

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Машинобудування, екології та хімічних технологій

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра прикладної механіки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ С. О. Вірич
(підпис) (ініціали,

прізвище)

“ ” _____ 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ Магістр

(освітній ступінь)

на тему «Розробка системи автоматизованного проектування збірного
осьового інструменту»

Виконав: студент 2 курсу, групи МСМзм-18

(шифр групи)

спеціальності (напряму підготовки) 131 Прикладна механіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Неволін В.А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент, кандидат технічних наук Калафатова Л. П.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.*

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2020_ р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет Машинобудування, екології та хімічних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра прикладної механіки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ С. О. Вірич
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2020 р.

Пояснювальна записка

до випускної кваліфікаційної роботи

Магістра

(освітній ступінь)

на тему «Розробка системи автоматизованного проектування збірного
осьового інструменту»

Виконав: студент 2 курсу, групи МСМзм-18
(шифр групи)

спеціальності (напряму підготовки) 131 Прикладна механіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Неволін В.А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Мірошніченко О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Факультет Машинобудування, екології та хімічних технологій
Кафедра Прикладної механіки
Освітній ступінь Магістр
Спеціальність (напрямок підготовки) 131 Прикладна механіка

Вірич С.О. / _____ /
“ ” 2020 року

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник проекту (роботи) Мірошниченко О.В., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Огляд та аналіз існуючих систем САПР різального інструменту; 2. Аналіз конструкцій осьового інструменту; 3. Аналіз конструктивних елементів збірної осьового інструменту; 4. Розробка та опис дослідної САПР РІ; 5. Аналіз отриманої моделі методом кінцевих елементів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Мірошниченко О.В., к.т.н., доц.	14.02.2020 р.	15.05.2020 р.

7. Дата видачі завдання 14.02.2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих систем САПР різального інструменту	15.03.20	
2	Аналіз конструкцій осьового інструменту	25.03.20	
3	Аналіз конструктивних елементів збірної осьового інструменту	10.04.20	
4	Розробка та опис дослідної САПР РІ	10.05.20	
5	Аналіз отриманої моделі методом кінцевих елементів	13.05.18	
6	Оформлення магістерської кваліфікаційної роботи	14.05.20	
7	Оформлення презентації доповіді	15.05.20	

Студент

(підпис)

Неволін В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Мірошниченко О.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Неволін В.А. Розробка системи автоматизованого проектування збірного осьового інструменту. / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» (спеціалізація «Мехатронні системи та комплекси в технології машинобудування»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Системи автоматизованого проектування різального інструменту можуть бути використані в багатьох галузях машинобудування. Об'єднуючи всі вимоги до подібних систем, можна виділити чотири основні завдання, пов'язаних з проектуванням і експлуатацією різального інструменту:

1. Проектування нормалізованого інструменту. 2. Вибір інструмента для заданого виробничого процесу. 3. Проектування спеціального інструменту. 4. Розробка принципово нового інструменту.

Методологічною базою для кожного з наведених випадків є поелементний принцип проектування. Суть принципу полягає в тому, що інструмент розглядається, як сукупність елементів, кожен з яких виконує свою функцію. Крім того метод розділяє процес проектування на кілька етапів. Але на сьогоднішній день на вітчизняних машинобудівних підприємствах, системи автоматизованого проектування інструментів не використовуються. Інструменти проектуються за стандартними методиками з використанням CAD-систем в якості пристосувань для креслення. У зв'язки з чим, тема магістерської роботи є актуальною.

Мета магістерської роботи полягає в розробці інформаційного забезпечення проектування осьового інструменту за допомогою пакета DELCAM

Загальна методика досліджень. Теоретичні дослідження проводилися на основі програмування та комп'ютерного моделювання з використанням сучасного програмного забезпечення та засобів обчислювальної техніки.

Експериментальні дослідження виконувалися чисельними методами за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1) Розроблено алгоритм створення тривимірної моделі збірної осевого інструменту з механічним кріпленням збірних багатогранних пластин в автоматичному режимі на основі програмного пакету DELCAM.

2) Встановлено обмежувачі для створення систем автоматизованого проектування різального інструменту особливості програмного забезпечення пакету DELCAM:

- недостатній рівень параметризації – в системі PowerShape існують істотні обмеження на параметризацію елементів. Більшість базових етапів створення моделі не можуть бути виконані параметрично;
- робота з таблицями параметрів – в системі PowerShape не реалізована можливість збереження таблиць даних у зовнішніх файлах;
- експорт моделей – запропоноване програмне забезпечення пакету DELCAM не дозволяє експортувати суцільну деталь. Замість цього пропонується модель обмежена поверхнями, що вимагає додаткових побудов у зовнішніх системах автоматизованого проектування.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

Розглянуто більшість можливостей по створенню систем автоматизованого проектування збірної осевого інструменту. Запропоновано варіанти алгоритмів рішення типових блоків. Крім того, розроблені практичні рекомендації по створенню систем автоматизованого проектування різального інструменту.

Ключові слова: проектування, система, макрос, осевий інструмент, свердло, хвостовик, корпус, пластина

ANNOTATION

Nevolin VA Development of computer-aided design system for prefabricated axial tools. / Graduation qualification work for the educational degree "Master" in the specialty 131 "Applied Mechanics" (specialization "Mechatronic systems and complexes in mechanical engineering"). – DonNTU, Pokrovsk, 2020.

Automated cutting tool design systems can be used in many fields of mechanical engineering. Combining all the requirements for such systems, we can identify four main tasks related to the design and operation of cutting tools:

1. Design of a normalized tool. 2. The choice of tool for a given production process. 3. Design of a special tool. 4. Development of a fundamentally new tool.

The methodological basis for each of these cases is the element-by-element design principle. The essence of the principle is that the tool is considered as a set of elements, each of which performs its function. In addition, the method divides the design process into several stages. But today in domestic machine-building enterprises, computer-aided design systems are not used. The tools are designed according to standard methods using CAD-systems as devices for drawing. Therefore, the topic of the master's thesis is relevant.

The purpose of the master's work is to develop information support for the design of an axial tool using the DELCAM package

General research methods. Theoretical research was conducted on the basis of programming and computer modeling using modern software and computer technology. Experimental studies were performed by numerical methods using appropriate software.

Scientific news of the work in the following:

1) The algorithm of creation of the three-dimensional model made in the top part of the axial tool with external fastening with big polyhedral plates in the automatic mode on the basis of the DELCAM software package is developed.

2) The limited for creation of system automated designing of carving tools of special software packages DELCAM is established:

- insufficient level of parameterization - in the PowerShape system there are significant restrictions on parameterization of elements. Most of the basic steps of creating a model cannot be performed parametrically;
- work with parameter tables - in the PowerShape system the possibility of saving data tables in external files is not implemented;
- export of models - the offered software of the DELCAM package does not allow to export a continuous detail. Instead, the proposed model is limited by surfaces, which requires additional constructions in external computer-aided design systems.

The practical value of the work is as follows:

Most of the possibilities for creating automated design systems for prefabricated axial tools are considered. Variants of algorithms for solving typical blocks are proposed. In addition, practical recommendations for the creation of computer-aided design systems for cutting tools have been developed.

Keywords: design, system, macro, axial tool, drill, shank, body, plate

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	11
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ САПР РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ.....	15
1.1 Аналіз літератури, присвяченої САПР РІ.....	15
1.2 Аналіз літератури, пов'язаної з використанням САПР для створення моделі різального інструменту.....	20
1.3 Огляд сучасних тематичних іншомовних джерел.....	26
1.4 Огляд існуючих САПР РІ.....	29
1.5 Мета та задачі досліджень.....	30
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ.....	33
2.1 Робоча частина інструменту.....	33
2.2 Типи, конструктивні елементи і геометричні параметри зенкерів і розгортки.....	41
2.3 Особливості конструкцій зубів фрез.....	43
2.4 Огляд передових конструкцій осьового інструменту.....	44
2.5 Висновки за аналізом конструкцій.....	46
3 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗБІРНОГО ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ.....	47
3.1 Хвостовик.....	47
3.2 Корпус.....	55
4 РОЗРОБКА ТА ОПИС ДОСЛІДНОЇ САПР РІ.....	59
4.1 Розробка та обґрунтування блок-схеми системи.....	59
4.2 Введення початкових даних.....	60
4.3 Побудова моделей елементів інструменту.....	74
4.4 Об'єднання елементів інструменту в єдину збірку.....	108
4.5 Аналіз та висновки з роботи дослідної САПР РІ.....	118
5 АНАЛІЗ ОТРИМАНОЇ МОДЕЛІ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	120
ВИСНОВКИ.....	130
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	133
ДОДАТКИ.....	136
Додаток А – Текст головного макросу для проектування збірного інструменту в діапазоні діаметрів від 15 до 70 мм.....	137
Додаток Б – Текст макросу для проектування елемента «Корпус».....	140
Додаток В – Текст макросу для проектування елемента «Хвостовик НСК-А».....	162
Додаток Г – Текст макросу для проектування елемента «Хвостовик з конусом 7:24».....	170
Додаток Д – Текст макросу для проектування елемента «Ріжуча пластина».....	177

Додаток Є – Текст макросу для додання елементів в бібліотеку компонентів.....	186
Додаток Ж – Текст макросу для створення прив'язок між елементами.	188

ВСТУП

В останні два десятиліття все більше поширення одержують системи автоматизованого проектування. Такі системи дозволяють значно скоротити час проектування та введення в експлуатацію самого широкого спектру продукції: від архітектурних проектів до топології мікросхем. Системи САПР дозволяють вирішувати найрізноманітніші задачі, і застосовуються в різних галузях. Зокрема, в машинобудуванні найбільш поширені два види САПР: системи проектування технологічних процесів і системи твердотілого моделювання. Останні дозволяють провести дослідження міцності деталей і конструкторський аналіз вузлів і механізмів ще на стадії проектування, а також вносити виправлення прямо за ходом аналізу.

На сьогоднішній день розроблено кілька напрямків у системах твердотілого моделювання. Нижче перераховані найбільш поширені:

- CAD-системи – призначені для безпосереднього створення моделі.
- CAE-системи – призначені для автоматизованого розрахунку деталі.
- CAM-системи – призначені для автоматизованого написання керуючої програми для верстатів з ЧПК.

Провідні фірми-виробники САПР випускають програмні продукти, що включають у себе перераховані вище системи. Це робить їх більш привабливими для підприємств, що використовують САПР при проектуванні.

В результаті кризи 2008 року на ринок металообробного устаткування надійшла велика кількість верстатів із ЧПК, що морально застаріли, але ще не виробили свій ресурс. Така ситуація сприяла збільшенню числа дрібних фірм, що спеціалізуються на металообробці. Специфіка таких підприємств полягає в широкій номенклатурі виробів при їх низькій серійності. Виникає необхідність в короткі терміни розробити або вибрати із запропонованих

конфігурацію обладнання та конструкцію інструменту. Як наслідок, у цей період виникло кілька нових специфічних напрямків розвитку САПР. Одне з таких напрямків – САПР різального інструменту.

САПР різального інструменту може бути використаний в багатьох галузях машинобудування. Об'єднуючи всі вимоги до подібних САПР можна виділити чотири основні завдання, пов'язаних з проектуванням і експлуатацією різального інструменту:

1. Проектування нормалізованого інструменту – типова завдання, що стоїть перед конструктором-інструментальником. При її рішенні використовується широкий діапазон різних державних і галузевих стандартів.

2. Вибір інструмента для заданого виробничого процесу з наявного – на сьогоднішній день ця проблема отримує все більшу актуальність внаслідок збільшення частки дрібносерійного виробництва в загальному обсязі машинобудування.

3. Проектування спеціального інструменту – проектування інструменту, відмінного умовами експлуатації або геометричними параметрами (формою, розмірами). У подібному випадку так само широко використовуються різні рекомендації, однак процес вимагає творчого підходу до вибору параметрів.

4. Розробка принципово нового інструменту – найбільш складне завдання, що вимагає творчого підходу, великого досвіду і знань від конструктора, а також застосування сучасних евристичних методів і великих електронних баз даних.

Методологічною базою для кожного з наведених випадків є поелементний принцип проектування. Суть принципу полягає в тому, що інструмент розглядається, як сукупність елементів, кожен з яких виконує свою функцію. Кожен елемент може мати кілька варіантів конструктивного виконання, що дозволяє створювати конструкції, найбільш підходящі до заданих умов роботи. Крім того метод розділяє процес проектування на

кілька етапів. На початку проектування інструмент являє собою мінімум геометричних примітивів, пов'язаних таким чином, щоб найбільш точно повторювати основну форму інструменту. На кожному наступному етапі модель ускладнюється до тих пір, поки не набуде вигляду готового інструменту з усіма необхідними геометричними параметрами. Такий підхід дозволяє уніфікувати весь процес моделювання.

Мета магістерської роботи полягає в розробці інформаційного забезпечення проектування осьового інструменту за допомогою пакета DELCAM

Загальна методика досліджень. Теоретичні дослідження проводилися на основі програмування та комп'ютерного моделювання з використанням сучасного програмного забезпечення та засобів обчислювальної техніки. Експериментальні дослідження виконувалися чисельними методами за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

3) Розроблено алгоритм створення тривимірної моделі збірного осьового інструменту з механічним кріпленням збірних багатогранних пластин в автоматичному режимі на основі програмного пакету DELCAM.

4) Встановлено обмежуючі для створення систем автоматизованого проектування різального інструменту особливості програмного забезпечення пакету DELCAM:

- Недостатній рівень параметризації – в системі PowerShape існують істотні обмеження на параметризацію елементів. Більшість базових етапів створення моделі не можуть бути виконані параметрично.

- Робота з таблицями параметрів – в системі PowerShape не реалізована можливість збереження таблиць даних у зовнішніх файлах.

- Експорт моделей – запропоноване програмне забезпечення пакету DELCAM не дозволяє експортувати суцільну деталь. Замість цього пропонується модель обмежена поверхнями, що вимагає додаткових побудов у зовнішніх САПР.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

Розглянуто більшість можливостей по створенню систем автоматизованого проектування збірних осьових інструментів. Запропоновано варіанти алгоритмів рішення типових блоків, що утворюють САПР РІ. Крім того, розроблені практичні рекомендації по створенню систем автоматизованого проектування різального інструменту.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ САПР РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Методологічні основи САПР різних об'єктів і процесів були закладені і великою мірою реалізовані в вітчизняній промисловості в 70 – 80-их рр. З середини 90-их, незважаючи на загальний економічний спад, спостерігалася інтенсивна комп'ютеризація, як досліджень, так і виробництва, а також різке розширення можливостей технічного та програмного забезпечення. Виникле протиріччя зумовило необхідність впровадження різних САПР, у тому числі САПР різального інструменту (РІ).

1.1 Аналіз літератури, присвяченої САПР РІ

Ю.Є. Петухов [1] виділяє наступні найбільш актуальні та перспективні напрямки в створенні САПР РІ:

- 1) розробка та розвиток баз даних, що утворюють разом із системами управління ними банк даних;
- 2) розробка модулів бази знань; розширення системного підходу на всіх рівнях САПР; використання методів математичного моделювання та оптимізації;
- 3) візуалізація проектування; розробка галузевих САПР РІ.

Так само у статті розглядається структура інформаційної бази САПР. Такі системи, крім банку даних, систем пошуку і документування, включають в себе досліджувальні модулі (ДМ), які можуть бути використані як елементи бази знань. Загальні ДМ охоплюють наступні об'єкти (рис. 1.1): інструментальні матеріали (властивості і вибір); базові елементи, вузли та синтез конструкції РІ; геометричні (кутові) параметри РІ; схеми різання; фактори, що характеризують процес формоутворення РІ і оброблюваної їм деталі. Ю.Є. Петухов розглядає основні способи реалізації підсистеми САПР,

що характеризують процес формоутворення, і призводить методи вирішення даної задачі. Візуалізація проектування шляхом використання графічних моделей і математичних залежностей як на стадії аналізу і досліджень, так і при отриманні остаточних результатів і робочих конструкцій полегшує роботу конструктора, робить процес проектування наочним, а в ряді випадків дає можливість швидко отримувати оптимальне рішення. Комп'ютерне моделювання різних РІ з урахуванням що використовуються в промисловості вимірювальних засобів дозволяє розробити підсистему САПР РІ, забезпечує контроль складних ріжучих крайок. Ця підсистема передбачає:

- 1) розрахунок ріжучої кромки – проектний або (якщо є робоче креслення) перевірочний;
- 2) вибір способу контролю і вимірювального приладу;
- 3) вибір технології контролю для конкретних приладів, наявних у виробника та споживача РІ;
- 4) розроблення технології отримання крайок при виготовленні і переточування РІ з урахуванням обраного способу контролю;
- 5) розроблення способу збереження точності крайок після переточувань РІ.

Однак, крім узагальнення завдань, розв'язуваних САПР РІ в статті не розглянуті практичні аспекти створення подібних систем. Не наведено основні елементи інструменту, а також параметри цих елементів, їх вплив на якість і продуктивність роботи. Крім того, автор опускає вплив виду та умов обробки на вибір його геометричних форм і розмірів. Тобто, у статті робиться акцент не на практичну сторону застосування САПР РІ, а на теоретичну складову і актуальність впровадження подібних систем та інформаційну складову їх побудови.

Ю. А. Новоселов розглядає у своїй роботі [5] проблематику автоматизації проектування ріжучих інструментів. Автор робить акцент на порушення методів і алгоритмів САПР в залежності від виду проектного РІ. Розглянута проблема значно ускладнюється ще і багатоваріантністю

самого процесу різання. Для розробки САПР РІ, універсальної по відношенню до будь-якої можливої різновиди РІ, автор пропонує використовувати принципово новий підхід, заснований на глибоких методологічних дослідженнях процесу різання і РІ. Такі дослідження дозволять створити узагальнену абстрактно-логічну (математичну) модель процесу різання і РІ розробити і на її основі єдиний комплекс взаємопов'язаних понять, теорій і програм автоматизованого проектування (у тому числі і графічного зображення) будь-якого РІ. Різноманітні ТП обробки різанням, що використовуються на сучасних машинобудівних підприємствах, розрізняються багатьма принциповими особливостями. До них можна віднести наступне:

- форма і розміри деталі, що виготовляється;
- кількість, форма, розміри й взаємне розташування оброблюваних поверхонь;
- необхідну якість обробленої поверхні і поверхневого шару;
- тип і модель, структурні характеристики та технологічні можливості верстата;
- вигляд головного руху і місце його застосування; кількість, вид і місце прикладення рухів подачі; параметри загальної форми РІ;
- спосіб і кути установки РІ на верстаті; геометричні параметри ріжучої частини РІ; режими різання і т. і.

Реалізація кожної з цих особливостей може забезпечуватися різними (іноді декількома) конструктивними варіантами РІ. У зв'язку з такою різноманітністю варіантів Ю. А. Новоселів проводить ідентифікацію РІ. Під ідентифікацією об'єктів мається на увазі розробка наукових основ уподібнення один одному однотипних об'єктів, що розрізняються по будь-якому ознак. В якості моделі для ідентифікації автор пропонує універсальну кінематичну модель процесу різання, наведену на рисунку 1.2.

