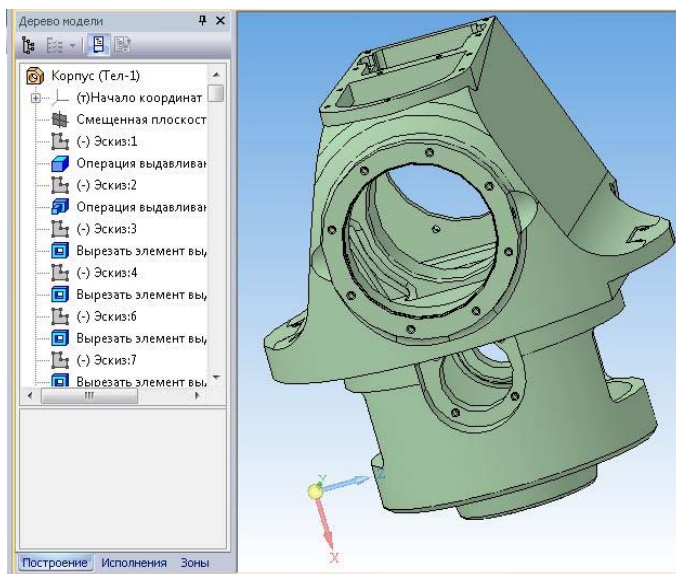


Рис. 2.8. 3D-модель шпиндельной бабки верстата модели СВМ1Ф4

При побудові сфероїда кінці контуру проектуються на вісь обертання, внаслідок чого виходить суцільний елемент. Слід зазначити, що якщо контур в ескізі замкнутий, можлива побудова тільки сфероїда.

Якщо вимагається побудувати елемент обертання з плоскими торцями, то в режимі ескіз досить зображувати незамкнутий профіль цього елемента, а при виконанні операції включити опцію Сфероїд. Як приклад показаний незамкнутий профіль деталі *Палець* голівки шпindelної (рис.2.10).

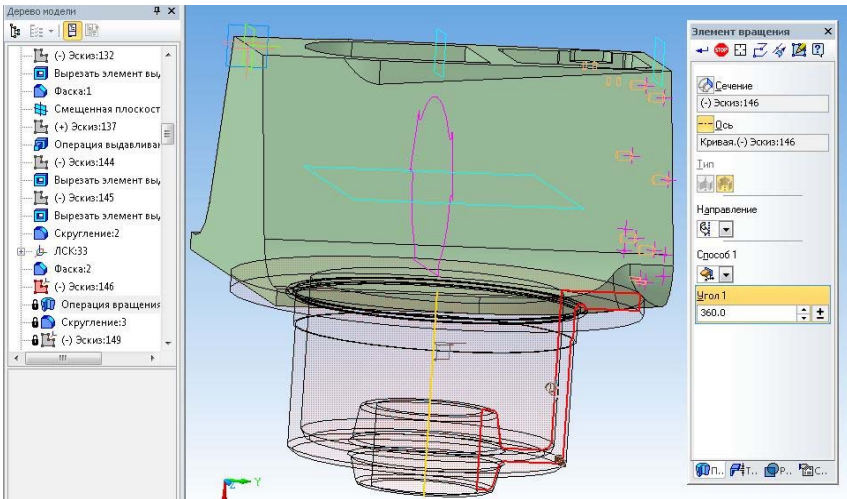


Рис. 2.9. Утворення *Тороида* за допомогою операції *Обертання*

Напрямок обертання вибирається зі списку Напрямок:

- пряме - в прямому напрямі відносно площини ескізу;
- зворотне - у зворотному напрямі відносно площини ескізу;
- два напрями - в обидві сторони відносно площини ескізу.

При цьому можна задати кут обертання для кожного напрямку окремо;

- середня площина - в обидві сторони симетрично відносно площини ескізу. При цьому можна задати тільки сумарний кут обертання, а площина ескізу є площиною симетрії.

Після вибору напрямку вимагається задати кут, на який робитиметься обертання : в прямому напрямі вводиться значення

кута в полі  $Угол1$ , а в зворотному в полі  $Угол2$ . Якщо обертання робиться від середньої площини використовується поле  $Угол1$  щоб задати сумарний кут обертання.

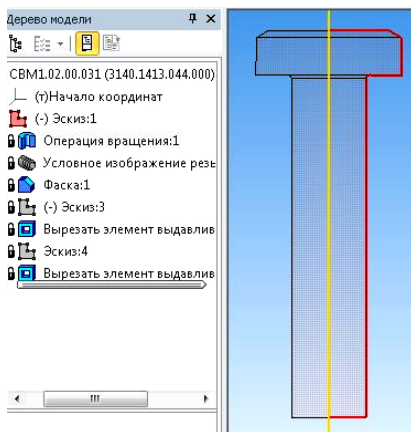


Рис. 2.10. Операція обертання з плоскими торцями незамкнутим контуром

III. Кінематична операція - переміщення ескізу уздовж тієї, що направляє - розглянемо на прикладі деталі Кришка корпусу станини з коробкою швидкостей, використовуваній системі мастила шпindelної бабки (рис.2.11)

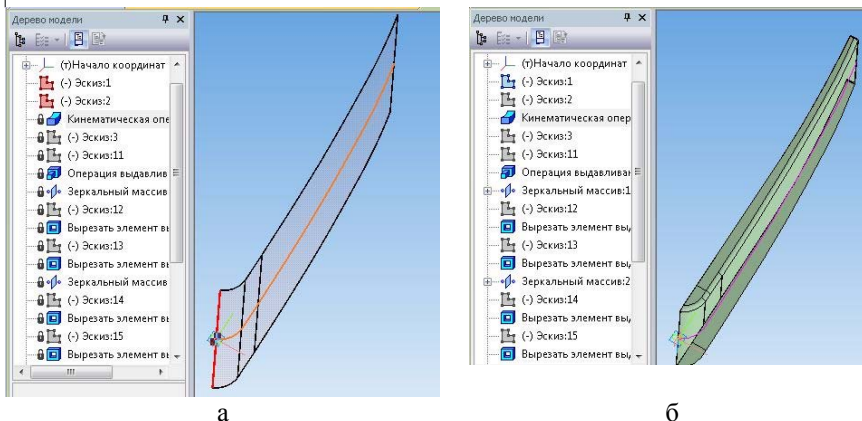


Рис. 2.11. Кінематична операція: а – ескіз; б – деталь



При виконанні кінематичної операції використовується ескіз, в якому зображений переріз кінематичного елемента і об'єкт, що задає траєкторію руху перерізу. Траєкторією можуть служити контур в ескізі, контури в декількох ескізах, що послідовно з'єднуються, або ребра моделі, що послідовно з'єднуються. Якщо ескізи і (чи) ребра розташовані в різних площинах, траєкторія буде не плоскою, а об'ємною.

Щоб задати переріз кінематичного елемента слід активізувати перемикач *Переріз* і вказати потрібний ескіз в Дереві побудови або у вікні деталі. Щоб задати траєкторію руху перерізу, необхідно активізувати перемикач *Траєкторія* і вказати потрібний об'єкт (ескіз). На рис.2.12 показано завдання перерізу і траєкторії на прикладі деталі Кришка корпусу станини з коробкою швидкостей.

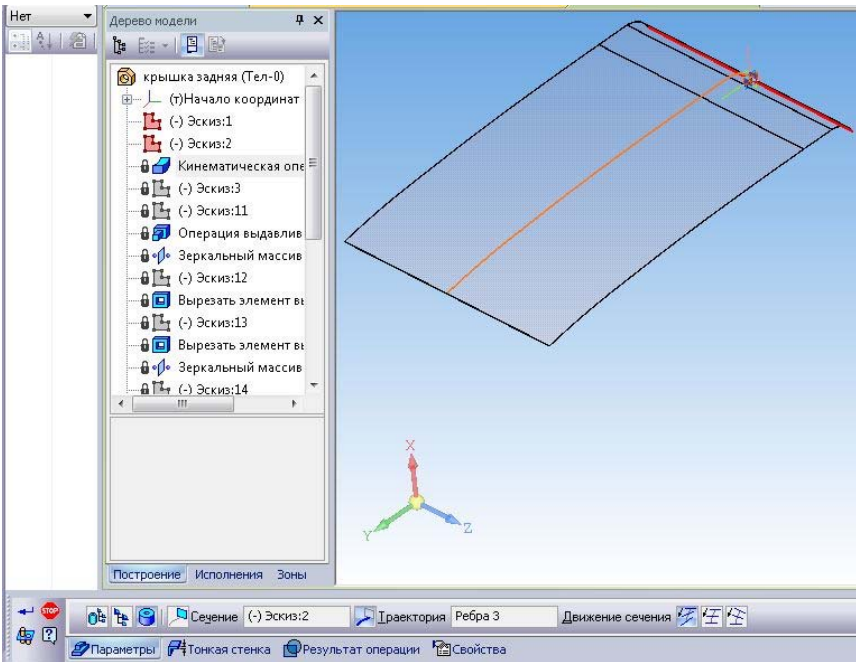


Рис. 2.12. Переріз і траєкторія кінематичної операції

При переміщенні ескізу уздовж траєкторії його орієнтація може мінятися або залишатися постійною. Щоб задати необхідний

тип руху, необхідно активізувати відповідний перемикач в групі *Рух перерізи*. При цьому можливі наступні опції:

- *Збереження кута нахилу* - у будь-якій точці траєкторії зберігається постійний кут рівний куту між площиною ескізу перерізу і траєкторією в початковій точці траєкторії;
- *Паралельно самому собі* - у будь-якій точці траєкторії його площина паралельна площині ескізу, що містить переріз;
- *Ортогонально траєкторії* - у будь-якій точці траєкторії площина перерізу має бути перпендикулярна траєкторії.

IV. Операція витискування по перерізах представлена на рис. 2.13 і рис. 2.14 на прикладі побудови ребра жорсткості корпусу станини з коробкою швидкостей. При створенні формотворного елемента по перерізах використовується декілька ескізів, в яких зображені перерізи елемента. У одному з ескізів може бути зображена напрямна, яка задає профіль елемента по перерізах. При цьому, використання що направляє необов'язково.

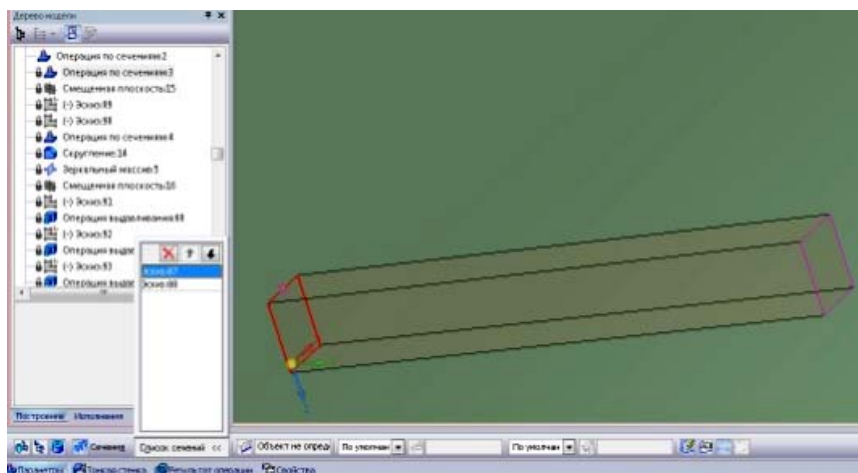


Рис. 2.13. Операція витискування по перерізах

Щоб задати перерізи ребра жорсткості необхідно активізувати перемикач *Перерізу* і вказати потрібні ескізи. Перелік ескізів в порядку їх вказівки з'являється у вікні *Список перерізів* (рис.2.13). У цьому ж порядку перерізу будуть сполучені при побудові ребра

жорсткості. При виборі перерізів у вікні деталі необхідно вказувати їх в точках (вершинах), які повинні послідовно з'єднуватися. В цьому випадку при автоматичній генерації шляху буде побудовано тіло необхідної форми. Щоб задати ту, що направляє елементу, необхідно активізувати перемикач *Осьова лінія* і вказати потрібний ескіз.

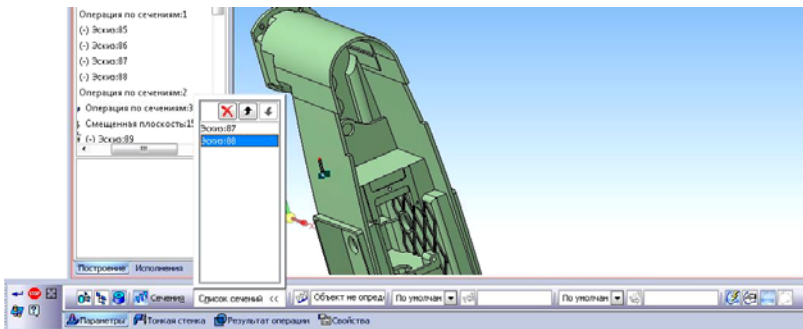


Рис. 2.14. Панель властивостей операції *Витискування по перерізах*

Одні і ті ж перерізи можна з'єднати різними способами, при цьому, можна вибрати як спосіб генерації траєкторії, так і побудувати або в розімкненому виді, або в замкнутому. Послідовність з'єднання перерізів може бути вказана вручну або визначена автоматично. Вибір варіанту здійснюється активізацією відповідного перемикача в групі *Траєкторія* (рис.2.12).

Як приклад розглянута конструкція ребра жорсткості корпусу верстата СВМ1Ф4 (рис.2.15). Перерізи, по яких будується ребро жорсткості, показані на рис. 2.15 зеленим кольором.

V. Утворення тонкої стінки. При створенні формотворного елементу будь-якого типу можна утворити тонкостінну оболонку, коли до поверхні елементу(без його торців) додається шар металу. При цьому, якщо контур не замкнутий, може бути побудований тільки тонкостінний елемент (ТЕ), а при замкнутому контурі можлива побудова як тонкостінного, так і суцільного елементу. Якщо в ескізі декілька вкладених контурів, то побудова ТЕ неможлива. Опції управління створенням ТЕ доступні під час завдання параметрів формотворного елементу і згруповані на вкладці Панелі властивостей *Тонка стінка*.

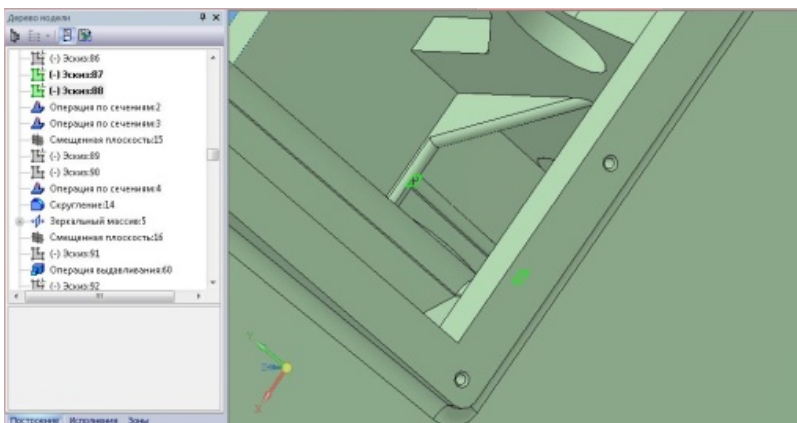


Рис. 2.15. Конструкція елемента (ребра жорсткості) з використанням операція витискування по перерізах

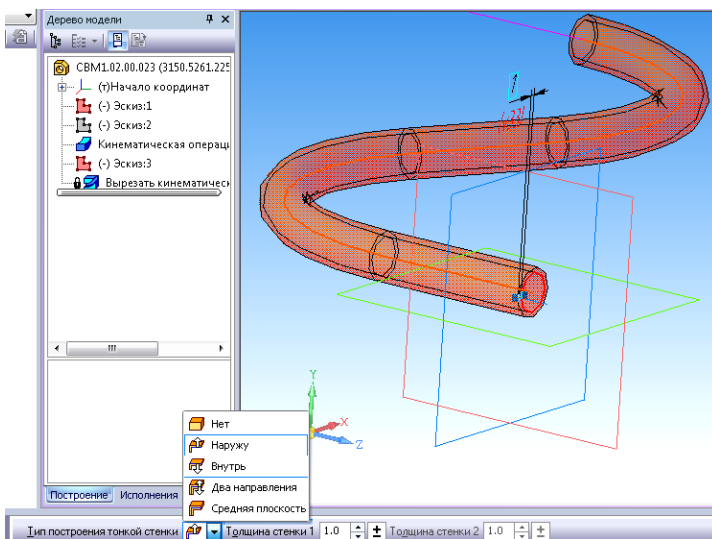


Рис. 2.16. Побудова тонкої стінки деталі «Трубка»

Для вказівки напрямку додавання шару матеріалу до поверхні вибирається потрібний варіант в списку *Тип побудови тонкої стінки* (рис.2.16). У цьому прикладі розглядається трубка системи мастила шпindelної бабки верстата моделі СВМ1Ф4 (рис.2.16) і вибрано

значення цієї опції *Назовні*, тобто в прямому напрямі відносно поверхні, утвореної переміщенням ескізу. Після вибору напрямку вимагається задати товщину стінки оболонки. В даному випадку значення товщини вводиться в поле *Товщина стінки1*. Якщо матеріал додається в напрямі всередину, значення вводиться в поле *Товщина стінки2*. У разі додавання матеріалу в двох напрямках використовуються поля *Товщина стінки1* і *Товщина стінки2*.

Якщо матеріал додається від серединної поверхні використовується поле *Товщина стінки1*, щоб задати сумарну товщину.

Вищеперелічені процедури побудови ескізів і формотворних операцій ефективно використані в 3D-проекті багатоопераційного верстата моделі СВМ1Ф4.

### 2.3. 3D- моделювання багатоопераційного верстата СВМ1Ф4

Розроблена 3D-конструкція верстата в цілому (рис.2.17) і кінематична схема приводу головного руху (рис.2.18).

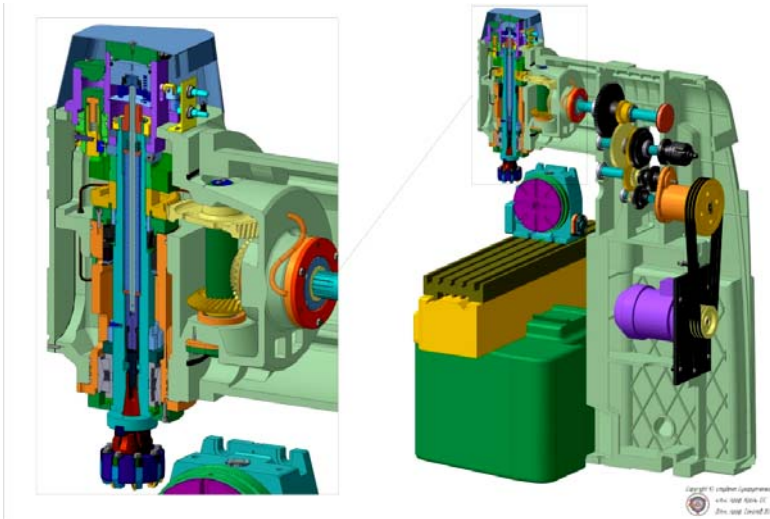


Рис. 2.17. Компонування і загальний вигляд верстата моделі СВМ1Ф4

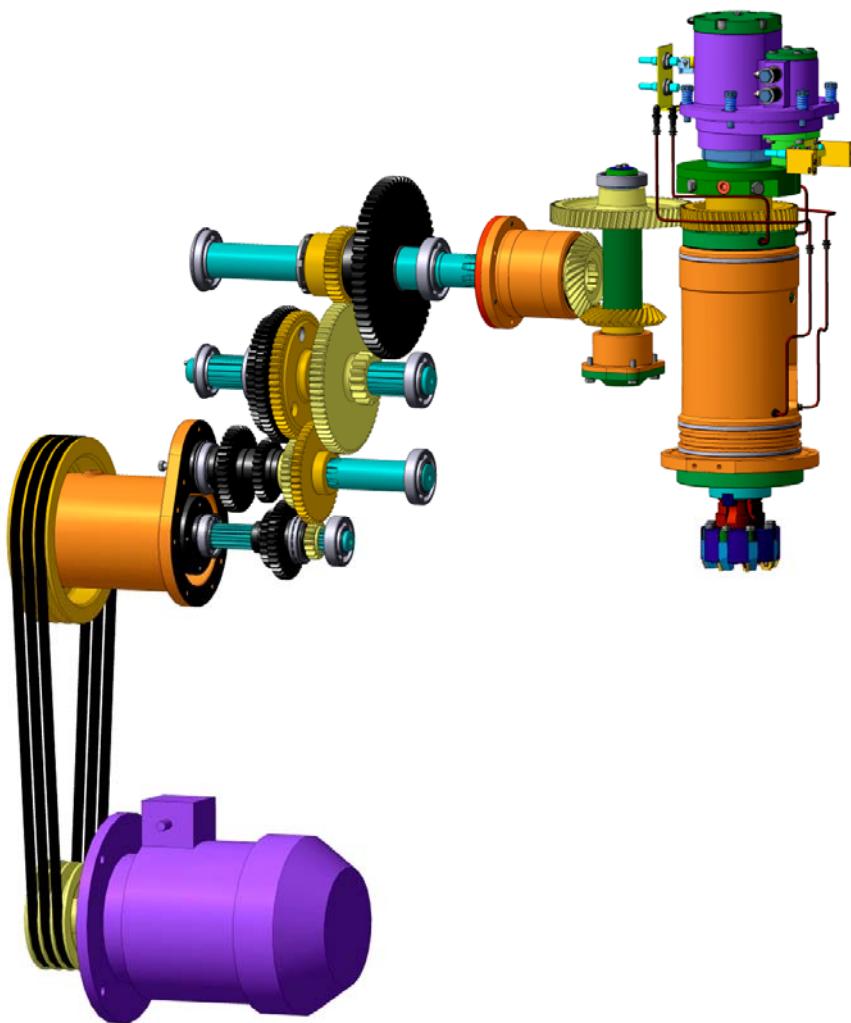


Рис. 2.18. Кінематична схема приводу головного руху в 3D

Розроблена конструкція шпindelної бабки верстата з вертикальним шпindelним вузлом (рис.2.19). Для цього виробу використовується рендерінг в модулі Artisan Rendering і операція *Прозорий корпус*.



Рис. 2.19. Рендерінг шпиндельної бабки

На етапі аналізу на технологічність шпиндельного вузла використовується процедура *Рознесення* і анімаційні можливості системи (рис. 2.20).







## Контрольні питання

1. На основі чого утворюється тривимірний об'єкт (тіло) і як називається формотворне переміщення при 3D-моделировании?
2. Що може служити в якості основи в процесі проектування нової деталі?
3. Як задається глибина витискування при виконанні цієї операції в режимі *В двох напрямках*?
4. У чому відмінність двох елементів обертання *Toroid* і *Сфероїд*. Який з цих елементів пов'язаний із замкнутим контуром ескізу?
5. Які параметри задаються при виборі напрямку обертання *Середня площина*? Як в цьому випадку задається кут, на який буде робиться обертання?
6. Як задаються траєкторії руху перерізу елементу при виконанні *Кінематична операція*. Коли така траєкторія буде об'ємною?
7. Чи є обов'язковим завдання тієї, що направляє, яка задає профіль елементу по перерізах при виконанні операції *Витискування по перерізах*?
8. Чи можна зберегти кут нахилу у будь-якій точці траєкторії при переміщенні ескізу уздовж цієї траєкторії?
9. Чи треба витримувати порядок вказівки перерізів при побудові ребра жорсткості. Чи відповідає процес з'єднання цих перерізів вказаному порядку?
10. Які варіанти допускаються у разі побудови траєкторії, по якій здійснюватиметься з'єднання перерізів ребра жорсткості?

---

---

### 3. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ СФ16МФ3. ДОДАТКОВІ КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ

У функціоналі КОМПАС- 3D застосовуються ті прийоми, які характерні машинобудівному проектуванню. Існують типові конструктивні елементи: фаски, зкруглення, круглі отвори, ухили і ребра жорсткості, які характерні для багатьох машинобудівних виробів. Для спрощення завдання параметрів цих елементів, для їх побудови передбачені в системі КОМПАС окремі команди. Так для побудови фаски не треба малювати ескіз, переміщати його уздовж ребра і віднімати об'єм, що вийшов, з основного тіла. Досить вказати ребра для побудови фаски і ввести її параметри - величину катетів або величину катета і кут. Аналогічно при побудові отвору досить вибрати його тип (наприклад отвір глухий із зенкуванням і цекуванням) і ввести відповідні параметри. Команди створення конструктивних елементів розташовані в меню *Оператії*.

Розглянемо процес створення конструктивних елементів в прив'язці до проекту багатоопераційному верстату СФ16МФ3.

Цей проект завоював бронзову медаль Міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделирования» в «середній» ваговій категорії (більше 200 і менш 1000 3D-моделей в складанні) в 2014 році. Автор проекту студент кафедри «Машинобудування і прикладна механіка» Журавльов В.В.



Проект: **Многооперационный станок с  
шестишпindelной револьверной головкой  
СФ16МФ3**

Разработчик: **Восточноукраинский национальный  
университет им. В.И. Дала, Луганск**

Автор(ы): Журавлев Виталий, 5 курс  
Руководитель проекта: Крель Олег Семёнович,  
Профессор

Деталей: 791

**III место в «Средней» весовой категории —  
от 200 до 1000 деталей. Машиностроение**

[Подробнее...](#)

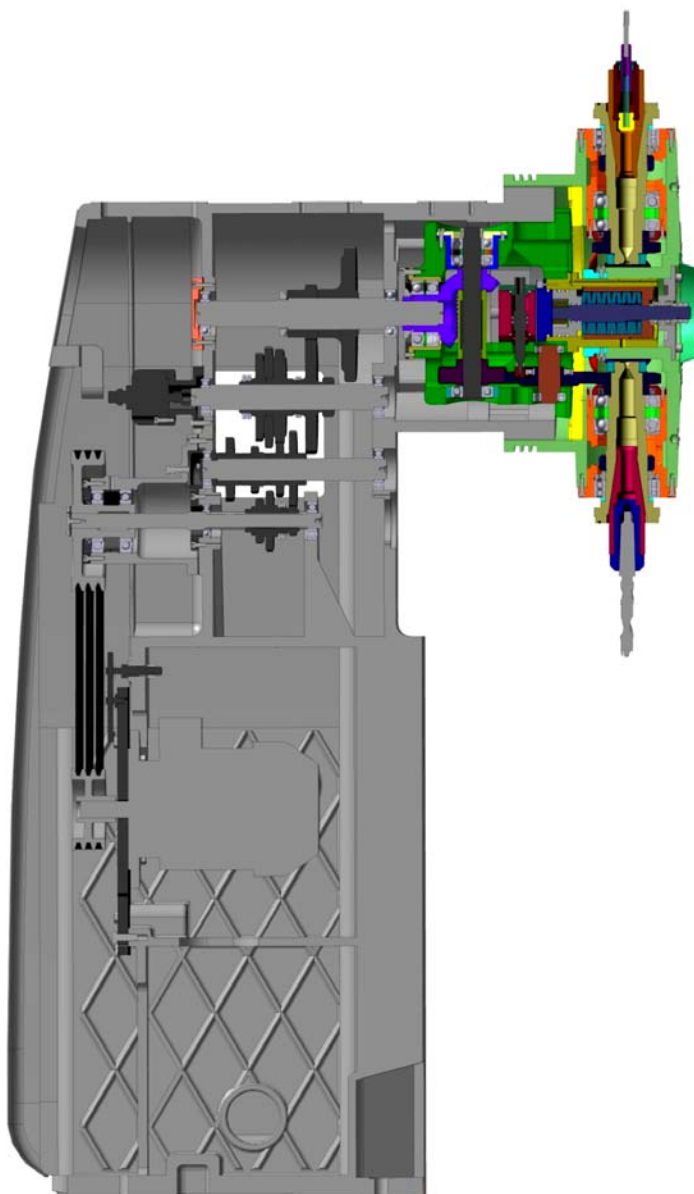


Рис. 3.1. 3D-модель багатоопераційного верстата моделі СФ16МФ3 в розрізі

В якості об'єкту проектування розглядається спеціалізований вертикальний фрезерно-свердильний верстат другого типорозміру моделі СФ16МФ3. Цей верстат використовується в умовах дрібносерійного і серійного виробництва і призначений для багатоопераційної обробки виробів складного профілю із сталей, чавуну, легких і кольорових металів. На верстаті може виконуватися обробка вертикальних, горизонтальних і похилих площин, фасонних поверхонь, отворів, пазів різними технологічними методами: фрезеруванням, свердлінням, зенкеруванням і розгортанням.

Верстат оснащений облаштуванням автоматичної зміни інструменту, яка здійснюється шляхом повороту шестишпindelної револьверної голівки в потрібну позицію за програмою. Шестишпindelна револьверна голівка є чавунним корпусом, в радіальних розточуваннях якого закріплюється шість шпindelних вузлів. Вибір інструменту здійснюється за допомогою спеціальних кулачків, а поворот голівки реалізується за допомогою зубчастого зачеплення з використанням гідродвигуна. При роботі верстата рухлива частина револьверної голівки фіксується пакетом тарілчастих пружин з постійним зусиллям 20580 Н.

Для аналізу працездатності конструкції і вибору оптимального варіанту проекту створена 3D-модель багатоопераційного верстата (рис.3.1) в САПР КОМПАС- 3D. При створенні цієї моделі були використані вищеперелічені конструктивні елементи.

### **3.1. Створення типових конструктивних елементів в КОМПАС- 3D**

Розглянемо порядок створення зкруглень, фасок і інших конструктивних елементів на прикладі конструкції багатоопераційного верстата СФ16МФ3.

Команда *Зкруглення* виконується для ребер граней тіла деталей верстата. Поняття *Грань* в КОМПАС- 3D означає гладку (необов'язково плоску) частину поверхні деталі. При цьому гладка поверхня деталі може складатися з декількох зв'язаних граней, утворених операцією над декількома зв'язаними графічними об'єктами. Під поняттям *Ребро* розуміється крива, що розділяє дві

грані, а під поняттям *Тіло деталі* - область, обмежена гранями деталі.

При побудові зкруглення вибирають опцію *Тип зкруглення* з постійним або змінним радіусом. За умовчанням активний перемикач *Постійний радіус*. Для побудови зкруглення зі змінним радіусом активізується перемикач *Змінний радіус*, потім вказуються ребра, що округляються, і якщо вимагається округляти усі ребра, що обмежує яку-небудь грань, вказується ця грань. Прискорити процес побудови зкруглення вдасться, якщо декілька ребер гладко з'єднуються (мають загальну дотичну в точці з'єднання), тоді потрібно включити опцію *Продовжувати по дотичних ребрах*. В цьому випадку система автоматично визначить інші ребра, на які поширюється зкруглення.

Як приклад розглянуто зкруглення ребра деталі масляний насос верстата СФ16МФ3 (рис.3.2). Значення радіусу  $R = 15$  мм вводиться у відповідне поле на панелі властивостей (рис.3.2 в нижній частині рисунка).

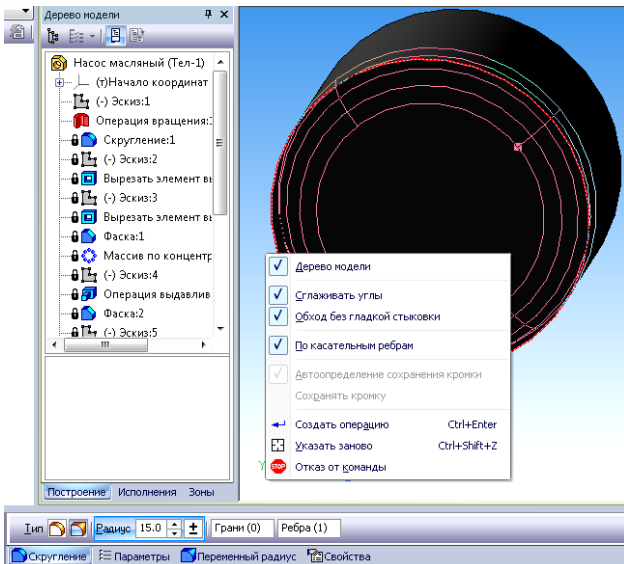


Рис. 3.2. Зкруглення кромки масляного насоса

У системі можна настроїти спосіб виконання операції за допомогою опцій *Автовизначення* збереження кромки (рис.3.3). Ця опція реалізується у тому випадку, якщо поверхня зкруглення перетинається з сусідніми гранями; при цьому, можливі два варіанти:

- зі збереженням кромки (в цьому випадку буде збережена форма ребер сусідніх граней);
- зі збереженням поверхні (в цьому випадку опція *Зберігати кромку* вимкнена і форма ребер сусідніх граней може змінитися).

Перший варіант представлений на рис.3.3.

У тому випадку, коли взаємне розташування поверхонь, що округляються, і заданий радіус зкруглення не дозволяє зберегти кромку, система видасть повідомлення про помилку (при включеній опції *Зберігати кромку*). Для уникнення такої помилки необхідно включити опцію *Автовизначення*. В цьому випадку система побудує комбіноване зкруглення, коли, де це можливо будуть збережені кромки сусідніх граней, а там де збереження кромки неможливе, будуть збережені поверхні сусідніх граней.

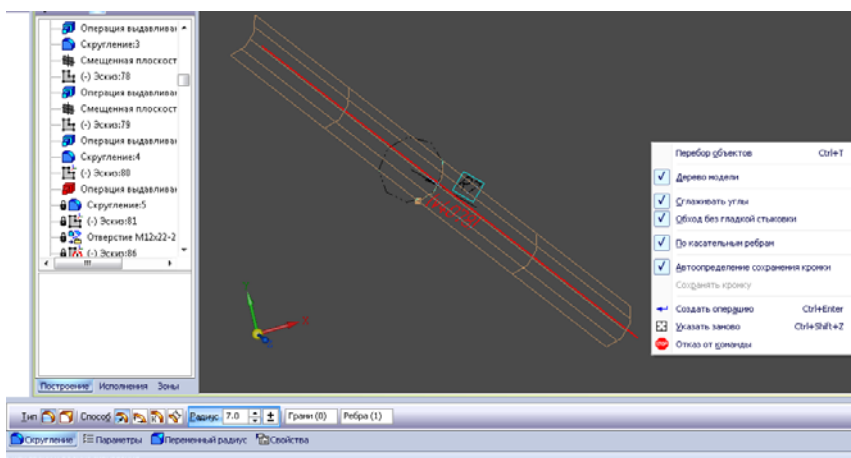


Рис. 3.3. Спосіб побудови зкруглення зі збереженням кромки

Для побудови фаски на ребрах деталі необхідно вибрати команду *Фаска*. Область обмеження включає ребра, утворені зв'язаними гранями. Система пропонує два способи побудови фаски

По стороні і куту і По двом сторонам. У першому випадку в полі *Довжина 1* вводиться довжина сторони фаски, а в полі *Кут* - кут між цією стороною і поверхнею фаски. При цьому, в довідковому полі *Довжина 2* з'являється вичислене значення довжини другого катета фаски. На рис. 3.4 представлений перший варіант побудови фаски, завдовжки 3,0 мм під кутом 45° з вибором *Другий напрям* (стрілка вказує напрям уздовж якого відкладатиметься сторона фаски з довжиною *Довжина 1*) одночасно для 3-х ребер. Актуалізація опції *Продовжувати по дотичних ребрах* дозволяє вказати при побудові тільки одну з трьох фасок.

Створення фасок і зкруглень рекомендується здійснювати у кінці побудови деталі, а не відразу після виникнення формотворних елементів, на ребрах яких вимагається утворити фаски і зкруглення

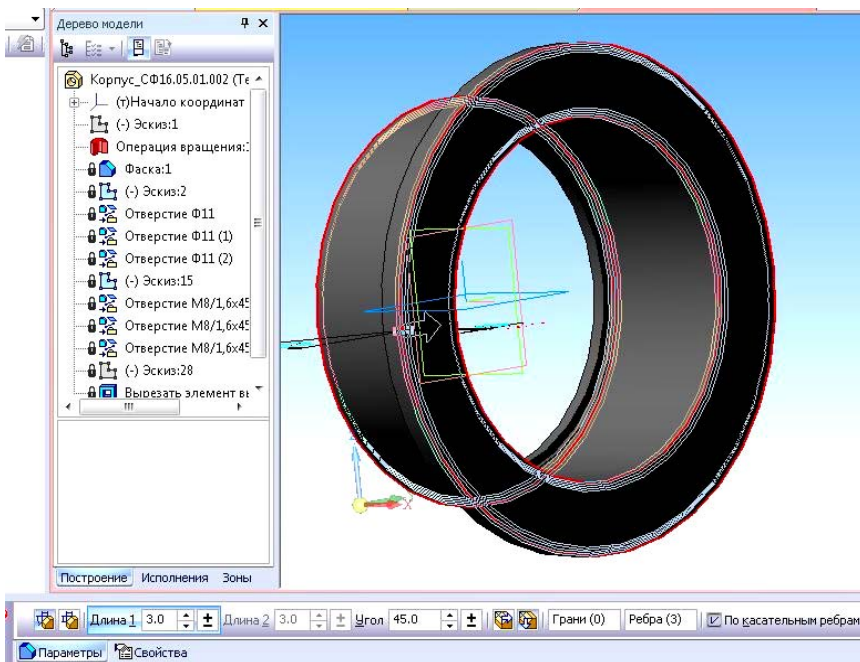


Рис. 3.4. Побудова фаски по стороні і куту

Конструктивний елемент – круглий отвір із складним профілем реалізується за допомогою команди *Отвір*. Створенню

круглого отвору із складним профілем розпочинається з виділення грані, на якій воно повинне розташовуватися. Після виклику команди Отвір на панелі властивостей з'являться елементи управління для вибору профілю отвору і введення його геометричних розмірів (рис.3.5).

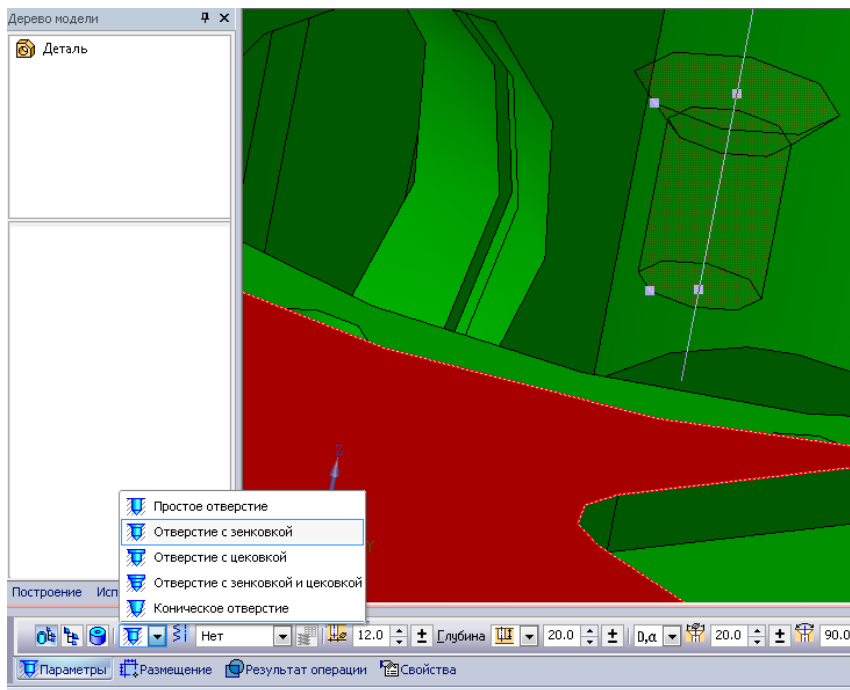


Рис. 3.5. Побудова отвору в деталі Корпус механізму повороту

Спочатку здійснюється вибір типу отвору (Просте, з цекуванням, із зенкуванням і цекуванням та ін.) В рядку параметрів в параметричному виді представлені ескізи вибраного профілю. Далі вводяться значення параметрів отвору (діаметр і глибина отвору і зенкування). Тут є можливість управляти формою торця отвору - плоский; сферичний; конічний. На рис.3.5 показаний фантом отвору із зенкуванням з плоским торцем. Активна також опція *Вісь отвору*.

САПР КОМПАС-3D дозволяє створення власної бібліотеки отворів або доповнення системної бібліотеки отворів.



Конструктивний елемент - *Ребро жорсткості* часто використовується при розробці корпусних деталей металорізальних верстатів. Перед побудовою ребра жорсткості вимагається створити ескіз, що визначає форму цього ребра, який повинен відповідати наступним вимогам:

- У ескізі має бути один контур;
- контур в ескізі має бути розімкненим;
- дотичні до контуру в його кінцевих точках повинні перетинати тіло деталі;
- контур в ескізі ребра жорсткості може не доходити до тіла деталі. Система продовжить контур до перетину з найближчою гранню. Криволінійні контури тривають по дотичних до них в крайніх точках.

Щоб побудувати ребро жорсткості необхідно викликати команду *Ребро жорсткості*, яка доступна, якщо виділений ескіз ребра. *Ребро жорсткості* може бути перпендикулярне (рис.3.6, а; поверхня ребра утворюється витискуванням контуру в ескізі) або паралельне (рис.3.6,б; контур в ескізі обмежує ребро по периметру) площині ескізу.

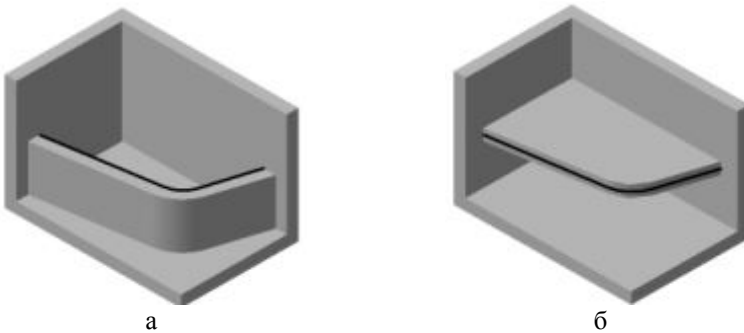


Рис. 3.6. Ребра жорсткості: а – перпендикулярно площини ескізу;  
б – паралельно площини ескізу

Якщо тіло деталі розташоване по одну сторону від ескізу, система автоматично розпізнає напрям витискування ребра (у бік деталі - *Прямий напрям*). Щоб змінити напрям формування ребра жорсткості, потрібно активізувати перемикач *Зворотний напрям* в

групі *Напрям*. Напрям побудови ребра показується на фантомі у вікні моделі у вигляді стрілки (рис.3.7). На цьому рисунку представлено ребро жорсткості (показано стрілкою), що посилює конструкцію корпусу станини з коробкою швидкостей верстата моделі СФ16МФ3.

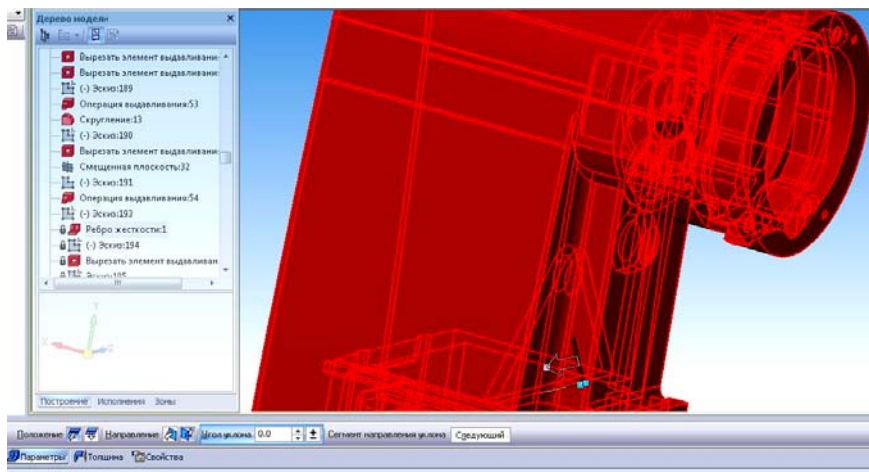


Рис. 3.7. Побудова ребра жорсткості

Якщо вимагається щоб грані елементу мали ухил, то його значення вводиться в поле *Кут ухилу*, при цьому, бічні грані ребра жорсткості будуть уклонні назовні під заданим кутом.

При формуванні ребра жорсткості матеріал додається до площини його ескізу або до поверхні, утвореної витискуванням ескізу ортогональна його площини. Для вказівки напряму додавання шару металу вибирається потрібний варіант в списку *Тип побудови тонкої стінки* на вкладці панелі властивостей *Товщина* (рис.3.8). Для ребра жорсткості корпусу вибраний тип побудови *Два напрями* - в обидві сторони відносно площини ескізу або поверхні, утвореної переміщенням ескізу. При цьому можна задати товщину для кожного напряму окремо. В даному випадку в полі *Товщина стінки1* і *Товщина стінки2* зафіксована однакова товщина рівна 6 мм.

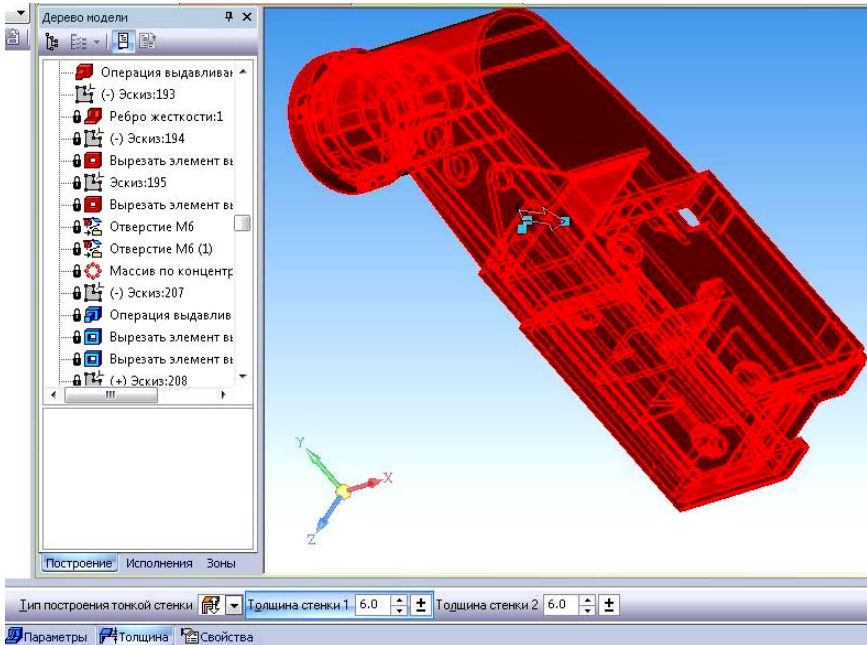


Рис. 3.8. Товщина стінки ребра жорсткості

Існує інші типи побудови тонкої стінки :

- *Назовні*, в прямому напрямі відносно площини ескізу;
- *Всередину*, у зворотному напрямі відносно площини ескізу;
- *Середня площина*, в обидві сторони відносно площини ескізу.

При цьому можна задати тільки сумарну товщину.

Конструктивний елемент - *Різьблення*. У системі КОМПАС різьблення створюється не як гвинтова поверхня, а як умовне зображення - каркасний циліндр або конус. Щоб побудувати зображення різьблення необхідно скористатися командою *Умовне позначення різьблення* в меню *Операції*. Далі вказується базовий об'єкт - кругле ребро циліндричної (конічної) грані деталі, на якій має бути побудоване різьблення. У разі завдання меж різьблення, в якості базового об'єкту можна вказати саму поверхню, на якій буде побудовано різьблення.

У вікні моделі виникає фантом умовного позначення різьблення, а тип різьблення визначається системою автоматично.

Інформація про тип відображається в однойменному довідковому полі на вкладці *Параметри*. На рис.3.9 показано зовнішнє метричне різьблення М10×1,25 завдовжки 22 мм, нарізана на лівому ступені штока механізму повороту шестишпindelної револьверної голівки. Опції *Автовизначення діаметру* і *На всю довжину* управляють значеннями номінального діаметру і довжини різьблення відповідно. У цьому прикладі (рис.3.9) діаметр визначаються автоматично, а довжина задається. Автоматично розраховане значення діаметру різьблення відображається в полі *Номінальний діаметр різьблення*.

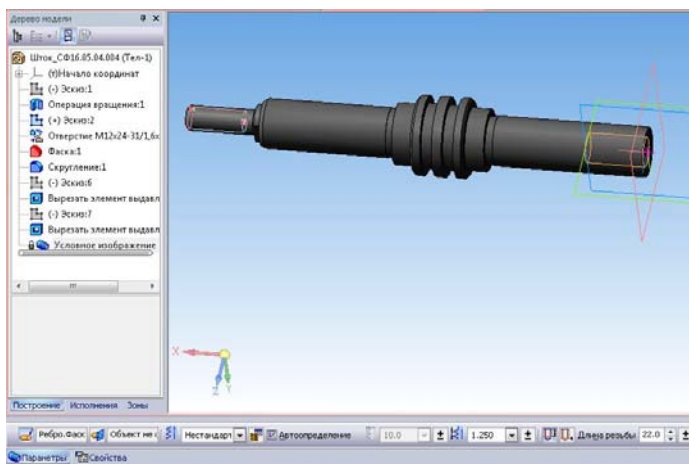


Рис. 3.9. Побудова різьблення на поверхні деталі Шток

У разі завдання діаметру різьблення вручну, відключається опція *Автовизначення діаметру* і вводиться потрібне значення в поле, що стало доступним, *Номінальний діаметр різьблення*.

Необхідно відмітити, що умовне зображення різьблення завжди показується в моделі повністю. Так, в результаті виконання команди *Переріз поверхнею* елемент на якому побудовано різьблення, виявився відсічений (чи розітнутий), але умовне зображення різьблення відображається в моделі цілком (при цьому поверхня, на якій побудовано різьблення, не видно).

При створенні в кресленнях асоціативних видів моделей, що містять умовні позначення різьблення, ці зображення можуть бути побудовані у видах.

### 3.2. 3D- проект багатоопераційного верстата моделі СФ16МФ3

Розглянуті вище процедури побудови конструктивних елементів використані при створенні проекту багатоопераційного верстата СФ16МФ3. На рис. 3.10. показаний загальний вигляд і розріз верстата в цілому.

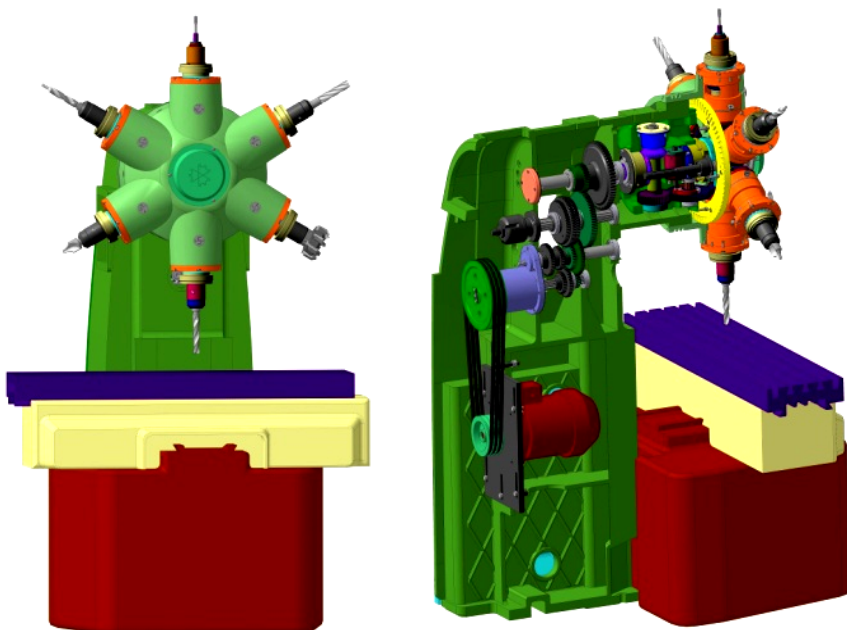


Рис. 3.10. 3D-модель верстата моделі СФ16МФ3

На рис. 3.11 представлена кінематична схема приводу головного руху з шестишпindelною револьверною голівкою.

Центральний формотворний агрегат верстата - шестишпindelна револьверна голівка, в якій монтується різноманітний свердлильний і фрезерний інструмент. 3D-модель голівки представлена на рис. 3.12, а 3D-модель шпindelного вузла представлена на рис. 3.13.

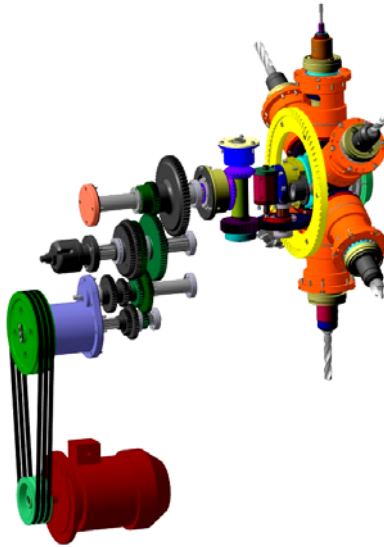


Рис. 3.11. Кінематична схема приводу головного руху з шестишпindelною револьверною голівкою

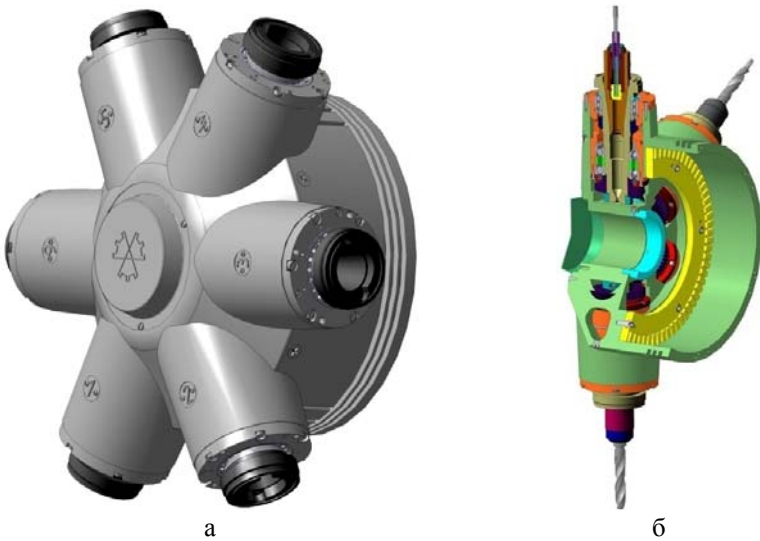


Рис. 3.12. 3D-модель шестишпindelної голівки :  
а – загальний вигляд; б – переріз

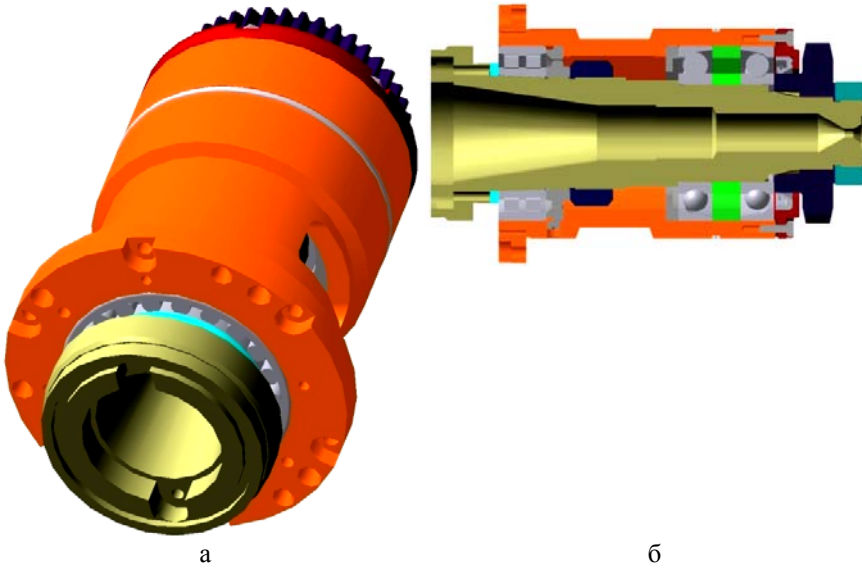


Рис. 3.13. Шпиндельний вузол: а – складання; б – переріз

Аналіз на технологічність ефективно здійснювати на основі рознесення шпиндельного вузла (рис.3.14) і анімації його складання

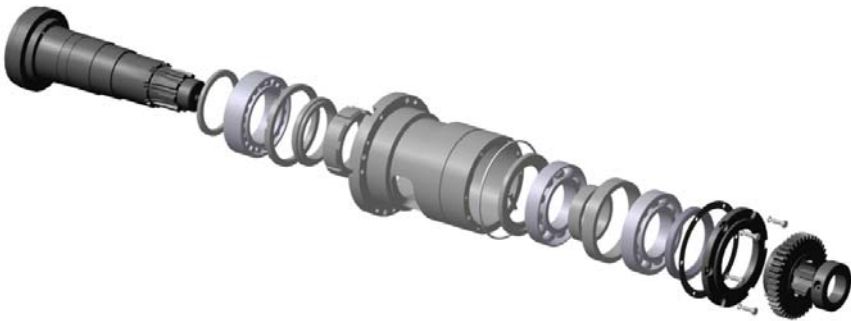


Рис. 3.14. Рознесення шпиндельного вузла

Рендерінг 6-шпиндельної головки, виконаний в модулі Artisan Rendering, представлений на рис.3.15.