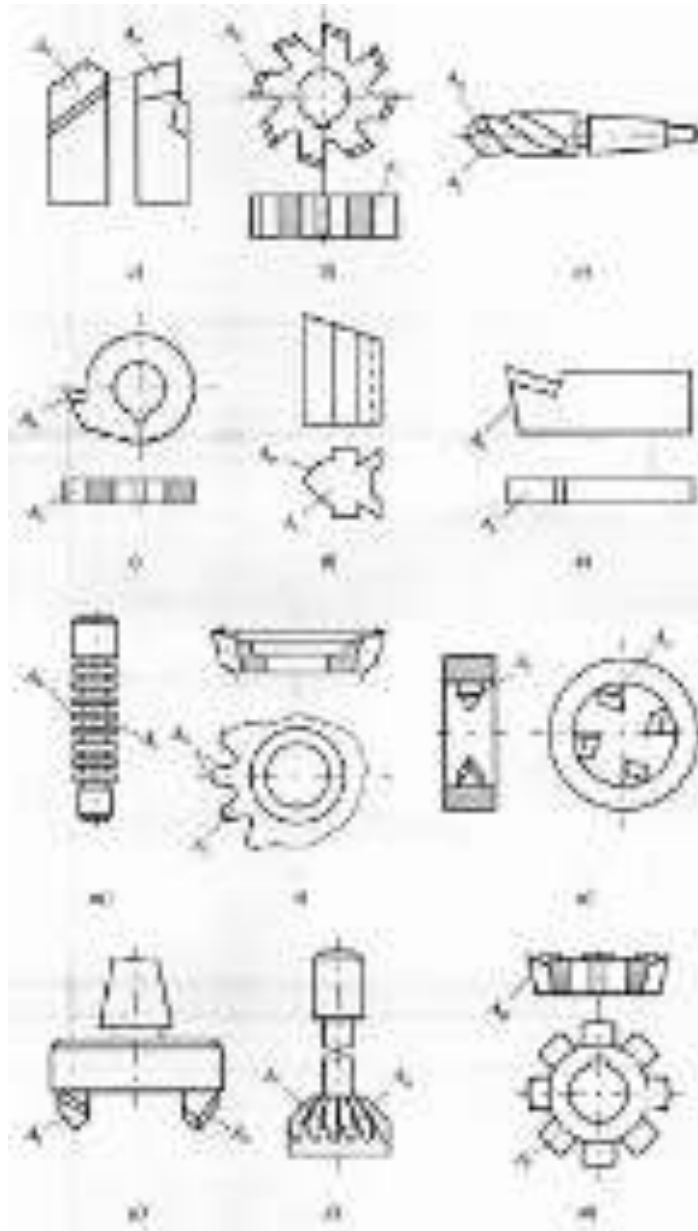


Рисунок 1.1 – Несистематизований набір представників різальних інструментів

При цьому передбачається, що заготівка обов'язково розташована на схемі ліворуч, а РІ – праворуч. Крім того, будь-який РІ в такій схемі повинен займати положення, при якому його власні взаємно перпендикулярні осі (як геометричного тіла) з початком O в цій точці ріжучої кромки були б паралельні осям X , Y і Z ТСК, а три кута його леза (передній, кут нахилу ріжучої кромки і головний кут в плані) були б рівні нулю. Вперше запропонована в даній статті універсальна кінематична модель процесу

різання і універсальна компоновальна схема розташування необхідних і можливих проекцій, видів і перерізів при виконанні креслень будь-яких лезових РІ може служити базою для створення єдиної системи автоматизованого проектування і креслення різноманітних конструктивних варіантів зазначених РІ з урахуванням їх будь-яких геометричних особливостей.

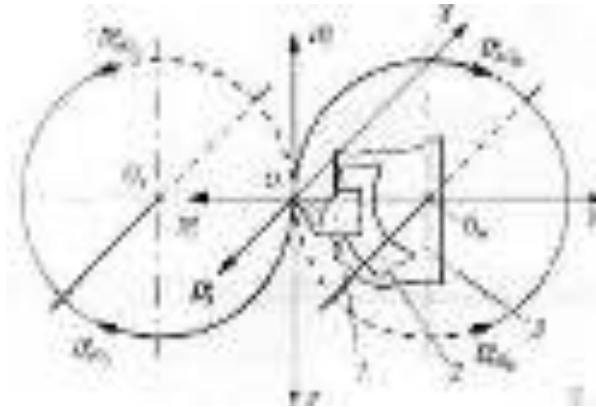


Рисунок 1.2 – Універсальна кінематична модель процесу різання (1 – різець; 2 – фреза; 3 – протягання; заштрихована область – загальні лезо трьох РІ)

Однак запропонований метод, незважаючи на універсальність, має ряд недоліків:

- складність практичного застосування зазначеної системи побудови внаслідок того, що для одержання конкретної моделі інструменту доводиться вводити безліч додаткових даних;
- модель не враховує спосіб виконання інструменту (цільний, збірний, і т.п.);
- запропонована модель не враховує впливу умов роботи інструменту на його геометрію.

1.2 Аналіз літератури, пов'язаної з використанням САПР для створення моделі різального інструменту

Г.С. Железнов [2] за допомогою побудови твердотільних моделей досліджує залежність сил, що діють на фасці зносу інструменту по задній поверхні від факторів процесу різання (силові, теплові, деформаційні), і від технологічних параметрів (шорсткість поверхні, точність, наклеп поверхневого шару, залишкові напруги). Так само автор відзначає, що при чорнової обробки зазначені процеси також істотно впливають на технологічні параметри, хоча частка сил, що діють на фасці зносу, в загальному балансі сил незначна. У зв'язку із зазначеним вище вирішальне значення набувають аналітичні й чисельні методи. При цьому повнота і точність рішення визначаються ступенем наближення цієї моделі до реального процесу обробки. Така модель повинна в першу чергу відображати фізичну природу виникнення контактних навантажень. У роботі [2] наведено залежності для розрахунку сил на фасці зносу при наступних припущеннях:

1. Епюра розподілу контактних нормальних напружень по ширині фаски зносу прийнята рівномірною.
2. Пружні деформації леза РІ і сили тертя на фасці зносу не впливають на епюру розподілу контактних нормальних напружень.
3. Сили стружкоутворення не впливають на контактні процеси і навантаження на фасці зносу.
4. Передня і задня поверхні леза РІ сполучаються з круговою циліндричною поверхнею.
5. Коефіцієнт тертя на зазначеній поверхні сполучення відповідає температурі різання на передній поверхні у різучої кромки.
6. Розглядаються режими чистової обробки, при яких наростоутворення відсутнє.

Дослідження проводилися на віртуальній моделі, (рис 1.3).

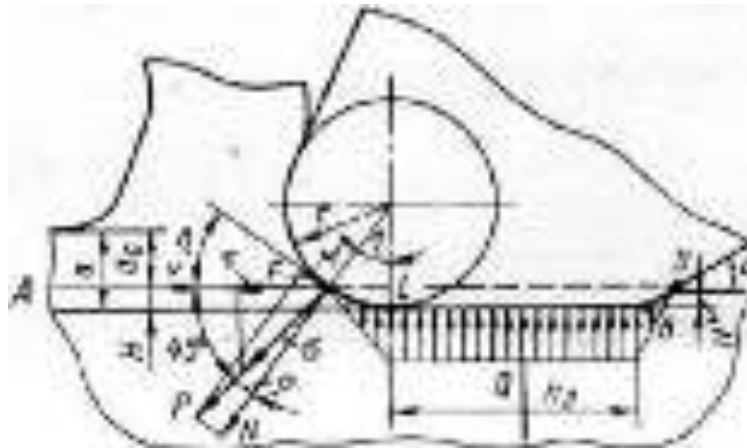


Рисунок 1.3 – Геометрія області контакту РІ с заготівкою із фаскою зносу

За результатами експериментальних даних автор робить такі висновки: Найбільший вплив на силу Q надає коефіцієнт тертя μ на поверхні округлення леза: з його збільшенням ця сила інтенсивно зменшується і при $\mu = 1$ перестає діяти ($Q = 0$).

Збільшення твердості НВ оброблюваного матеріалу призводить до зростання сили Q .

Вплив заднього кута α на силу Q подібно до впливу коефіцієнта тертя, однак висловлено не так явно.

Збільшення ширини b зрізаного шару призводить до зростання сили Q , однак темп зростання сили відстає від темпу збільшення ширини зрізаного шару.

Збільшення ширини h фаски зносу викликає істотне зростання сили Q як з-за збільшення площі поверхні фаски, так і внаслідок збільшення радіусу округлення ріжучої кромки. Тому темп зростання сили Q перевищує темп зростання ширини фаски зносу.

В роботі [3]. А. Гречишников, В. І. Бернс, розглядають можливу послідовність рішення плоскої (двовимірної) задачі розрахунку на кручення

стебла свердла з прямими стружковими канавками при розподілі його поперечного перерізу методом кінцевих елементів.(рис. 1.4)

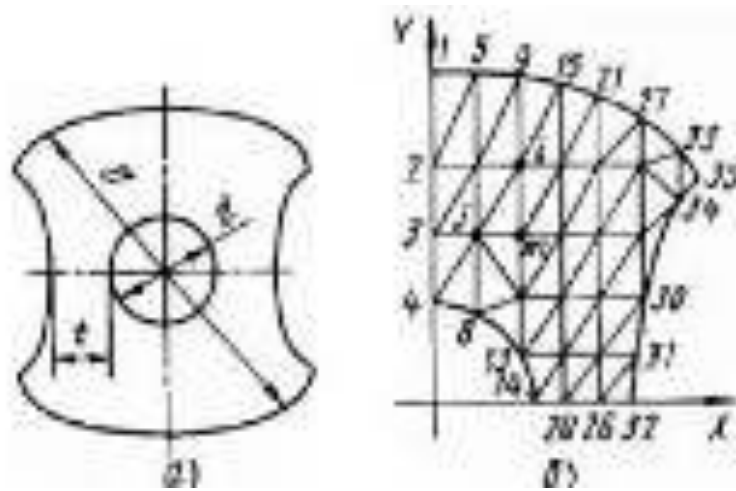


Рисунок 1.4 – Поперечне січення свердла для глибокого свердління (а) и розбиття 1/4 його січення на кінцеві елементи (б)

Автори роботи відзначають, що використання ЕОМ значно знижує трудомісткість розрахунків, дозволяє оперативно аналізувати напружений стан свердла складного перетину, порівнювати жорсткість свердел різної конструкції і оптимізувати процес проектування.

Н. А. Чемборисов, А. І. Фасхутдинов у своїй роботі [4] розглядають осьовий інструмент з точки зору його формоутворення й виділяють наступні методи визначення профілю інструменту: 1) шляхом визначення сполучених точок за допомогою загальних нормалей і дотичних; 2) шляхом визначення профілю як обвідної суміщених кругових проекцій перетину деталі. Недоліком зазначеного способу обробки є складність розрахунків. У роботі вирішується кінематична задача, суть якої в тому, що по заданому масиву точок дотику визначають координати центру ШК в процесі шліфування зубів на ріжучої частини інструменту, (рис 1.5, - 1.7).

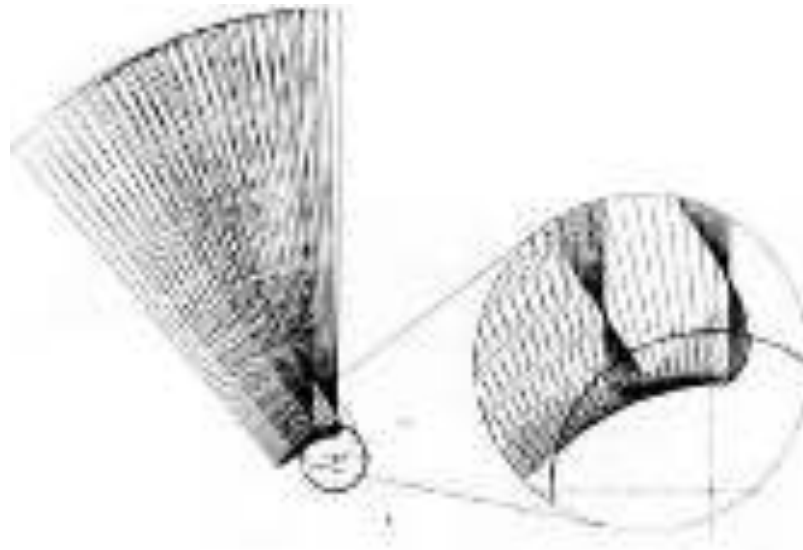


Рисунок 1.5 – Профіль канавки

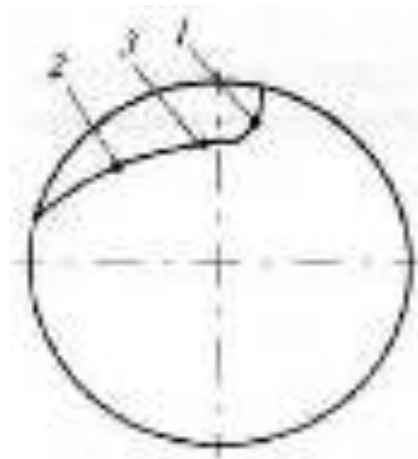


Рисунок 1.6 – Схема утворюючих профілю. Криві 1 та 3 – утворюючі, 2 – точка переходу між кривими



Рисунок 1.7 – Тривимірне зображення профілю канавки

Показано порядок вирішення кінематичної завдання. Наведена авторами система може бути вирішена чисельними методами з використанням комп'ютера. Рішення системи рівнянь дозволяє отримати параметри моделі інструменту з високою точністю з точки зору повторення геометрії реального РІ. Даний метод дозволяє отримати будь-який профіль інструменту. Зміна параметрів установки дозволить впливати на одержуваний профіль.

С. В. Сергіїв [6] розглядає роботу дволезового спірального свердла, як складний динамічний об'єкт. Для проведення досліджень була побудована тривимірна модель свердла. При цьому крім сил, що діють на передні і задні кромки, враховується також і вплив геометрії, а так само кінематики процесу. Дослідження проводяться на віртуальній моделі інструменту(рис. 1.8).

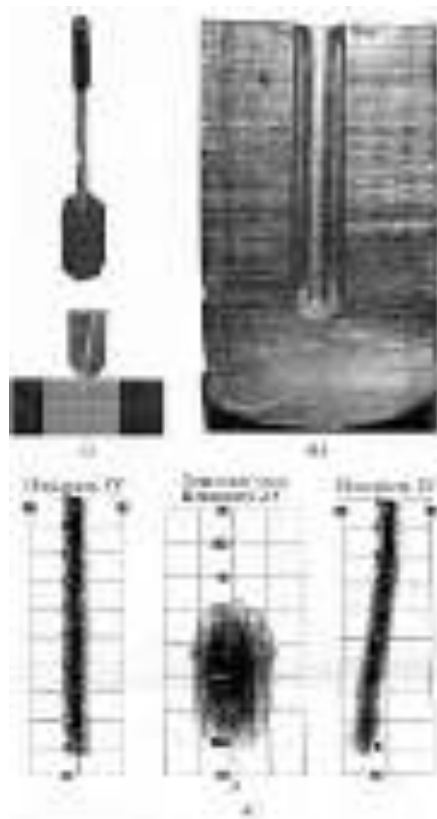


Рисунок 1.8 – Результати комп'ютерного дослідження: а — кінцево-елементна модель процесу свердління; б — продольний зріз отвору з уводом;

в — результати комп'ютерного розрахунку величини и напрямку уводу отвору

В результаті автор отримує математичну модель, що описує кінематичну геометрію інструменту і її вплив на точність обробки. В роботі так же наведені основні види похибок, викликані динамічної нестійкістю процесу і умови їх виникнення.

Ю. А. Кряжев, Е. С. Огневенко, Е. В. Титова [7] у своїй роботі проводять вивчення основних характеристик контактних процесів на робочих поверхнях спірального свердла. Для проведення даного дослідження були обрані математичні залежності, які описують контактні процеси, а так само складена віртуальна модель спірального свердла (рис. 1.9).

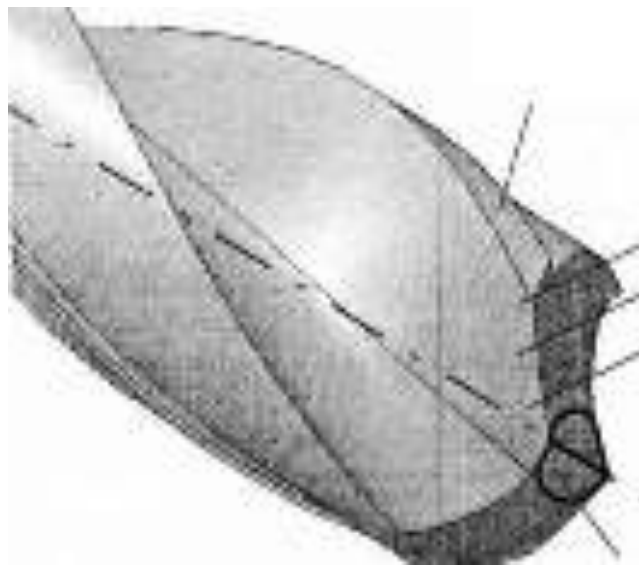


Рисунок 1.9 – Розподіл величини середнього контактного тиску q_N на поверхнях ріжучих елементів спірального свердла

На підставі цих даних були отримані теоретичні дані, які потім були проведені на практиці. За результатами проведеної роботи автори статті роблять висновки про те, що величина середньої контактної тиску q_N на робочих поверхнях спірального свердла зменшується по напрямку від перемички до периферії. Внаслідок цього, середній коефіцієнт тертя μ на передній поверхні у вказаному напрямку збільшується. Збільшення

коефіцієнта тертя μ , вочевидь, призводить до більш інтенсивного зношування куточків і стрічок спірального свердла порівняно з іншими його ріжучими поверхнями при різанні заготовок з сірого чавуну, на так званих помірних режимах різання.

1.3 Огляд сучасних тематичних іншомовних джерел

Аналіз тематичних іншомовних джерел показав, що в провідних індустріальних країнах спостерігається схожа ситуація: при наявності матеріальної бази та промислової необхідності відсутня інформаційна складова, необхідна для створення систем автоматизованих систем проектування різального інструменту, а саме:

- Рекомендації до розробки загальних алгоритмів САПР РІ;
- Загальні стандарти для розробки тривимірних моделей різального інструменту.

Однак, найбільші промислові об'єднання зацікавлені у створенні таких систем. Так, у 2008 р. одним з провідних американських промислових концернів, «Makino, Inc», був проведений огляд актуальності даних систем у США та стану їх розвитку. Звіт аналітичного відділу складався з наступних частин:

1) Актуальність теми:

У сучасному виробництві, управління інженерно-технічними роботами і виробничими ресурсами ведеться в декількох ключових напрямках:

Збільшення споживання продукції. Без сумніву, виробництво більшого обсягу продукції за менший час - актуальна задача практично для будь-якого виробництва. Як один з варіантів досягнення такого завдання, багато компаній здають обладнання, що простоює, в оренду. Як результат, дрібні підприємства, які використовують таке обладнання, дають 50% обсягу виробництва, і їх частка продовжує зростати. Менші фірми-виробники, не

уповільнені існуючою інфраструктурою, можуть швидше запровадити нову технологію і виробничі концепції.

Більш короткі затримки: Ключова стратегія при досягненні більш високої продуктивності якомога швидше полягає в тому, щоб знизити затримки виробництва.

Збільшене використання пристроїв: Ще один ключовий фактор, що впливає при досягненні зменшених виробничих затримок – збільшення обсягу на одиницю існуючого обладнання (збільшення їх тривалості роботи) Безперервно покращена якість продукту: Глобальна конкуренція вимагає високої якості продукту. Оскільки нові якісні віхи досягнуті, споживчі очікування збільшаться.

2) Нові тенденції і технології:

Швидкий технологічний прогрес машин, засобів управління та різучих інструментів обумовив ситуацію, коли маленькі компанії встигають іноді швидше, ніж великі споживачі пристосувати, прийняти, і включити нові здібності.

Маленькі компанії-виробники можуть з сьогоdnішніми доступними технологіями становити конкуренцію за якістю і продуктивністю промисловим гігантам.

Розвиток матеріалів різального інструменту: Щодо основних матеріалів різального інструменту (карбіди, їх пов'язані покриття, металокераміка, і кераміка) можуть бути передбачені наступні тенденції:

Карбіди. Розвиток дійсно триває в напрямку забезпечення безпеки і більш широкої області застосування.

Тверді покриття: Розвиток від CVD (приблизно 50 % покриттів на сьогодні) до PVD, який може покрити різучий край. Нові матеріали покриття включають TiAlN і TiB₂ методами PVD.

Металокераміка: Чудовий опір деформації і хімічному зношуванню дозволяє використовувати в напівчистових і чистових операціях. Покриття далі покращують дію цієї сучасної денний металокераміки.

Кераміка: Удосконалення розширили їх область застосування

Розвиток геометрії різця: Зростаюча тенденція до максимізації продуктивності і більш високих питомих з'ємів матеріалу зумовила потребу в розвитку дуже точних і надійних процесів обробки. Традиційні методи, що використовуються в промисловості, засновані на попередньому досвіді, великій кількості експериментів, емпіричних методах і методі проб. Сучасні промислові практики змушені звернутися до старих звичних експериментів і методів проб і помилок.

Термін "технологічність" історично застосовується тільки до матеріалу обробки. Однак є кілька систем баз даних технологічності, які засновані на обширних експериментальних даних. Багато які з цих баз даних були об'єднані в комерційні САПП (системи автоматизованого планування процесу). Однак, з розвитком нових матеріалів різця, покриттів і стилів поглиблення пластини, ці бази даних застарівають протягом дуже короткого проміжку часу. Крім того, експерименти покладаються великою мірою на пророкування робочих характеристик обробки, заснованих на одному або двох параметрів обробки замість того, щоб оцінити сукупний ефект всіх параметрів.

Інша проблемна область для промисловості – повільність міжнародних посібників (наприклад, Міжнародна Організація по Стандартизації і ANSI) в оновленні стандартів. Ясний приклад - стандарти зносу інструменту – останнє оновлення 1993.

3) Інноваційні методи обробки:

У той час як попит на підвищену продуктивність по більш низькій вартості продовжує кидати виклик фірмам-виробникам, стає життєво важливо розвинути і здійснити інноваційні технології виробництва. Співпрацюючи з виробниками верстатів і постачальниками набору інструментів, кінцеві користувачі можуть досягти деяких цінних переваг продукції. Наступні приклади стосуються автомобільного виробництва з

допомогою обробних центрів в протилежність традиційної конвеєрної лінії. Підхід обробного центру забезпечує додаткову гнучкість процесу.

4) Підвищення швидкості машинної обробки:

На додаток до інноваційних концепцій підбору інструментів, які підвищують продуктивність, збільшення швидкості обробки і переваги, пов'язані з цими підвищеннями, дозволяють збільшити знімання металу. Тому попит на високошвидкісні верстати збільшується.

5) Вибір концепцій балансування інструменту:

Зі збільшенням числа машин з високою частотою обертання шпінделя і застосувань високошвидкісних осьових інструментів, балансування стає критичною вимогою, необхідною щоб гарантувати задовільні робочі характеристики, безпеку оператора, і довговічність машини. Кілька концепцій балансування існують, включаючи регульовані кільця, радіально розташовані гвинти, які можуть бути вручну відрегульовані, і т.д. Всі ці концепції повинні використовуватися в поєднанні з регулювальною машиною, яка вказує оператору, де нестійкість, щоб внесені коригування виправили проблему, залишивши незбалансованість в допустимих межах.

В якості висновків аналітичною групою було рекомендовано підтримувати розвиток різноманітних спеціальних систем САПР, зокрема САПР різального інструменту

1.4 Огляд існуючих САПР РІ

Зараз найбільше поширення САПР РІ отримали в системах автоматизованої підготовки виробництва. Такі системи дозволяють відтворити макрогеометрію інструмента з метою перевірки її на технологічність. Внаслідок такої специфіки розрахункові модулі САПР РІ включаються не в CAD-системи, а в CAM-системи. Найбільше поширення одержали системи «PowerMill» і «ARTCAM» та ін.

САПР РІ системи «PowerMill» дозволяє створювати спрощені моделі осьових інструментів. Моделі містять у собі інформацію про діаметр інструменту, довжину його ріжучої частини, форму і розміри хвостовика і дозволяє при необхідності задавати головний кут в плані для отримання поверхонь деталі, утворюваних конусом. Спираючись на ці дані, система дозволяє автоматизувати процес написання програми обробки деталі на багатокоординатного фрезерних верстатів і обробних центрів. Однак дана система дозволяє проектувати тільки спрощені моделі інструменту, без вказівки геометрії різального клину, без зазначення способу виконання, і т.д. Крім того, ця система не дозволяє отримувати модель інструменту, придатну для подальшої з нею роботи. Отримана модель існує тільки як частина вирішення конкретного завдання по обробці.

САПР РІ системи «GEMMA-3D» дає можливість створювати як осьовий інструмент, так і інструмент для токарної обробки. Як і у випадку з системою «PowerMill», «GEMMA-3D» дозволяє відтворити зовнішній вигляд інструменту, його форму і габаритні розміри. Варто відзначити, що дана система поступається системі «PowerMill» за ступенем деталізації моделі. Проте обидві системи мають схожі недоліки: низький рівень деталізації моделі; неможливість допрацювати модель, неможливість працювати з моделлю поза САМ-програми.

1.5 Мета та задачі досліджень

Таким чином, виходячи з наведеного матеріалу, можна відзначити наступне:

- 1) Сучасна ситуація в металообробній галузі, а також складність чисельних досліджень процесу різання створюють необхідність в системах швидкого проектування різального інструменту.

- 2) Незважаючи на те, що основні положення для створення САПР РІ були розроблені ще до появи персональної обчислювальної техніки, з виникненням і розвитком ПК дана тема особливого розвитку не отримала.
- 3) В даний час не існує уніфікованої методики або алгоритму розробки САПР РІ. Замість цього розроблено безліч вузьконаправлених систем, що забезпечують вирішення конкретних задач.
- 4) Існуючі САПР РІ часто є прикладною програмою до більш складних систем. Як наслідок, вони відрізняються низьким ступенем деталізації.
- 5) У зв'язку з прикладним характером, існуючі системи САПР РІ не дозволяють працювати з моделлю інструменту окремо від рішення завдання, поставленого перед всією системою. Тобто такі системи є «річчю в собі».

На підставі висновків та наведених матеріалів встановлено, що розробка алгоритмів автоматизованого проектування різального інструмента, а також розробка практичних рекомендацій для подальшого розвитку цих алгоритмів є актуальною задачею.

Мета роботи: розробити приклад алгоритму автоматизованої системи проектування осьового різального інструменту на основі пакету програм для створення тривимірних твердотілих моделей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Розбити модель на складові елементи та встановити кількісні та якісні характеристики цих елементів.
- 2) Розробити блок-схему алгоритму дослідної системи автоматизованого проектування осьового різального інструменту.
- 3) На підставі розробленої блок-схеми розробити приклад алгоритму та розглянути різноманітні способи реалізації елементів алгоритму.
- 4) На підставі висунутого алгоритму в автоматизованому режимі отримати модель осьового різального інструменту.
- 5) Перевірити отриману модель на відповідність до умов експлуатації.

- 6) На підставі аналізу отриманих результатів розробити основні положення та рекомендації до створення систем автоматизованого проектування різального інструменту.

Рішення зазначених задач здійснюється шляхом практичної роботи із сучасними системами САПР та методом чисельних експериментальних досліджень.

2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

2.1 Робоча частина інструменту

2.1.1 Свердло. Свердло являє собою ріжучий інструмент для обробки отворів у суцільному матеріалі або для розсвердлювання отворів при двох рухах, що відбуваються одночасно: обертання свердла навколо його осі і поступальному русі подачі уздовж осі інструменту

У промисловості застосовуються наступні основні типи свердел: спіральні перові, гарматні, рушничні, для кільцевого свердлення, центрувальні, спеціальні. Свердла виготовляються зі швидкорізальної сталі марок P18, P12, P9, P6M3, P9K5 та ін.

2.1.2 Спіральне свердло. Спіральне свердло є основним типом свердел найбільш поширеним у промисловості. Воно використовується при свердлінні і розсвердлюванні отворів діаметром до 80 мм і забезпечує обробку отворів за 4 – 5-м класами точності і з чистотою поверхні 2 – 3-го класів.

Ріжуча частина спірального свердла складається з двох зубів, які в процесі свердління своїми ріжучими крайками врізаються в матеріал заготовки й зрізують його у вигляді стружки. Це основна частина свердла. Умови роботи свердла визначаються головним чином конструкцією ріжучої частини свердла.

Спрямовуюча частина свердла необхідна для створення напрямку при роботі інструменту. Тому вона має дві напрямні гвинтові стрічки, які при свердлінні стикаються з робочою поверхнею направляючої втулки і зі стінками обробленого отвори. Спрямовуюча частина має допоміжні ріжучі крайки – крайки стрічки, які беруть участь в формуванні (калібруванні) обробленої поверхні отвору. Крім цього, спрямовуюча частина свердла

служить запасом для переточувань інструменту. Вона також забезпечує видалення стружки із зони різання.

У промисловості використовуються також свердла твердосплавні. Ріжуча частина цих свердел оснащується пластинками твердого сплаву або твердосплавними коронками. У твердосплавних свердел малого діаметра повністю вся робоча частина може виготовлятися з твердого сплаву.

2.1.3 Перове свердло. Робоча частина цих свердел виконується у вигляді платівки забезпеченій в торця ріжучою частиною. Ріжуча частина має дві ріжучі крайки, кут між якими 2ϕ приймається рівним 90° при обробці м'яких матеріалів і 140° для обробки твердих матеріалів. В результаті перетину задніх площин обох ріжучих крайок створюється поперечна ріжуча крайка. Кут її нахилу зазвичай дорівнює 55° - 60° . Для зменшення тертя калібруюча частина свердла має фаску f шириною $0,2 - 0,5$ мм, допоміжний бічний задній кут $\alpha = 5 - 8^\circ$ і утоньшення по діаметру в межах $0,05$ - $0,10$ мм на всю довжину свердла. Зовнішній вигляд перового свердла зображено на рисунку 2.1.

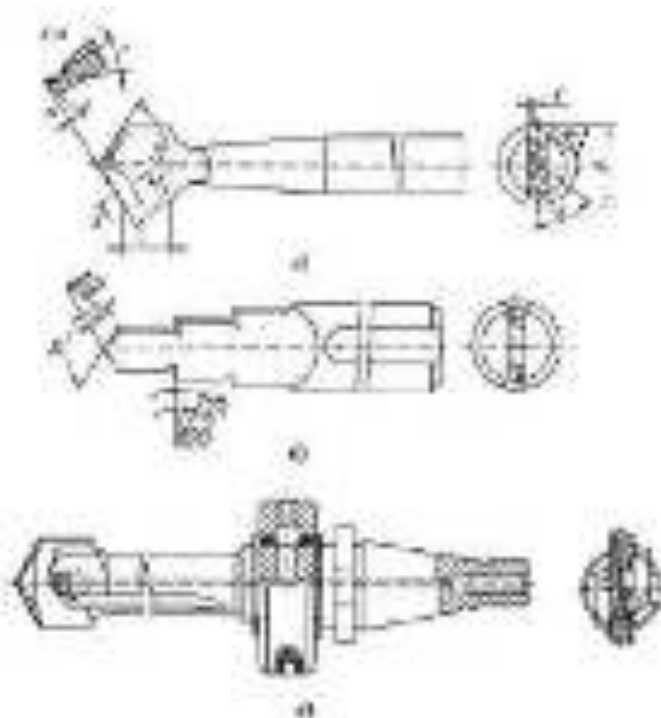


Рисунок 2.1 – Перове свердло

До недоліків перових свердел відносяться великі негативні передні кути, погане направлення свердел в отворі, скрутні умови відведення стружки, мале число переточувань. Для поліпшення процесу різання передня поверхня забезпечується лункою, але це призводить до відповідного зниження міцності ріжучої частини. Перові свердла великих діаметрів зазвичай виготовляються зі вставними робочою частиною. Для полегшення процесу різання у свердел великих діаметрів на ріжучих крайках роблять стружкороздільні канавки.

2.1.4 Гарматне свердло. Багато деталей мають отвори, довжина яких перевищує діаметр свердла в 5-10 разів. Свердління таких отворів пов'язано з великими труднощами, викликаними несприятливими умовами відведення стружки та підведення мастильно-охолоджуючої рідини в зону різання, необхідністю забезпечення більш точного направлення свердла при роботі, тощо. Виконання цих вимог до глибокого свердління забезпечується застосуванням спеціальних свердел. До них відносяться так звані гарматні, рушничні і інші свердла. Робоча частина гарматного свердла являє собою напівкруглий стрижень, плоска поверхня якого є передньою поверхнею. На торці стрижня створюється ріжуча кромка перпендикулярно осі свердла. Задня торцева площина свердла заточується під кутом $\alpha = 10 - 20^\circ$. Зовнішній вигляд гарматного свердла зображено на рисунку 2.2.

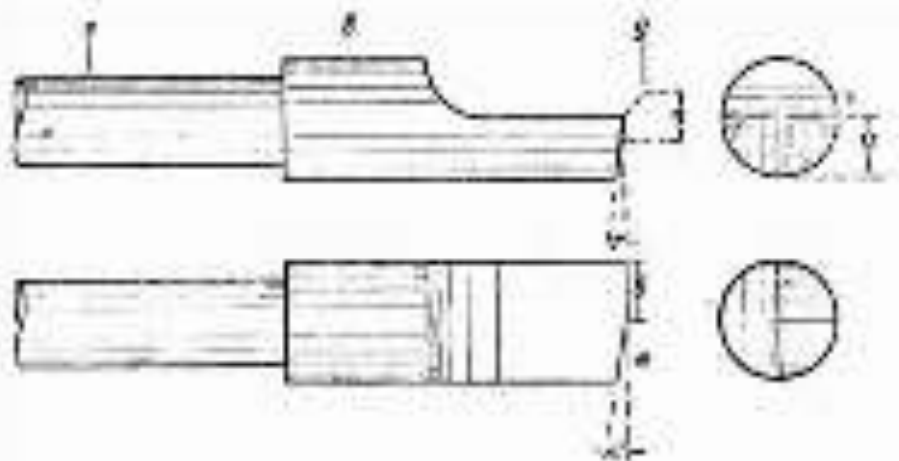


Рисунок 2.2 – Гарматне свердло

Для кращого напрямку свердло має циліндричну опорну поверхню, на якій зрізуються лиски під кутом $30 - 45^\circ$ і робиться зворотний конус порядку $0,03-0,05$ мм на 100 мм довжини робочої частини. Внаслідок цього зменшується тертя свердла про стінки оброблюваного отвори. Гарматне свердло працює у важких умовах, має несприятливу геометрію передньої поверхні, не забезпечує безперервного процесу різання, так як для видалення стружки доводиться періодично виводити свердло з отвору.

Більш досконалими свердлами для глибокого свердління є рушничні свердла.

2.1.5 Рушничне свердло. Рушничні свердла мають робочу частину і стебло. Робоча частина являє собою трубку з поздовжнім прямолінійним пазом. Через отвір в трубку підводиться до ріжучої частини свердла мастильно-охолоджуюча рідина, яка виходить по поздовжньому пазу назовні, захоплюючи при цьому і стружку. Для полегшення різання і кращого напрямку вершина свердла зміщена щодо його осі на $0,25$ діаметра свердла. Свердло має одну ріжучу кромку, що складається із зовнішньої і внутрішньої частин. Кут в плані на обох ділянках крайки зазвичай приймається рівним 60° , а задній кут – $12-15^\circ$. Для зменшення тертя свердла об стінки отвору на робочій частині робиться зворотня конусність розміром $0,1-0,3$ мм на 100 мм довжини, а також знімаються лиски. Зовнішній вигляд рушничного свердла зображено на рисунку 2.3.

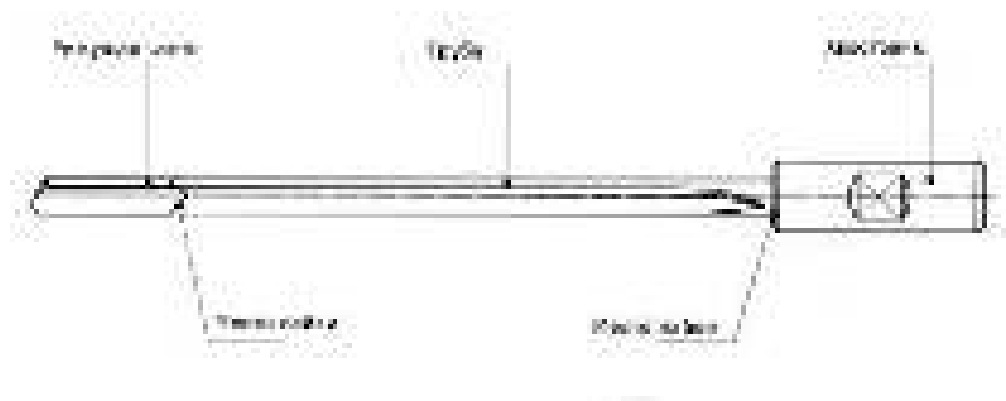


Рисунок 2.3 – Рушничне свердло

Такі свердла порівняно з гарматними свердлами мають кращу напрямок, покращений відведення тиски та підведення до зони різання мастильно-охолоджуючої рідини, що призводить до підвищення стійкості інструменту. Вони забезпечують безперервний процес різання і високу якість обробленої поверхні. Ці свердла мають лише одну ріжучу кромку, що знижує їх продуктивність.