Рис. 3.15. Рендерінг 6-ти шпindelної револьверної головки



## Контрольні питання

1. Чи може грань 3D-об'єкта (тіла) складатися з неплоских поверхонь?
2. Коли необхідно вказувати грань при створенні конструктивного елемента *Зкруглення*?
3. Коли можна включити опцію *Продовжувати по дотичних ребрах*?
4. Яку опцію слід активувати, щоб зберегти кромки сусідніх граней при виконанні *Зкруглення*?
5. Яку опцію слід активувати, щоб для декількох конструктивних елементів *Фаска* ввести довжину сторони один раз?
6. Коли рекомендується створювати фаски і закруглення?  
а - відразу після виникнення цих конструктивних елементів;  
б - у кінці побудови деталі.
7. Які форми торця можна реалізувати при створенні конструктивного елемента *Круглий отвір із складним профілем*?
8. Чи може бути в ескізі конструктивного елемента *Ребра жорсткості* декілька контурів?
9. Чи обов'язковий перетин контуру в ескізі ребра жорсткості з гранню проектованої деталі?
10. Який напрям витискування ребра жорсткості відносно тіла деталі автоматично розпізнає система?

---

---

## **4. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ СФ68ВФ4. МАСИВИ ЕЛЕМЕНТІВ**

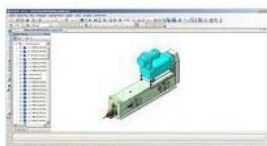
Для великої гами деталей існують ситуації, коли необхідно зробити декілька однакових операцій, так щоб елементи, що утворилися, були певним чином впорядковані і складають прямокутний масив або симетричні відносно площини. Повторення операції можна скористатися командою *Масив елементів*. У КОМПАС-3D доступні різноманітні способи побудови масивів: по сітці; по колу; уздовж кривої; дзеркальне копіювання.

Початкові елементи можна вибирати як перед викликом команди створення масиву, так і після виклику. Для вибору початкового елемента можна виділити його в Дереві побудови або у вікні деталі (грань, ребро, вершину). Потім задають параметри масиву за допомогою полів і перемикачів в панелі властивостей. При цьому, фантом масиву елементів відображається на екрані, що дозволяє оцінити правильність завдання параметрів і вибору початкових даних. Потім слідує підтвердження створення масиву, який з'являється у вікні деталі, а що відповідає його типу піктограми в Дереві побудови.

Масив елементів складається з екземплярів (рис.4.1), кожен з яких є копією початкових елементів, а у випадку якщо їх декілька - групою копій. Екземпляри масиву елементів відображаються в дереві побудови як окремі елементи, підлеглі масиву. Екземпляру, у свою чергу, підкоряються копії елементів

Розглянемо різноманітні способи побудови масивів на прикладі багатоопераційного верстата СФ68ВФ4, тривимірна модель (рис.4.2) якого розроблена студентами кафедри Машинобудування і прикладної механіки Осіпов В.І. і Хмельницький А.В. Цей проект був представлений в Галереї

проектів міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделирования» в 2013 і 2015 р.р.



Проект: **Привод главного движения станка с ЧПУ модели СФ68ВФ4 с быстроходной головкой**  
Разработчик: **Восточноукраинский национальный университет им. В.И. Дала, Луганск**  
Автор(ы): Осипов Виталий Игоревич, 5 курс  
Руководитель проекта: Кроль Олег Семенович, профессор  
Деталей: 524  
[Подробнее...](#)



Проект: **Консольный горизонтально-фрезерный станок СФ68ПФ4**  
Разработчик: **Восточноукраинский национальный университет им. В.И. Дала, Луганск**  
Автор(ы): Хмельницкий Андрей Валерьевич, 5 курс  
Руководитель проекта: Кроль Олег Семенович, Профессор кафедры «Машиностроения, станков и инструментов»  
Деталей: 2640  
[Подробнее...](#)

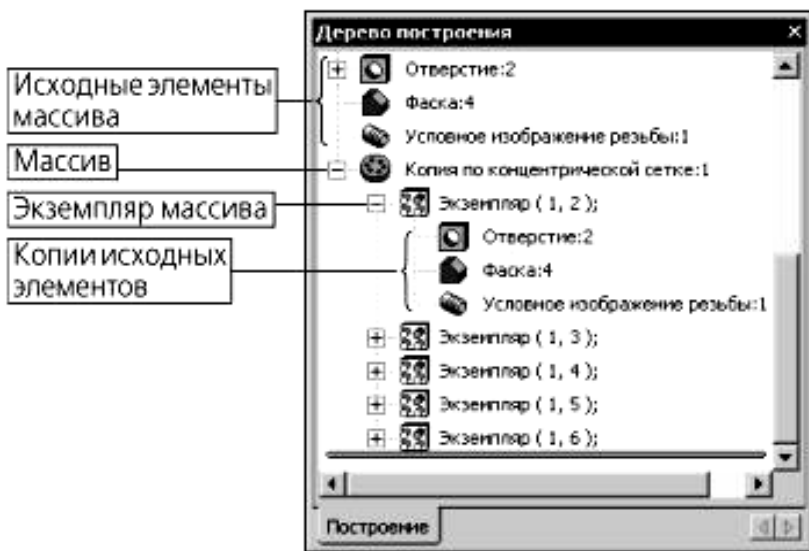


Рис. 4.1. Массив элементов в Дереве побудови

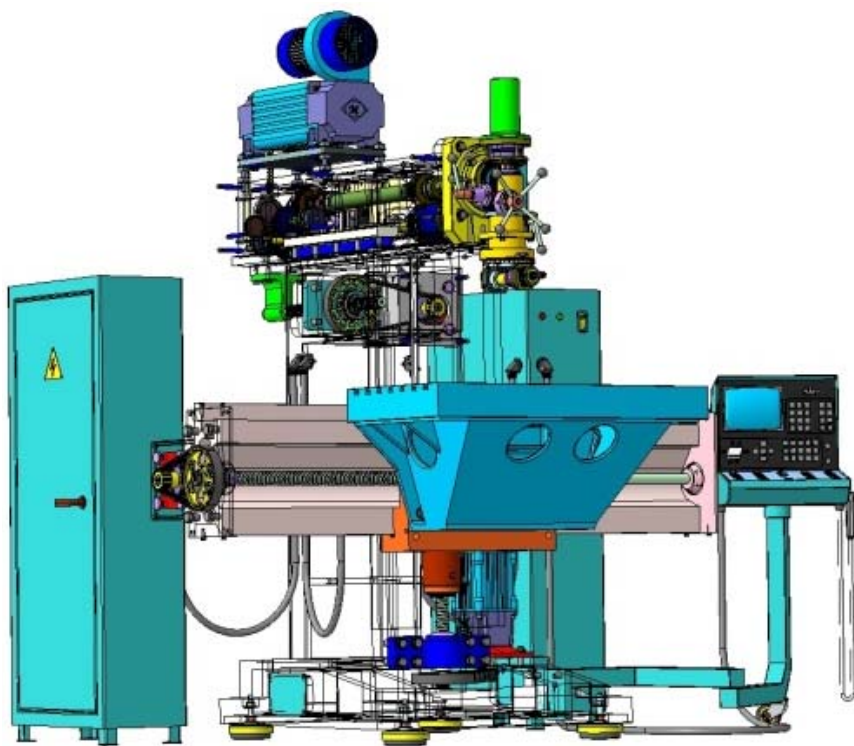


Рис. 4.2. 3D-модель багатоопераційного верстата СФ68ВФ4

Верстат СФ68ВФ4 - свердлильний-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПУ другого типорозміру, оснащений спеціальним модульним оснащенням (вертикальна, кутова і довбальна шпindelьні голівки).

Верстат монтується на чавунній основі, на якій закріплена колона та усі основні частини верстата. По горизонтальним направляючим колони переміщається бабка шпindelьна (вісь "Z"), до якої кріпиться вертикальна голівка або додаткові пристрої і пристосування. По вертикальним направляючим переміщається супорт (вісь "Y"), а по горизонтальним - вертикальний стіл (вісь "X"), до якого кріпиться залежно від комплектації жорсткий кутовий стіл або поворотний стіл для установки на них оброблюваних деталей.

У верхній частині колони з лівого боку знаходиться знімач, на якому встановлюється вертикальна голівка в неробочому положенні.

Ліворуч біля основи розміщений бак СОЖ з електронасосом, справа на колоні закріплена станція мастила. Пульта управління кріпиться за допомогою поворотного кронштейна до основи.

Комплект шаф (шафа гідроапарату, приводів і електроавтоматики) закріплені безпосередньо до задньої стінки колони.

#### 4.1. Процедури створення масивів в системі КОМПАС-3D

1. Розглянемо процедуру побудови *Масив по концентричній сітці* на прикладі деталі Фланець блоку шпindelного (рис. 4.3). Для побудови масиву елементів, розташованих у вузлах концентричної сітки необхідно виділити початкові елементи і викликати команду *Масив по концентричній сітці*. Концентрична сітка характеризується положенням її площини і центру, радіусами кіл і кутом між радіальними променями (рис. 4.4), що перетинають їх.

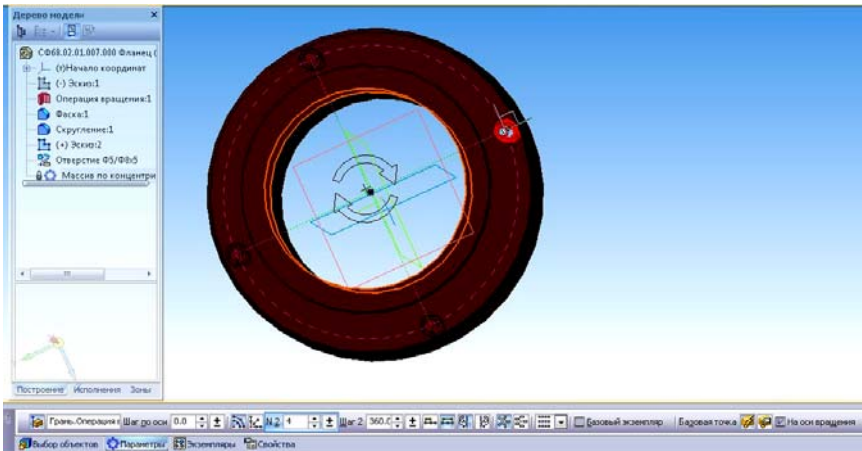


Рис. 4.3. Масив по сітці в деталі Фланець



Рис. 4.4. Схема утворення концентричної сітки

Усі значення параметрів сітки при їх введенні і редагуванні негайно відображаються на екрані у вигляді фантома масиву. Фантом дозволяє візуально проконтролювати правильність завдання параметрів.

Положення площини сітки і її центру можна визначити, задавши вісь концентричного масиву. Площина сітки буде перпендикулярна цій осі, а центр сітки лежатиме на ній. В якості осі масиву можна використати допоміжну вісь або прямолінійне ребро деталі, а її вибір здійснюється вказівкою її в Дереві побудови або у вікні деталі.

Радіус внутрішнього кола сітки визначається системою автоматично. Він дорівнює відстані від будь-якої точки початкових об'єктів до центру сітки. Кількість кіл концентричної сітки вводиться в поле *Кількість по кільцевому напрямку*. Оскільки кількість копій в радіальному напрямку дорівнює одиниці, то не доступними є елементи управління завдання кроку сітки в радіальному напрямку.

У полі *Крок по кільцевому напрямку* вводиться кут між променями сітки (крок між копіями в кільцевому напрямку, який не може бути більше  $360^{\circ}$ ).

У даному прикладі вводиться в поле *Кількість по кільцевому напрямку* значення 4, а крок по кільцевому напрямку  $360^{\circ}$ . При цьому

активною стає піктограма *Крок* між крайніми екземплярами. Значення кроку в цьому випадку сприймається системою як кут між першим і останнім променями сітки. Цей варіант зручно використати, якщо вимагається розмістити певну кількість копій рівномірно по колу. За умовчанням елементи масиву розташовуються відносно початкових елементів по напрямку проти годинникової стрілки - *Прямий напрям*.

У цьому прикладі вибраний варіант *Прямий напрям*.

Копії в масиві можуть зберігати початкову орієнтацію або обертатися з урахуванням кутового кроку сітки. Для вибору варіанту побудови активізується перемикач в групі *Орієнтація*.

Для деталі *Фланець* вибраний варіант *Доворачивать до радіального напрямку* (рис.4.3), в якому копії, що лежать на усіх променях сітки, окрім першого, виявляються поверненими відносно початкових об'єктів на кути, кратні кутовому кроку між сусідніми копіями в кільцевому напрямі.

При копіюванні по концентричній сітці можна прискорити створення і перебудову масиву, шляхом включення опції *Геометричний масив*. При формуванні геометричного масиву копіюються тільки грані і ребра початкових елементів. Копіювання операцій і їх параметрів не робиться.

В результаті виконання операції у вікні деталі з'явиться створений масив, а в *Дереві* побудови - піктограма, що відповідає його типу (рис.4.5). Слід звернути увагу, що існує можливість виключити з масиву будь-які конкретні екземпляри копій.

2. Для багатьох плоских деталей зустрічаються елементи, розташовані у вузлах сітки паралелограма, створення якого здійснюється командою *Масив по сітці*. Сітка паралелограма характеризується напрямом векторів, що утворюють її, і відстанню між ними (рис.4.6). Початком координат можна вважати будь-яку точку початкових об'єктів. Усі значення параметрів сітки при їх введенні негайно відображаються на екрані у вигляді фантома масиву, який дозволяє візуально перевірити правильність завдання параметрів.

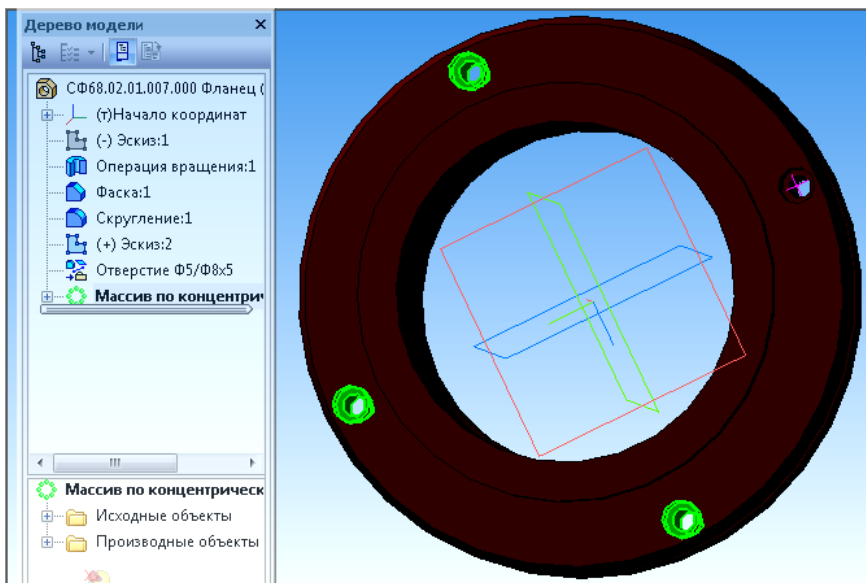


Рис. 4.5. Массив по концентричній сітці в деталі Фланець



Рис. 4.6. Массив по сітці паралелограма

Напрямок осей массиву співпадає з осями локальної системи координат. Напрямок першої вісі співпадає з віссю X, в якій робиться копіювання. Можлива зміна напрямку вісі X, для чого вводиться в



поле *Нахил* кут між цією віссю і віссю X локальної системи координат. Можна також задати напрям першої вісі так, щоб вона була паралельна якому-небудь прямолінійному об'єкту, для чого потрібно активізувати перемикач *Вісь 1* і вказати потрібний об'єкт (ребро, вісь, ескіз) в Дереві побудови або у вікні деталі. За умовчанням елементи масиву розташовуються відносно початкових елементів у напрямі вісі (*Прямий напрям*). Розташування елементів масиву проти вісі пов'язане з активізацією перемикача *Зворотний напрям* в групі *Напряв 1*.

На рис.4.7 показана деталь Кришка, що входить до складу конструкції Шпindelна бабка верстата СФ68ВФ4, в якій будується масив елементу Проточка внутрішня.

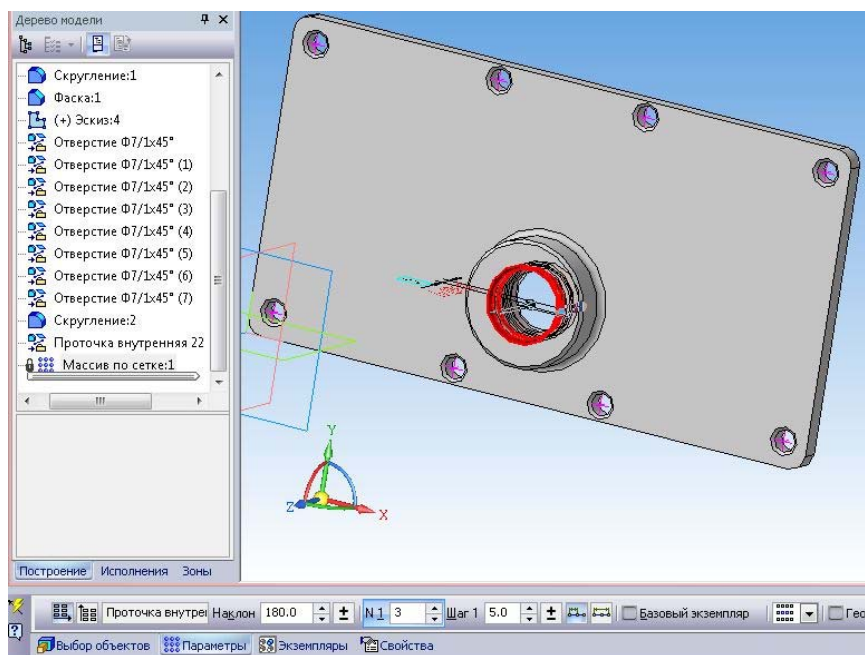


Рис. 4.7. Массив по сетке для элемента Проточка внутренняя

Для цієї деталі вибраний напрям для розташування елементів з кутом нахилу першої вісі відносно вісі X рівним  $180^{\circ}$ . Кількість копій Проточки у напрямі першої вісі дорівнює 3 (поле №1), а крок між копіями рівний 5 мм (поле *Крок 1*) при активному перемикачі *Крок* між сусідніми екземплярами. Значення кроку сприймається системою як відстань між сусідніми точками сусідніх копій у напрямі вісі. Такий варіант зручний, коли вимагається розмістити певне число копій на ділянці відомої довжини.

Напрямок другої вісі сітки задається кутом між першою і другою віссю шляхом введення значення в поле *Кут розчину*, або можна задати напрям паралельне будь-якому прямолінійному об'єкту. Для цього слід активізувати перемикач *Вісь 2*, після чого вказати потрібний об'єкт (ребро, вісь, ескіз). У групі *Напрямок 2* задається положення копій відносно початкових елементів у напрямі другої вісі (*Прямий напрям* або *Зворотний напрям*). Параметри кроку сітки уздовж другої вісі аналогічні параметрам кроку уздовж першої вісі. Для їх введення використовуються поля і перемикачі №2, *Крок 2*, *Режим 2*.

Елементи масиву можна розташувати в усіх вузлах сітки або тільки по її периметру. Вибір варіанту здійснюється шляхом активізації відповідного перемикача в групі *Копії усередині*. Для даної деталі Корпус (рис. 4.8) вибрана опція Стандартна схема, коли елементи масиву розташовуються в усіх вузлах сітки.

В результаті копіювання з'являється масив Проточка внутрішня, а в Дереві побудови піктограма, що відповідає його типу. В якості обмеження слід зазначити, що при створенні масиву по сітці паралелограма поворот копій відносно початкового елемента не робиться. Початковий елемент належить масиву, що утворився, і лежить в одному з кутів цього масиву.

3. *Центральна копія* призначена для створення копії вибраних елементів, симетричну відносно вказаній площині або плоскій грані. Процедура створення включає виділення початкових елементів, виклик команди *Дзеркальна копія* і вказівки площини симетрії. Ця послідовність ілюструється на прикладі деталі Фланець (рис. 4.8).

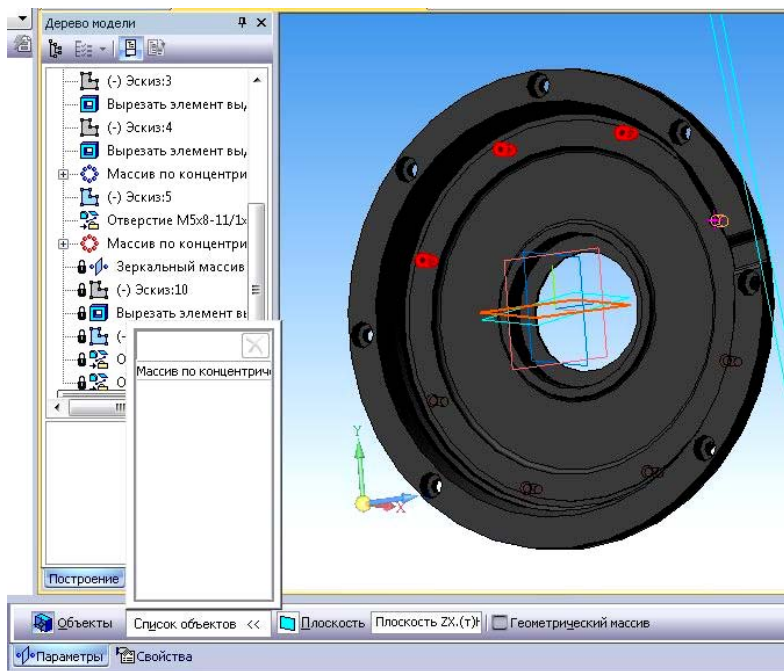


Рис. 4.8. Дзеркальна копія масиву отворів в деталі Фланець

У списку об'єктів представлений Массив отворів по концентричному колу, а площиною симетрії є площина ZX, що проходить через початок координат (рис. 4.8).

Результатом виконання операції є поява дзеркальної копії елементів, а в Дереві побудови - піктограма, що відповідає їй.

Є різновид *Дзеркально відбити все*, коли можна отримати деталь, що має площину симетрії. В якості площини симетрії в цьому випадку виступатиме плоска грань, площина якої не перетинає деталь. Після підтвердження виконання операції у вікні моделі з'явиться дзеркально симетрична деталь, а в Дереві побудови - піктограма, що відповідає їй.

4. *Массив уздовж кривої* дозволяє розташувати елементи уздовж вказаної кривої. Передусім, необхідно задати траєкторію копіювання у вигляді контуру в ескізі або безперервну послідовність ребер. Далі слід вказати траєкторію копіювання і вибрати потрібний

ескіз в Дереві побудови або ребра у вікні деталі в послідовності їх з'єднання (рис. 4.9). При цьому, в ескізі траєкторії копіювання має бути один контур - замкнутий або розімкнений.



Рис. 4.9. Побудова масиву уздовж кривої

а – паралельним перенесенням;

б – довільним завданням базової точки з ручною вказівкою

Масив будується таким чином:

1. Визначається положення центру мас кривих (т.3; рис. 4.9, а) ескізу копіюваного елемента.

2. Траєкторія копіювання паралельним перенесенням переміщається так, щоб її початкова точка співпадала з т.3. Під словом «траєкторія» мається на увазі лінія, на якій розташовуються т. 3 елементів масиву.

3. Копії елемента розміщуються так, щоб т.3 кожної копії розташовувалися на траєкторії на відстанях, рівних кроку.

4. Якщо включено збереження орієнтації, то кожна з них додатково обертається навкруги т.3 (рис. 4.9, а). У режимі автоматичного визначення базової точки рекомендується будувати траєкторію так, щоб вона починалася в точці центру мас кривих ескізу початкового елемента. Іншим варіантом буде режим довільного завдання базової точки копіювання (при неможливості використання режиму автовизначення). Для цього активізується перемикач *Ручна вказівка* з подальшим вибором у вікні моделі базову точку копіювання т.1 (рис. 4.9, б). В цьому випадку масив будується таким чином:

а) траєкторія копіювання паралельним перенесенням переміщається так, щоб її початкова точка співпала з точкою 1;

б) знаходиться центр мас кривих (т. 3) ескізу елемента, що підлягає копіюванню;

в) через знайдену точку проводиться еквідистанта траєкторії;

г) копії елемента розміщуються так, щоб т. 3 кожних копій розташовувалися на еквідистанті траєкторії на відстанях, рівних кроку;

д) якщо включено збереження орієнтації копій, то кожна з них додатково обертається навколо т. 3. Схема побудови масиву описаним чином приведена на рис. 4.9, б.

В якості рекомендації, при використанні ручного способу вказівки базової точки, слід вибирати початкову точку траєкторії. При замкнутій траєкторії її початкова точка знаходиться системою автоматично залежно від розташування траєкторії відносно системи координат і інших параметрів. При необхідності можна задати початкову точку замкнутої траєкторії вручну.

Початковою точкою при розімкненій траєкторії вважається кінець, найближчий до копіюваного елемента.

При створенні масиву уздовж кривої можна управляти напрямом копіювання за допомогою перемикачів групи *Напря́м*. При цьому, зміна напрямку по-різному впливає на масиви із замкнутою і розімкненою траєкторіями. При замкнутій траєкторії *Прямий напрям* копіювання означає розташування елементів уздовж траєкторії по одну сторону від початкового, а *Зворотний напрям* - по іншу сторону. Якщо елементи розташовуються уздовж тієї, що направляє, то результат операції не залежить від напрямку копіювання.

Якщо траєкторія розімкнена, то *Прямий напрям* копіювання означає, що початок траєкторії визначається за умовчанням - початковою точкою вважається найближчий до початкового елемента кінець траєкторії. При виборі *Зворотного напрямку* початком траєкторії вважатиметься інший її кінець.

*Крок* копіювання передбачає введення в поле *Кількість* число копій, які можна розташувати рівномірно уздовж тієї, що направляє або на заданій відстані один від одного. Для вибору варіанту побудови потрібно активізувати відповідний перемикач в групі *Спосіб*. У полі *Крок* вводиться значення кроку між копіями, виміряне уздовж траєкторії копіювання. Це поле доступно тільки при способі побудови *По кроку*. У групі *Режим* активізується

перемикач, що відповідає введеному значенню кроку. Якщо кількість копій рівна двом, то результат побудови однаковий при будь-якому стані перемикача *Режим*.

У групі *Орієнтація* відбивається можливість активізувати чи то режим *Зберігати початкову орієнтацію* (елементи масиву виходять з початкових об'єктів шляхом паралельного перенесення), або режим *Доворачивать до нормалі* (обертатися з урахуванням кривизни траєкторії так, що кут між кожною копією і траєкторією дорівнював куту між початковим об'єктом і траєкторією в початковій точці траєкторії).

При копіюванні уздовж кривої можна прискорити створення і побудову масиву, для чого включається опція *Геометричний масив*, коли копіюються тільки грані і ребра початкових елементів. Копіювання операцій і їх параметрів не робиться.

Іноді скопійовані поверхні розташовуються відносно наявних так, що не утворюється єдине тіло, що призводить до помилки побудови. У таких випадках опція *Геометричний масив* має бути вимкнена.

Побудову масиву *Уздовж кривої* проілюструємо на прикладі деталі Храпове колесо (рис. 4.10) в якій створюється масив западин несиметричних зубів, що мають упор з одного боку.

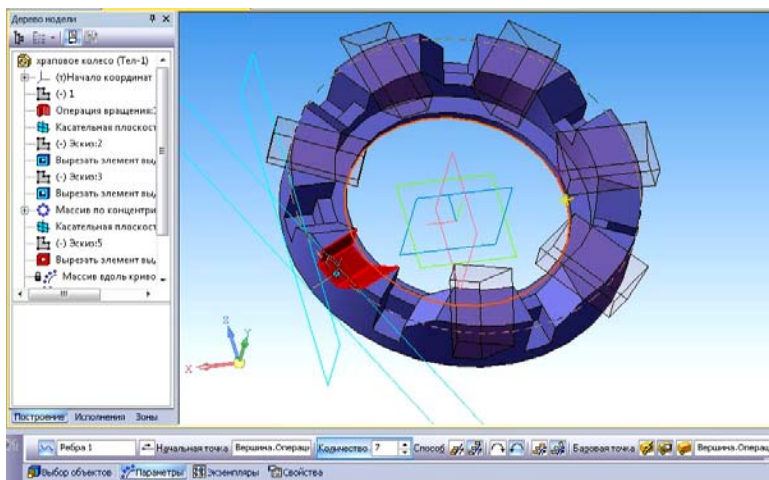


Рис. 4.10. Створення *Массив уздовж кривої* для деталі Храпове колесо

Базова точка задається в режимі довільного завдання з активним перемикачем *Ручна вказівка*. У полі *Кількість* введена кількість копій зубів Храпового колеса, рівним 7. Для вказівки кроку між копіями вибраний варіант *Уздовж тієї, що направляє*, коли екземпляри масиву зубів розташовані рівномірно уздовж траєкторії, що відбивається режимом завдання кроку сітки *Крок між крайніми екземплярами*. Орієнтація копій задається в режимі *Доворачивать до нормалі*, коли копії виявляються поверненими відносно початкових об'єктів. При цьому вибраний *Зворотний напрям* копіювання, яке означає розташування елементів уздовж траєкторії по іншу сторону від початкового.