2.1.6 Багатокрайкове свердло. При глибокому свердленні отворів, діаметр яких більше 20 мм, застосовується свердла, що мають чотири напрямні стрічки. Це сприяє кращому центруванню його в отворі. Для підведення мастильно-охолоджуючої рідини в стеблі свердла передбачено отвір, який з'єднується з низкою дрібних отворів, розподіляють рідину з ріжучими кромками. На головних ріжучих крайках робляться стружкороздільні канавки, які сприяють роздробленню стружки і кращому вимиванню її охолоджувальною рідиною. Зовнішній вигляд багатокрайкових свердел зображено на рисунку 2.4.

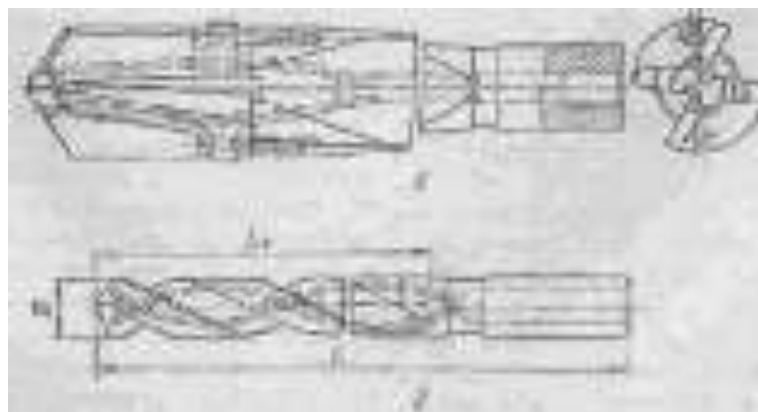


Рисунок 2.4 – Багатокрайкові свердла для глибокого свердління.

Глибоке свердління отворів порівняно малого діаметра проводиться подовженими спіральними свердлами. Найбільш вдалим є спіральні свердла з отворами для подачі охолоджуючої рідини під тиском в зону різання, що

сприяє поліпшенню відведення стружки та підвищення стійкості інструменту. Однак при свердленні на глибину, рівну восьми діаметрів і більш стабільний відведення стружки цими свердлами не забезпечується.

2.1.7 Шнекове свердло. Щоб забезпечити видалення великої кількості стружки з оброблюваного отвору, обробку проводять з періодичними відведеннями свердла. Цей процес характеризується малою продуктивністю через значні витрати часу на періодичні відводи свердла з отвору. Прагнення пристосувати конструкцію стандартного свердла для глибокого свердління не призводить до бажаних результатів.

При глибокому свердлінні стає скрутним одночасно забезпечити надійний відвід стружки із зони різання і створити на ріжучій частини свердла необхідні величини геометричних параметрів. Тому більш доцільно розробити конструкцію свердла для глибокого свердління, у якій форма гвинтовий канавки визначається виходячи з умови забезпечення нормального відведення стружки, а необхідні геометричні параметри ріжучої частини створюються заточенням передніх і задніх поверхонь. Зовнішній вигляд шнекового свердла зображено на рисунку 2.5.

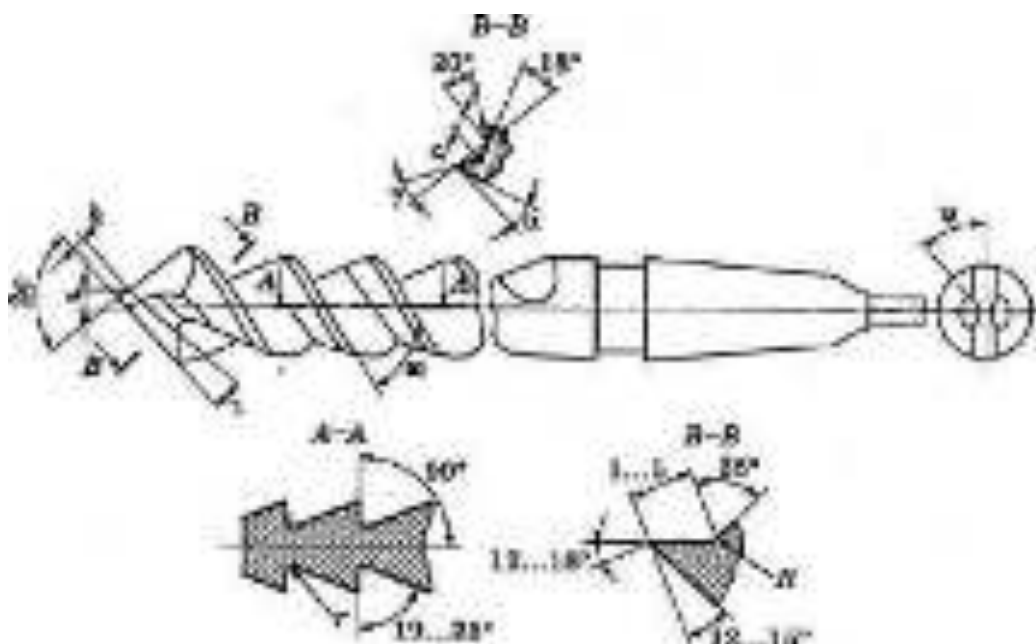


Рисунок 2.5 – Шнекове свердло

На відміну від стандартного свердла, шнекові мають більший кут нахилу гвинтових канавок $\omega = 60^0$ і збільшену товщину серцевини, що дорівнює 0,3-0,35 діаметра свердла. Діаметр серцевини не змінюється по довжині свердла, у той час як у стандартних свердел він збільшується при переміщенні від ріжучої частини до хвостовика. Стружкові канавки шнекового свердла мають в осьовому перетині прямолінійний трикутний профіль, який має округлення в западині. Причому утворююча робочої сторони канавки йде перпендикулярно осі свердла. Канавка свердла плавно переходить в спинку зуба, що йде під кутом β до осі утворюючої стрічку заданого розміру.

Збільшений кут нахилу гвинтових канавок та їх відповідний профіль забезпечують при глибокому свердлінні надійне видалення стружки із зони різання без відводу свердла з отвору.

2.1.8 Свердло для кільцевого свердлення. При обробці глибоких отворів порівняно великих діаметрів застосовуються свердла для кільцевого свердління. Кільцеве свердло являє собою порожній циліндр, на торці якого закріплені ріжучі зубці, число яких коливається від трьох до дванадцяти.

На зовнішній поверхні кільцевого свердла прорізані стружкові канавки, що розширюються до неробочого торця для полегшення видалення стружки. Зовнішній вигляд свердла для кільцевого свердління зображено на рис 2.6.



Рисунок 2.6 – Свердло для кільцевого свердлення

При проектуванні кільцевих свердел можна застосовувати різні схеми різання: схему різання, що забезпечує розподіл ширини різання; схему, що забезпечує розподіл подачі і комбіновану схему. За схемою, що забезпечує розподіл ширини різання, подача, що припадає на кожен зуб, дорівнює подачі в цілому на інструмент. Кожен зуб зрізає стружку невеликої ширини, в сукупності ж всі зуби інструменту знімають повну ширину різання. Схема розподілу подачі забезпечує зрізання повної ширини різання кожним зубом інструменту. Завдяки цьому значно збільшується подача на оборот інструменту в цілому, яка дорівнює добутку подачі на зуб на число зубів. Однак умови роботи інструменту сконструйованого по схемі розподілу подачі, скрутні, так як при повній ширині різання стружка своїми торцями стикається з бічними поверхнями отвору, що ускладнює її відведення. Тому найчастіше використовується комбінована схема різання, коли відбувається поділ і ширини зрізу і подачі між окремими зубами.

На роботу інструменту впливають стружколоми або викружки на передній поверхні зубів, які забезпечують отримання подрібненої стружки з ефективним відводом її із зони різання. Відвід стружки при кільцевому свердлінні відбувається в зваженому стані в потоці охолоджуючої рідини, що подається під тиском в зону різання.

Застосування кільцевих свердел забезпечує порівняно з суцільним свердлінням, значне підвищення продуктивності праці.

2.1.9 Свердло центрувальне. Особливу групу свердел складають свердла центрувальні, призначені для обробки центрових отворів. Вони бувають прості, комбіновані, комбіновані з запобіжним конусом.

Комбіновані свердла виготовляються двосторонніми і призначені для одночасної обробки циліндричної, а також і конічної поверхонь центрального отвору. Це призводить до підвищення продуктивності обробки.

Комбіновані свердла із запобіжним конусом дозволяють обробляти не тільки циліндричну і конічну поверхню центрального отвори, але і поверхню

запобіжного конуса з кутом при вершині рівним 120° . Зовнішній вигляд центрувальних свердел зображено на рисунку 2.7.

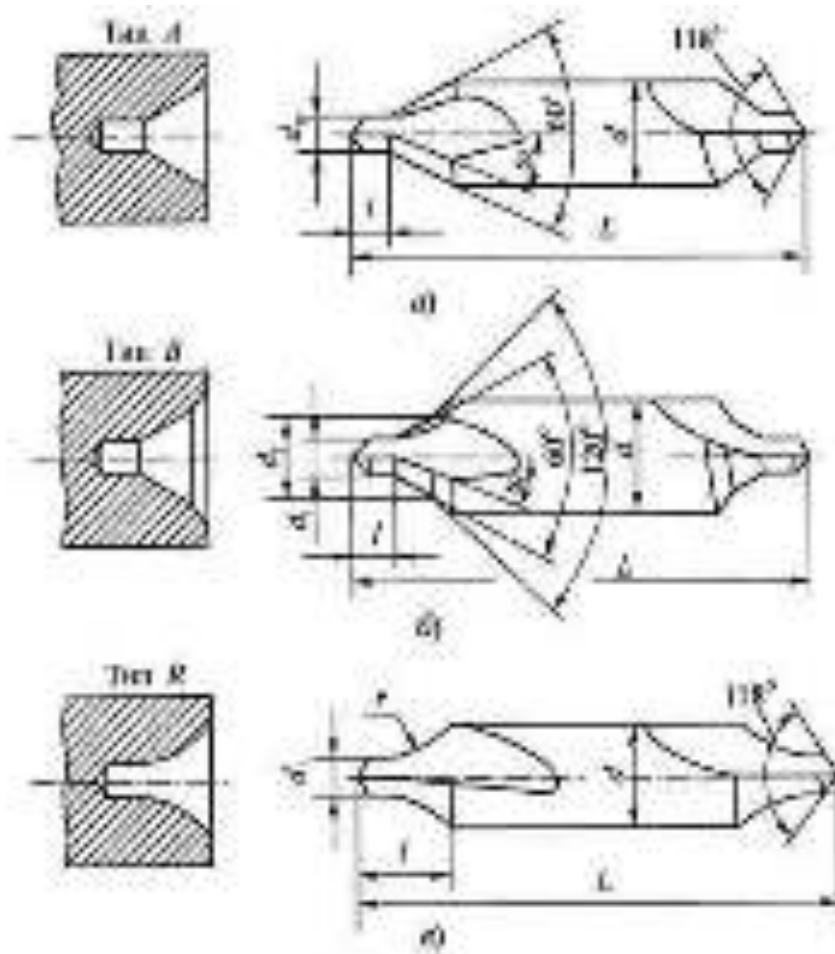


Рисунок 2.7 – Свердла центрувальні

Конструктивні елементи всіх типів свердел стандартизовані. Лише в окремих випадках розробляються спеціальні свердла.

2.2 Типи, конструктивні елементи і геометричні параметри зенкерів і розгортків

2.2.1 Зенкери. Розрізняють такі типи зенкерів: хвостові, насадні цільні і насадні збірні.

У зенкера порівняно зі спіральним свердлом відсутнє поперечне ріжуче лезо, а, отже, і кут ϕ . Решта ріжучих елементів та визначення геометричних параметрів зенкера і свердла аналогічні.

Передній кут у зенкерів вимірюється в головній січній площині та призначається залежно від властивостей оброблюваного матеріалу і матеріалу ріжучої частини зенкера.

Задній кут вимірюється так же, як і для свердла в площині, паралельної подачі, і приймається рівним $8 - 10^\circ$.

Кут нахилу гвинтовий канавки ω роблять рівним $10...30^\circ$. Для обробки твердих матеріалів кут ω вибирається меншим, ніж для в'язких.

Головний кут в плані ϕ призначається для швидкорізальних зенкерів в межах $45...60^\circ$, для оснащених твердим сплавом – $60...75^\circ$.

Кут нахилу головного ріжучого леза λ приймається рівним $5... 10^\circ$. Для відведення стружки в напрямку подачі зенкера кут λ повинен бути негативним, а проти подачі – позитивним. Перехідне лезо з кутом $\phi_0 = 0,5\phi$ має довжину, в середньому дорівнює 1 мм.

З метою усунення вібрацій при роботі зенкера в радіальному напрямку виробляють його кільцеву заточку. Діаметр лез, розташованих на кільцевій заточці, на $0,4...0,8$ мм менше зовнішнього діаметра зенкера. Зниження вібрацій при такій заточці пояснюється наступним: забезпечується краще направлення зенкера в роботі; збільшується майданчик плями контакту між інструментом і обробленою поверхнею, так як задній кут лез дорівнює нулю. Остання обставина підвищує опір вібраціям системи верстат – деталь – інструмент.

2.2.2 Розгортки. Циліндричні розгортки бувають хвостові, насадні цільні (рідко застосовуються) і насадні збірні. Зазначені типи розгорток конструктивно подібні тим же типом зенкерів, але мають більшу кількість зубів, малий кут забірного конуса ϕ , а на передньому кінці – запобіжний конус для направлення розгортки в отвір.

2.3 Особливості конструкцій зубів фрез

Зуби сучасних фрез виготовляються зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів; фрези цільні – з сталей марок Р18, Р9, Р9Ф5 та ін. При оснащенні фрез твердими сплавами зазвичай застосовують пластини марок групи ВК. Такі фрези служать для обробки чавунів і кольорових матеріалів. Для обробки сталевих деталей зуби фрез оснащують твердими сплавами групи ТК, наприклад Т15К6, Т5К10, Т5К12В і т. д.

За напрямком зубів розрізняють фрези: прямозубі, з похилими і косими зубами. Залежно від форми зуба вони діляться на фрези із загостреними або гострозаточеними зубами, у яких задня поверхня зуба в площині, перпендикулярній до осі, має ламану лінію, і з затилованими зубами, у яких при перетині тією ж площиною задня поверхня зуба окреслена за архимедовою спіраллю або іншою кривою.

Плюсом фрез з затилованими зубами є збереження профілю при переточках їх по передній поверхні. Тому у фасонних фрез зуби, як правило, затиловані.

Фрези з гострими зубами заточують в основному по задній поверхні. Порівняно з затилованими зубами вони мають ряд переваг: високу стійкість, простіше у виготовленні і забезпечують отримання більш високого класу шорсткості обробленої поверхні. Форма їх зуба повинна задовольняти наступним вимогам:

- 1) забезпечувати достатню міцність і масивність зуба. Виконання цієї вимоги покращує тепловідвід;
- 2) утворювати міжзубу западину достатнього об'єму для розміщення стружки і хорошого її відведення;
- 3) западина не повинна мати гострих кутів і різких переходів, щоб уникнути тріщин після гарту;
- 4) допускати досить велику кількість переточувань.

В даний час відомі три типи гострих зубів: трапецеїдальних, параболічний і посилений.

2.4 Огляд передових конструкцій осьового інструменту

В 70-х роках ХХ століття був запропонований новий тип конструкцій дозволяє поєднувати в одному інструменті свердло, зенкер, зенковку. За основу цієї конструкції прийнятий інструмент, оснащений збірними багатогранними пластинами (ЗБП). Використання такого інструменту дозволяє значно збільшити продуктивність обробки, при цьому помітно знижуючи його собівартість.

Свердла з механічним кріпленням ЗБП мають ряд ключових переваг порівняно з іншими конструкціями осьового інструменту:

- Зниження допоміжного часу за рахунок можливості багаторазового використання пластини без необхідності зняття корпусу;
- Зменшення втрат інструментального матеріалу;
- Зменшення номенклатури що використовується у виробництві матеріалу. Як наслідок, спрощується можливість складування, збільшується рівень уніфікації;
- Конструкція володіє високою жорсткістю, що дозволяє застосовувати прогресивні режими обробки без зниження якості одержуваної поверхні;
- Можливість використання оптимального інструментального матеріалу на одному корпусі, внаслідок повної взаємозамінності пластин з різних матеріалів у межах одного типорозміру;
- Можливість отримувати отвори великих діаметрів без попереднього засвердлювання;

- Модульність конструкції дозволяє використовувати свердло з ЗБП як цілий ряд осьових інструментів.

Зовні конструкція свердла складається з елементів, подібних до елементів спіральних або перових свердел, і може використовуватися для обробки отворів глибиною від 1 до 5 діаметрів.

В даний час ряд великих корпорацій пропонує своєю продукцією свердла зі змінними непереточуваними пластинами. Практично всі запропоновані типи конструкцій включають в себе свердло, що працює за принципом перехресного прорізу. При цьому можна поєднувати в інструменті зенкер, зенківку, цеківку або використовувати інструмент, як багатоступінчасте свердло (рисунок. 2.8).

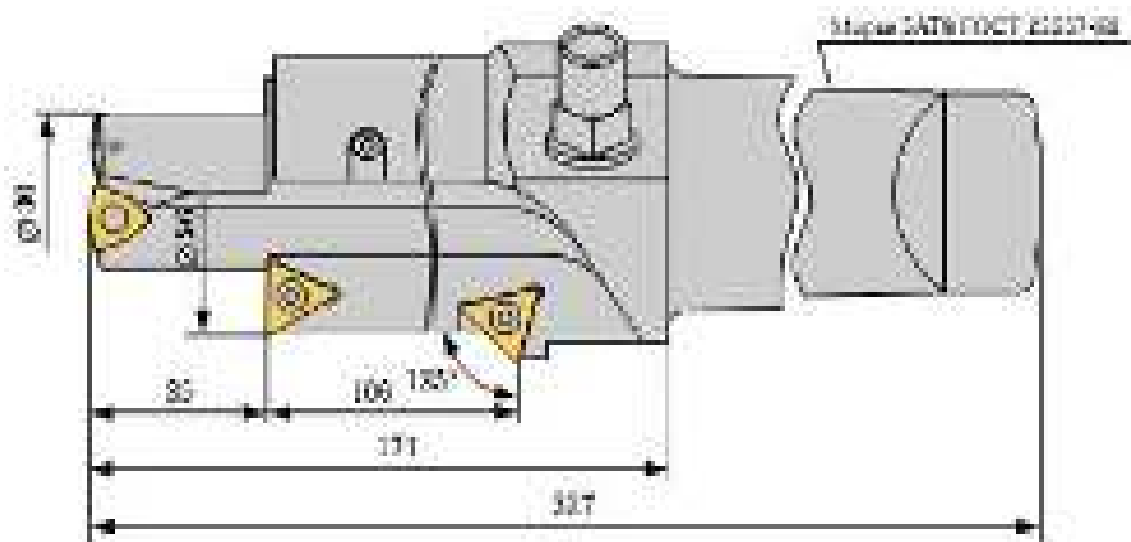


Рисунок 2.8 – Свердло-зенкер-зенківка з ЗБП

Відмінності між інструментом з ЗБП різних виробників часто полягають у дещо різній лінійці розмірів пластин, а також у використанні різних конструкцій хвостовиків. Такий підхід дозволяє стандартизувати процес проектування інструменту з можливістю переходу з типорозмірів одного виробника на типорозміри іншого.

Крім діаметра оброблюваної поверхні на конструкцію інструменту так само в значній мірі впливає глибина обробки, а в остаточному підсумку –

відношення довжини до глибини. Цей параметр впливає на кількість зубів інструменту Z . При збільшенні глибини обробки при заданому діаметрі інструмент оснащується меншою кількістю зубів:

- $D/L > 1$ – $Z=3-12$ (Свердло для кільцевого свердлення, фреза кінцева);
- $D/L=1-5$ – $Z=2$ (Спіральний свердло, перове свердло);
- $D/L > 5$ – $Z=1$ (Гарматне свердло, рушничне свердло).

Така залежність обумовлюється умовами роботи при різних глибинах обробки. При великих глибинах необхідно забезпечити міцність свердла, але, разом з тим, і достатній простір для стружки. В іншому випадку значно збільшується частота висновків свердла з отвору.

Крім того, при великих глибинах виникає необхідність у додатковому базування свердла в отворі. Це досягається збільшенням кута підйому спіралі стружкових канавок або введенням в конструкцію додаткових стрічок.

2.5 Висновки за аналізом конструкцій

Таким чином, незважаючи на різноманітність умов різання при обробці поверхонь осьовим інструментом, вибір оптимального типу ріжучої частини часто може бути здійснений алгоритмічно. Це означає, що доцільніше для даної мети використовувати розрахункові потужності ЕОМ.

Також слід відзначити тенденцію до переходу від цільного інструменту до збірного. Це дозволяє значно розширити перелік оброблюваних матеріалів одним і тим же свердлом.

З урахуванням сучасного рівня виробництва, вже зараз існує матеріальна база для виготовлення інструменту, найбільш відповідного для заданих умов обробки.

3. АНАЛІЗ КОНТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗБІРНОГО ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

Збірні свердла можуть трохи відрізнятися по конструкції, тому для зручності проектування можна розбити інструмент на наступні конструктивні елементи:

- Хвостовик – частина інструменту, призначена для його кріплення і базування в системі ВПЗ. Сюди ж можна віднести й ті елементи, що призначені для захоплення інструменту маніпулятором, наприклад канавка для АСІ;
- Корпус – елемент інструменту, призначений для базування ріжучих пластин і їх кріплення. Конструкція корпусу може включати в себе як один, так і кілька ступенів. З усіх елементів свердла корпус передбачає найбільшу гнучкість конструкції;
- Пластини – ріжучі елементи свердла, можуть бути об'єднані в «касети».

Кожен елемент може мати кілька варіантів виконання в залежності від умов обробки. При цьому, більшість подібних варіантів стандартизовано і має свої типорозміри.

3.1 Хвостовик

З'єднання верстата з інструментом впливає на властивості цієї пружною системи, а, отже, і на якість обробки деталей. Наявність мікро- і макропохибок визначає якість цього з'єднання. Мікропохибки, а саме шорсткість приєднувальних поверхонь, впливають на контактну піддатливість і демпфування у з'єднанні. Макропохибки у вигляді відхилень форми приєднувальних поверхні від ідеальної як в продольному, так і в поперечному перерізі викликають зменшення фактичної площі контакту поверхонь і погіршують їх прилягання.

З'єднання «інструмент-верстат» дає більше 50% пружних деформацій. При цьому, чим більше жорсткість верстата, тим більша частка припадає на контактні деформації у з'єднанні «інструмент-верстат».

Основні похибки сполучуваних конічних поверхонь наступні: а) відхилення від правильного кола в поперечних перетинах – некрутлість; б) відхилення утворювальної від прямолінійності; в) відхилення кута конуса від номінального значення. Для циліндричних з'єднань головне – відхилення від номінального діаметра. Найбільше значення для якості з'єднання інструменту з верстатом мають відхилення від номінальних розмірів.

До теперішнього часу найпоширенішими є хвостовики з конусами конусністю 7:24.

Подальше підвищення точності і жорсткості закріплення за рахунок точного базування за конічної поверхні конусністю 7:24 недоцільно із-за низької ефективності витрат на виготовлення. Тому існують кілька варіантів удосконалення конструкцій хвостовиків із зовнішнім конусом 7:24. Одним з рішень є хвостовики BIG PLUS, запатентовані фірмою DAISHOWA SEIKI Co., Ltd. (Японія). Суть пропозиції зводиться до зменшення розміру «а» до величин, зазначених на рис. 3.1 та табл. 3.1.

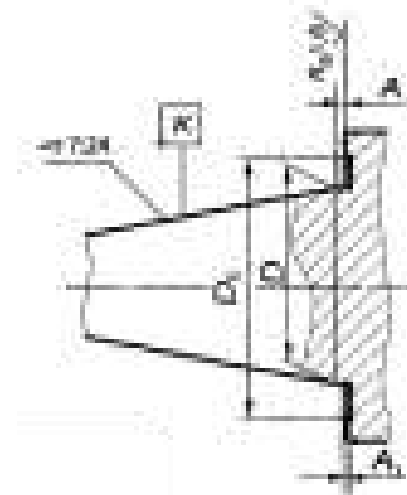


Рисунок 3.1 – Елементи хвостовиків BIG PLUS

Таблиця 3.1 – Доробка стандартних хвостовиків

К (ISO)	А		А		D	D ₅
	Ном.	Доп. відх.	Ном.	Доп. відх.		
30	1	-0,005	1	+0,18	31,75	35,0
40					44,45	50,0
50	1,5		1,5	+0,21	69,85	80,0

В результаті здійснюється принцип подвійного базування з конічним і торцевих поверхонь шпинделя верстата і допоміжного інструменту, що приводить до зростання об'ємної твердості і зменшення піддатливості системи шпиндель-інструмент в точці застосування сили різання. Як наслідок, зростають при інших рівних умовах:

- а) точність обробки;
- б) верхня межа допустимої частоти обертання шпинделя;
- в) стійкість різального інструменту;
- г) повторюваність положення інструменту уздовж його осі.

Висока точність хвостовиків BIG PLUS вимагає при експлуатації обов'язкового обдуву стисненим повітрям сполучуваних поверхонь для видалення стружки і пилу. Пристрої АСІ повинні мати важільний або пневмозажим, щоб уникнути пошкодження торця шпинделя, а гнізда магазинів – захист від пошкодження торців фланців допоміжного інструменту.

При впровадженні високошвидкісної обробки споживачі верстатів з ЧПК і виробники різального інструменту переконалися, що масивні хвостовики з конусом 7:24 не задовольняють її умов. Тому в 1990 році робочою групою німецьких фахівців був розроблений новий стандарт DIN 69893 на хвостовики з позначенням «HSK», що є аббревіатурою німецького назви «Hohlschäfte Kegel» (у перекладі – «Порожнистий конічний хвостовик»).

Стандарт DIN 69893 включає в себе 6 типів хвостовиків 35 типорозмірів. Позначення типів і типорозмірів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Типи хвостовиків HSK, їх типорозміри та номери стандартів

										
HSK-A	HSK- B	HSK-C	HSK-D	HSK-E	HSK-F					
Позначення типу хвостовика HSK	Позначення типорозміру									Номер стандарту DIN
	5	32	40	50	63	80	100	125	160	
A	-	+	+	+	+	+	+	+	+	69893-1
B	-	-	+	+	+	+	+	+	+	69893-2
C	-	+	+	+	+	+	+	-	-	69893-3
D	-	-	+	+	+	+	+	+	-	69893-4
E	+	+	+	+	+	-	-	-	-	69893-5
F	-	-	-	+	+	+	-	-	-	69893-6

В даний час остаточно стандартизовані хвостовики HSK типів A, C і D. Стандарти для E і F прийняті заздалегідь, хоча саме вони є найбільш придатними для високошвидкісної обробки.

При розточуванні стали 45 різцями, оснащеними керметом, заміна виду закріплення розточувальний оправки в шпинделі верстата з ЧПУ призводить до можливості підвищити швидкість різання в 4 рази.

Крутильна жорсткість хвостовика HSK порівнянна з такою ж жорсткістю конуса 7:24. Це досягається завдяки шпонкам в комбінації з двома поверхнями тертя або тільки двох поверхонь тертя. Перша поверхня утворюється при контакті конусів шпинделя і хвостовика; друга – при контакті торця шпинделя з торцем фланця хвостовика HSK.

Користувач може вибрати один з трьох варіантів закріплення для забезпечення крутильної жорсткості:

- хвостовики HSK типу A і C – середні обертовий момент, середні й високі частоти обертання;
- хвостовики HSK типу і D – високі обертовий момент, середні й високі частоти обертання;
- хвостовики HSK типу E і F – низькі обертовий момент, надвисокі частоти обертання.

Повторюваність позиціонування хвостовиків HSK визначається одночасністю контакту між хвостовиком і конусом шпинделя уздовж осі конуса і по торцю. Пружна деформація тонкої стінки хвостовика робить такий контакт можливим. Мала маса хвостовика HSK і коротка довжина його конуса сприяють зменшенню часу зміни інструменту. Для порівнянних конусів 7:24 і хвостовиків HSK основний діаметр останнього становить близько половини такого ж діаметра конуса 7:24. Крім того, HSK не має затискного грибка, що також зменшує хід інструменту з хвостовиком HSK при його заміні.

Порівнюючи HSK і конус 7:24 слід пам'ятати, що менша маса хвостовика HSK не є перевагою при балансуванні, особливо для несиметричних типів A і C.

Внутрішнє підведення охолоджуючої рідини може бути забезпечене в обох випадках – у хвостовику HSK і в хвостовику з конусом 7:24. В останньому варіанті використовують «затискний грибок» з отвором для рідини. У хвостовиках HSK типу A і 3 використовують подачу охолоджуючої рідини через сопло, чого цілком достатньо. У хвостовиках типу і D виконують канали для всмоктування рідини з обходом затискного механізму. Хвостовик HSK типу E згідно стандартам DIN допускає підведення охолоджуючої рідини. Але там немає пояснень, як можна реалізувати охолодження в обробному центрі з ЧПК, в якому відсутня можливість установки сопла. Хвостовик HSK типу F не дає можливості підвести охолодження. Однак цей хвостовик рекомендується використовувати

головним чином для деревообробки, де навряд чи виникне необхідність в охолодженні.

При високошвидкісній обробці інструментальна система HSK працює на частотах обертання, що перевищують $20\,000\text{ хв}^{-1}$. При цих частотах із-за асиметрії каналів підведення охолоджуючої рідини в переходниках і за наявності рідини у внутрішніх каналах може порушитися балансування збірки «шпиндель-державка». У таких умовах рекомендується переходити на зовнішнє підведення охолоджуючої рідини.

Вартість інструментів з хвостовиками HSK вище, ніж інструментів з конусом 7:24, оскільки перші виготовляються при значно більш жорсткі допуски. Вимірювальні засоби, що застосовуються при виготовленні хвостовиків HSK, також дорожче і, як правило, коштують більше 100 000 USD за один комплект.

Є ряд недоліків хвостовиків HSK порівняно з хвостовиками з конусом 7:24. Хвостовики HSK вимагають значно більш уважного ставлення до чистоти поверхонь хвостовика. Для установки хвостовика в шпиндель необхідно переконатися у відсутності стружки або інших частинок на стикуємих поверхнях. Забруднення можуть погіршити як жорсткість, так і точність закріплення. Необхідність очищення є прямим наслідком переходу до більш високих технологій обробки.

Через більш жорсткі технічні умови, що висувуються до хвостовика HSK, знос тут позначається на робочих характеристиках хвостовика і шпинделя значно більшою мірою, ніж на сполуках з конусами 7:24. Багатьом споживачам потрібно купувати вимірювальні системи для періодичного контролю стану верстатів і інструмента. Робочий персонал також повинен бути навчений працювати з інструментом, що мають хвостовики HSK.

Зараз у Європі розпочато стандартизація груп різального інструменту з хвостовиками HSK. Новий стандарт DIN 6594 охоплює геометричні параметри свердел з хвостовиками типу А та С і внутрішнім підведенням охолоджуючої рідини; стандарт DIN 6597 – геометричні параметри токарних

і розточувальних державок з хвостовиками HSK типу A, B, C і внутрішнім підведенням охолоджуючої рідини. DIN 6598 визначає призначення затискних патронів в залежності від їх розмірів і умов різання.

Протягом найближчого десятиліття хвостовики HSK і конус 7:24 будуть застосовуватися на рівних. У міру падіння вартості HSK і більш повного освоєння його переваг, використання конуса 7:24 скорочуватиметься. Врешті-решт, конус 7:24 займе таке ж положення, як і конус Морзе, який на верстатах з ЧПУ застосовується все рідше. Проте зараз доцільно автоматизувати проектування як хвостовики HSK, так і хвостовики з конусом 7:24.

Так як, обидва типи хвостовиків стандартизовані, для вибору типорозміру досить розрахунку на міцність. Проте подібний розрахунок проводиться і для корпусу інструменту. Тому в якості вихідних параметрів може бути використаний робочий діаметр інструменту. Ескізи і типорозміри хвостовика HSK і хвостовика з конусом 7:24 наведені відповідно на рис. 3.2 та 3.3 і в табл. 3.3 та 3.4 відповідно.

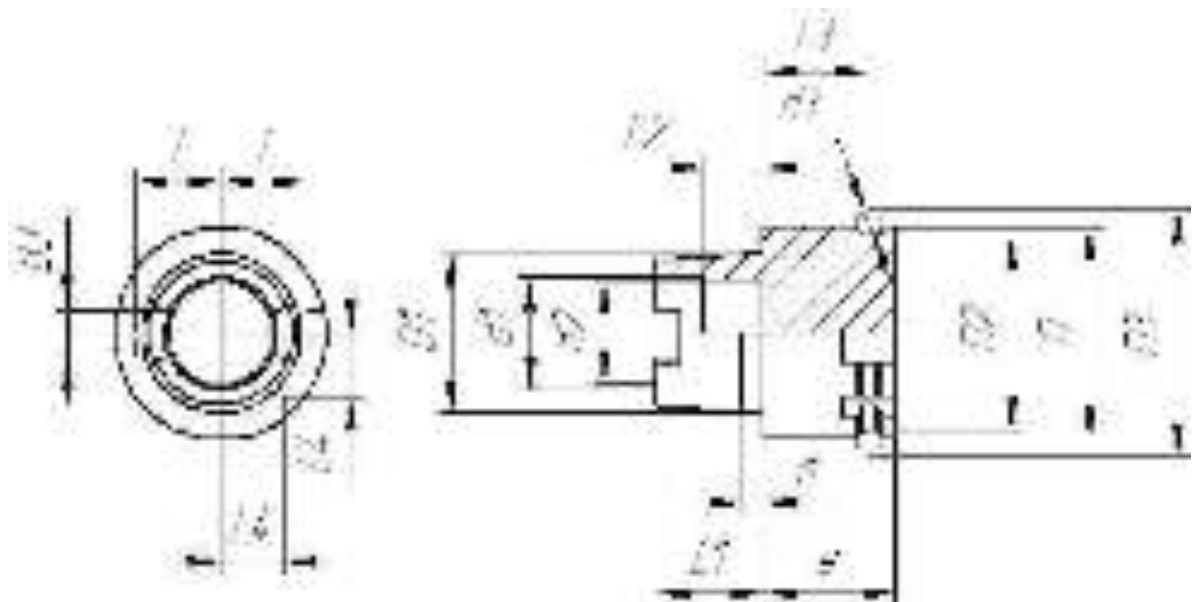


Рисунок 3.2 – Елементи і типорозміри хвостовика HSK

Таблиця 3.3 – Типорозміри хвостовика HSK.

D, мм	32	40	50	63	80
D1, мм	24	30	38	48	60
D2, мм	29	37	45	58	74
D3, мм	37	45	59,3	72,3	88,8
d1, мм	17	21	26	34	53
d2, мм	16	20	25	32	50
d3, мм	4	4	7	7	7
L1, мм	16	20	25	32	40
L2, мм	8,92	11,42	14,13	18,13	22,85
L3, мм	16	16	18	18	18
l4, мм	9,5	12	15,5	20	25
a, мм	3,2	4	5	6,3	8
B, мм	9	11	14	18	20
e, мм	20	20	26	26	26
t, мм	13	17	21	26,5	34
B3, мм	7,05	8,05	10,54	12,54	16,04

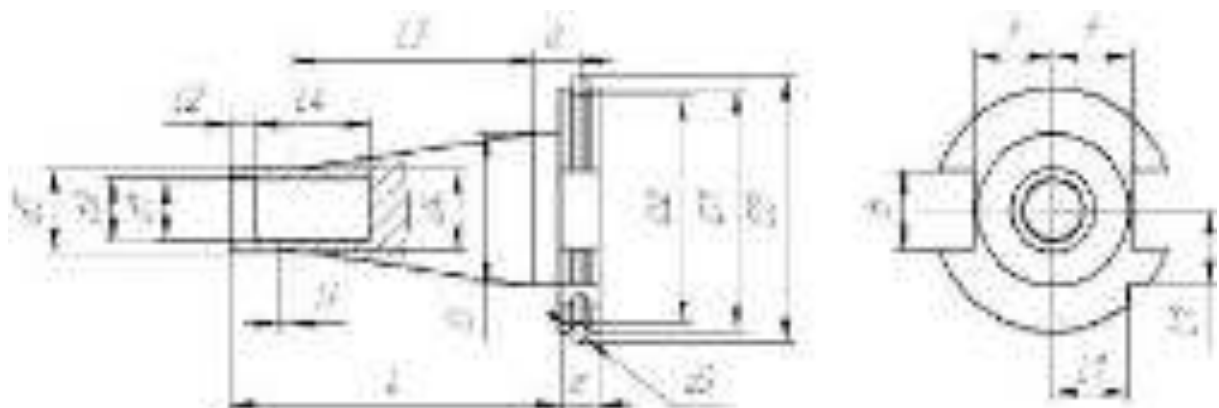


Рисунок 3.3 – Елементи і типорозміри хвостовика з конусом 7:24

Таблиця 3.4 – Типорозміри хвостовика з конусом 7:24.

D	31,37	44,45	57,15	69,85
D1	50	63	80	100
D2	46	58	74	94
D3	55,07	69,34	87,61	107,61
d1	12	16	20	24
d2	13	17	21	25
d3	4	5	5	6
d4	16,5	24	30	38
L1	15,5	18,5	24	30
L2	5	8	9	11
L3	50	67	86	105
L4	24	30	38	45
t	16,2	22,5	29	35,3
a	5,6	6,6	9,2	9,2
b	16,1	16,1	19,3	25,7
e	8	10	12	12

3.2 Корпус

Корпус може поєднувати в собі елементи відразу декількох інструментів (рис. 3.4). У такому разі інструмент виконується ступінчастим. Як наслідок, при проектуванні корпусу повинні бути враховані особливості кожного ступеня інструменту. Крім того, корпус повинен відповідати умовам міцності, жорсткості, точності базування пластин і передбачати відвід стружки із зони різання, а також передбачати технологічність виготовлення корпусу.