## 4.2. 3D- проект оброблювального центру моделі СФ68ВФ4

Вищеперелічені операції створення масивів були широко використані при розробці проекту верстата моделі СФ68ВФ4 в 3D-виконанні. На рис. 4.11 і рис. 4.12 показаний головний формотворний вузол - горизонтальна шпindelна бабка, яка складається з:

- корпуси чавунного литого;
- шпindelного блоку з механізмом автоматичного затиску інструменту;
- розподільного валу, передавального обертання на горизонтальний або вертикальний шпindel за допомогою автоматичного облаштування перемикання провідної шестерні;
- двоступінчатої коробки швидкостей, керованої гідрофікованим механізмом перемикання;
- приводу подань, облаштування подання СОЖ в зону різання;
- електричних і оптикоелектричних датчиків контролюючих положення шпindelної бабки і її механізмів, а також цілого ряду інших деталей і вузлів, що забезпечують нормальне функціонування шпindelної бабки, як в ручному режимі управління, так і від пристрою ЧПУ.

На рис. 4.13 представлена кінематична схема приводу головного руху в 3D. Обертання шпинделя робиться таким чином:

від електродвигуна через полікліновий ремінь передається на вал I. Далі через двоступінчасту коробку швидкостей на вал III, з якого обертання передається на муфту вертикальної голівки або кутової голівки, або на шестерню горизонтального шпинделя. Частота обертання змінюється в межах  $20 \dots 4000 \text{ хв}^{-1}$ .

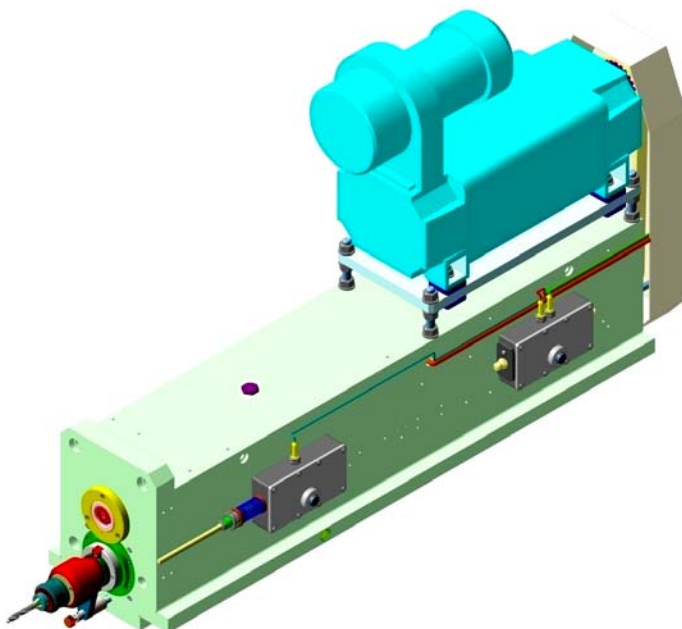


Рис. 4.11. Горизонтальна шпиндельна бабка. Загальний вигляд

Головний формотворний шпиндельний вузол монтується на двох опорах на здвоєних радіально-упорних підшипниках з попереднім натягом за схемою «тандем - O» (рис. 4.14). У передній опорі використовуються підшипники особливої серії 2-446113 ГОСТ 832-78 з кутом контакту  $\alpha = 26^{\circ}$ . Зовнішні кільця цих підшипників звернені один до одного різнойменними торцями. Тип з'єднання «тандем» характеризується здатністю витримувати великі осьові однонапрямлені навантаження. Величина радіального навантаження, що витримується, і радіальна жорсткість залежать від величини виконаного попереднього натягу. При монтажі такого



з'єднання слід строго перевіряти збіг кутів контакту підшипників  $\alpha$ . На задній опорі монтується два радіально-упорних підшипники особливолегкої серії 2-446112 ГОСТ 832-78.

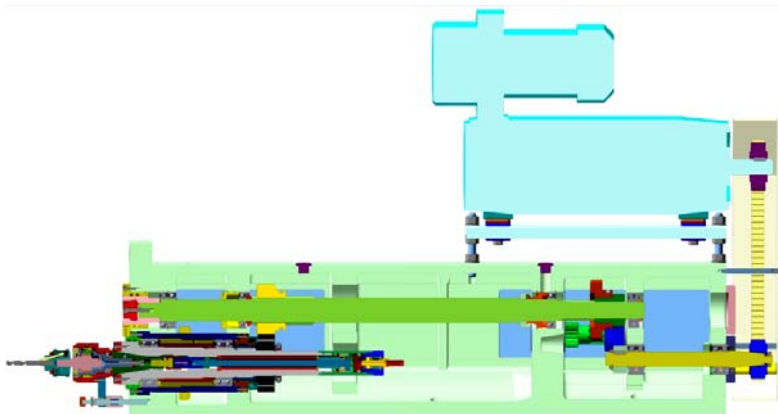


Рис. 4.12. Горизонтальна шпиндельна бабка. Розріз

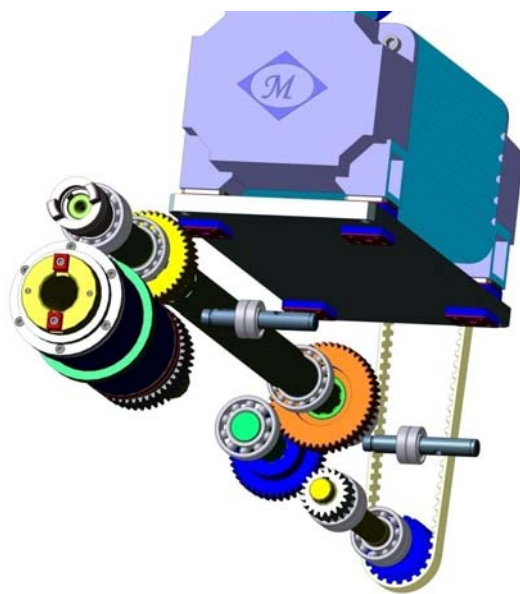


Рис. 4.13. Кінематична схема приводу головного руху в 3D

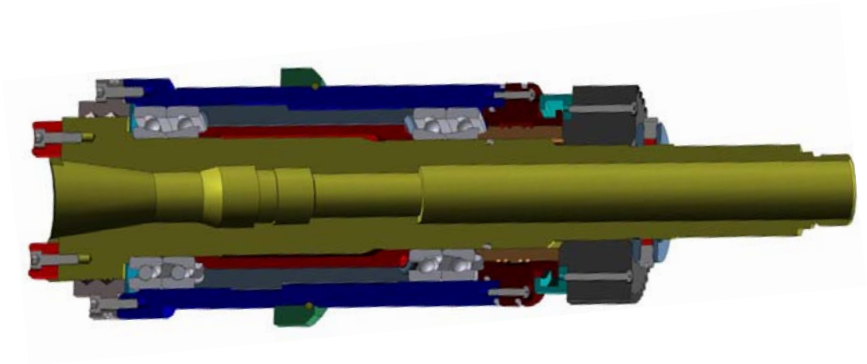


Рис. 4.14. 3D-модель шпиндельного вузла

Для ефективнішої процедури аналіз на технологічність виконана анімація шпиндельного вузла верстата моделі СФ68ВФ4 (рис. 4.15).

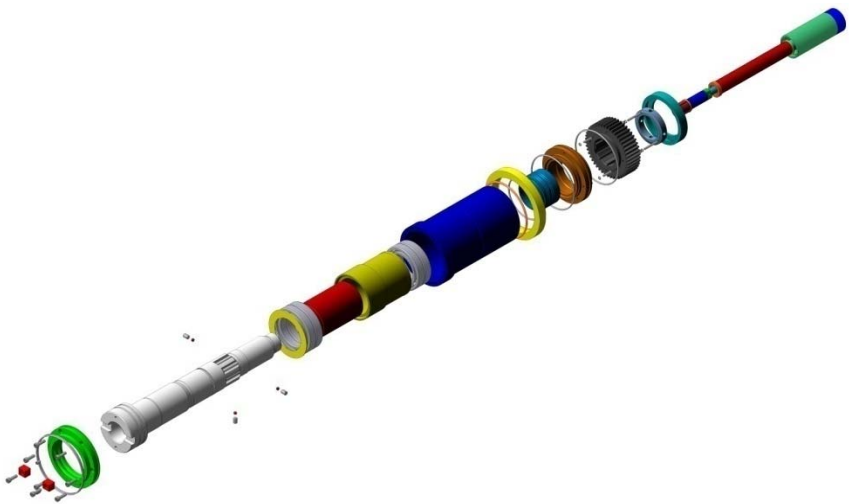


Рис. 4.15. Рознесення шпиндельного вузла

З анімаційним роликком можна познайомитися за наступним посиланням: <https://cloud.mail.ru/public/7ff1/3Na72EmTi>

Даний верстат оснащений додатковим модульним оснащенням - вертикальною і кутовою шпindelною голівкою.

Голівка вертикальна кріпиться до шпindelної бабки чотирма гвинтами і центрується за допомогою двох конічних штирів і втулок. Вертикальний шпindel змонтований в гільзі, що має переміщення в корпусі, одержує обертання через конічну пару і кулачкову муфту. Найбільший хід піноли 90 мм. Затиск піноли здійснюється з чотирьох сторін, за допомогою затискних секторів, за допомогою обертання руків'я. Для силових режимів роботи застосовується блокування піноли зубчастим фіксатором в межах кроку рейки (4,166 мм).

Завдяки наявності Т-образного паза в перехідній плиті голівка обертається на  $90^0$  (в обидві сторони). Затиск і розтиск інструменту здійснюється гідрофікованим механізмом, що закріплюється на задній частині шпинделя. Інструмент затискається в робочий шпindel пакетом тарілчастих пружин. Отже, затиск здійснюється механічно, причому інструмент залишається закріпленим навіть у разі відмови гідравліки. Розтиск відбувається при поданні тиску в порожнину циліндра при шпindelі, що не обертається. В період розтиску відбувається розвантаження підшипників шпинделя від зусилля необхідного для стискування пакету тарілчастих пружин, чим забезпечується точність і довговічність підшипників.

На рис. 4.16 представлена 3D-модель вертикальної шпindelної голівки.

Кутова голівка входить в комплект постачання проектного устаткування, дозволяє розширити технологічні можливості фрезерно-розточувальних верстатів. Кутова голівка призначена для обробки у важкодоступних ділянках заготівель площин, уступів і пазів. Вона забезпечує високопродуктивну обробку при частотах обертання шпинделя до  $4000 \text{ хв}^{-1}$  з можливістю кута повороту шпинделя на  $360^0$  в горизонтальній площині. Обертальний рух від вертикального шпинделя на шпindel голівки кутової передається через конічну пару. На рис. 4.17 представлена 3D-модель кутової шпindelної голівки.

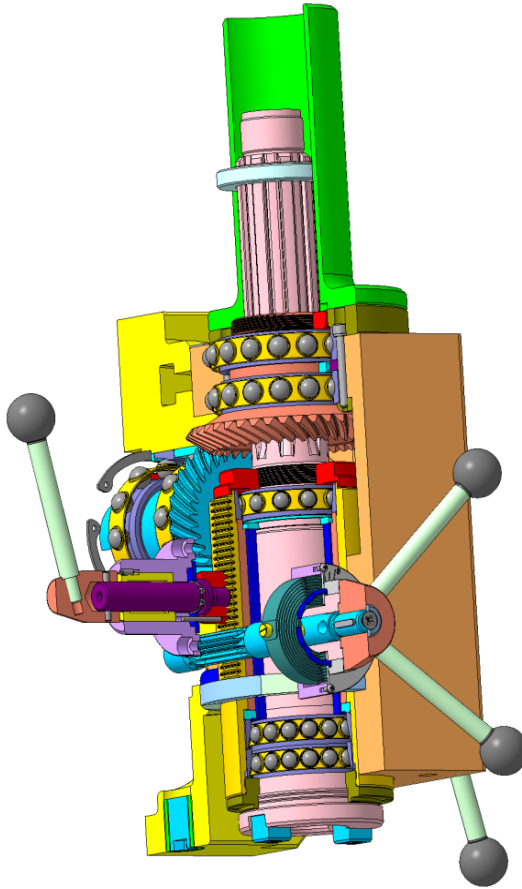


Рис. 4.16. 3D-модель вертикальної шпindelної голівки

До найбільш складних деталей відносяться корпусні деталі. На рис.4.18 представлена 3D-модель корпусу горизонтальної шпindelної бабки, а на рис.4.19 її переріз.

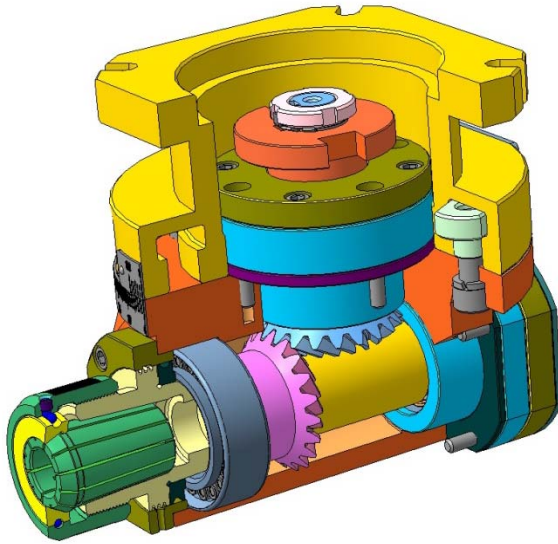


Рис. 4.17. 3D-модель кутової шпиндельної голівки

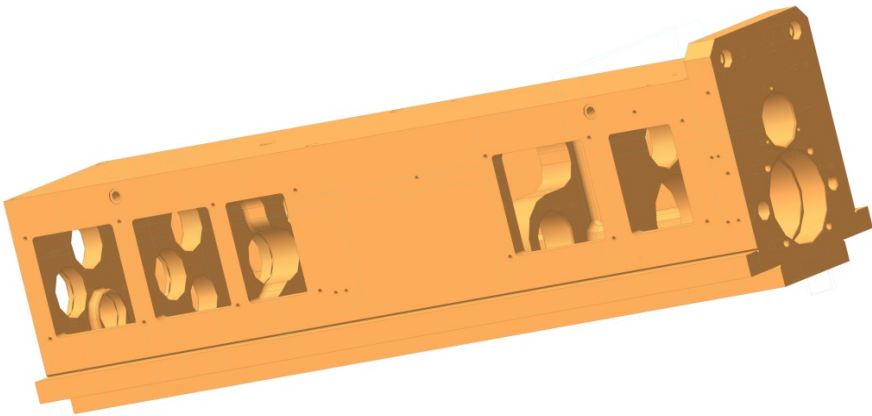


Рис. 4.18. 3D-модель корпусу горизонтальної шпиндельної бабки

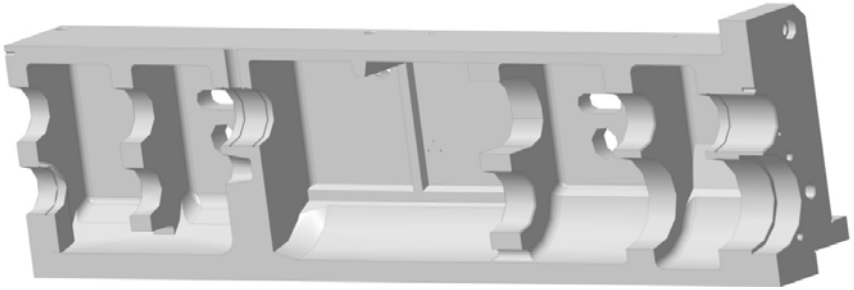


Рис. 4.19. 3D-модель корпусу горизонтальної шпindelьної бабки.  
Переріз

### Контрольні питання

1. Яку роль грає фантом масиву, який відображається при введенні його параметрів?
2. Чи можна використати в якості осі масиву прямолінійне ребро деталі?
3. Як можна інтерпретувати крок між крайніми екземплярами елементів масиву?
4. На які кути повернені копії елемента масиву для команди *Доворачивать до радіального напрямку*?
5. Яку точку початкових об'єктів сітки паралелограма можна вважати початком координат?
6. Яким параметром задається напрям другої осі сітки паралелограма?
7. Чим відрізняються команди *Дзеркальна копія* і *Дзеркально відбити все* при створенні масиву *Центральна копія*?
8. Чи можна використати ребра у вікні деталі для створення *Масиву уздовж кривої*. Яку роль тут грає послідовність з'єднання цих ребер?
9. Яке правило використовується при побудові траєкторії з початком в центрі мас кривих ескізу початкового елемента?
10. За рахунок чого відбувається прискорення процедури створення масиву уздовж кривої при включенні опції *Геометричний масив*?

---

---

## **5. ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ. ДОДАВАННЯ КОМПОНЕНТІВ В СКЛАДАННЯ**

### **5.1. Моделювання складань**

Сучасні металорізальні інструменти і системи представляють складні складальні конструкції, що включають інструментальні магазини, автооператори, допоміжні і різальні інструменти.

Моделювання таких складань розпочинається з додавання в них компонент - деталей, підборок, стандартних виробів.

Розглянемо цей процес на прикладі облаштувань автоматичної зміни інструменту (АЗІ). Автоматична зміна інструменту здійснюється за 5 – 10 с проти 25 - 40 с при зміні вручну. Оскільки частота змін інструменту складає приблизно 20 - 25 раз на годину, застосування облаштування зміни інструменту на верстатах типу оброблювальний центр значно підвищує продуктивність обробки за рахунок підвищення міри автоматизації верстатів.

Центральним виробом інструментальної системи є інструментальний магазин. Магазини облаштувань АЗІ з маніпулятором підрозділяються на дискові, барабанні і ланцюгові. Дискові магазини застосовуються з горизонтальною, вертикальною і похилою осями обертання. У магазинах з вертикальною віссю обертання інструменти можуть бути встановлені вертикально, горизонтально або під кутом (корончаті).

До інструментальних магазинів багатоопераційних верстатів пред'являються наступні вимоги:

1) місткість магазину повинна забезпечувати технологію обробки типової деталі;

2) він повинен мати просту конструкцію, бути досить компактним;

3) магазин повинен розташовуватися поза робочою зоною верстата;

4) має бути забезпечений легкий, зручний і безпечний доступ того, що налагоджує і оператора до інструментального магазину;

5) усі підготовчі дії для зміни інструментів повинні виконуватися на верстаті паралельно з обробкою деталі, що скорочує витрати часу на зміну інструменту;

6) операції зміни інструментів не повинні викликати вібрацій самого верстата.

Вибір типу магазину визначається призначенням, типом і компонованням, багатоопераційного верстата. Аналіз усього різноманіття корпусних деталей середніх розмірів, які доцільно обробляти на багатоопераційних верстатах, показує, що близько 18% деталей вимагають використання не більше 10 інструментів, 50 % – до 20; 17 % – до 30, 10% – 40 і 5 % – до 50 і більше інструментів. Тому частіше застосовують магазини місткістю до 30 інструментів, в основному дискові (чи барабанні)

У спеціалізований багатоопераційний верстат з ЧПУ на базі моделі СВМ1Ф4 використовується облаштування АЗІ з дисковим магазином, встановленим на стойці верстата, і двозахватним маніпулятором (рис. 3.1). Зміна інструменту здійснюється у фіксованому положенні шпindelної бабки.

Студентом кафедри МПМ СНУ ім. В.Даля Литвиненко С.С. розроблена конструкція облаштування АЗІ, що включає 1330 3D-моделей моделей деталей і складень. Проект представлений в галереї XIII Міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделювання», організованого групою компаній АСКОН в 2015 році.

На рис. 5.1 представлена конструкція дискового інструментального магазину виконана в системі КОМПАС- 3D.

Команди додавання компонентів розташовані в меню *Операції*, а кнопки для їх виклику - на панелі *Редагування складання*. Щоб додати в складання компонент (деталь або підборку), потрібно викликати команду *Операції* - *Додати компонент з файлу*. Далі в стандартному діалозі здійснюється вибір файлу, що містить модель компонента.



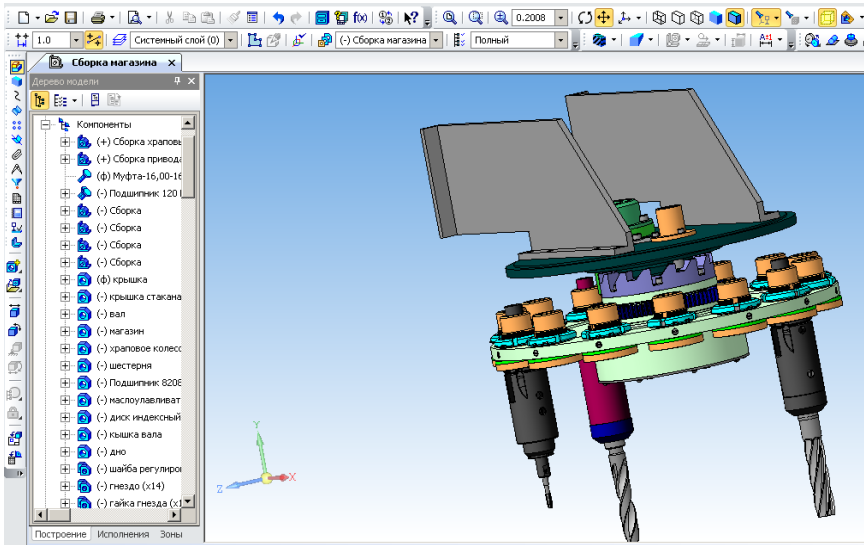


Рис. 5.1. 3D-модель інструментального магазину з кронштейнами для кріплення

Точку вставки компонента можна вказати у вікні складання довільно або використовуючи прив'язку до початку координат або до вершини. Можна також ввести координати цієї точки в групі полів *Точка вставки* на *Панелі властивостей*. При вставці в поточний документ, початок координат компонента поєднається з вказаною точкою вставки. Напрями осей системи координат також співпадуть. При цьому в *Дереві побудови* з'явиться піктограма, що відповідає типу компонента (деталі або складення).

Для додавання в складання компонент (деталь або підзборку) необхідно викликати команду *Операції - Додати компоненти* з файлу. Далі задається точка вставки компонента, яка вказується у вікні складання довільно або використовуючи прив'язку до початку координат або вершини. Можна також ввести координати точки вставки компонента в групі полів *Точка вставки* на *Панелі властивостей*. При цьому компонент буде вставлений в поточний документ і *Початок координат компонента* поєднається з вказаною точкою вставки. *Напрямок осей* його системи координат співпадає з напрямком осей системи координат поточного складання. У *Дереві*

побудови з'явиться піктограма, що відповідає типу компонента (деталь або складання).

Як приклад приведена процедура додавання в складання Інструментального магазину деталі *Гніздо* (рис. 5.2).

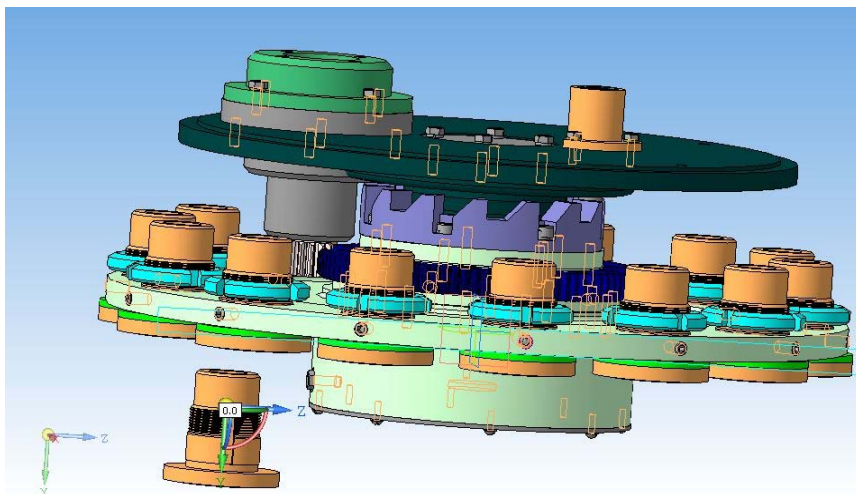


Рис. 5.2. Додавання в складання деталі *Гніздо*  
Інструментального магазину

Якщо вставлений компонент - перший в складанні, він буде автоматично зафіксований в тому положенні, в якому був вставлений. Зафіксований компонент не може бути переміщений в системі координат складання. У разі потреби можна відключити фіксацію компонента. Для цього виділяється компонент в *Дереві побудови* і викликається з контекстного меню команда *Властивості компонента*. У групі *Фіксація* на *Панелі властивостей* актуалізується перемикач *Не фіксувати елемент*. Підтвердження властивостей компонента здійснюється натисненням кнопки *Створити об'єкт*. На рис. 5.3 представлена компактна панель, використовувана при вставці компонента на прикладі складання автооператора верстата моделі СВМ1Ф4.

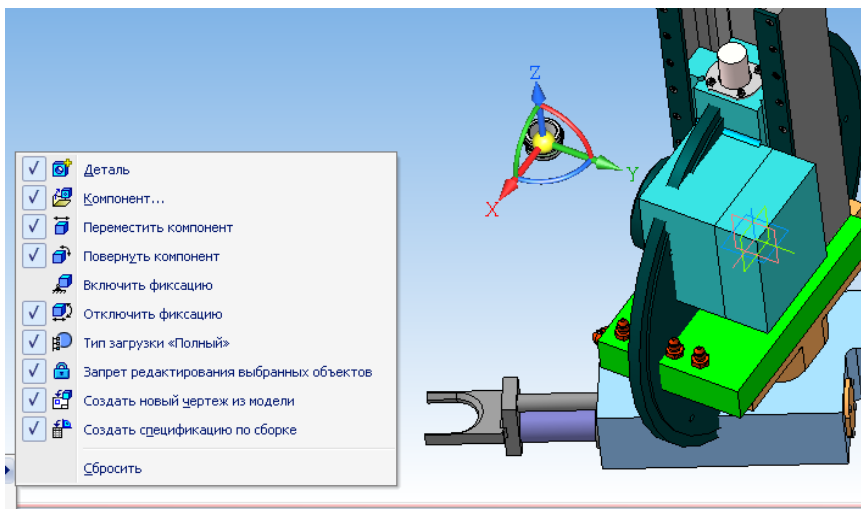


Рис. 5.3. Відключення фіксації при вставці компонента  
Складання поршня гідроциліндра автооператора

Ще одним варіантом є створення нових компонент у вікні складання; при цьому вже існуючі компоненти будуть видні в цьому вікні і їх елементи (грані, вершини, ребра) можуть використовуватися в операціях створення нових компонентів. Побудова деталі розпочинається з виділення в складанні плоского об'єкту, на якому повинен базуватися ескіз основи нової деталі за допомогою команди Операції, - Створити компонент - Деталь. Прийоми створення деталі «на місці» практично не відрізняються від прийомів створення деталі в окремому вікні, але додатковою можливістю є використання при побудові елементів «обстановки». Так, можна видавити формотворний елемент до грані іншої деталі, що бере участь в складанні, або створити дзеркальну копію елементу відносно площини, побудованої в складанні. Закінчивши побудову деталі, необхідно віджати кнопку Поточний стан або викликати з контекстного меню команду Редагувати на місці, після чого система повернеться в режим роботи із складанням. При побудові деталі в поточному складанні автоматично додається сполучення На місці, а в групі сполучень Дерева побудови з'явиться відповідна піктограма. Це сполучення жорстко зв'язує Площину ХУ

створюваної деталі і вказаний плоский об'єкт (допоміжну, проекційну площину або плоску грань деталі). Таким чином, деталь, побудована в контексті складання, може переміщатися в її системі координат тільки разом зі своїм базовим плоским об'єктом. Сполучення На місці не може бути накладене вручну і не може бути відредаговано. Видалити це сполучення можна також як і сполучення, накладене вручну.

Для вставки в складання однакових компонентів виконується наступна процедура:

1. Вставка компонента шляхом додавання з файлу або створення в контексті поточного складання.

2. Виділення цього компонента в Дереві побудови або у вікні моделі. При натиснутій клавіші «Ctrl» переміщення курсору у вікні моделі пов'язане з появою фантома компонента, що вставляється.

3. Вказівка курсором положення компонента у вікні моделі і вставка його в поточне складання.

При цьому в Дереві побудови з'явиться та, що відповідає цьому типу, піктограма. Вставлений компонент буде орієнтований відносно системи координат складання так само як і перший компонент. Щоб змінити його розташування, необхідно використати команди переміщення і повороту, а також команди накладення сполучень. Якщо вимагається ще раз вставити в складання підборку, що вже має, треба виділити цю підборку, а не її окремі компоненти. Якщо вимагається вставити декілька однакових елементів в підборку, слід перейти в режим редагування і в режимі «на місці» в неї можна вставляти компоненти з «оточення», коли компоненти із складання переходитимуть на рівень підборки, що міститься в цьому складанні. Для повторної вставки можна вказувати як один, так і декілька компонентів складання (при виділенні останніх утримують натиснутою клавішу <Ctrl> чи <Shift>. При впорядкованому розташуванні (концентричне коло, сітка) доцільно скористатися командами створення масивів компонентів (гл. 4).