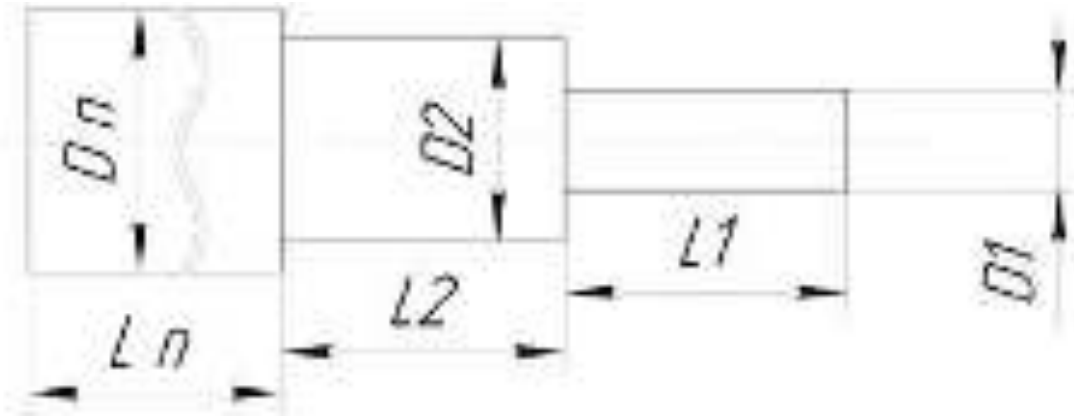


Рисунок 3.4 – загальна схема корпусу осьового інструменту з СНП

З умов міцності і жорсткості довжина кожного ступеня корпусу не повинна перевищувати трьох діаметрів цього ступені. Це накладає обмеження на глибину оброблюваного отвори. Проте, в деяких випадках допускається виготовлення корпусу довжиною до п'яти максимальних діаметрів.

Точність базування досягається застосуванням додаткової оснащення – базуючих пластин і затискних гвинтів зі спеціальною формою головки. Такі гвинти сопрягаються з ріжучою пластиною не площинами а округленими поверхнями, причому радіус округлення гвинта повинен бути більше радіусу округлення пластини. Це забезпечує визначеність базування пластини щодо гвинта, а отже, щодо кріпильного отвору в корпусі.

Відвід стружки здійснюється через стружкові канавки, найчастіше, спіральні з малим кроком гвинта або прямі. Важливу роль у відводі стружки при використанні такого інструменту грає МХТЗ.

У разі проектування складного ступеневої інструменту кожна ступінь повинна бути виконана згідно певним умовам:

- свердління: якщо інструмент використовується не для обробки готового отвору, а для його отримання та подальшої обробки з одного установа, то перша ступень буде свердло. Свердла з ЗБП виконуються за принципом групового прорізу. Згідно з цим принципом припуск розділяється між пластинами і пластини

ділять на центральну і периферійну. Крім того, щоб уникнути негативних явищ в центрі оброблюваного отвори, а так само для додаткового центрування лінія розташування обох пластини зміщені щодо осі на 0.1-0.3 мм (рис. 3.5). В ході свердління по центру отвори залишається задирка радіусом 0.2-0.5 мм і довжиною до 1 мм. При наборі свердлом глибини ця задирка легко ламається, зберігаючи свою довжину.

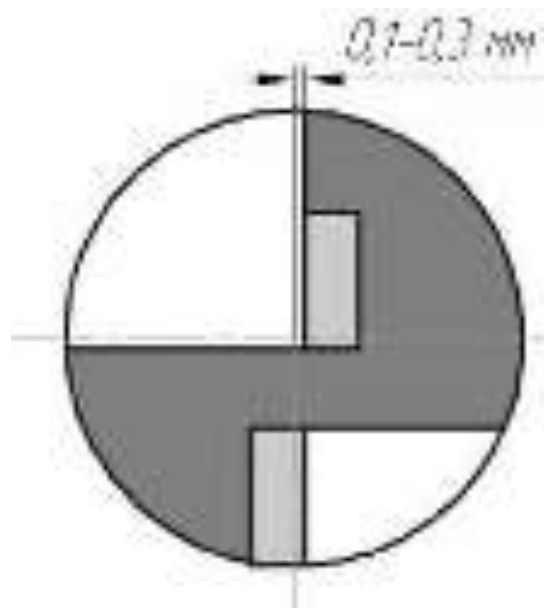


Рисунок 3.5 – схема зміщення пластин відносно осі.

– **Зенкування:** на відміну від свердління при зенкуванні принцип групового різання не використовується. Обидві пластини створюють оброблену поверхню, при цьому чистота такій поверхні помітно вище, ніж при свердлінні. Крім того, ця ж ступінь може використовуватися при розсвердлюванні, оскільки конструкція свердла з ЗБП розсвердлювання не передбачає, або при зенківці отвори.

– **Зенківка:** часто остання ступінь збірного інструменту особливих вимог до цієї частини інструменту не пред'являється, однак, такий пункт міститься в досить великій кількості осьового інструменту з ЗБП.

Таким чином, незважаючи на низку умов, корпус має досить широкий діапазон варіантів виконання, вибираються залежно від поставленої задачі. Надалі, при побудові дослідної системи САПР РИ, в якості елемента «корпус» буде розглядатися комбінація «свердло – зенкер» з можливістю використання як «свердло – зенківка». За основу системи взята CAD-система PowerShape фірми Delcam. Як виконуючих елементів обрані команди-макроси.

4 РОЗРОБКА ТА ОПИС ДОСЛІДНОЇ САПР РІ

4.1 Розробка та обґрунтування блок-схеми системи

При вирішенні задачі проектування РІ на початковому етапі перед побудовою слід вибрати комплектуючі елементи і їхні типорозміри. Після побудови ці елементи необхідно пов'язати один з одним в єдину складання. Таким чином, процес проектування можна розбити на три основних етапи:

- Обґрунтування і вибір елементів;
- Побудова елементів за вибраними даними;
- Об'єднання елементів в одну модель або зборку.

Блок-схема алгоритму, що вміщує вказані етапи, наведено на рис 4.1.

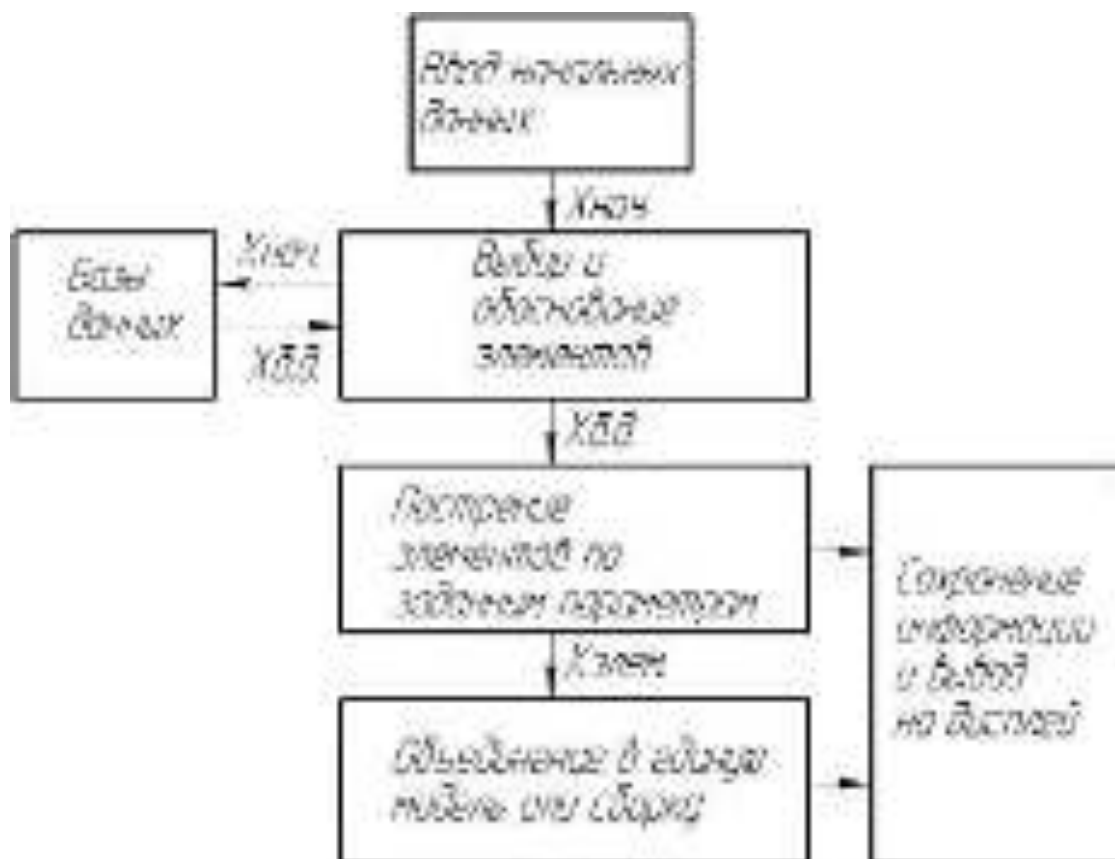


Рисунок 4.1 – Загальна схема САПР РІ

У запропонованій схемі система САПР проектує інструмент за заданими початковими параметрами. Ці дані аналізуються системою і, на

основі цього аналізу здійснюється запит до бази даних системи за необхідними параметрами, згідно яких надалі розробляються елементи майбутнього інструменту. В ході їх побудови виконуються проміжні допоміжні розрахунки, індивідуальні для кожного елемента, а так само обчислюються дані, необхідні для орієнтації елемента при зборці. Надалі, на підставі цих даних система прив'язку елементів один до одного і до глобальної системи координат.

4.2 Введення початкових даних

Найчастіше, як початкових даних, досить параметрів поверхні, для отримання якої створюється інструмент, а саме: діаметр отвору, глибина отвору, кількість ступенів, матеріал, шорсткість, розміри фаски. На підставі цих даних можна судити про деякі геометричні параметри майбутнього інструменту, наприклад про довжини, діаметри і кількість ступенів корпусу інструменту, про матеріал і геометрію ріжучої частини. При цьому система повинна передбачати перевірку введених даних на відповідність завданням. Можливі декілька варіантів реалізації такої перевірки:

1) У разі введення невірних даних система виводить відповідне повідомлення і закінчує виконання програми (рис 4.2).

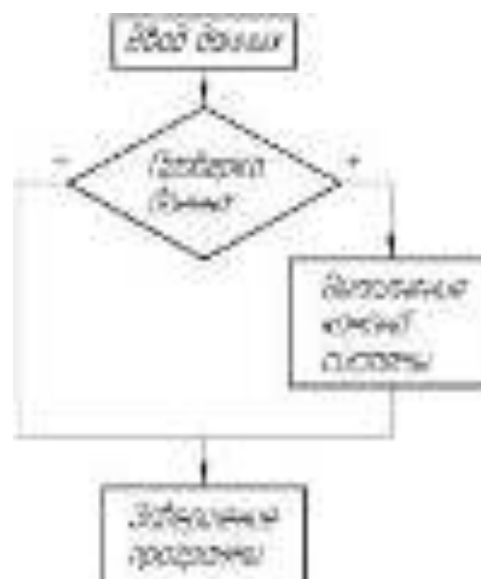


Рисунок 4.2 – Блок-схема САПР РІ згідно з першим варіантом

При використанні такої схеми система не допускає введення значень, не передбачених для обробки. Недолік такого варіанта полягає в тому, що при введенні невірних, з точки зору системи, даних і після виведення звіту про помилку система закінчує роботу і для введення виправлених значень параметрів користувач повинен запустити систему заново. Подібна схема може бути реалізована за допомогою блоку команд «IF-ELSE». Приклад практичної реалізації такої схеми має наступний вигляд.

```

INPUT NUMBER 'текст повідомлення з найменуванням вводиться
параметра' $мінлива
Let $ім'я змінної-умови = (умова виконання)
If $ім'я змінної-умови {
// робота системи в нормальному режимі
} else {
print error 'текст повідомлення про помилку введення даних і попередження
про завершення роботи системи '
}

```

Примітка: бажано ставити умови таким чином, щоб мінлива-умова брала значення 1 для роботи системи і 0 – для припинення роботи.

2) У разі введення невірних даних система виводить відповідне повідомлення і повертає користувача до вікна введення даних (рис 4.3).

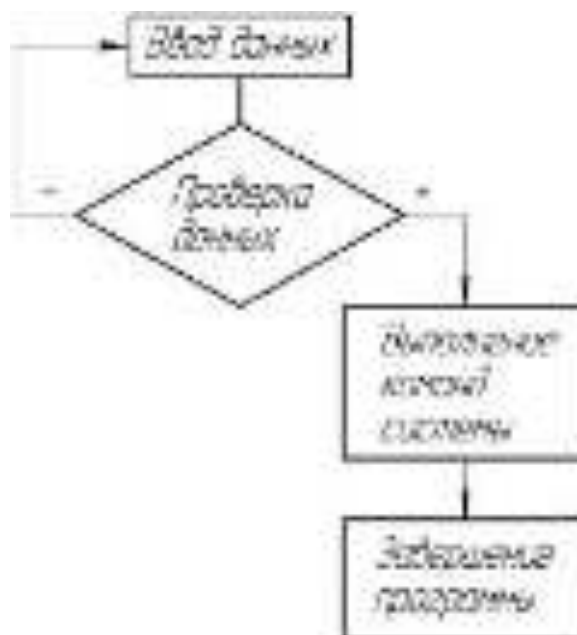


Рисунок 4.3 – Блок-схема САПР РІ згідно з другим варіантом

При використанні такої схеми система так само не допускає введення значень, не передбачених для обробки. Недоліком такого варіанту є те, що система не дозволить перервати користувачеві роботу до тих пір, поки не будуть введені коректні дані. Подібна схема може бути реалізована за допомогою блоку команд «DO-WHILE». Приклад практичної реалізації такої схеми має наступний вигляд.

```
do {
  INPUT NUMBER ' текст повідомлення з найменуванням вводимого
  параметру ' $мінлива
  Let $ім'я змінної-умови - (умова невиконання)
} while $ім'я змінної-умови
```

Особливість роботи оператора «WHILE» полягає в тому, що для виходу з циклу даному оператору повинно бути встановлено значення 0. Тобто в цьому блоці ставиться умова, при якому потрібно повторне введення даних.

3) У разі введення невірних даних система виводить відповідне повідомлення і надає користувачеві можливість ввести дані заново або завершити роботу системи (рис 4.4).

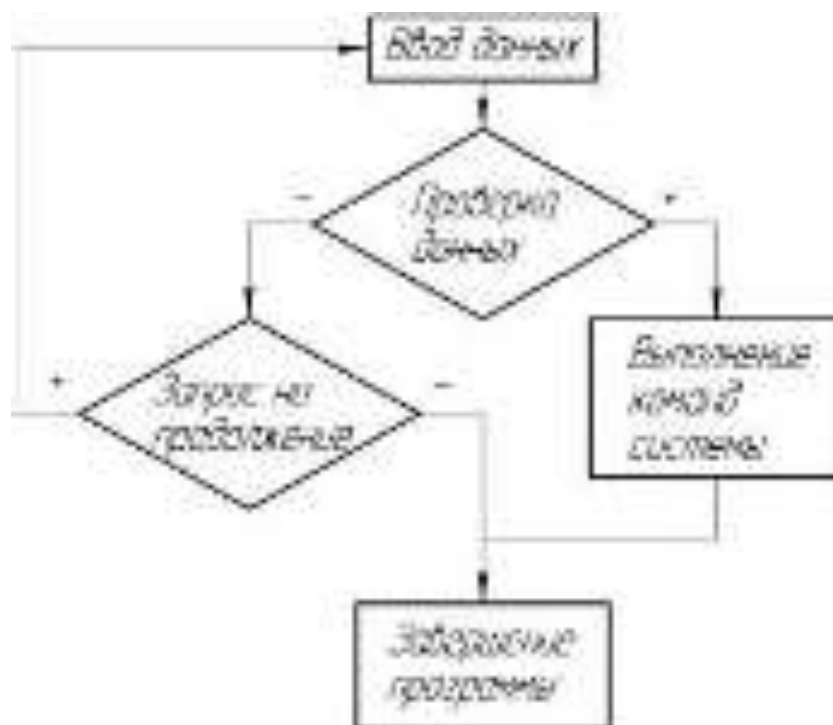


Рисунок 4.4 – Блок-схема САПР РІ згідно третього варіанту

Така схема найбільш зручна з погляду користувача, однак і найбільш складна у виконанні. У дослідній системі САПР РІ реалізована така схема. Приклад виконання наведено нижче:

```

do {
  INPUT NUMBER ' Введіть параметр 1.' $Ім'я змінної 1
  Let $Condition1=(умова1)
  Let $Condition1_inv=($Condition1==0)
  if $ {Condition1_inv
    Input query ' Невірно введені дані. Повторити введення даних?' $repeat1
  } else {
    Let $repeat1=0.0
  }
} while $ repeat1
if ${Condition1
do {
  INPUT NUMBER ' Введіть параметр 2.' $Ім'я змінної 2
  Let $Condition2=(умова2)
  Let $Condition2_inv =($Condition2==0)
  if $ {Condition2_inv
    Input query ' Невірно введені дані. Повторити введення даних?' $repeat2
  } else {
    Let $repeat2=0.0
  }
} while $repeat2
}

if ${Condition2
do {

```

```

...
} while $repeat

if ${Condition1
if ${Condition2
...
if ${Condition_n
//Виконання розрахунків і побудов
}
}
...
}

```

де умова 1, умова 2,... умова n – перевірка відповідності і-ту змінної умовами виконання програми.

$\$Condition\ 1$, $\$Condition\ 2$,... $\$Condition\ n$ – змінні, засновані на булевій алгебрі, що відповідають виконанню умов роботи системи. Ці змінні приймають значення 1 при дотриманні умов роботи або 0 – при недотриманні.

$\$Condition1_inv$, $\$Condition2_inv$,... $\$Condition\ n_inv$ – змінні, засновані на булевій алгебрі, що відповідають невиконанню умов роботи системи. Ці змінні приймають значення 0 при дотриманні умов роботи або 1 – при недотриманні.

$\$repeat\ 1$, $\$repeat\ 2$,... $\$repeat_n$ – змінні, засновані на булевій алгебрі, що позначають необхідність повтору блоку спочатку – тобто повторного введення даних. Ці змінні приймають значення 1 при необхідності повторного введення параметра або 0, якщо такої необхідності немає.