## 5.2. Завдання положення компонента в складанні

Після вставки компонента в складання слід задати його положення і орієнтацію в складанні і положення відносно інших компонент. При цьому можна його повернути навколо центру його габаритного паралелепіпеда, навколо вісі або точки, а також зрушити компонент у будь-якому напрямі (рис. 5.4).

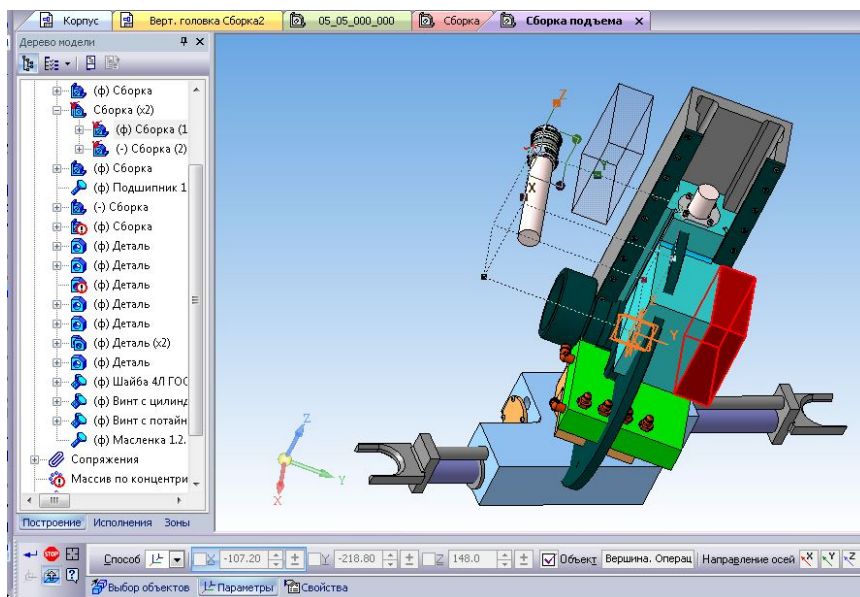


Рис. 5.4. Вставка компонента Складання Штока в Автооператор

У разі, якщо компонент зафіксований, то його неможливо зрушити або повернути в системі координат складання. Треба відмітити, що переміщенню компонента в одному або декількох напрямках можуть перешкоджати накладені на нього сполучення; так компоненти, розташовані співвісний, можуть переміщатися уздовж їх загальної вісі, а також обертатися навколо неї. Команди переміщення компонентів розташовані в меню *Сервіс*, а кнопки їх виклику - на панелі *Редагування складання*. Слід відрізнити команди переміщення компонентів в системі координат складання і команди

переміщення усієї моделі у вікні. Для виходу з будь-якої команди переміщення компонента потрібно натиснути клавішу <Esc> чи кнопку *Перервати команду* на Панелі спеціального управління.

При переміщенні компонента складання можна використати режим контролю зіткнень, в якому переміщенні компонента обмежено їх формою і розмірами : рух можливо тільки до «зіткнення» з іншим компонентом. Включення режиму контролю ударів здійснюється кнопкою *Включити/вимкнути контроль зіткнень* на Панелі спеціального управління. На рис. 5.5 показана спеціальна панель *Зіткнень*, за допомогою якої можна управляти процесом переміщення компонента *Складання поршня* гідроциліндра автооператора, що включає :

- контроль зіткнення: *Усіх компонент/тих, що Тільки пересуваються*. Якщо переміщуваний компонент не бере участь в сполученнях, то стан перемикачів в групі *Контролювати зіткнення* не має значення;

- підсвічування граней при зіткненні: *Включити/Вимкнути*;
- звуковий сигнал при зіткненні: *Включити/Вимкнути*;
- зупиняти при зіткненні: *Зупиняти/Не зупиняти*.

Щоб компонент можна було переміщати після зіткнення активним потрібно зробити перемикач *Не зупиняти при зіткненні*. У складанні можна вибрати конкретні компоненти, зіткнення з якими слід контролювати. Для цього активізується перемикач *Компоненти* з подальшою вказівкою потрібних компонент. Їх назви з'являться в довідковій таблиці *Список компонент*. Для виключення компонента здійснюється повторна його вказівка і натиснення кнопки *Видалити*.

В процесі зрушення або повороту компонента складання можна використати режим автоматичного накладення сполучень, що дозволяє розпізнавати елементи (грані, вершини, ребра), що наближають один до одного, і автоматично додавати сполучення, що відповідають їх формі і типу. Включення цього режиму здійснюється натисненням кнопки *Включити/вимкнути режим автосполучень* на Панелі спеціального управління. При включенні режиму автосполучення відключається режим контролю зіткнень і навпаки. Автоматичне сполучення ідентифікує грані, що наближають, при їх підсвічуванні: для плоских граней вибирається сполучення *Збіг*, а для циліндричних - сполучення *Співісна*.

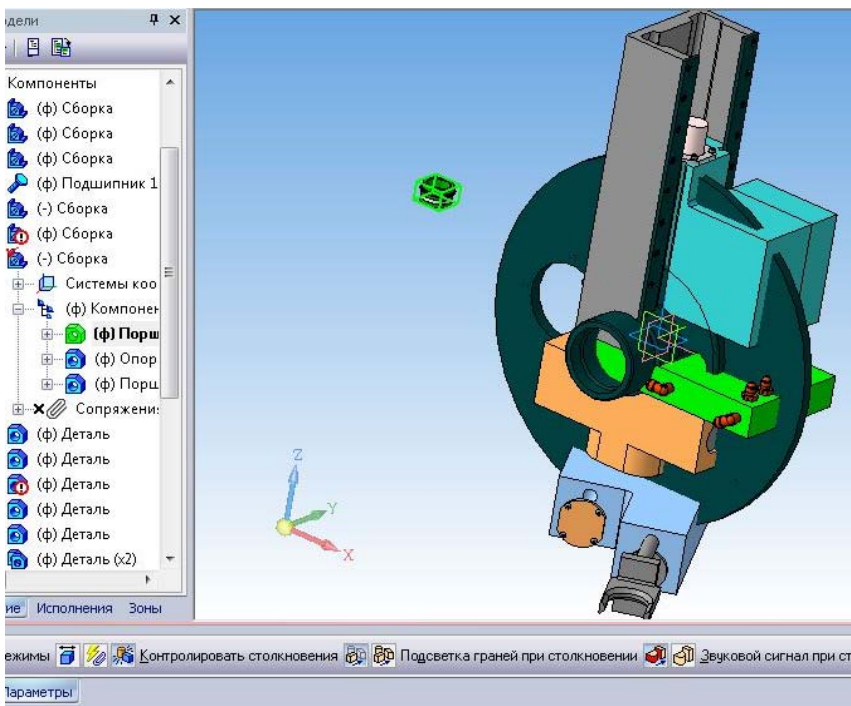


Рис. 5.5. Контроль зіткнень при переміщенні компонента *Складання штока*

Слід звернути увагу, що переміщення компонентів складання може викликати порушення існуючих в ній параметричних зв'язків і обмежень. Наприклад, допоміжні елементи після зрушення або повороту їх опорних елементів залишаються на колишніх місцях. Тому компоненти, які були переміщені, відзначаються червоною «галочкою» в Дереві побудови. Для усунення виниклих порушень необхідно перебудувати і/або перемістити об'єкти так, щоб їх форма, параметри і положення відповідали положенню опорних об'єктів і не суперечили накладеним на них сполученням. Для цього викликається команда *Вид – Перебудувати* (на панелі *Вид*). Можливі варіанти, коли після перебудови складання, на місці «галочок» з'являються знаки окликів, що свідчать про помилку побудови компонента, сполучення або елемента складання. Наприклад,

вирізаний із складання елемент був видавлений до грані якої-небудь деталі. Потім цю деталь перемістили так, що вказана грань вже не може обмежувати елемент витискування (тобто ескіз елемента або не повністю проектується на цю грань, або зовсім не може бути спроектований на неї). Вирізування елемента стає неможливим, і після перестроювання моделі ця операція позначається в дереві побудови як помилкова.

Рекомендується фіксувати хоч би один компонент складання для того, щоб при накладенні сполучень переміщення компонентів було ефективно регульованим. При цьому, перший компонент, що вставляється в нове складання з файлу, фіксується автоматично. Для фіксації інших компонент виконуються наступні дії:

- виділити компонент в *Дереві побудови*;
- викликати з контекстного меню команду *Включити фіксацію*. У *Дереві побудови* відображається буква (ф) в круглих дужках. Щоб відключити фіксацію окремого компонента можна скористатися перемикачем *Не фіксувати* компонент на *Панелі властивостей*.

### **5.3. Інструментальна система верстата моделі СВМ1Ф4**

Описана вище технологія роботи із складальними конструкціями була використана при створенні інструментальної системи багатоопераційного верстата з ЧПУ моделі СВМ1Ф4. У спеціалізований багатоопераційний верстат з ЧПУ на базі моделі СВМ1Ф4 використовується облаштування АЗІ з дисковим магазином, встановленим на стойці верстата, і двозахватним маніпулятором (рис. 5.6). Зміна інструменту здійснюється у фіксованому положенні шпindelної бабки. Інструментальний магазин показаний на рис. 5.7.

Зміну інструменту в цьому дисковому інструментальному магазині здійснює двозахватний поворотний маніпулятор (рис. 5.8). У позиції зміни інструменту маніпулятор обертається на  $90^{\circ}$ , захоплюючи інструмент в магазині і інструмент в шпindelі верстата, потім переміщається вперед, виймаючи інструменти з



гнізд магазину і шпинделя. Маніпулятор обертається на  $180^{\circ}$ , міняючи інструменти місцями, потім переміщається назад, встановлюючи інструменти в гнізда магазину і шпинделя. Після цього маніпулятор обертається на  $90^{\circ}$  в початкове положення. Така конструкція маніпулятора забезпечує простий цикл роботи.

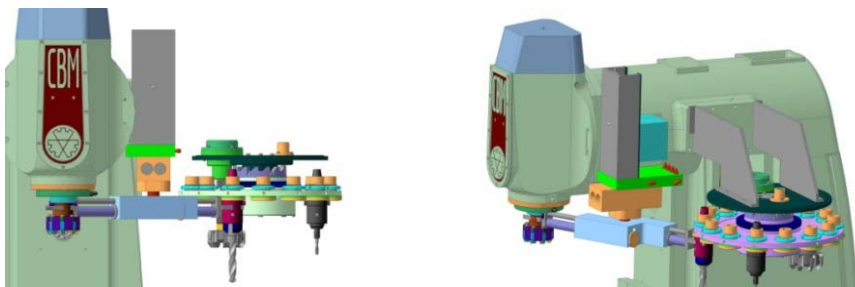


Рис. 5.6. Конструкція облаштування автоматичної зміни інструменту

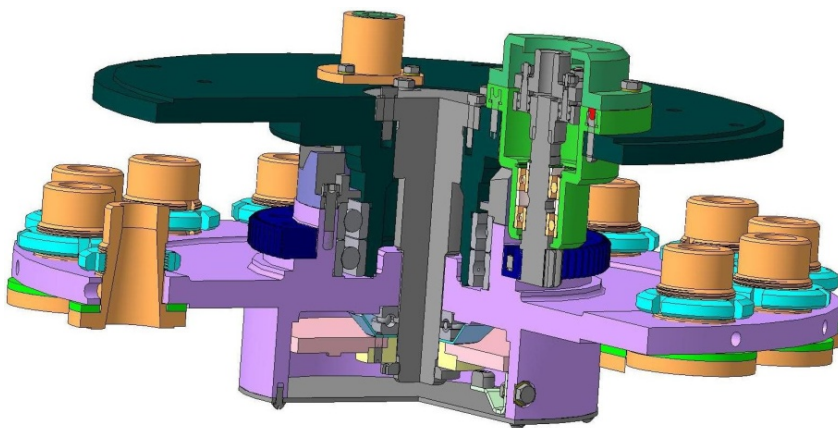


Рис. 5.7. Переріз інструментального магазину

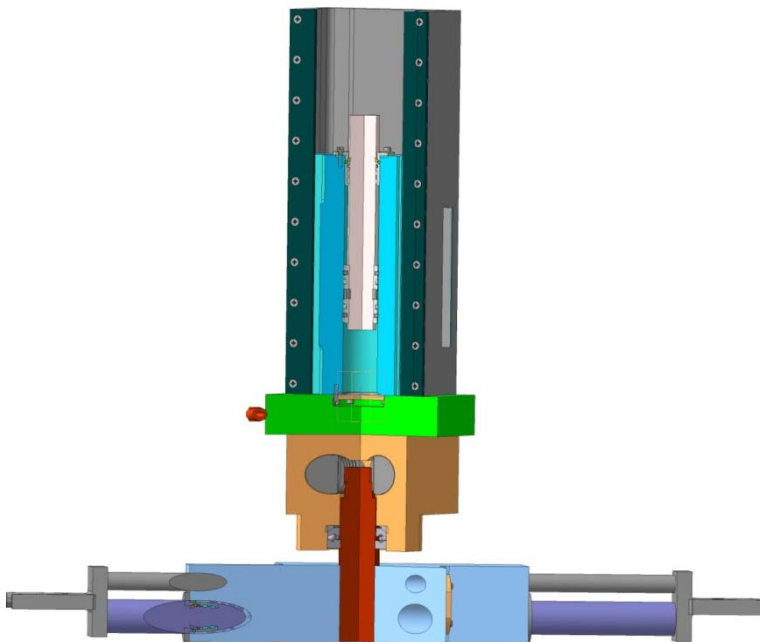


Рис. 5.8. Маніпулятор - автооператор

Окремі складання функціональних вузлів автооператора представлені на рис. 5.9.

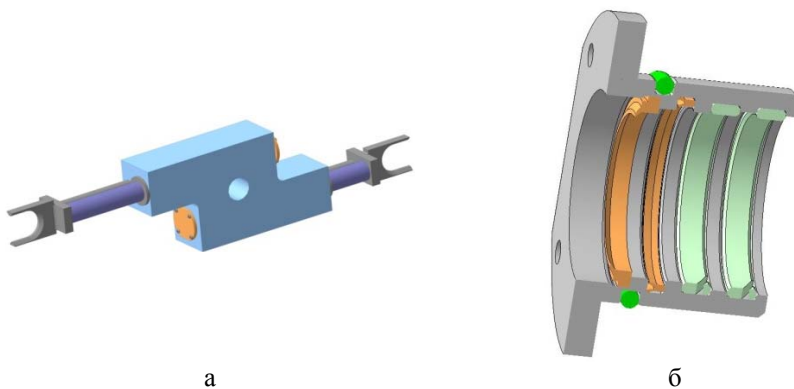


Рис. 5.9. Складання вузлів автооператора (Початок)

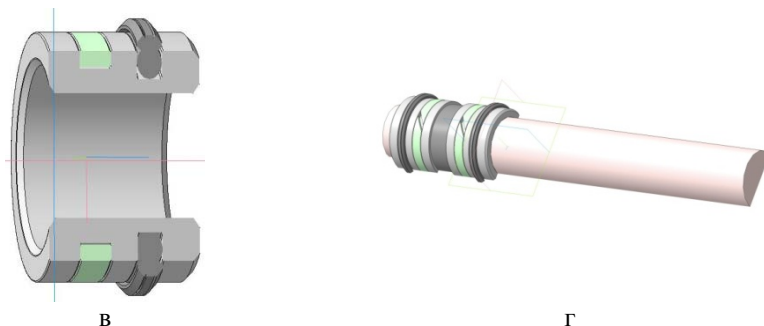


Рис. 5.9. Складання вузлів автооператора :  
а – захоплення; б – грандбукса; в – поршень; г – шток

#### 5.4. Інструментальне оснащення

Інструментальне оснащення є певним набором пристосувань, з допомогою який здійснюється кріплення і монтаж оброблюваних на верстатах заготовель, складання різноманітних конструкцій, а також транспортування заготовель і готових виробів.

До допоміжного інструменту для верстатів з ЧПУ фрезерно-свердлувально-розточувальної групи пред'являють наступні основні вимоги: висока точність; мінімальна погрішність установки; висока жорсткість на всіх напрямках складових сил різання; вібростійкість; швидкозмінність; надійність; легке і швидке налаштування інструменту на необхідний розмір поза верстатом; універсальність; простота конструкції і технологічність; мінімальна номенклатура допоміжного інструменту.

Для верстатів фрезерно-свердлильно-розточувального типу реалізована процедура побудови 3D-моделей інструментального оснащення в системі КОМПАС-3D: розгортання (рис. 5.10; а, б), фрезерування (рис. 5.11; а, б) свердління (рис. 5.12; а, б), різьблення (рис. 5.13; а, б) і інших.

У системі КОМПАС- 3D також побудована твердотільна модель розточувального оправління з мікрорегулюванням різця для чистового розточування (ТУ 2-035-774-80), представлена на рис. 5.14.



Рис. 5.10. Інструментальне оснащення для операції Розгортання:  
а – розгортка; б – інструментальний блок

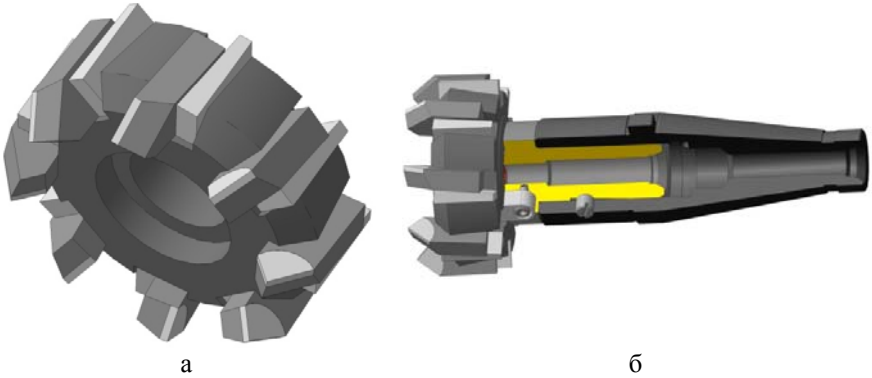


Рис. 5.11. Інструментальне оснащення для операції Фрезерування:  
а – торцева фреза; б – інструментальний блок

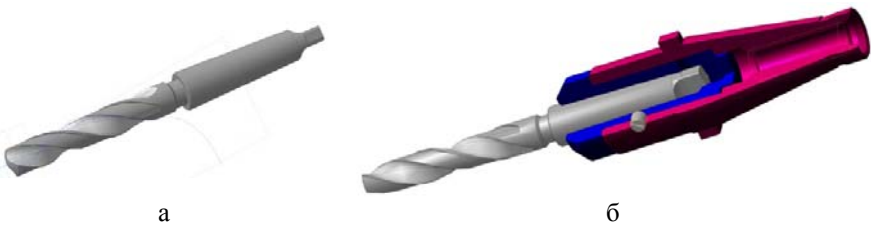


Рис. 5.12. Інструментальне оснащення для операції Свердління:  
а – спіральне свердло; б – інструментальний блок



Рис. 5.13. Інструментальне оснащення для операції Різьблення:  
а – мітчик М10; б – інструментальний блок

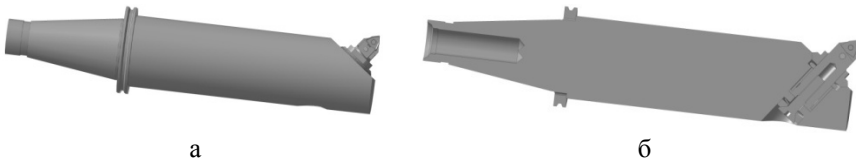


Рис. 5.14. Розточувальне оправляння: а – складання; б – переріз

Основний компонент розточувального оправляння являється мікробор - різець-вставка з кутовою розточкою з мікрометричним регулюванням і механічним кріпленням пластин по ОСТУ 2И29-1-81. Твердотільна модель мікробору представлена на рис. 5.15.

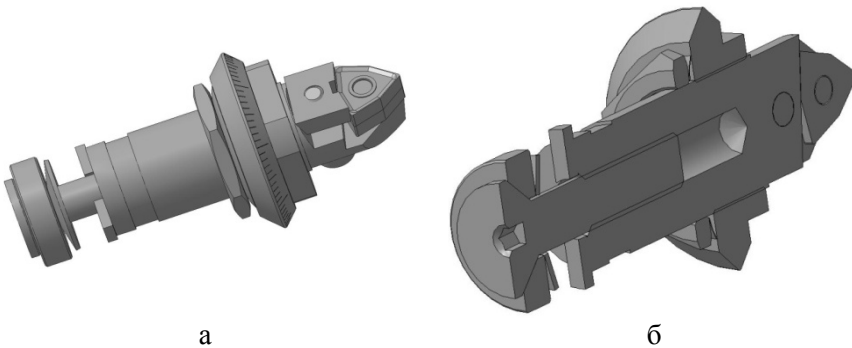
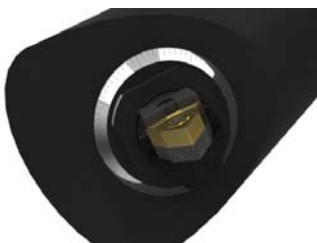


Рис. 5.15. Мікробор: а – складання; б – переріз

Рендерінг оправляння і мікробору представлений на рис. 5.16.  
Рознесення розточувального оправляння показано на рис. 5.17.

При побудові складання інструментальних блоків використані 3D-моделі оригінальних деталей. Для фрезерного інструментального блоку вони представлені на рис. 5.18.



а

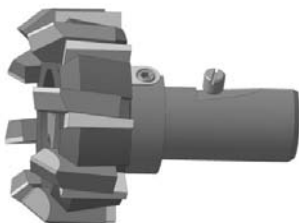


б

Рис. 5.16. Рендерінг: а – розточувальне оправлення; б – мікробор



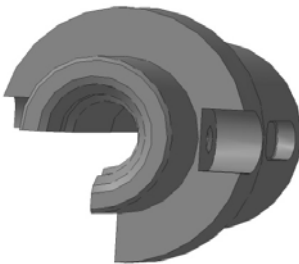
Рис. 5.17. Рознесення розточувального оправлення



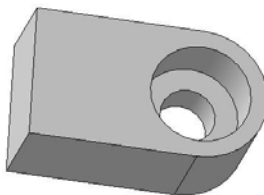
а



б



в



г

Рис. 5.18. 3D-моделі комплектуючих фрезерного інструментального блоку:  
а – інструментальний блок для торцевого фрезерування; б – утримувач;  
в – втулка перехідна; г – шпонка

Комплектуючі свердлильного інструментального блоку представлені на рис. 5.19.

Склад комплектуючих інструментального блоку для зубонарізання представлений на рис. 5.20.

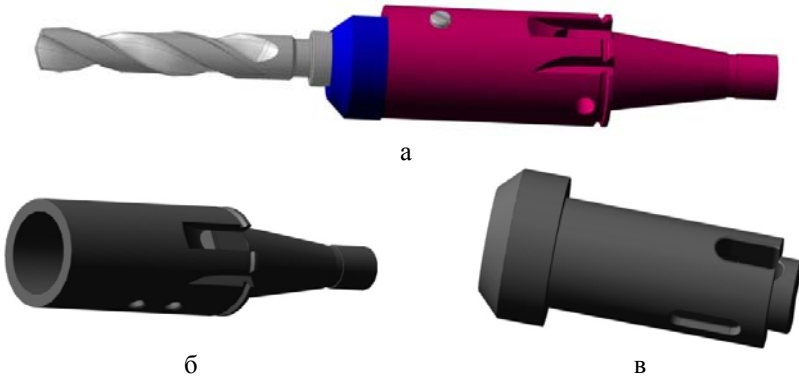


Рис. 5.19. 3D-моделі комплектуючих свердлильного інструментального блоку : а – інструментальний блок для свердління; б – утримувач; в – втулка перехідна

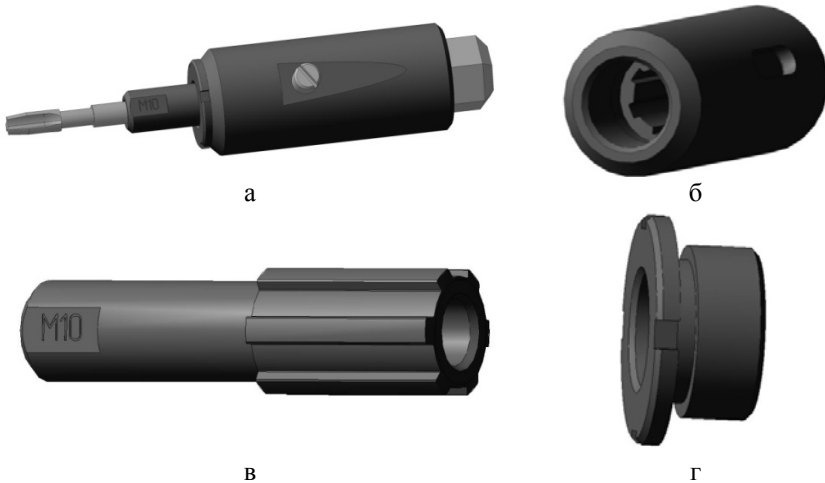


Рис. 5.20. 3D-моделі комплектуючих інструментального блоку для нарізання різьблення: а – інструментальний блок для різьблення; б – втулка; в – перехідник; г – гайка

Засобами САПР КОМПАС-3D створюється фотореалістичне зображення інструментального блоку на прикладі операції свердління (рис. 5.21) і фрезерування (рис. 5.22). У модулі Artisan Rendering є можливості комбінації матеріалів і освітлення, фактури і рельєфності. При цьому фактури містять відображення і прозорості таких елементів як дзеркало або скло.

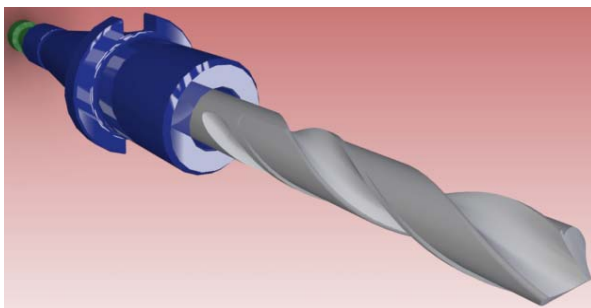


Рис. 5.21. Рендерінг інструментального блоку для свердління

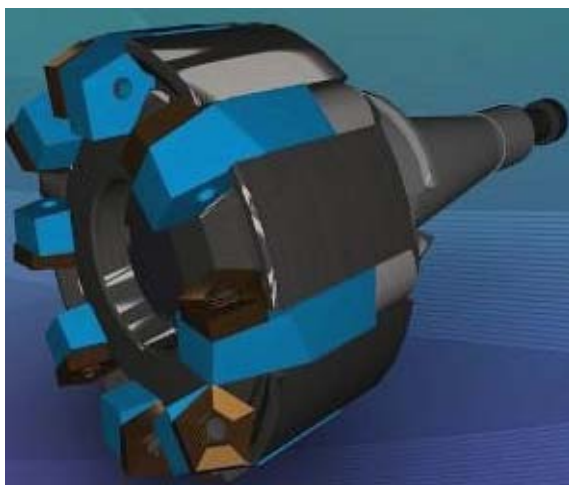


Рис. 5.22. Рендерінг інструментального блоку для фрезерування

В якості змінного інструментального оснащення використовується також швидкохідна інструментальна голівка, яка



призначена для високопродуктивної обробки кольорових металів і їх сплавів кінцевими фрезами, свердлами і іншим інструментом з мінімальним діаметром, - 5 мм. Розроблена 3D-модель швидкохідної голівки (рис. 5.23), переріз якої представлений на рис. 5.24. Затиск швидкохідної голівки в шпинделі верстата робиться також як і інструменту. Штир фіксатора голівки вводиться в отвір кронштейна, прикріпленого до торця гільзи для виключення повороту швидкохідної насадки в кінцевому отворі шпинделя. При цьому частота обертання поводка збільшується від початкової на шпинделі в 2,5 рази.