Згідно з наведеним прикладом схема реалізується на основі блоку команд «DO-WHILE». Для зручності, як читання, так і написання один блок команд відповідає введенню і перевірці однієї змінної і може бути використаний, як уніфікований цільний блок команд. Як вже зазначалося

раніше, оператор «WHILE» завершує цикл при присвоєння йому значення 0, тому в роботі блоку присутній два типи змінних-умов: умова виконання і умова невиконання. Значення оператора «WHILE» визначається змінною \$repeat. При цьому дана змінна прирівнюється 1 тільки за умови невірності введених даних та натискання кнопки ОК при подальшому запиті на повторне введення. У всіх інших випадках змінної \$repeat присвоюється значення 0 і програма переходить до обробки подальших команд. Слід зазначити, що кожен наступний блок введення параметра запускається тільки після відповідної перевірки попереднього.

Робота даного блоку відображена в таблиці істинності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Таблиця істинності блоку перевірки введених даних

Умова	$\$Condition\ n$	$\$Condition\ n_inv$	$\$repeat_n$
Введені дані коректні	1	0	0
Введені некоректні дані, користувач відмовився від повторного введення.	0	1	0
Введені некоректні дані, користувач вибрав повторне введення	0	1	1

Відсутні параметри вибираються виходячи з рекомендацій, заснованих на міцностному розрахунку. У той же час частина параметрів одних елементів вибирається виходячи з геометричних розмірів інших. Звідси виникає певна черговість у побудові елементів майбутнього інструменту. Так, наприклад, для вибору типорозміру хвостовика необхідно знати габаритні розміри корпусу свердла, в той же час при проектуванні корпусу для створення поверхонь, за якими надалі базуються ріжучі пластини, необхідно знати деякі розміри використаних пластин. Разом з тим, типорозмір пластин визначається виходячи з діаметра ступені корпусу інструменту. У подібних випадках можливий такий вихід: для кожного

елемента створюється база даних, що містить всі використовувані типорозміри цього елемента, але одна з баз даних містить деякі параметри іншого або інших елементів з урахуванням типорозмірів цих елементів. Подібним способом була складена база даних корпусу в дослідній системі САПР PI (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Частина бази даних корпусу інструменту

D_zenk	12,5	13	13,5	14	14,5	15
D_sverl	12	12	12	12	12,5	13
L_sverl	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
d_plast	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
t_plast	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
d_vint	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3

Як видно з таблиці, перші три параметри відносяться безпосередньо до розмірів ступенів корпусу, в той час як інші три – параметри ріжучої пластини з урахуванням типорозміру, використовуваного для даного діапазону діаметрів. Подібним способом необхідними параметрами в тій чи іншій мірі доповнені й інші бази даних. Повний перелік параметрів, і найменування баз даних, які використовують цей параметр наведено нижче в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Перелік параметрів

Найменування	Пояснення	Використовують
D_hvost	діаметр канавки для АСІ	хвостовик HSK, хвостовик з конусністю 7:24
D_kon	діаметр конуса (більший)	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
D_man	умовний діаметр маніпулятора (вписане коло)	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
Dmax	діаметр маніпулятора (максимальний)	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
d_otv	діаметр отвору на кінці хвостовика	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24

Продовження таблиці 4.3

d_man	діаметр вписаною кола канавки для АСІ	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
d_rezb	діаметр різьби на кінці хвостовика хвостовик	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
d_cil	діаметр циліндричної частини на кінці хвостовика	хвостовик с конусністю 7:24
l_kon	довжина конуса	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
l_rezb	довжина отвори (з різьбовий частиною)	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
t	глибина лисок під упори обертання	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
a	відстань від центру канавки для АСІ до базового діаметра	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
b	ширина лисок під упори обертання	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
e	ширина канавки для АСІ	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
d4	діаметр канавки	хвостовик с конусністю 7:24
H	ширина канавки	хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:24
B1	ширина торцевої канавки	хвостовик HSK
D_zenk	діаметр ступеня – зенкера	корпус інструмента, хвостовик HSK, хвостовик с конусністю 7:42, ріжуча пластина
D_sverl	діаметр ступеня – свердла	корпус інструмента
L_sverl	довжина ступеня – свердла	корпус інструмента
d_plast	вписаний діаметр пластини	корпус інструмента, ріжуча пластина
t_plast	висота пластини	корпус інструмента, ріжуча пластина
R_plast	радіус округлення граней	ріжуча пластина
d_vint	діаметр гвинта	корпус інструмента, ріжуча пластина

Проте система PowerShape розрізняє параметри і змінні. Параметри використовуються для роботи з таблицями при визначенні типорозмірів елемента. Параметри можуть бути викликані на дисплей в окремому вікні і можуть фігурувати в розрахунках при використанні вбудованого калькулятора. Для виклику вікна параметрів необхідно пройти по директорії головне меню/Об'єкт/параметр.



Рисунок 4.5 – Вікно параметрів в системі PowerShape

В системі макросів виклик вікна і завдання параметрів по таблиці здійснюються наступною групою команд:

object parameter

SPREADSHEET MULTIPLE

NAMES

VALUES

ACCEPT

ACCEPT

де *NAMES* – ім'я стовпця таблиці, що містить найменування параметрів (наприклад, *NAMES A*).

VALUES – ім'я стовпця, що містить значення параметрів (наприклад, *VALUES B*).



Рисунок 4.6 – Вікно вибору параметрів з таблиці в системі PowerShare

Змінні починаються символу \$ і, на відміну від параметрів, використовуються тільки в макросах і на дисплеї можуть бути відображені тільки побічно, через побудови. Змінні не можуть бути задані у вигляді таблиці. Однак змінні можуть бути створені в системі в будь-якому необхідній кількості, що дозволяє широко використовувати їх при обчисленнях. Змінні задаються за допомогою команди LET (наприклад, LET \$A=1.0). При цьому змінної може бути присвоєно ім'я і значення параметра:

LET \$D_hvost=D_hvost

Збіг назв параметрів і змінних не тільки дозволено, але і рекомендується для полегшення орієнтації в значеннях змінних.

Як вже вказувалося вище, робота САПР РІ починається з обміну інформацією з базами даних. Проте система PowerShare не передбачає роботи із зовнішніми таблицями, що сильно ускладнює передачу даних в новий файл. Тому в дослідній системі використаний наступний підхід: при створенні САПР РІ створюється файл з розрішенням .psmodel – розрішенням робочого файлу системи PowerShare. В даний файл закладається тільки таблиця параметрів. Надалі, вже при роботі САПР РІ, система відкриває цей файл і наступною командою перезберігає його під іншим ім'ям і надалі проводить в перезбереженому файлі всі побудови. Це дозволяє обійти проблему «закритих» внутрішніх таблиць і отримувати таблицю параметрів в

новому файлі без зміни вихідної бази даних. В системі макросів це виконується наступними командами:

FILE OPEN

PATHNAME \шлях вихідного файлу з таблицею
параметрів/ім'я_вихідного_файлу.psmodel

ACCESS READWRITE

ACCEPT

File SaveAsPath \шлях нового файлу/ ім'я _нового_файлу.psmodel

Єдиним обмеженням такого виконання є випадок, коли при виконанні цих команд в системі вже відкритий файл з ім'ям, передбаченим, як ім'я нового файлу. Система не може перезаписати файл, який знаходиться в редакції і всі наступні побудови виробить у файлі-базі даних, зробивши його непридатним для подальшого використання.

Далі, після виклику бази даних система за початковими даними визначає типорозміри елементів. Для цього використовується команда «switch». Текст команди має наступний вигляд:

switch \$условие {

case \$значение 1

VALUES B

break

case \$ значение 2

VALUES C

break

...

case \$ значения n

VALUES N-1

break

default

VALUES N

де \$умова – змінна, яка визначає умови вибору типорозміру;

\$значення 1, \$ значення 2,... значення n – змінні, марковані типорозміри в таблиці даних.

VALUES B, VALUES C, ... VALUES N – ім'я відповідних рядках даних.

У роботі дослідної САПР РІ при виконанні даної команди використовувалися елементи алгебри логіки. Змінній, що визначає умови виконання рядка присвоюється ім'я *\$proverka* і значення 1. Значення змінних маркуючих типорозмір в таблиці, присвоюється значення 1 або 0 в залежності від того, чи входять введені дані в діапазон використання даного типорозміру. На практиці цей підхід має наступний вигляд:

```

LET $proverka=1
LET $B=($Diam<12,5)
LET $C=($Diam>12,5)&($Diam<=13)
LET $D=($Diam>13)&($Diam<=13,5)
LET $E=($Diam>13,5)&($Diam<=14)
...
LET $EC=($Diam>69,5)&($Diam<=70)
LET $ED=($Diam>70)
object parameter
SPREADSHEET MULTIPLE
switch $proverka {
case $B
VALUES B
break
case $C
VALUES C
break
case $D
VALUES D break
case $E

```

```

VALUES E
break
...
case $EC
VALUES EC
break
default
VALUES ED
}
ACCEPT
ACCEPT

```

Для зручності імена змінних відповідають іменами маркованих ними стовпчиків даних. Остання виконувана графа в команді «switch» позначається рядком «default» а не «case» і призначена для виконання в разі, якщо введені дані не відповідають жодному з умов вибору у вищих рядках «case». У наведеному прикладі в подібному випадку система вибирає значення параметрів типорозміру, що містяться в останньому стовпці бази даних, проте при необхідності в цьому місці може стояти відсилання на будь-який типорозмір або, після невеликої правки команди, команда виводу відповідного повідомлення на дисплей. Зазначена правка полягає в тому, що, починаючи з рядка `object parameter` і до останнього рядка, на дисплеї відображається вікно параметрів (рис. 4.7).



Рисунок 4.7 – Вікно параметрів в системі PowerShape

У разі якщо після рядка «default» передбачено виведення повідомлення, команди закриття редактора параметрів повинні перебувати не після завершення команди «switch», а в кожній її графі перед рядками з командою «break». Крім того, в графі команд «default» необхідно ввести перехід на рядок введення початкових даних для повторного запиту параметрів.

Слід відзначити особливості використання таблиць з даними в системі PowerShape:

- Типорозміри елемента в таблиці даних визначаються не рядками, а стовпцями, в результаті чого великі масиви даних виявляються дуже витягнутими в довжину;
- Система PowerShape має «сліпі зони» в таблицях параметрів. Такі «сліпі зони» пов'язані певною залежністю з ім'ям стовпчиків: одноразрядні імена стовпців – від A до Z – розпізнаються без винятків, двуразрядні імена – починаючи з AA і далі – пропускають рядки з іменами, що закінчуються на останні чотири букви латинського алфавіту W, X, Y, Z. Так в «сліпій зоні» виявляються стовпчики з іменами AW, AX, AY, AZ, BW і т.д.. Таким чином, таблиця даних в системі PowerShape може мати вигляд, показаний на рисунку 4.8.

Рисунок 4.8 – Вікно таблиці параметрів в системі PowerShape для елемента «корпус»

Ця особливість повинна бути врахована при написанні макросу та створення баз даних. В іншому випадку, замість виконання групи команд у відповідній графі «case» система виконає команди комірки «default».

Крім того, змінні можуть бути передані безпосередньо з одного макросу в інший. Для того щоб експортувати дані з макросу, використовується команда «EXPORT». Синтаксис даної команди має наступний вигляд:

EXPORT \$змінна1

EXPORT \$змінна2

Для імпорту даних використовується команда «Args». Синтаксис даної команди наведено нижче:

Args {

real A

int B

}

На відміну від експорту, команда імпорту вимагає, щоб при введенні змінна відповідала заявленому типу. Слід враховувати, що значення 1 відповідає цілим числам (int), а значення 1.0 – реальним (real). При виконанні булевих операцій можуть використовуватися як цілі числа, типу 0, 1, так і реальні – 0.0, 1.0.

4.3 Побудова моделей елементів інструменту

4.3.1 Загальні умови для створення моделі. В залежності від умов обробки система може виконувати побудови базових елементів, що трохи відрізняються за конструкцією. У дослідній САПР РІ подібна можливість відображена в можливості побудови системою як хвостовика HSK, так і хвостовика з конусністю 7:24. Вибір здійснюється на основі жорсткості корпусу інструменту. Відповідні команди в системі мають такий вигляд:

```

Let $jost1=($L_obr/$Diam>0)&($L_obr/$Diam<3)
Let $jost2=($L_obr/$Diam>=3)&($L_obr/$Diam<5)
if $jost1 {
Macro run ShaftHSK.mac $Diam $L_obr
} elseif $jost2 {
Macro run Shaft7to24.mac $Diam $L_obr
}

```

де *\$Diam*, *\$L_obr* – відповідно діаметр і глибина оброблюваного отвору;

\$jost1, *\$jost2* – умови вибору системою виконуваних підпрограм – макросів, засновані на алгебрі логіки;

ShaftHSK.mac, *Shaft7to24.mac* – імена макросів-підпрограм, що пропонують різні варіанти виконання хвостовика.

Після того, як система обирає підпрограму згідно із закладеними умовами, на дисплеї відображається процес побудови в прискореному темпі. Користувач може бачити, з яких елементів система складає розроблюваний елемент інструменту.

Форма проєктованих в САПР РІ елементів інструменту часто являє собою декілька спрощений варіант порівняно з реальним виконанням цих елементів. Такі спрощення часто стосуються поверхонь, для створення яких потрібні складні кінетичні операції, або поверхонь з невеликим розміром що не мають впливу на міцнісні характеристики інструменту. Форма елементів може бути також отримана за допомогою набору тіл-примітивів і відповідних булевих операцій. Форма примітивів може відрізнятися: від найпростіших кола і прямокутника до складних багатоступінчастих профілів для операції обертання. Складна форма визначається ескізом. У різних САПР процес створення таких ескізів багато в чому однаковий. Побудова починається з вибору робочій площині. Далі, в обраній площині створюється контур, який повинен відповідати певним вимогам:

- Контур повинен бути замкнутим;

- Контур не повинен містити перетинання ліній, що утворюють петлі
- Контур, призначений для операції обертання, не повинен перетинати вісь обертання

Якщо ескіз відповідає вищенаведеним вимогам, його виділяють, як цілий елемент для подальшої роботи. У різних САПР цей етап реалізовано декілька по-різному:

- PowerShape – побудований ескіз виділяється і об'єднується в єдину замкнуту криву.
- Компас 3D – ескіз повинен бути витриманий в конкретному стилі ліній – тобто система розпізнає як ескіз тільки основний тип лінії.
- T-Flex – замкнутий контур заштриховується. Допускається використання, як звичайної, так і спеціального «невидимого» штрихування.
- ANSYS – по обраних лініях контуру створюється площа, відповідна за формою до контуру.

Надалі, на основі виділеного контуру створюються тіла заданої форми.

В цілому, можна розділити весь процес створення твердотільної моделі елементів інструменту на окремі типові блоки. На початковому етапі створюється ескіз основного тіла елемента в заданій площині. Найчастіше такий ескіз призначений для операції обертання і містить в собі велику частину розмірів елемента. Надалі, на основі отриманого тіла створюються все більш і більш дрібні деталі, які використовуються в наступних булевих операціях. Переважно побудова кожного тіла починати зі створення персональної локальної системи координат. Система PowerShape надає можливість створення подібних систем координат з заданим положенням в просторі а також вказаним ім'ям. Використовуючи останню зазначену можливість, системі координат присвоюється таке ж ім'я, що і тілу,

створеному в цій системі координат. Приклад створення системи координат наведено нижче:

create workplane SINGLE

X Y Z

Modify

Name « ім'я »

ACCEPT

select clearlist

де *X Y Z* – координати системи координат щодо активної системи координат;

«*ім'я*» – ім'я системи координат;

Слід враховувати, що створена нова система координат автоматично оголошується активною. Для того, щоб зробити активної будь-яку існуючу систему координат використовується наступна команда:

ACTIVATE WORKPLANE «ім'я системи координат»

У випадку, якщо необхідно провести побудови в глобальній системі координат використовується команда:

ACTIVATE WORKPLANE World

4.3.2 Корпус. Побудова корпусу інструменту також починається з імпорту даних. Система передає макросу введені користувачем параметри: діаметр отвору і його глибину, а також задній кут α для створення що базує поверхні в корпусі інструменту для ріжучої пластини.

Args {

real Diam

real L_obr

real alfa

}

Наступним етапом роботи програми є створення ескізу під операцію обертання (рис. 4.9).

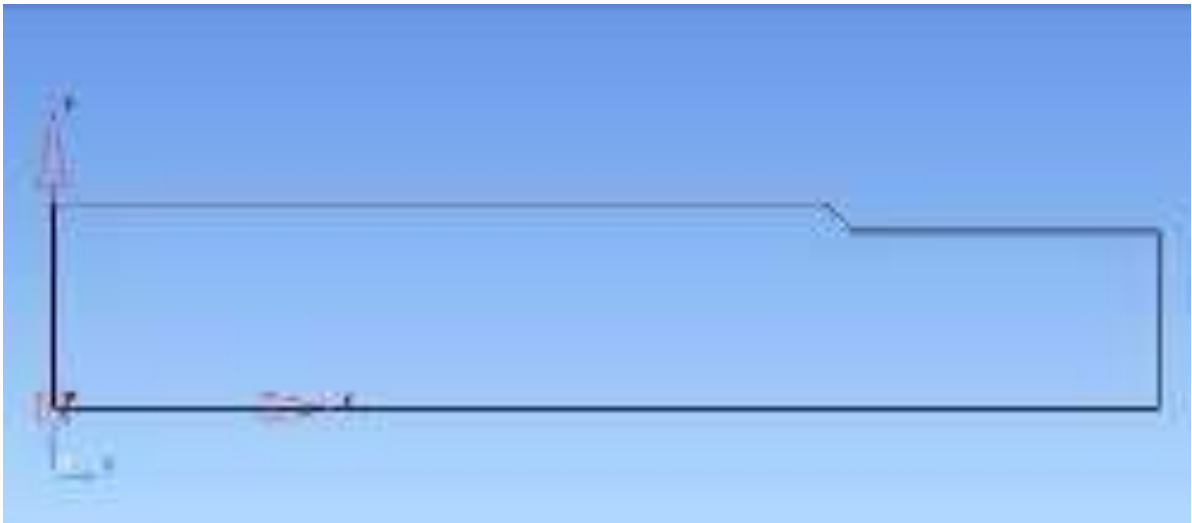


Рисунок 4.9 – Ескіз корпусу інструменту

Основою для побудови контуру служить блок команд «CREATE LINE CONTINUOUS». Даний блок команд дозволяє будувати лінії так, щоб кінець однієї лінії служив початком іншої. При цьому слід зазначити, що PowerShape будує лінію у відносних координатах від початкової точки. Тому кожному блоку команд побудови повинен передувати блок розрахунку. Приклад побудови ескізу основи корпусу інструмента наведено нижче:

```
LET $Y2=$D_zenk/2
```

```
LET $X3=$L_obr
```

```
LET $X4=($D_zenk-$D_sverl)/2
```

```
LET $Y4=($D_sverl-$D_zenk)/2
```

```
LET $X5=$L_sverl-$X4
```

```
LET $Y6=-$D_sverl/2
```

```
LET $X7=-$L_sverl-$L_obr
```

```
create workplane SINGLE
```

```
0 0 0
```

```
Modify
```

```
Name корпус інструмента
```

```
ACCEPT
```

select clearlist

PRINCIPALPLANE XY

CREATE LINE CONTINUOUS

0 0 0

0 \$Y2 0

\$X3 0 0

\$X4 \$Y4 0

\$X5 0 0

0 \$Y6 0

\$X7 0 0

Accept

create curve COMPCURVE

0 0 0

SAVE

QUIT

На початку блоку розраховуються відносні координати точок. Імена розрахованих змінних складаються з двох символів: перший символ відповідає координатам X, Y, Z за якими відкладається лінія; друга частина відповідає номеру лінії в ланцюжку побудови. Далі створюється система координат майбутнього тіла в точці з координатами 0 0 0. Так як елемент «корпус» знаходиться на одній осі та торкається поверхнею елементу «хвостовик», то всі побудови по осі X елемента «корпус» виконуються в позитивному напрямку, а елемента «хвостовик» – в негативному. Наступний етап побудови – безпосередньо команда «CREATE LINE CONTINUOUS», що створює замкнутий контур. Для контролю замкнутості контуру повинні виконуватися умови:

$$\sum_{i=1}^n X_n = 0; \quad \sum_{i=1}^n Y_n = 0; \quad \sum_{i=1}^n Z_n = 0$$

Завершується створення ескізу об'єднанням ліній в контур (рис 4.10). В якості вхідних даних для цієї операції виступають координати однієї з точок ескізу. Найчастіше використовуються координати першої точки блоку «CREATE LINE CONTINUOUS».