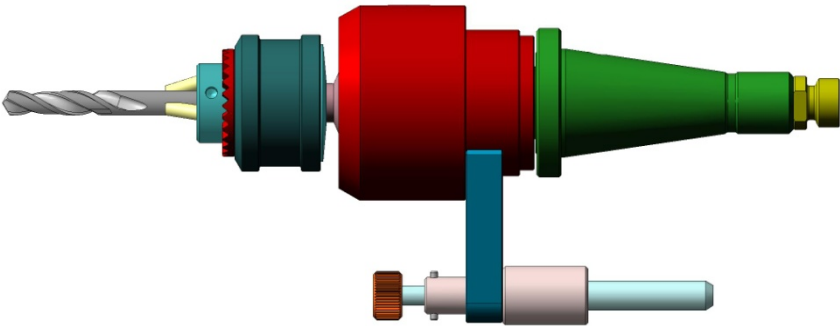


Рис. 5.23. Швидкохідна свердлильна голівка

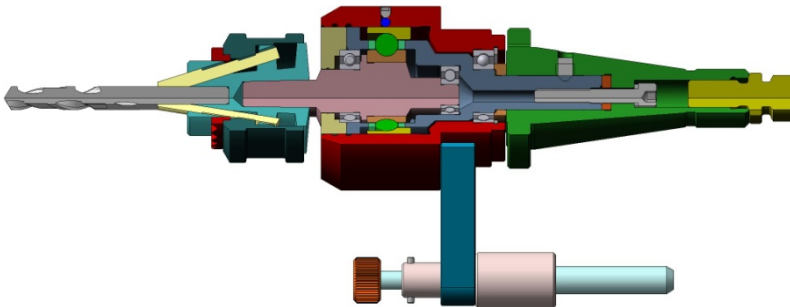


Рис. 5.24. Переріз швидкохідної свердлильної голівки

У розглянутому вище інструментальному оснащенні багатоопераційних верстатів застосовують оправлення з конічним

хвостовиком з конусом 7: 24, що виключає самогальмування. Це дає можливість при великій жорсткості з'єднання оправлення з шпинделем і високою точністю базувати оправлення в шпинделі, а також легко витягати її за допомогою автооператора. У шпинделі оправлення зазвичай утримується за допомогою тяги і пакету тарілчастих пружин або закріплюється гвинтом. Тяга має на кінці захватний пристрій, який забезпечує зчеплення з хвостовиком, укрученим в оправлення.

### Контрольні питання

1. Чи можна точку вставки компонента (деталі, підборки) у вікні складання вказати довільно?
2. Чи можна відключити фіксацію положення першого вставленого компонента в складання і як це зробити?
3. Що означає використання елементів «обстановки» при створенні деталі «на місці» у вікні складання?
4. Чи можна накласти сполучення *На місці* вручну і чи можливе переміщення деталі, побудованої в контексті складання, окремо від свого базового плоского об'єкту?
5. У чому відмінність процедури вставки компонента і наявної підборки в поточне складання?
6. Які переміщення компонента доступні, якщо накладено сполучення, пов'язане із *Співвісна*?
7. Для чого використовується режим *Контроль зіткнень* і що треба зробити, щоб компонент можна було переміщати після зіткнення?
8. Чи можна вибірково виділити конкретні компоненти в складанні, зіткнення з якими слід контролювати?
9. Яке сполучення вибирається (при включеним режимі автосполучень) у разі наближення плоскої грані і чи треба відключати режим контролю зіткнень?
10. Що треба зробити, у випадку якщо в процесі переміщення компонент відбувається порушення параметричних зв'язків і обмежень?

---

---

## 6. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ МЦ200ПФ4В. ПРИКЛАДНІ БІБЛІОТЕКИ КОНСТРУКТОРА

Автоматизація роботи конструктора в Компас-3D досягається і за рахунок того, що безліч рутинних операцій (вставка в креслення/3D- складання стандартних виробів, виконання типових розрахунків) можна виконати з використанням спеціальних прикладних бібліотек.

У системі Компас є велика кількість бібліотек, що полегшують роботу конструктора. Файли бібліотек мають розширення **\*.dll** (dynamic link library - бібліотека Windows, що динамічно підключається) і **\*.rtw**.

До найчастіше вживаним бібліотекам відносяться:

– **Конструкторська бібліотека** застосовується для вставки в креслення зображень болтів, гвинтів, гайок, пружин, підшипників і так далі;

– Бібліотека **Стандартні вироби** використовується для вставки 3d моделей стандартних виробів у складання;

– **Компас- Shaft 2D, 3D** (Вали і механічні передачі 2D, 3D);

– системи розрахунку(включає комплекс програм Gears) і 2d, 3d моделювань тіл обертання і механічних передач;

– **Компас- Spring** - система розрахунку і проектування пружин;

– **APM FEM** - система аналізу на міцність, жорсткість та вібростійкість.

Серед інших бібліотек можна відмітити назви груп бібліотек : "авіакосмічна промисловість", "архітектура і будівництво", "машинобудування", "зварювання", "трубопроводи", "технологія виробництва", "електрика і електроніка".

Бібліотеки можуть працювати в режимі меню, діалогу і вікна. Найзручніше працювати з бібліотеками в режимі вікна. Для зміни режиму виберіть *Сервіс >Змінити режим роботи.*

Існує можливість авторського створення бібліотек - як досить прості (бібліотеки фрагментів типу канавок, пазів), так і, при знанні мов програмування, досить складні призначені для користувача бібліотеки (бібліотеки за розрахунком і моделюванням передач), які значно підвищують ефективність роботи конструктора.

У верстатобудуванні конструктор стикається із завданнями проектування валів і різних механічних передач. У зв'язку з цим Додаток *Вали і механічні передачі 3D*, який входить до складу комплекту *Механіка*, важко переоцінити. Воно дозволяє конструкторам при проектуванні оперувати не геометричними примітивами площини або елементами простору, а об'єктами і деталями в цілому, а також їх елементами.

Розглянемо процедури застосування прикладних бібліотек при створенні проекту багатоопераційного верстата МЦ200ПФ4В, тривимірне представлення якого представлено на рис.6.1. Верстат є спеціалізованим багатоцільовим, підвищеної точності з рухливою стойкою, шириною столу 200 мм. Верстат оснащений системою ЧПУ з автоматичною зміною інструменту і заготівель. Призначений для комплексної обробки особливо складних корпусних деталей розміром до 200 мм із сталі, чавуну і кольорових сплавів в умовах багатомоноклітурного виробництва. На жорсткій станині розміщений поворотний стіл (вісь В) з горизонтальним розташуванням робочої поверхні, інструментальний магазин з автооператором для автоматичної зміни інструменту (вісь Г) і подовжньо-рухливий (вісь Z) хрестовий салазки по яким поперечно переміщається портална стойка, що несе вертикально-рухливу (вісь У) шпindelьну бабку з розміщеним в ній облаштуванням подання СОЖ в зону різання. Шнековий транспортер відводить стружку за межі верстата. Зона різання має обгороджування кабінетного типу з розсувними дверцями, які надійно захищають оператора від стружки і СОЖ і дозволяє вести візуальний контроль через вікна і двері.

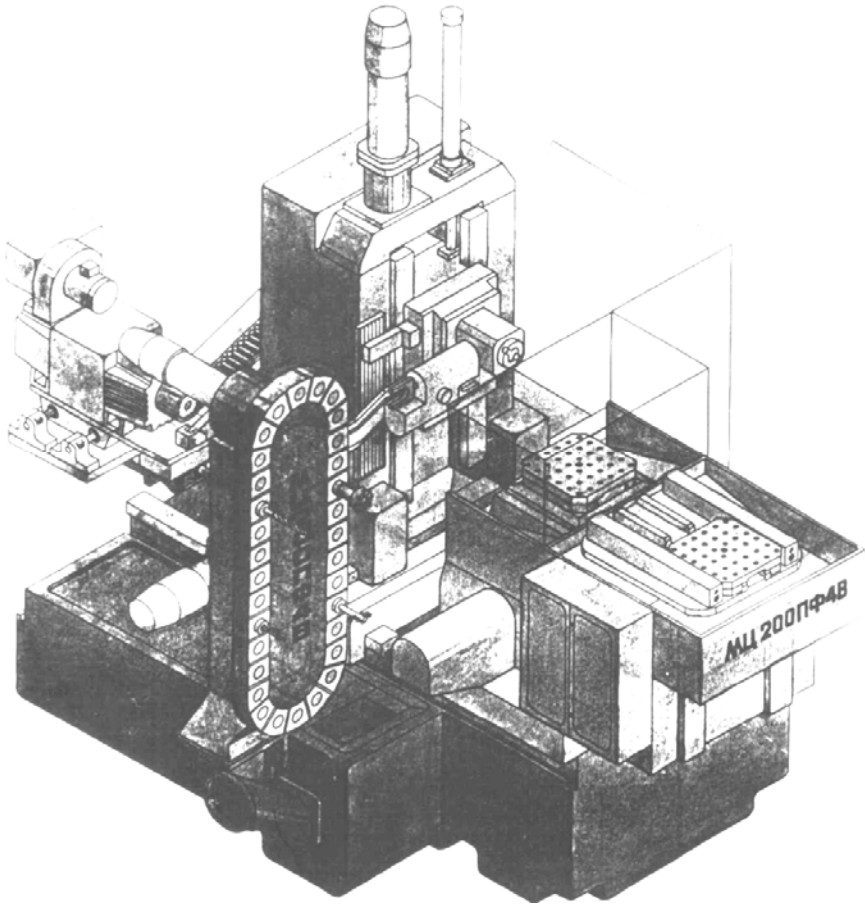


Рис. 6.1. Багатоопераційний верстат МЦ200ПФ4В

Проект головного формотворного шпиндельного вузла верстата МЦ200ПФ4В завоював срібну медаль 10-го Міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделювання» в «легкій» ваговій категорії (менш 200 3D-моделей в складанні) в 2012 році. Автор проекту студент кафедри «Машинобудування і прикладна механіка» Бурлаков Е. І.

[пенко ответил на акция...](#)
[Новини NEWSru.ua :: Кабін...](#)
[Mail.Ru: почта, поиск в ин...](#)
[Восточноукраинский нац...](#)

[bestmodels.ascon.ru/students/items/?bm\\_comp=427](#)

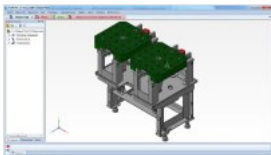
[РТК: Погода в...](#)
[Google](#)
[Загрузки](#)
[Twitter](#)
[Facebook](#)
[Mail.Ru](#)
[NEWSru.ua :: Новин...](#)
[Все новости Украи...](#)
[MIGnews.com.ua](#)

[Оргкомитет Конкурса](#)  
[Положение о Конкурсе](#)  
[Онлайн-заявка](#)  
[Партнёры Конкурса](#)  
[Часто задаваемые вопросы \(FAQ\)](#)  
[Победители Конкурса](#)  
[Дипломанты Конкурса](#)  
[Конкурсы разных лет](#)  
**Студенческий конкурс**



**Проект:** Шпиндельный узел обрабатывающего центра ОЦ200  
**Автор(ы):** Бурлаков Евгений Игоревич, 5 курс  
 Руководитель проекта: Крость Олег Семенович, кандидат технических наук, профессор  
**Деталей:** 149  
**II место в «Легкой» весовой категории — до 200 деталей**  
[Подробнее...](#)

Проект облаштування автоматичної заміни заготовель обробного центру ОЦ5ВФ4 став переможцем в номінації «За ефективне використання додатків» 14-го Міжнародного конкурсу «Майбутні Аси Комп'ютерного 3D-моделювання» в «середній» ваговій категорії (більше 200, менш 1000 3D-моделей в складанні) в 2016 році. Автор проекту студент кафедри «Машинобудування і прикладна механіка» Фіронов Д. В.



**Проект:** Устройство автоматической замены заготовок обрабатывающего центра  
**Разработчик:** Восточноукраинский национальный университет им. В.И. Даля, Луганск  
**Автор(ы):** Фіронов Денис Вікторович, «Орталаславое машіноствроеніе», 2 курс  
 Руководитель проекта: Крость Олег Семенович, профессор кафедры машиностроения и прикладной механики  
**Деталей:** 300  
**Специальный приз экспертной комиссии «За эффективное использование приложений»**

## 6.1. Додаток Вали і механічні передачі 3D

Додаток *Вали і механічні передачі 3D* є важливим доповненням до системи КОМПАС-3D і входить до складу комплексу *Механіка*. Воно дозволяє конструкторам при проектуванні оперувати не геометричними примітивами площини або елементами простору, а об'єктами і деталями в цілому, а також їх елементами. Важливою перевагою Додатка є можливість побудови високоточних моделей зубчастих вінців з геометрично коректними поверхнями зубів.

Додаток має інтерфейс для проектування і в площині (2D), і в просторі (3D). Проте результатом роботи завжди є високоточна 3D-модель. Конструктор оперує поняттям «модель» навіть при роботі з додатком на площині. Робота в площині дозволяє оформляти креслення проєктованих елементів: проставляти розміри в автоматичному режимі, будувати види, розрізи, перерізи, оформляти таблиці параметрів.

Додаток має в розпорядженні функціонал побудови геометрично коректних вінців коліс усіх видів зубчастих, черв'ячних і ремінних передач. Серед них:

- циліндричні передачі зовнішнього і внутрішнього зачеплення;
- рейкові циліндричні передачі;
- гвинтові евольвентні зубчасті передачі;
- конічні передачі з прямими і круговими зубами;
- планетарні зубчасті передачі;
- черв'ячні циліндричні і ортогональні передачі;
- зубчатопасові передачі.

Важливим досягненням розробників стало прискорення роботи при генерації високоточних моделей. Швидкість збільшена завдяки двом чинникам: остаточній реалізації додатка на базі ядра системи КОМПАС-3D – С3D, виділеного в самостійний продукт, а також впровадженню унікальної методики побудови зубчастих вінців методом імітації зубофрезерування (для черв'ячних коліс і конічних передач з круговим зубом).

Можливість побудови коректних просторових моделей зубчастих коліс має велике практичне значення. 3D-моделі

потрібні для виготовлення зубчастих коліс на верстатах з ЧПУ, виготовлення прототипів дослідних зразків і учбово-демонстраційних моделей. Крім того 3D-моделі використовуються при контролі точності виготовлення деталей за допомогою 3D-сканерів і інших засобів 3D-вимірювань.

Ключовою перевагою коректних 3D-моделей є можливість їх передачі в САМ-системи з метою підготовки програми, що управляє, для обробки зубчастих коліс на верстатах з ЧПУ. Генерація коректних 3D-моделей зубчастих і черв'ячних коліс засобами додатка *Вали і механічні передачі 3D* розширює можливості використання багатокординатних верстатів з ЧПУ, оскільки контури поверхонь зачеплення, отримані при генерації, можуть бути використані при розробці програм, що управляють, для обробки деталей.

Особливо ці переваги можуть бути відчутні при виготовленні великогабаритних черв'ячних коліс або зубчастих коліс з дуже великими діаметрами.

Розглянемо порядок створення моделей в додатку *Вали і механічні передачі 3D* на прикладі циліндричної шестерні верстата МЦ200.

1. Для нового або існуючого документу типу «деталь» або «складання» в КОМПАС-3D слід викликати команду побудови потрібного конструктивного елемента або елемента механічної передачі. На панелі властивостей з'являться елементи управління побудовою. Елементи розміщені на трьох вкладках – Параметри, Позичіонування і Властивості (рис.6. 2).

2. Для проєктованого елемента визначаються:

2.1. Геометричні параметри проєктованого елемента (вкладка *Параметри*).

2.2. Положення елемента в документі КОМПАС-3D (вкладка *Позичіонування*).

2.3. Значення властивостей (вкладка *Властивості*).

3. Для фіксації побудови конструктивного елемента або елемента механічної передачі треба натиснути кнопку *Створити об'єкт*. Щоб відмовитися від побудови елемента, натиснути кнопку *Перервати команду*.



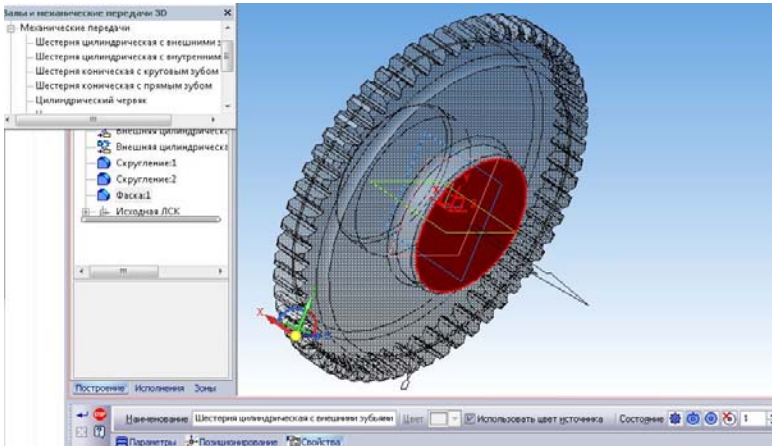






Рис. 6.2. Елементи управління побудовою моделей

Засобами бібліотеки *Вали і механічні передачі 3D* можуть бути створені наступні конструктивні елементи:

- прості ступені зовнішнього контуру;
- прості сідці внутрішнього контуру;
- додаткові конструктивні елементи (кільцеві отвори і кільцеві пази);
- отвори, канавки, проточки.

Щоб отримати доступ до команд побудови цих елементів, потрібно розкрити відповідну групу бібліотечних команд або активувати панель інструментів *Прості конструктивні елементи*, натиснувши на компактній панелі відповідну кнопку.

Наприклад, щоб побудувати ступінь, викликається потрібна бібліотечна команда або здійснюється натиснення на панелі інструментів кнопку, що асоціюється з цією командою.

-  – Зовнішній циліндричний ступінь;
-  – Зовнішній конічний ступінь;
-  – Зовнішній багатогранний ступінь;
-  – Зовнішній профільний ступінь.

На панелі властивостей з'являться елементи управління побудовою ступеня. Елементи розташовані на трьох вкладках, назва і призначення яких приведені в таблиці.

Т а б л и ц я

**Призначення елементів управління**

Назва вкладки	Призначення елементів керування
Параметри	Визначення геометричних параметрів: - зовнішня циліндрична ступень; - зовнішня конічна ступень; - зовнішня багатогранна ступень - зовнішня профільна ступень
Позиціонування	Позиціонування ступені, що проектується в документі КОМПАС-3D
Властивості	Управління властивостями ступені, що проектується

Процедуру побудови конструктивного елемента розглянемо на прикладі елемента *Зовнішній циліндричний ступінь*.

Щоб визначити геометричні параметри циліндричного ступеня зовнішнього контуру, слід виконати наступні дії.

1. Розкрити на панелі властивостей *Зовнішній циліндричний ступінь* вкладку *Параметри* (внизу ліворуч панелі властивостей (рис. 6.2)).

2. Задати значення параметрів, необхідних для побудови ступеня. Значення можна ввести за допомогою клавіатури або вибрати зі списків (рис.6.3), що розкриваються.

Для елемента *Внутрішній багатогранний ступінь* процедура визначення геометричних параметрів полягає у виконанні наступних дій.

1. Розкрити на панелі властивостей *Внутрішній багатогранний ступінь* вкладку *Параметри*.

2. Ввести кількість граней за допомогою клавіатури або вибрати зі списку можливих значень.

3. Вибрати спосіб побудови багатокутника, натиснувши одну з кнопок в групі *Спосіб* :

- По описаному колу;
- По вписаному колу.

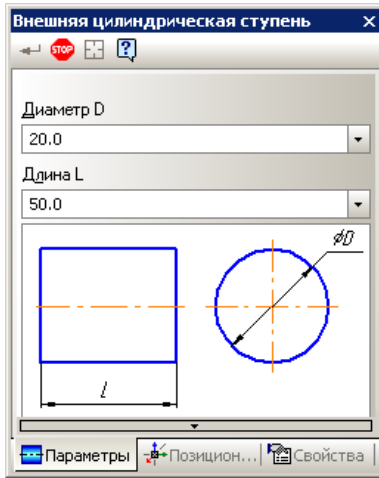


Рис. 6.3. Параметры зовнішнього циліндричного ступеня

4. Задати значення діаметру кола, необхідного для побудови багатогранника, і довжини ступеня (рис.6.4). Значення можна ввести за допомогою клавіатури або вибрати зі списків, що розкриваються.

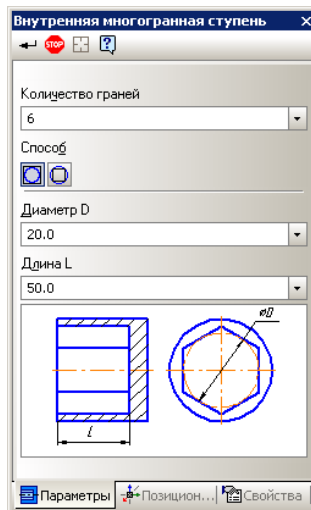


Рис. 6.4. Завдання параметрів елемента  
*Внутрішній багатогранний ступінь*

У маточинах деталей механічних передач є додатковий конструктивний елемент *Кільцеві отвори*, для визначення геометричних параметрів яких, виконуються наступні дії.

1. Розкрити на панелі властивостей *Кільцеві отвори* вкладку Параметри.

2. Ввести значення параметрів (рис.6.5) необхідних для побудови:

- діаметр, на якому розташовуватимуться центри отворів D1;
- діаметр отворів D2;
- кількість отворів.

3. Для побудови максимально можливої кількості отворів, натиснути кнопку *Максимальна кількість* (рис.6.5), кількість яких розраховується виходячи з умов не перетину отворів.

4. Вибрати варіант побудови отворів в групі *Фаска* :

- без фаски;
- одна фаска;
- дві фаски.

5. При виборі варіанту побудови з фаскою, на панелі властивостей з'являться поля введення значень довжини і кута фаски. Заповнити поля за допомогою клавіатури або вибрати значення зі списків, що розкриваються.

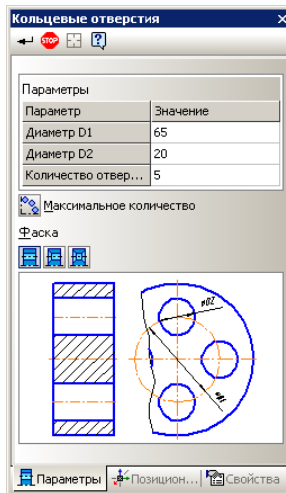


Рис. 6.5. Конструктивный элемент *Кільцеві отвори*

У системі КОМПАС-3D передбачена побудова конструктивних елементів з використанням Корпоративного довідника *Стандартні Вироби*. Це дає можливість проектувати деякі конструктивні елементи (отвори, канавки, проточки) засобами *Корпоративного довідника* (бібліотеки *Стандартні Вироби*).

Для побудови елемента, необхідно викликати потрібну бібліотечну команду або натиснути на панелі інструментів кнопку, що асоціюється з цією командою :

-  *Отвір*;
-  *Канавка*;
-  *Проточка*;

При цьому завантажиться Корпоративний довідник *Стандартні Вироби* (бібліотека *Стандартні Вироби*). У області навігації буде виділено назву проектованого конструктивного елемента.



Далі вибирається типорозмір і параметри проектованого елемента, а потім здійснюється його вставка в документ КОМПАС-3D засобами Корпоративного довідника *Стандартні Вироби* (бібліотеки *Стандартні Вироби*).

Засобами бібліотеки *Вали і механічні передачі 3D* можуть бути побудовані циліндричні шестерні із зовнішніми і внутрішніми зубами.

Щоб визначити геометричні параметри циліндричної шестерні із зовнішніми зубами, необхідно виконати наступні дії (рис.6.6).

1. Розкрити на панелі властивостей *Шестерня циліндрична із зовнішніми зубами* вкладку *Параметри*.

2. Вибрати тип зачеплення, натиснувши одну з кнопок в групі *Тип зачеплення*:

-  – Зовнішнє зачеплення;
-  – Внутрішнє зачеплення.

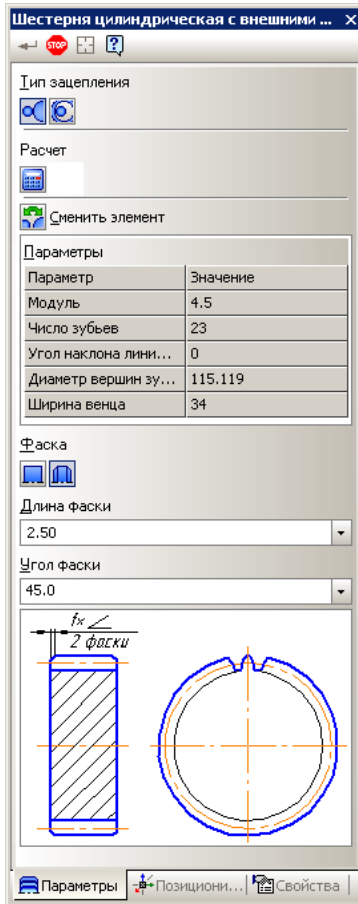


Рис. 6.6. Проектування шестерні із зовнішніми зубами

3. Виконати розрахунок зубчастої передачі. Для цього потрібно запустити модуль *Розрахунок циліндричної зубчастої передачі зовнішнього зачеплення* комплексу програм КОМПАС-GEARS.

Детальна інформація про роботу комплексу програм КОМПАС-GEARS міститься у файлі Gears.chm. Після того, як розрахунок буде виконаний, значення параметрів, необхідних для

побудови провідного колеса, будуть відображені в таблиці *Параметри*.

4. Якщо необхідно побудувати ведене колесо, потрібно натиснути кнопку *Змінити елемент*. У таблиці *Параметри* з'являться значення параметрів, необхідних для побудови веденого колеса.

5. Вибрати варіант побудови шестерні, натиснувши одну з кнопок в групі *Фаска* :



– Без фаски;



– З фаскою.

6. Якщо вибраний варіант побудови шестерні з фаскою, на панелі властивостей з'являться поля введення значень довжини і кута фаски. Заповнити поля за допомогою клавіатури або вибрати значення зі списків, що розкриваються.

У справжній версії бібліотеки реалізована взаємодія бібліотеки *Вали і механічні передачі 3D* з Корпоративним довідником *Стандартні Вироби* (бібліотекою *Стандартні Вироби*). Це дає можливість проектувати деякі елементи роз'ємних з'єднань (шліци і пази шпон) засобами цього Корпоративного довідника. Для діставання доступу до команд побудови елементів роз'ємних з'єднань необхідно розкрити відповідну групу команд або активувати панель інструментів *Роз'ємні з'єднання*, натиснувши на компактній панелі кнопку. Щоб побудувати елемент, слід викликати потрібну бібліотечну команду або натиснути на панелі інструментів кнопку, що асоціюється з цією командою :

- Шліци;

- Паз шпони.

При цьому завантажиться Корпоративний довідник *Стандартні Вироби* (з бібліотекою *Стандартні Вироби*).

У області навігації буде виділено назву проєктованого елемента. Після вибору типорозміру і параметрів елемента, можна вставити його в документ КОМПАС-3D засобами довідника *Стандартні Вироби* (бібліотеки *Стандартні Вироби*).

Однією з операцій при побудові 3D-моделей є *Позиціонування*.

Елементи управління позиціонуванням проєктованих елементів в документі КОМПАС-3D розміщені на панелі властивостей на вкладці *Позиціонування*.

Щоб спозиціонувати в документі КОМПАС-3D ступені зовнішнього або внутрішнього контурів, а також елементи механічних передач, необхідно виконати наступні дії.

1. Розкрити на панелі властивостей вкладку *Позиціонування*.
2. Вказати площину, від якої будуватиметься ступінь. Для цього увійти до режиму вибору площини і вказати в документі КОМПАС-3D площину, перпендикулярну осі проєктованої східці.
3. Вибрати точку, через яку проходить вісь проєктованого ступеня:

- можна вибрати існуючу точку - для цього натиснути кнопку *Вибрати точку* і клацнути курсором потрібний точковий об'єкт в документі КОМПАС-3D;

- можна створити нову точку - для цього натиснути кнопку *Створити* і вибрати точку. На панелі властивостей з'являться елементи управління, що дозволяють задати положення точки.

4. Якщо початковою площиною є конструктивна площина або площина абсолютної або локальної систем координат, потрібно буде вибрати напрям побудови ступеня. Для деяких східців на панелі властивостей є елементи управління, що дозволяють задати кут повороту ступеня навколо своєї осі.

5. Вибрати одну з кнопок в групі *Поворот* :

- *Поворот проти годинникової стрілки*;
- *Поворот за годинниковою стрілкою*.

6. У полі *Кут* ввести значення кута повороту.

Щоб позиціонувати додаткові конструктивні елементи (кільцеві отвори або кільцеві пази), необхідно виконати наступні дії.

1. Розкрити на панелі властивостей вкладку *Позиціонування*.
2. Натиснути кнопку *Грань 1* і вказати в документі КОМПАС-3D початкову грань.

3. Натиснути кнопку *Грань 2* і вказати кінцеву грань.

Початкова і кінцева грані мають бути паралельні один одному і перпендикулярні осі проєктованих елементів.

4. Вибрати точку, яка стане центром кола, на якому будуть розташовані центри кільцевих отворів, або центром кільцевих пазів.



Для опції *Створити нову точку* - потрібно натиснути кнопку *Створити* і вибрати точку. На панелі властивостей з'являться елементи управління, що дозволяють задати положення точки.

Для кільцевих отворів на панелі властивостей є елементи управління, що дозволяють задати кут повороту вісі кола, на якому розташовані центри отворів, відносно первинного положення.

5. Натиснути одну з кнопок в групі *Поворот* :

- Поворот проти годинникової стрілки;
- Поворот за годинниковою стрілкою.

6. У полі *Кут* ввести значення кута повороту за допомогою клавіатури або вибрати значення зі списку, що розкривається.

## 6.2. Бібліотека Стандартні Вироби

Розглянемо операцію кріплення фланця шпindelного вузла до корпусу шпindelної бабки оброблювального центру МЦ200 за допомогою бібліотеки *Стандартні Вироби*. Фланець необхідно прикріпити до корпусу гвинтами і шайбами. Для цього виконується наступна процедура.

1. Встановити орієнтацію *Ізометрія XYZ* і збільшити місце установки Фланця (рис.6.7).

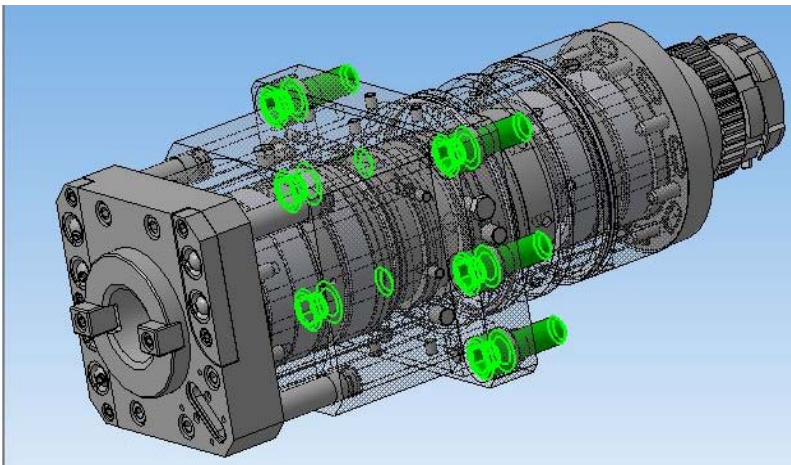


Рис. 6.7. Кріплення фланця

2. Виконати команду *Бібліотеки - Стандартні вироби - Вставити елемент*. При цьому на екрані відкриється вікно Довідника Стандартні Вироби (далі - Довідник).

3. Відкрити вкладку *Стандартні вироби* у верхній частині вікна. У Дереві вікна розкрийте «гілку» *Кріпильні вироби*. Потім розкрити «гілці» *Гвинти - Гвинти нормальні - Гвинти з циліндричною голівкою і шестигранним поглибленням під ключ*. Для вибору типорозміру  $M16 \times 1,5 \times 40$  потрібне у вкладці *Усі розміри* подвійним клацанням миші по полю *d, діаметр різьблення* вибрати відповідні параметри (рис.6.8)

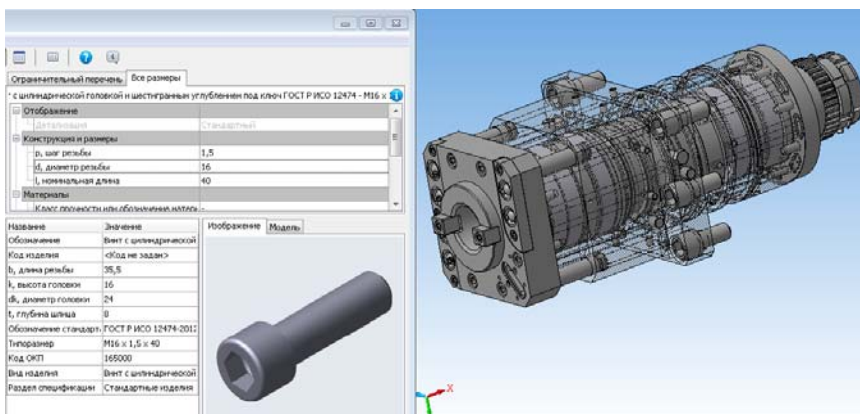


Рис. 6.8. Вибір кріплення у бібліотеці *Стандартні вироби*

Окрім розмірів можна визначати інші параметри виробу : матеріал гвинта (вкладка *Матеріали*, рис.6.8), а також матеріал і товщину покриття (вкладка *Покриття*).

Для елементів кріплення передбачена можливість автоматичного сполучення. Треба вказати плоску грань, на яку має бути встановлений кріпильний елемент (буде накладено сполучення *Збіг*), і циліндричну грань, що визначає вісь (буде накладено сполучення *Співвісна*). Таким чином, необхідно вказати плоску грань Фланця і циліндричну грань отвору. Далі слід натиснути кнопку *Створити об'єкт*.

Необхідно відмітити, що разом із стандартним виробом в складання передається і його об'єкт специфікації для автоматичного

формування розділу Стандартні *вироби*. Для цього у вікні Об'єкт *специфікації* потрібно натиснути ОК. Після цього кріпильний елемент буде доданий в складання. На рис. 6.9 представлений фрагмент специфікації шпindelного вузла верстата МЦ200, де фланець і гвинти М16 позначені позиціями № 3 і № 37.

Формат	Зона	Гол	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
				<i>Документация</i>		
A2			200П.05.05.000СБ	Сборочный чертеж		
				<i>Детали</i>		
A1	1		200П.05.05.001	Шпиндель	1	
A2	2		200П.05.05.002	Корпус	1	
A3	3		200П.05.05.003	Фланец	1	
A3	4		200П.05.05.004	Фланец	1	
A4	5		200П.05.05.005	Втулка	1	
A4	6		200П.05.05.006	Кольцо	1	
A4	7		200П.05.05.007	Кольцо	1	
				<i>Стандартные изделия</i>		
		4		Болт М8-8dх14 ГОСТ 7798-70	3	
				Винт ГОСТ 11738-84		
		32		М6-6d x 12	5	
		33		М6-6d x 16	2	
		34		М8-6d x 25	11	
		35		М8-6d x 40	5	
		37		М16-6d x 40	6	

Рис. 6.9. Специфікація шпindelного вузла

За допомогою бібліотеки *Стандартні вироби* аналогічним чином вирішується завдання складання валу і підшипникових опор. Для прикладу розглянемо складання двоопорного вхідного валу коробки швидкостей оброблювального центру МЦ200, який монтується на радіальних підшипниках кочення 208 ГОСТ 8338-81. (рис.6.10).

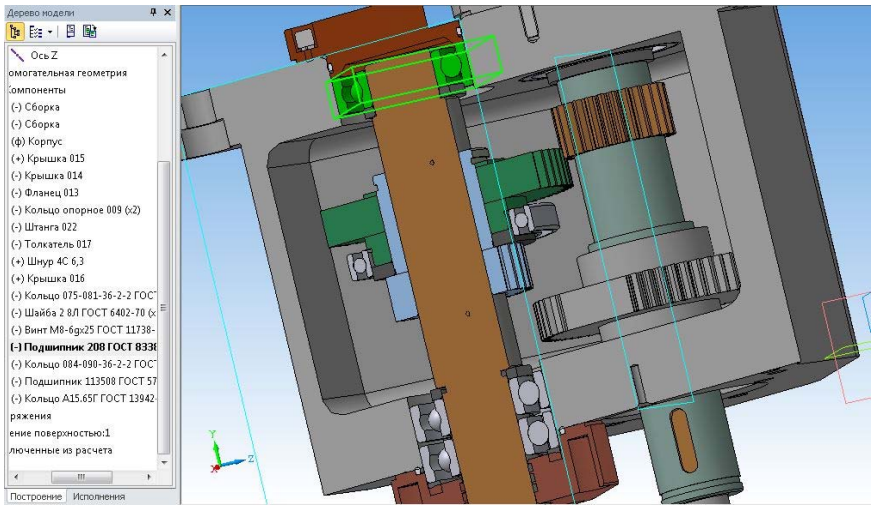


Рис. 6.10. Складальна конструкція Вал-опори

Для складання в 3D необхідно відкрити вкладку *Стандартні вироби* і вибрати «гілку» *Підшипники і деталі машин*. Потім розкрити «гілку» *Тип 0. Радіальні кулькові - Підшипник ГОСТ 8338-75* (рис.6.11).

Для вибору типорозміру 40×80×18 необхідно у вкладці *Конструктивні розміри* подвійним клацанням миші по полю *d*, *Діаметр отвору* вибрати відповідні параметри (рис.6.12).

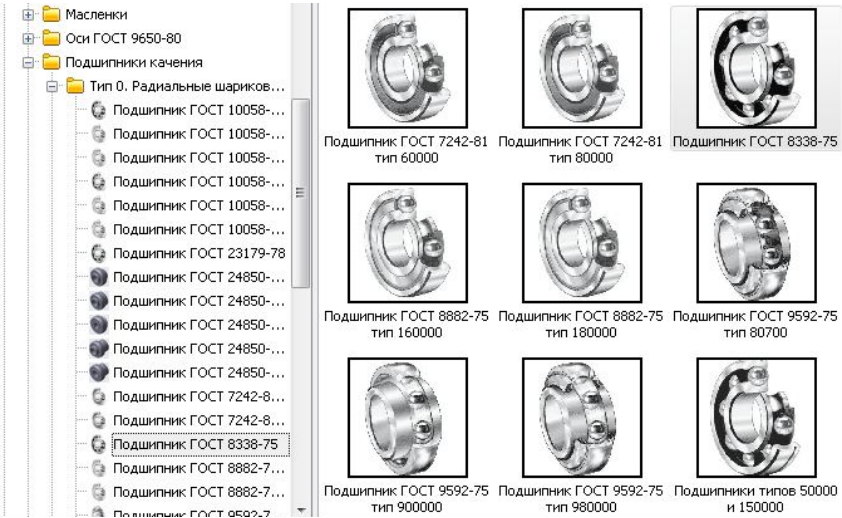


Рис. 6.11. Вибір типу підшипника кочення

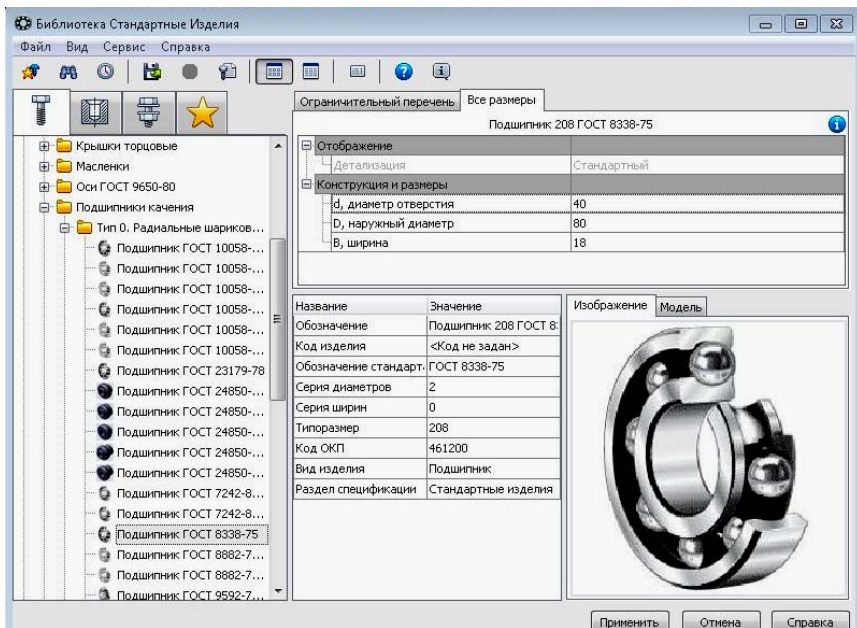


Рис. 6.12. Вибір конструктивних розмірів підшипника

### 6.3. Проектування зубчастопасової передачі в системі КОМПАС

На прикладі зубчастопасової передачі розглянемо можливості системи, пов'язані зі взаємодією бібліотеки *Вали і механічні передачі 2D* з системою КОМПАС-3D, дозволяють генерувати тривимірні твердотільні моделі на основі параметричної моделі, створеної у бібліотеці *Вали і механічні передачі 2D*, що дозволяє підключати засоби редагування КОМПАС-3D.

В якості об'єкту проектування прийемо зубчастопасову передачу приводу головного руху оброблювального центру з автоматичною зміною інструментів і заготівель, призначений для комплексної обробки особливоскладних корпусних деталей. Фрагмент кінематичної схеми приводу представлений на рис. 6.13. Рух від двигуна передається на вхідний вал коробки швидкостей через шків з кількістю зубів 26: 52. Друга зубчастопасова передача передає рух до датчика зворотного зв'язку вбудованого в систему автоматичного контролю верстата.

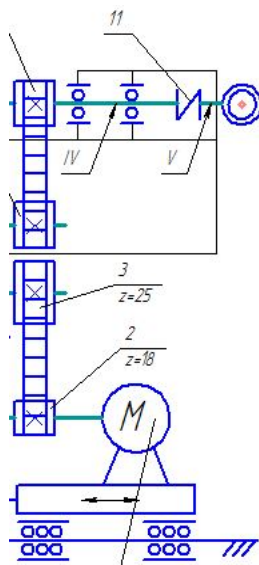


Рис. 6.13. Фрагмент кінематичної схеми приводу оброблювального центру



### 6.3.1. Інтерфейс бібліотеки Вали і механічні передачі 2D

Для побудови шківа спочатку необхідно підключити бібліотеку: на стандартній панелі натиснути піктограму *Менеджер бібліотек* і вибрати бібліотеку *Вали і механічні передачі 2D* (індикатором підключення є червона «галочка», розташована в полі поряд з назвою бібліотеки). Далі необхідно підключити команду *Побудова моделі* і у вікні бібліотеки натиснути на піктограму *Нова модель* і вибрати один з типів креслення, наприклад, *В розрізі* (рис. 6.14).

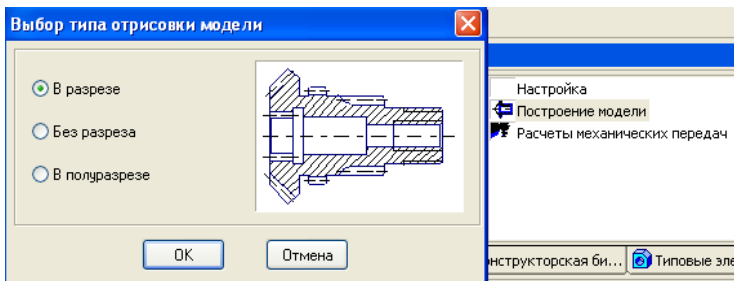


Рис. 6.14. Вибір типу креслення шківа

Після актуалізації формату креслення, в полі креслення слід вказати точку початку локальної системи координат і в основному вікні бібліотеки, що з'явилося, в його лівій частині відобразяться Інструментальні панелі зовнішнього і внутрішнього контурів (рис.6.15).

У них розташовані кнопки, що дозволяють вибрати тип ступенів деталі, елементи механічних передач, додаткові елементи ступенів, зробити необхідні розрахунки і так далі

У цих двох областях у міру побудови відображатимуться піктограми побудованих елементів. Є можливості управляти деревом відображених діаграм. Так, для того, щоб згорнути зображення піктограм додаткових елементів ступеня у вікні діалогу треба клацнути лівою кнопкою миші на значку «мінус» поряд з найменуванням ступеня. Повторне клацання на цьому символі приведе до розгортання зображень піктограм.

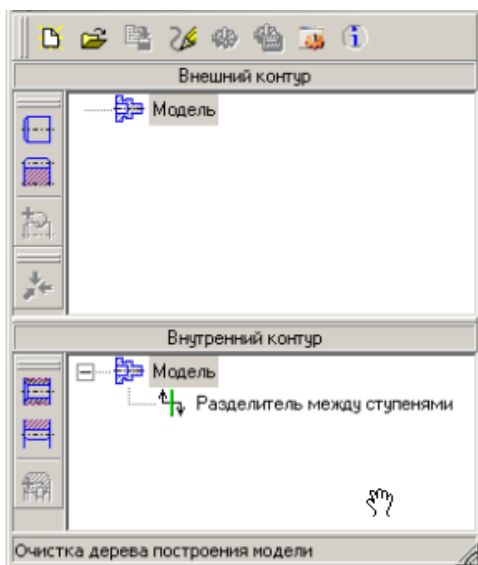


Рис. 6.15. Панелі зовнішнього і внутрішнього контура

У панелі управління діалогового вікна бібліотеки *Вали і механічні передачі 2D* представлений ряд команд в головному меню, що дозволяють розпочати роботу з бібліотеки (рис.6.16).



Рис. 6.16. Головне меню бібліотеки

Для вдосконалення діалогового режиму робіт призначена команда *Оновити зображення* в активному вікні без зміни масштабу. У контекстному меню цієї команди є додаткові команди: *активізувати курсор*, *перебудувати* (дозволяє проглянути результати виконаних змін), команди зміни масштабу і інші.

Для генерації 3D-моделі використовується команда з відповідною назвою. З її допомогою здійснюється генерація тривимірної моделі шківів. Команда має контекстне меню, в якому представлені додаткові команди (рис. 6.17)



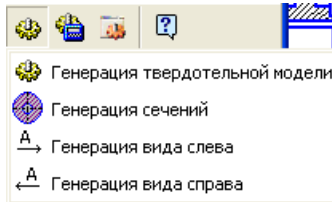


Рис. 6.17. Вікно генерації 3D-моделей

За допомогою цих додаткових команд здійснюється генерація перерізів і видів ліворуч і справа.

Інтеграційні властивості САПР КОМПАС забезпечує команда *Механічні властивості матеріалів проєктованих деталей*, при виборі якої підвантажується модуль вибору матеріалів. Робота з цим модулем можлива у вигляді вибору з пропонованої бази даних матеріалів деталі, або у вигляді ручного додавання нового матеріалу у базу даних. При цьому матеріал можна узяти з довідника «Лоцман: Матеріали і сортаменти».

### 6.3.2. Побудова моделі шківів зубчастопасової передачі

Виконаємо побудову шківів з наступними параметрами: модуль  $m = 7$  мм; число зубів  $z = 26$ ; ширина обода шківів  $b = 32$  мм.

У діалоговому вікні побудови зовнішнього контуру (рис.6.15) слід натиснути піктограму *Елементи механічних передач*. З контекстного меню, що розкривається, вибирається тип передачі внаслідок чого з'явиться вікно *Шківів зубчастопасової передачі* (рис. 6.18). У цьому вікні можна вибрати опцію *Розміри* для автоматичної простановки розмірів на кресленні.

Після натиснення кнопки *Запуск розрахунку* відкриється діалогове вікно *Розрахунок зубчастопасової передачі* (рис.6.19) в якій реалізується проєктний розрахунок передачі. Введення початкових даних реалізується у вікні *Проєктного розрахунку* (рис.6.20).

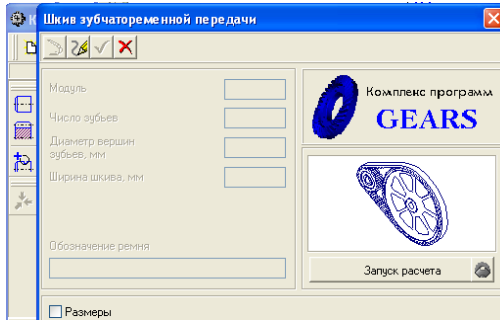


Рис. 6.18. Діалогове вікно «Шків зубчаторемної передачі»

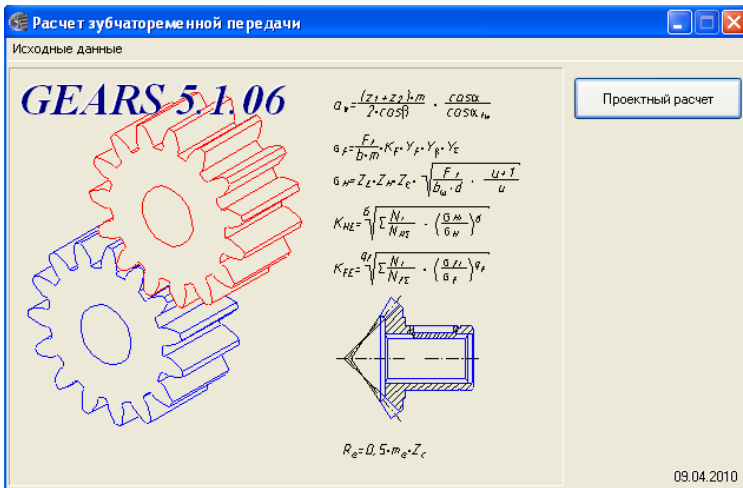


Рис. 6.19. Вікно розрахунку зубчаторемної передачі

У вікні введення даних задається модуль шківа, який є основною розрахунковою величиною при визначенні розмірів зубів, при підборі різального інструменту і налаштуванні верстатів. Значення нормальних модулів для передач зубчастим ремнем визначаються галузевим стандартом ОСТУ 38-05114-76. Тому, значення модуля вибирається з випадного контекстного меню (натискається на трикутник і зі списку вибирається потрібне значення  $m = 7$  мм). Після введення початкових даних слід

натиснути на кнопку *Розрахунок* (рис.6.20) і записати отримані проектні дані в окремому документі.

Параметры	
1. Требуемая мощность, кВт	10
2. Частота вращения малого шкива, об/мин	1450
3. Профиль зуба ремня	трапецидальный
4. Ролики внутри контура	<input type="checkbox"/>
5. Ролик снаружи контура	<input type="checkbox"/>
6. Коэффициент динамичности нагрузки	1.1
7. Модуль ремня, мм	7
8. Передаточное число	2
9. Число зубьев малого шкива	26

Рис. 6.20. Вікно введення початкових даних

У бібліотеці *Вали і механічні передачі 2D* з'являється можливість реалізувати багатоваріантні розрахунки зубчастопасових передач. Виберемо варіант (рис.6.21), що відповідає вище представленому прикладу розрахунку. Після натиснення кнопки *Закінчити розрахунок* з'являється вікно *Вибір об'єкту побудови* (рис. 6.22). Після вибору проєктованого об'єкту *Шків ведучий* відкривається вікно *Шків зубчастої передачі* (рис. 6.23) в якому актуалізуються поля і піктограми, які раніше були не активні.

Натиснувши піктограму із зеленою галочкою візуалізуємо діалогове вікно побудови зовнішнього і внутрішнього контурів і на полі креслення буде накреслений шків з шириною зубчастого вінця 32 мм і діаметром кіл вершин зубів 180,566 мм.

**Подобранные передачи**

Число зубьев ведущего шкива	26
Делительный диаметр ведущего шкива, мм	182
Число зубьев ведомого шкива	52
Делительный диаметр ведомого шкива, мм	364

Обозначение ремня	Число зубьев ремня	Межосевое расстояние, мм	Длина ремня, мм	Ширина ремня, мм
OCT 38 05114-76	71	339,669	1561,372	25
OCT 38 05114-76	75	385,089	1649,336	25
OCT 38 05114-76	80	441,439	1759,292	25
OCT 38 05114-76	85	497,473	1869,248	25
OCT 38 05114-76	90	553,291	1979,203	25
OCT 38 05114-76	95	608,953	2089,159	25
OCT 38 05114-76	100	664,499	2199,115	25
OCT 38 05114-76	105	719,957	2309,071	25
OCT 38 05114-76	112	797,485	2463,009	25

Рис. 6.21. Вікно вибору варіанту передачі

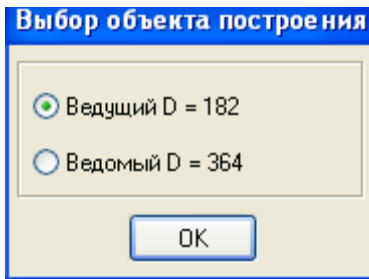


Рис. 6.22. Вікно вибору об'єкту

**Шкив зубчатременной передачи**

Модуль: 7

Число зубьев: 26

Диаметр вершин зубьев, мм: 180,566

Ширина шкива, мм: 32

Обозначение ремня: OCT 38 05114-76

Размеры

Комплекс программ **GEARS**

Запуск расчета

Рис. 6.23. Вікно розрахунку передачі

## Побудова зовнішнього контуру

Зовнішній контур шківів будується в наступній послідовності.

1. Побудова кільцевих пазів. Ця процедура актуалізується натисненням кнопки *Додаткові елементи східців*, з контекстного меню, що розкривається, слід вибрати *Кільцеві пази* і далі *Тип 1*, що приведе до відкриття діалогового вікна *Кільцевий паз* (рис. 6.24). У системі передбачені різні варіанти розташування пазів - виберемо варіант симетричних пазів, розташованих справа і ліворуч.

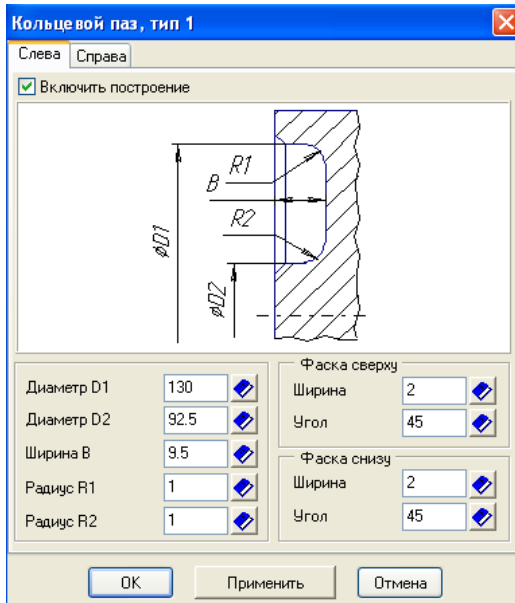


Рис. 6.24. Вікно завдання параметрів кільцевих пазів

2. Побудова кільцевих отворів. Для цього в діалоговому вікні побудови моделі виділите *Шестерня Z = 26*. Натисніть на кнопку *Додаткові елементи ступенів* і з контекстного меню, що розкривається, виберіть *Кільцеві отвори*. У діалоговому вікні (рис.6.25), що відкрилося, ввести значення: а) радіусу центру отвору; б) радіус отвору; в) кількість отворів. На полі креслення виконається побудова кільцевих отворів, а в діалоговому вікні (рис.6.15) з'явиться відповідний запис про цю операцію.

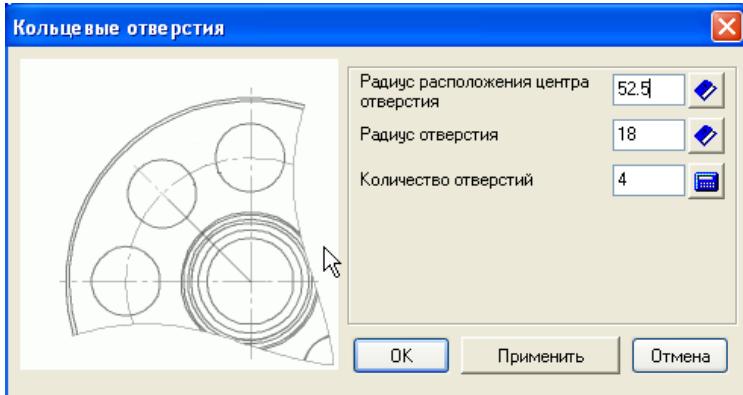


Рис. 6.25. Диалоговое окно «Кільцеві отвори»

3. Формування таблиці параметрів. З контекстного меню опції, що розкривається, *Додаткові елементи ступенів* виберіть *Таблиця параметрів* (рис. 6.26). У діалоговому вікні, що відкрилося, натисніть кнопку *OK*. На полі креслення з'явиться таблиця параметрів.

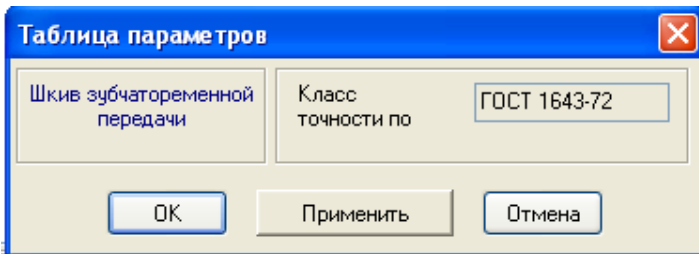
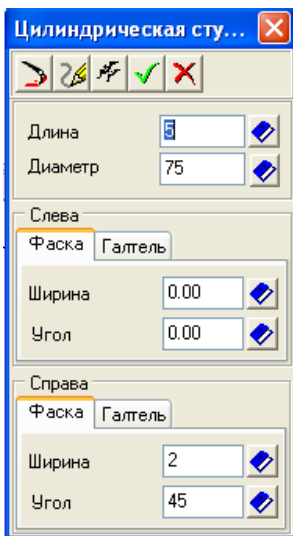
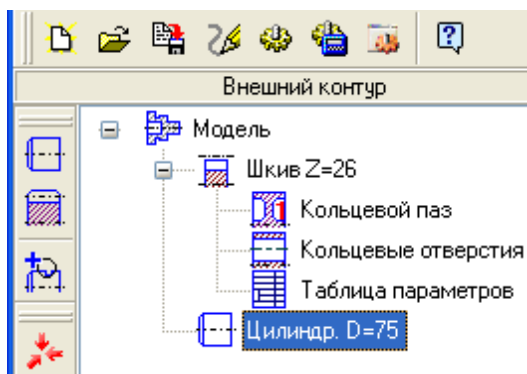


Рис. 6.26. Таблица параметров

4. Побудова маточини. Після виділення *Шестерня  $Z = 26$*  і актуалізації лівої панелі натисніть піктограму *Прості ступені* і з контекстного меню, що розкривається, виберіть *Циліндричний ступінь*. У діалоговому вікні, що відкрилося, введіть довжину і діаметр ступеня і розміри фаски з правого боку (рис.6.27, а). На полі креслення виконається побудова маточини, а в діалоговому вікні з'явиться відповідний запис про цю операцію (рис.6.27, б).



а



б

Рис. 6.27. Диалогові вікна побудови зовнішнього циліндричного ступеня:  
а – параметри фаски; б – дерево операцій

Для зображення профілю зубів шкива натисніть кнопку *Додаткові елементи ступенів* → *профіль зубів*. На полі креслення виконається побудова профілю зубів, а в діалоговому вікні з'явиться відповідний запис про цю операцію (рис.6.28).

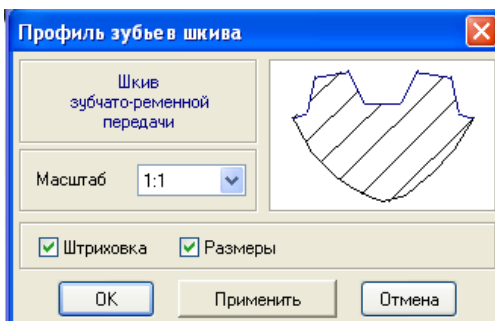


Рис. 6.28. Диалогове вікно профілю зубів

## Побудова внутрішнього контуру

Внутрішній контур шківів будується в наступній послідовності.

1. Побудова циліндричного ступеня. У контекстному меню піктограми *Прості ступені* вибрати *Циліндричний ступінь*. У діалоговому вікні, що розкрилося, заповнити відповідні поля рис. 6.29. На полі креслення виконається побудова наскрізного отвору, а в діалоговому вікні з'явиться відповідний запис про цю операцію.

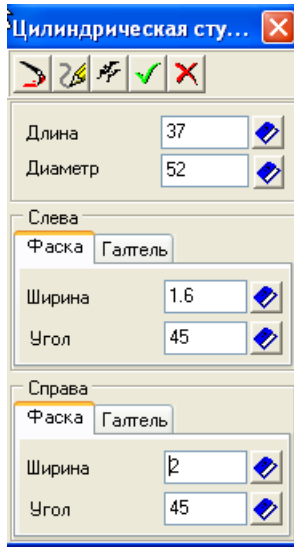


Рис. 6.29. Діалогове вікно внутрішнього циліндричного ступеня

2. Побудова шліцьової поверхні. З використанням кнопки *Додаткові елементи ступенів*, в контекстному меню, що розкрилося, виберіть *Шліци* → *Прямобочні шліци*. Відкриється діалогове вікно *Шліци прямобочні* (рис.6.30, а), в якому є можливість розрахунку шліцьового з'єднання. Після натиснення кнопки ОК в полі креслення з'явиться зображення шківів з шліцьовою поверхнею (рис. 6.30, б).

3. Для побудови виносного елемента - отвори з шліцями - натисніть кнопку *Додаткові елементи ступенів і з меню*, що



розкривається, виберіть Профіль шлиців. Відкриється діалогове вікно *Профіль внутрішніх прямобочних шлиців* (рис. 6.31), в якому фіксується масштаб зображення, встановлені прапорці в опціях *Штрихування і Розмір*. На полі креслення виконається побудова виносного елемента - отвори з пазом шпони, в діалоговому вікні з'явиться відповідний запис про цю операцію.

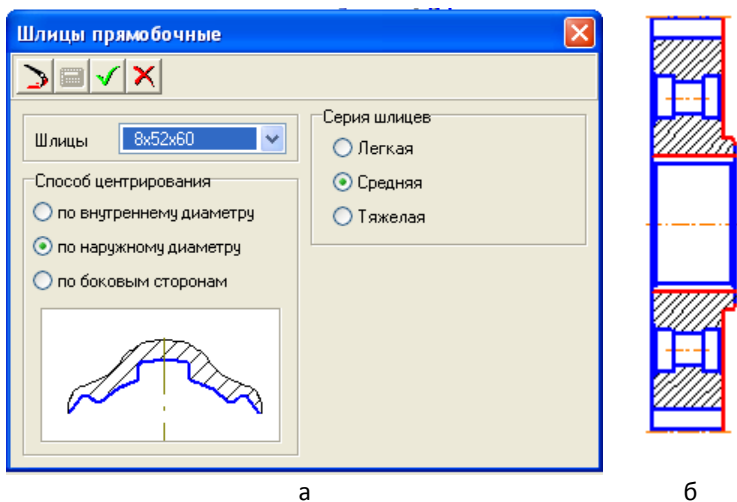


Рис. 6.30. Діалогове вікно «Шлицы прямобочные»: а – параметри шлиців; б – зображення шківa

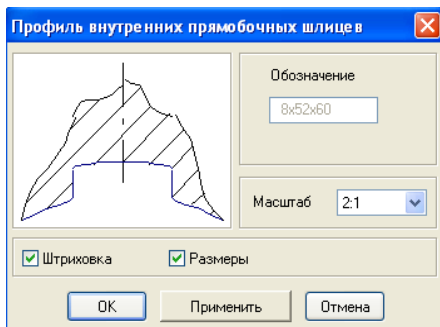


Рис. 6.31. Діалогове вікно параметрів прямобочних шлиців



### 6.4.3 D-проект оброблювального центру МЦ200ПФ4В

З використанням прикладних бібліотек КОМПАС-3D розроблений 3D-проект оброблювального центру МЦ200ПФ4В.

На рис.6.33 представлений поперечна переміщувана портална стойка, яка несе вертикально-рухливу шпindelну бабку з розміщеним в ній шпинделем з горизонтальною віссю обертання.

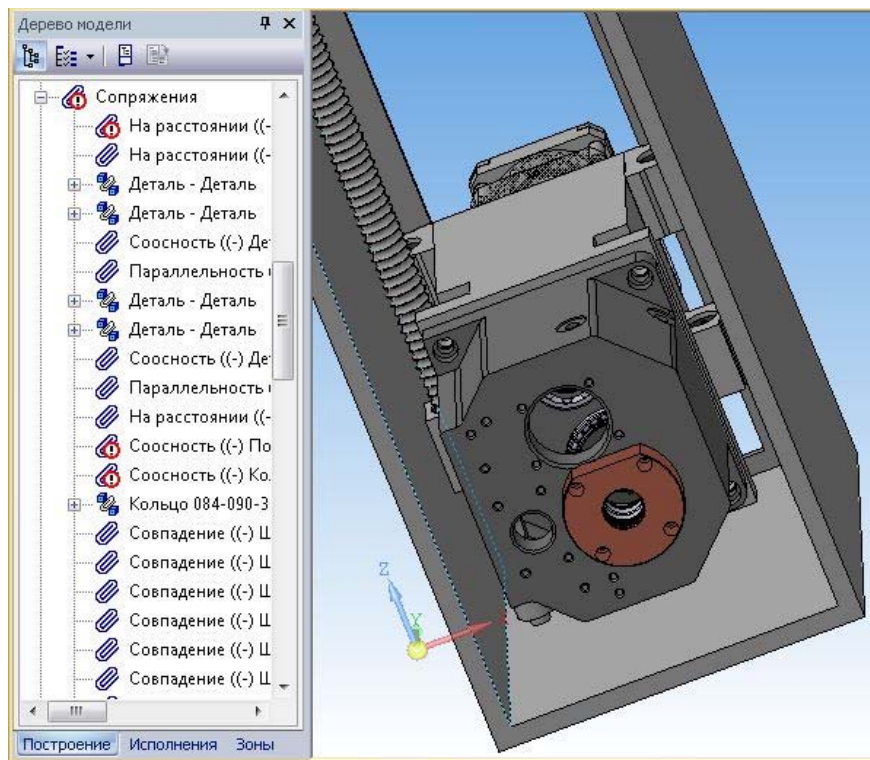


Рис. 6.33. Тривимірна модель порталу з шпindelною бабкою

Переріз шпindelної бабки з двоступінчатою коробкою швидкостей представлений на рис.6.34.

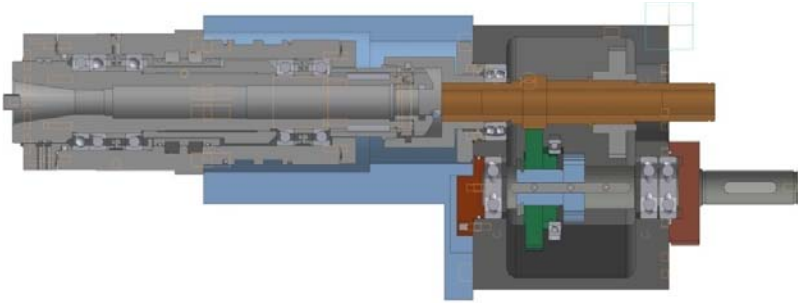


Рис. 6.34. Переріз шпиндельної бабки

Розроблена тривимірна модель (рис.6.35) формотворного шпиндельного вузла (ШВ) у вигляді двоопорної конструкції, змонтованої на двох опорах кочення :

- передня опора у вигляді триплексу - комплект з трьох радіально-упорних підшипників 2-46113, встановлених за схемою «Тандем - X» з попереднім натягом у вигляді двох різновисотних втулок;

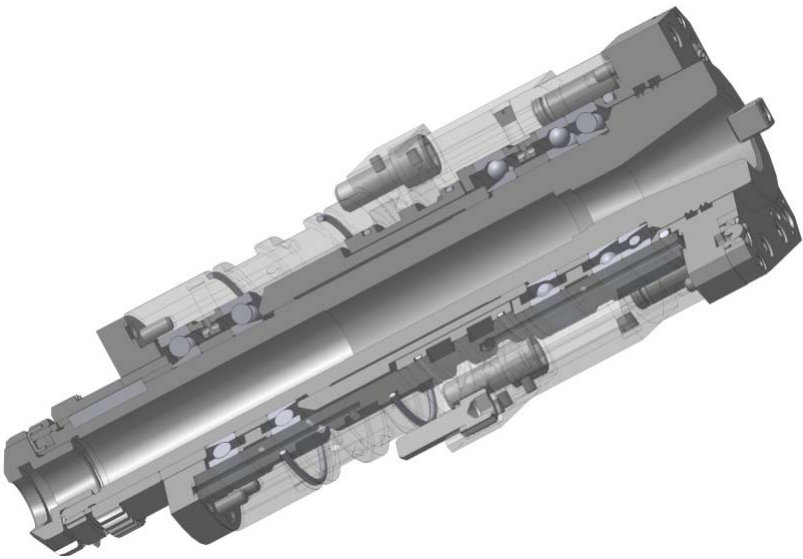


Рис. 6.35. 3D-модель шпиндельного вузла

- задня опора є комплектом з двох радіально-упорних підшипників 2-46111, встановлених за схемою «X - образною схемою» з попереднім натягом у вигляді двох різновисотних втулок.

Скористаємося принципом «від низу до верху» тобто спочатку побудуємо 3D-моделі складових деталей (корпус, фланець, напівмуфта, гайка та ін.) з подальшим їх об'єднанням в складальну конструкцію вузла (рис.6.36). Складальна конструкція шпindelного пристрою, складається з 149 деталей (26 оригінальних, 31 стандартизованих).

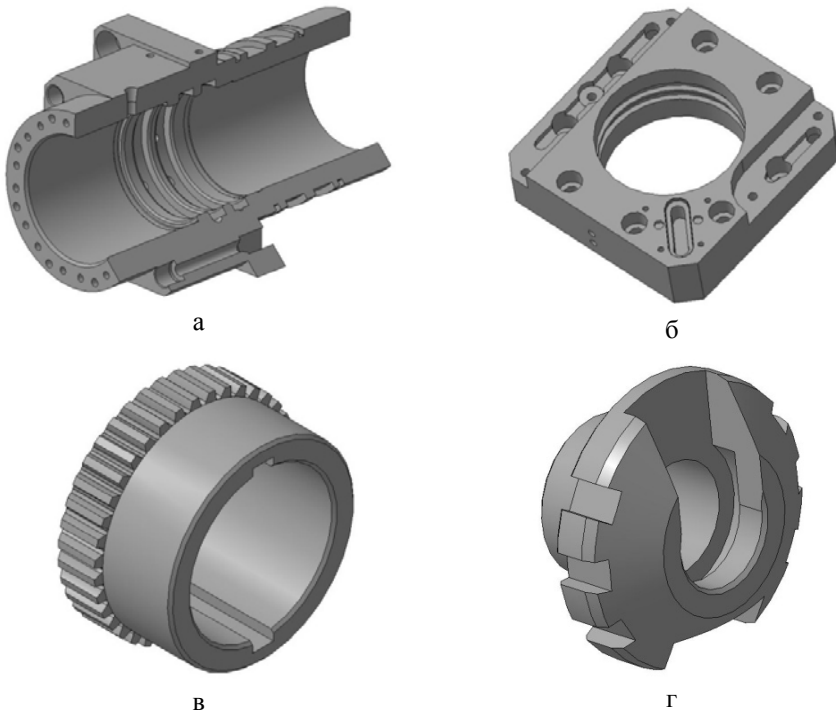


Рис. 6.36. 3D-моделі деталей шпindelного вузла :  
а – корпус; б – фланець; в – напівмуфта; б – гайка

Для підвищення реалістичності представлення (рис.6.37) конструкції використаний модуль рендерінга Photo360. У цьому модулі є можливість накладення текстур подібних до реальних; при

цьому або використовується наявна бібліотека структур або створюється своя власна.



Рис. 6.37. Рендерінг шпиндельного вузла

Для оцінки технологічності складання конструкції ефективно використати засоби анімації САПР SolidWorks Simulation (рис.6.38).

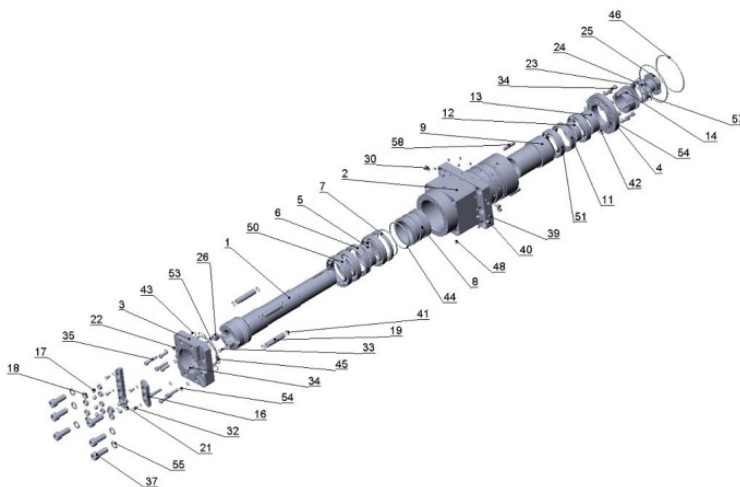


Рис. 6.38. Анімація складання шпиндельного пристрою

З анімаційним роликом можна познайомитися по наступному посиланню: <https://cloud.mail.ru/public/8vbr/R99JmRYPz>.

### Контрольні питання

1. Як побудувати максимальну кількість кільцевих отворів на маточині зубчастого колеса, і яка основна умова використовується при цьому?
2. Які способи використовуються для вибору точки, через яку проходить вісь проектованого ступеня зовнішнього або внутрішнього контуру?
3. З якими конструктивними площинами в якості початкової площини пов'язаний вибір напряму побудови ступеня?
4. Які параметри можна вибрати у вкладці Стандартні *вироби для «тілки»* Гвинти *нормальні*?
5. Які види сполучень передбачені для елементів кріплення в процесі кріплення деталей?
6. Які типи підшипників кочення представлені у Базі даних *Підшипники і деталі машин*?
7. Що разом із стандартним виробом передається в складання для автоматичного формування розділу *Стандартні вироби*?
8. Які дії необхідно виконати перед появою *Інструментальної панелі зовнішнього і внутрішнього контурів зубчатопасової передачі*?
9. Які варіанти використовуються при виборі механічних властивостей матеріалів проєктованих деталей?
10. Яким чином здійснюється генерація 3D-моделі на базі Вали і механічні передачі - 2D?

---

---

## ВИСНОВКИ

1. У даному навчальному посібнику розглянуті основні можливості інтегрованих САПР КОМПАС-3D та АРМ WinMachine відносно різноманітних задач проектування металорізальних верстатів та інструментального оснащення.

2. Дано аналіз основних розділів системи, які пов'язані з утворенням ескізів і формотворних операцій, додаткових конструктивних елементів, масивів елементів та інших можливостей систем автоматизованого проектування розглянуті на прикладі дослідження та моделювання конструкцій спеціалізованих фрезерно-свердильно-розточувальних верстатів другого і третього типорозмірів моделей СФ68ВФ4, СВМ1Ф4, СФ16МФ3 і МЦ200ПФ4 з використанням геометричного моделювання в САПР КОМПАС та інженерного аналізу з використанням модуля АРМ FEM.

3. Приведені рекомендації стосовно побудови 3D - моделі вищевказаних металорізальних верстатів і їх формотворчих вузлів в системі КОМПАС-3D, що дають реальне уявлення про конструкцію і є основою для проектних розрахунків і дослідження працездатності верстата.

4. Дано алгоритм утворення твердотільних моделей основних деталей шпindelних пристроїв в середовищі САПР КОМПАС-3D з широким використанням прикладних бібліотек КОМПАС і інструментарію параметризації.

5. Виконано рендерінг для утворення фото реалістичного зображення в модулі Artisan Rendering, інтегрованого в САПР КОМПАС.

6. Виконано моделювання процесу складання конструкції з використанням засобів анімації, що забезпечує ефективність процедури аналізу на технологічність.



7. Показана ефективність застосування прикладної бібліотеки проектування в 2D- і 3D-режимах багатоваріантного проектування зубчастопасових передач. Для дослідження працездатності системи автоматичної зміни заготовок запропонований комплекс твердотільних моделей основних її компонентів - дискового інструментального магазину на 14 позицій, автооператора і цілого набору 3D-моделей інструментального оснащення фрезерних верстатів.

8. Розроблено тривимірні моделі базових деталей металорізальних верстатів, які дають можливість реалізувати складні зборки і забезпечити створення моделей конструкцій верстата в цілому.

9. Широкий спектр описаних вище можливостей, що надаються інтегрованої САПР КОМПАС 3D і вбудованими в систему модулями АРМ FEM, Artisan Rendering і великого набору прикладних бібліотек дозволяє істотно поліпшити якість проектування металорізальних верстатів та інструментального оснащення, а також скоротити терміни конструкторської підготовки виробництва в машинобудуванні

---

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проников, А. С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Справочник-учебник в 3-х т. Т.1. Проектирование станков [Текст] / А.С. Проников, В.В. Бушуев, В.Э. Пуш и др. – М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.
2. Ганин Н.Б. Трехмерное проектирование в КОМПАС-3D / Н.Б. Ганин. – М.: ДМК, 2012. – 776 с.
3. Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач. – М.: Изд-во АПИМ, 2004. – 240 с.
4. Розинский С., Шанин Д., Григорьев С. Параметрические возможности графического модуля АРМ Graph системы АРМ WinMachine. САПР и графика, вып.11, 2001. – С.37-40.
5. Замрий А.А. Практический учебный курс CAD/CAE АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие / А.А. Замрий – М.: Изд-во АПИМ, 2007. – 144 с.
6. Магомедов А. Интегрированный конечно-элементный анализ в КОМПАС-3D / А. Магомедов, А. Алехин // CAD/CAM/CAE observer. – 2010. – #8(60). – С. 1-5.
7. Кроль О.С. Методы и процедуры динамики шпиндельных узлов: монография / О.С. Кроль. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2014. – 154 с.
8. Krol O. Modeling of construction spindle's node machining centre/ Krol O, Osipov V.//ТЕКА Com. Mot. and Energ. in Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, № 3, Lublin, Poland. – P. 108-113.
9. Кроль О.С. Расчет податливости станка СФ68ВФ4 и моделирование динамики формообразования/ О.С. Кроль, А.А. Кроль // Вісник СевНТУ, вип. 117 «Машинобудування та транспорт». – 2011. – С. 81-84.
10. Пуш А. В. Шпиндельные узлы. Качество и надежность / А.В. Пуш. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.
11. Krol O. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 [Text] /O.Krol, I.Sukhorutchenko. - Comission of Motorization and Power Industry of Agriculture. Vol.13, № 3. – Lublin, 2013. – P. 114-126.
12. Кроль О.С. Трехмерное моделирование многооперационного станка модели SVM1F4 в среде КОМПАС 3D/ О.С. Кроль, И.А. Сухорутченко// Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2014. – №4/7(70). – С. 13-18.

13. Krol O. 3D-modeling of the rotary table for tool SVM1F4 with non - clearance worm gearing O. Krol, S. Shevchenko, I. Sukhorutchenko, A. Lysenko [Text] // ТЕКА Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. –Vol.14. – № 1. 2014.– Lublin, Poland. – P. 126-133.
14. Детали машин, Учебник для вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М.: Высш.шк., 2005. – 408 с.
15. Решетов Д. Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
16. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 т. Т. IV-1. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка; под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1995. – 864 с.
17. Krol O. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3/ Krol O, Juravlev V. // ТЕКА Com. Mot. and Energ. in Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, No 4, Lublin, Poland. – P. 141-147.
18. Кроль О.С. 3D-моделирование и расчеты привода главного движения фрезерного станка с шестишпindelной револьверной головкой / О.С. Кроль, В.В. Журавлев // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – №40(1083). – С. 87-99.
19. Кроль О.С. Исследование шпиндельного узла многооперационного станка модели СФ16МФ3/ О.С. Кроль// Вісн. Східноукр. Нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2014. – № 6. – С. 121-125.
20. Кондрашова С.Г. Инженерное проектирование механизмов с использованием системы АРМ WinMachine/ С.Г Кондрашова, Д.А. Хамидулина, В.А. Лашков. – Вестник Казанского технологического университета, № 19. – 2011. – С. 193-198
21. Кроль О.С. Моделирование шпиндельного узла обрабатывающего центра/О.С.Кроль, Е.И.Бурлаков/ Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП» – № 11(985), 2013. – С. 33-38.
22. Кроль О.С. Твердотельное моделирование и исследование шпиндельного узла обрабатывающего центра / О.С. Кроль, А.А. Кроль, Е.И. Бурлаков/Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП» – №16(989), 2013. – С. 14-18.
23. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation/ А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
24. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский// Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. – 441 с.
25. Ганин Н.Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D/Н. Б. Ганин. – М.: ДМК, 2011. – 320 с.

26. Бальмонт В.Б. и др. Расчеты высокоскоростных шпиндельных узлов. – М.: ВНИИТЭМР, 1987. – 52 с.
27. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 2. Ч. 1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А. С. Проников, Е. И. Борисов, В. В. Бушуев и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 371 с.
28. Проектування металорізальних верстатів у середовищі АРМ WinMachine: підручник / О.С. Кроль, С.В.Шевченко, В.І.Соколов. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. – 386 с.
29. Кроль О.С. Построение параметрических моделей ременных передач с использованием системы АРМ WINMACHINE/ О.С. Кроль// Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Х.: - 2012. №2/7(62). – С. 61-63.
30. Кроль О.С., Кроль А.А. Использование САПР АРМ WinMachine в задачах исследования зубчатых ременных передач // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2012. – № 13(184). – С. 147-153.
31. Платонов Л. Машиностроительное проектирование в КОМПАС-3D V14 на новом витке развития, или Полезные новинки пакета обновлений MCAD SP1 от АСКОН / Л. Платонов // САПР и графика. – 2013. – № 10. – С. 6-12.
32. Голованев В. КОМПАС-3D от «Шафта» к «Валам и механическим передачам» / В. Голованев // САПР и графика, май 2013. – С. 22-23.
33. Платонов Л.15 новинок КОМПАС-3D V15/ Л. Платонов Л// САПР – журнал. – 2014. – № 6. – С. 7-21.
34. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / Под ред. И. А. Болотовского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
35. Маслов А.Р. Инструментальные системы машиностроительных производств / А.Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2006. – 336 с.
36. Аверьянов О.И. Основы проектирования и конструирования. Учебное пособие /О.И. Аверьянов, В.Ф. Солдатов. – М.: МГИУ, 2008. – 160 с.
37. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 953 с.
38. Металлорежущие станки. В 2 т. / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др. ; под ред. В.В. Бушуева. Т. 1. – М.: Машиностроение, 2012. – 608 с.

---

---

## З М І С Т

<b>ВСТУП</b> .....	<b>3</b>
<b>1. СИСТЕМА ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ САПР</b>	
<b>АРМ WINMACHINE</b> .....	<b>5</b>
1.1. Системи поверхневого моделювання.....	6
1.1.1. Математичний опис моделі .....	6
1.1.2. Поверхневе моделювання в модулі «АРМ Studio».....	7
1.2. Системи твердотільного моделювання.....	11
1.2.1. Функції моделювання .....	12
1.2.2. Твердотільне моделювання в модулі «АРМ Studio».....	14
1.3. Застосування поверхневого моделювання в завданнях проектування деталей і вузлів металорізальних верстатів.....	16
1.3.1. Поверхневе моделювання кронштейна в АРМ Studio.....	16
1.3.2. Поверхневе моделювання трубки в АРМ Studio .....	27
1.4. Твердотільне моделювання опори підшипника в АРМ Studio .....	31
1.4.1. Побудова моделі .....	32
1.4.2. Проведення розрахунку на міцність .....	33
Контрольні питання.....	38
<b>2. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА</b>	
<b>МОДЕЛІ СВМ1Ф4. ЕСКІЗИ І ФОРМОТВОРНІ ОПЕРАЦІЇ</b> .....	<b>39</b>
2.1. Побудова ескізів в системі КОМПАС.....	41
2.2. Формотворні операції в системі КОМПАС .....	43
2.3. 3D- моделювання багатоопераційного верстата СВМ1Ф4 .....	53
Контрольні питання.....	57
<b>3. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО</b>	
<b>ВЕРСТАТА МОДЕЛІ СФ16МФ3. ДОДАТКОВІ</b>	
<b>КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ</b> .....	<b>58</b>
3.1. Створення типових конструктивних елементів в КОМПАС- 3D..	60
3.2. 3D- проект багатоопераційного верстата моделі СФ16МФ3 .....	69
Контрольні питання.....	73

<b>4. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА</b>	
<b>МОДЕЛІ СФ68ВФ4. МАСИВИ ЕЛЕМЕНТІВ.....</b>	<b>74</b>
4.1. Процедури створення масивів в системі КОМПАС- 3D .....	77
4.2. 3D- проект оброблювального центру моделі СФ68ВФ4 .....	87
Контрольні питання .....	94
<b>5. ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ</b>	
<b>СИСТЕМ. ДОДАВАННЯ КОМПОНЕНТІВ В СКЛАДАННЯ .....</b>	<b>95</b>
5.1. Моделювання складань .....	95
5.2. Завдання положення компонента в складанні .....	101
5.3. Інструментальна система верстата моделі СВМ1Ф4 .....	104
5.4. Інструментальне оснащення.....	107
Контрольні питання .....	114
<b>6. 3D- МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО</b>	
<b>ВЕРСТАТА МОДЕЛІ МЦ200ПФ4В. ПРИКЛАДНІ БІБЛІОТЕКИ</b>	
<b>КОНСТРУКТОРА.....</b>	<b>115</b>
6.1. Додаток Вали і механічні передачі 3D .....	119
6.2. Бібліотека Стандартні Вироби .....	129
6.3. Проектування зубчастопасової передачі в системі КОМПАС.....	134
6.3.1. Інтерфейс бібліотеки Вали і механічні передачі 2D.....	135
6.3.2. Побудова моделі шківів зубчастопасової передачі.....	137
6.4. 3 D-проект оброблювального центру МЦ200ПФ4В .....	147
Контрольні питання .....	151
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>152</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>154</b>

Навчальне видання

КРОЛЬ Олег Семенович  
СОКОЛОВ Володимир Ілліч

**ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ  
ВЕРСТАТІВ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ**

*Навчальний посібник*

Друкується в авторській редакції

Оригінал-макет      Могильна О.В.

Підписано до друку 30.11.2016.  
Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір типогр. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 9,3. Обл.-вид. арк.10,6.  
Тираж 100 екз. Вид. № 3081. Замов. № . Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля**

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.  
Адреса університета: просп. Радянський 59-А  
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна  
e-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com.

**Надруковано у типографії Мадрид, ООО**

Свідоцтво про реєстрацію: ДК № 4399 від 27.08.2012.  
Адреса типографії: вул. Ольминського, 11,  
м. Харків, 61024, Україна  
e-mail: : info@madrid.in.ua