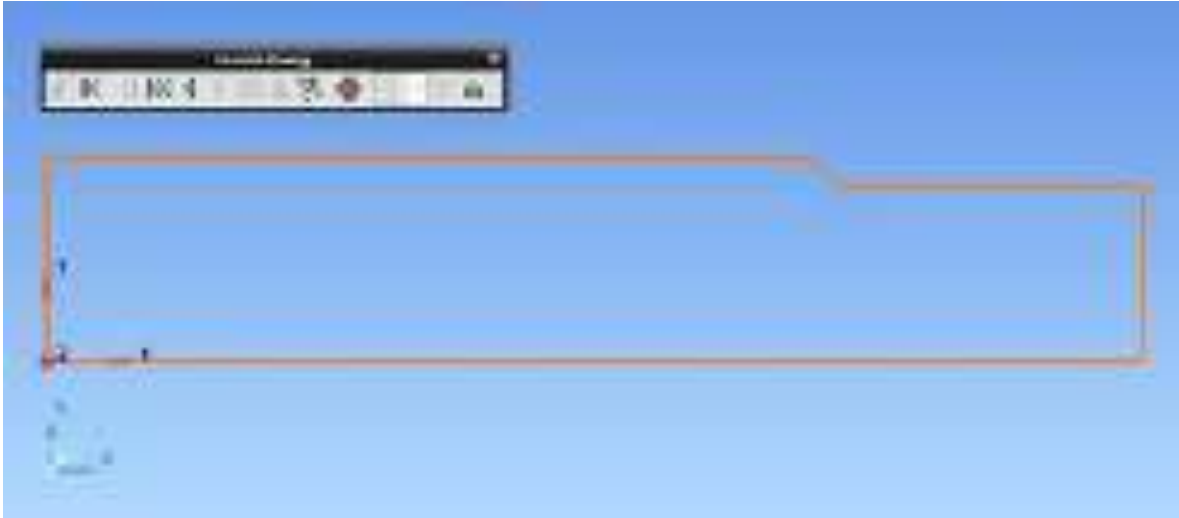


Рисунок 4.10 – Контур корпусу інструменту

Надалі отриманий контур використовується для отримання твердого тіла методом обертання. В якості осі обертання виступає активна координатна вісь або координатна вісь, перпендикулярна до активної площини. Так як побудова виконувалося площині XY, а віссю обертання повинна вступати вісь X, то перед операцією обертання повинна стояти команда, яка обирає відповідну вісь або площину.

PRINCIPALPLANE YZ

CREATE SOLID REVOLUTION

modify

NAME корпус інструмента

ACCEPT

PRINCIPALPLANE XY

В результаті виконання наведених вище команд з'являється тіло обертання з ім'ям «корпус інструмента» (рис. 4.11).

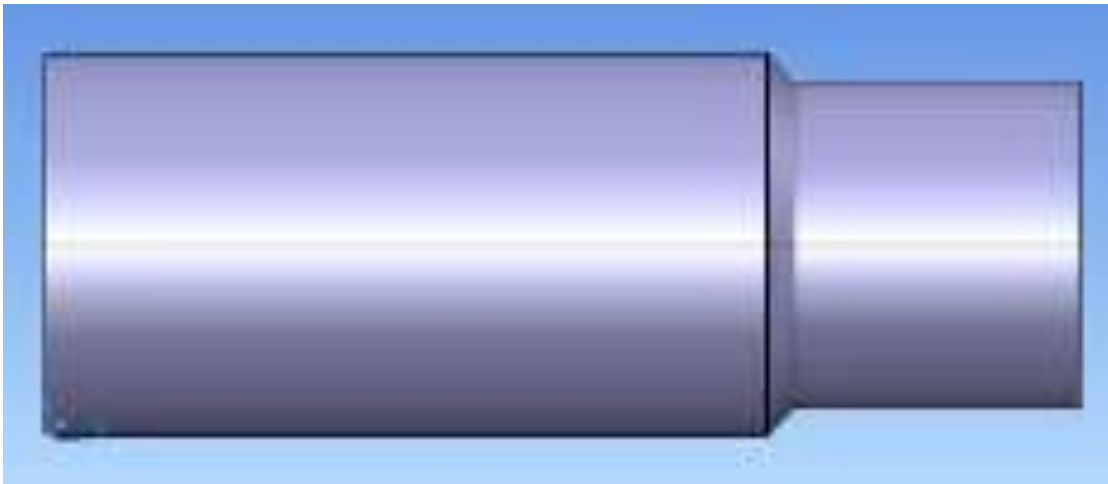


Рисунок 4.11 – Основа корпусу інструменту

Надалі система використовує реєстр прихованих елементів. Такий реєстр являє собою альтернативне дерево побудови. Як і в звичайному дереві побудови, першому створеному (першому прихованому) тілу присвоюється статус активного. Тому, для наочності роботи системи потрібно ввести перелік тіл та їх станів, подібний до дерева побудови.

Таблиця 4.4 – Таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення тіла корпусу свердла

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	корпуса інструмента	-

Після побудови елемента система «приховує» елемент і повертає параметри робочого вікна до початкових значень:

PRINCIPALPLANE XY

DISPLAY BLANKSELECTED

ACTIVATE_ WORKPLANE World

Таблиця 4.5 – Таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення тіла корпусу свердла.

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	-	корпус інструмента

Наступним етапом побудови є створення стружкових канавок кожної з ступенів інструменту. Ця операція здійснюється за принципом видавлювання контуру і здійснюється командою «CREATE SOLID EXTRUSION».

CREATE SOLID EXTRUSION

modify

length \$D_sverl/2+1

name виточка_1

accept

DISPLAY BLANKSELECTED

PRINCIPALPLANE XY

ACTIVATE_WORKPLANE World

Тіла виточка_1 і виточка_2 відповідають поверхням, на основі яких в подальшому створюються виточки під пластини, а, так як перша ступінь інструменту здійснює процес свердління, зазначені виточки повинні бути виконані з урахуванням необхідних зсувів відносно осі. У свою чергу це впливає на розміри виточок і глибину їх видавлювання. Зовнішній вигляд та положення зазначених елементів зображено на рис. 4.12 – 4.14 відповідно.

Таблиця 4.6 – таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення виточок – стружкових канавок

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Виточка_1	корпус інструмента

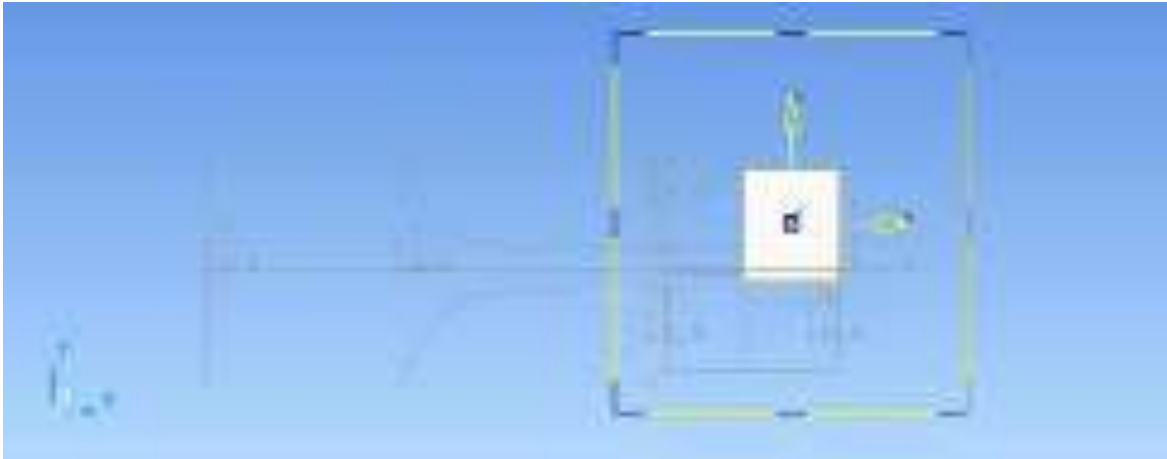


Рисунок 4.12 – Виточка_1

Таблиця 4.7 – Таблиця станів складових елементів корпусу інструмента

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Виточка_2	корпус інструмента
Неактивне тіло	-	Виточка_1



Рисунок 4.13 – Виточка_2

Виточки 3 і 4 симетричні, тому процес їх побудови та їх зовнішній вигляд повністю однакові.

Таблиця 4.8 – таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення виточок – стружкових канавок.

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Виточка_4	корпус інструмента
Неактивне тіло	-	Виточка_1
Неактивне тіло	-	Виточка_2
Неактивне тіло	-	Виточка_3

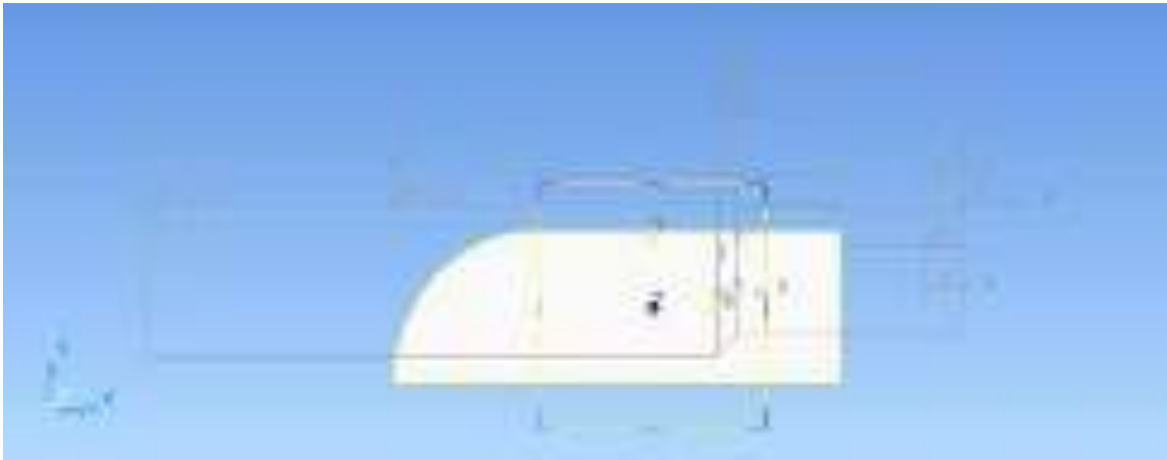


Рисунок 4.14 – Виточка_3 (Виточка_4)

Наступним етапом побудови моделі є побудова ще більш дрібних елементів корпусу інструменту – поверхонь, відносно яких базуються пластини. У дослідній САПР РІ в якості ріжучих елементів обрані чотиригранні пластини з заднім кутом $\alpha=10^0$. Тіла відповідної форми можна реалізувати двома способами:

- 1) На основі стандартних блоків (рис 4.15) – реалізується на основі блоку команд:

CREATE SOLID BLOCK

0 0 0

modify

Name под_пластину_1

LENGTH \$d_plast

$WIDTH \$d_{plast}$
 $HEIGHT \$t_{plast}$
 $ANGLE1 -\$Alfa$
 $ANGLE4 -\$Alfa$
 $ANGLE2 -\$Alfa$
 $ANGLE3 -\$Alfa$
 $ACCEPT$

Перевагою такого способу є простота використання. Подібний спосіб не вимагає проміжних обчислень. Однак такий спосіб може бути використаний тільки для деяких форм ріжучих пластин.

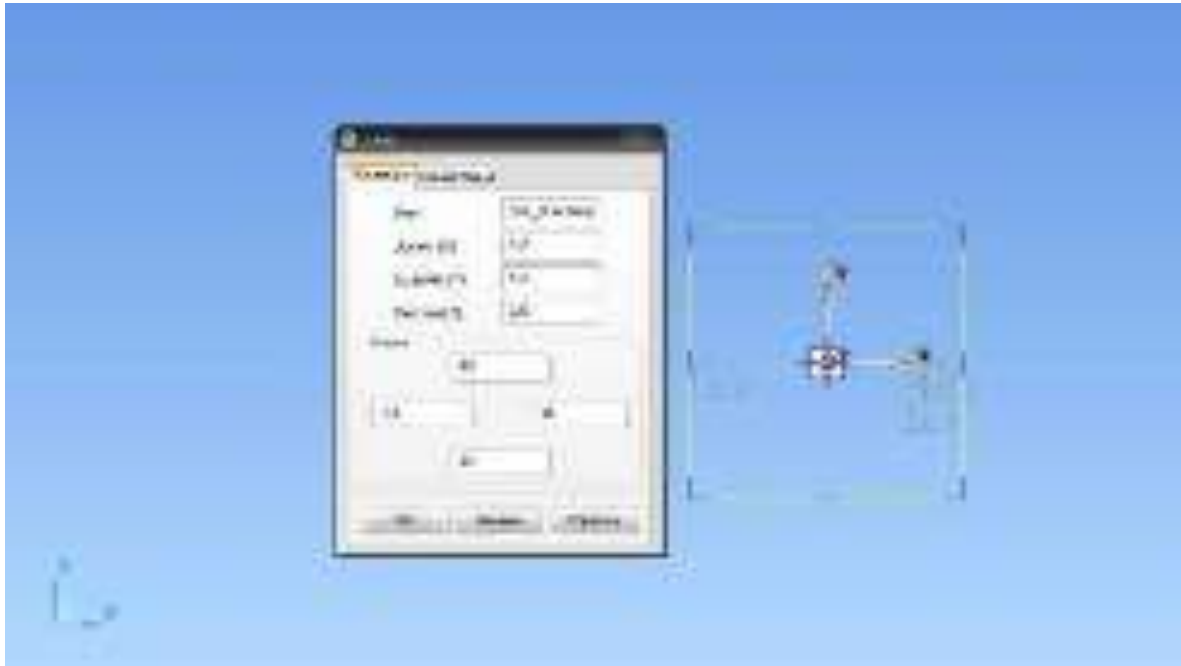


Рисунок 4.15 – основа для виточки під пластину.

2) На основі операції створення тіла за січеннями – такий спосіб більш універсальний, однак вимагає додаткових розрахунків і побудов. Спочатку цей спосіб використовувався у всій дослідній САПР РИ, проте, згодом, таким способом будувався тільки елемент «пластина».



Рисунок 4.16 – Виточки під пластину

Тіла «Под_пластину_3» і «Под_пластину_4» симетричні щодо осі (рис 4.16). Кожне тіло будується у власній системі координат. Проте системи координат зазначених тіл мають однакові спрямування всіх осей – тобто симетричні не щодо осі, а щодо площини XZ. Таким чином, висота тіла «Под_пластину_3» повинна дорівнювати значенню t_{plast} , а тіла «Под_пластину_4» – значення $-t_{plast}$. Однак при побудові тіл-примітивів система допускає введення тільки позитивних значень. Таким чином, для досягнення необхідної орієнтації тіл у просторі виникає необхідність розгорнути тіло навколо однієї з осей. Дану операцію, в залежності від способу створення тіла можна різними способами.

1) У разі, якщо за основу тіла брався базовий примітив, можна додатково редагувати примітив і поставити його положення за допомогою другої вкладки вікна редакції примітиву – «Орієнтація» (рис 4.17).



Рисунок 4.17 – Приклад вікна редакції базового примітиву «Блок»

Блок команд для автоматичного виклику цього вікна системою має наступний вигляд:

```
ADD SOLID OBJECT «name»
modify
PAGE 2
XTWIST CALCULATOR
EXPRESSION 180
ACCEPT
ACCEPT
```

де «name» – ім'я редагованого тіла.

XTWIST, *YTWIST*, *ZTWIST* – команда повороту тіла щодо відповідної осі.

2) У більшості CAD-систем доступний ще один спосіб надання тілу необхідного положення в просторі – дзеркальне відображення щодо осі або площині. Даний спосіб доступний для будь-якого типу об'єктів. Алгоритм запуску даної функції наведено нижче:

```
ADD SOLID OBJECT «name»
EDIT MIRROR
XY
EDIT MIRROR OFF
```

де «name» – ім'я редагованого тіла.

XY, *ZX*, *ZY* – відповідні площині.

Слід враховувати, що дана операція буде виконана щодо площин активної системи координат.

У дослідній системі САПР РІ використовуються обидва вищеописаних методи. Зокрема, для орієнтування тіл «Під_пластину_3» і «Під_пластину_4» використовується перший метод. Надалі ж для подібних операцій використовувався спосіб, описаний другим.

Таблиця 4.9 – таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення поверхонь для базування ріжучих пластин.

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Під_пластину_4	корпус інструмента
Неактивне тіло	-	Виточка_1
Неактивне тіло	-	Виточка_2
Неактивне тіло	-	Виточка_3
Неактивне тіло	-	Виточка_4
Неактивне тіло	-	Під_пластину_1
Неактивне тіло	-	Під_пластину_2
Неактивне тіло	-	Під_пластину_3

Після створення поверхонь, що базують ріжучі пластини, проектують більш дрібні деталі. Зокрема на даному етапі створюються отвори під кріплення гвинтами ріжучих пластин.

Для створення зазначених поверхонь зручно використовувати базовий примітив «Циліндр» (рис 4.18). Даний примітив можна будувати на основі системи координат відповідних тіл «Під пластину».

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_1

CREATE SOLID CYLINDER

0 0 0

modify

name под винт_1

DIMENSION \$d_vint/2

LENGTH \$D_zenk/2

ACCEPT

DISPLAY BLANKSELECTED



Рисунок 4.18 – Отвір під гвинт

Таблиця 4.10 – Таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення поверхонь для фіксуючих гвинтів

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Під гвинт_4	корпус інструмента
Неактивне тіло	-	Виточка_1
Неактивне тіло	-	Виточка_2
Неактивне тіло	-	Виточка_3
Неактивне тіло	-	Виточка_4
Неактивне тіло	-	Під_пластину_1
Неактивне тіло	-	Під_пластину_2
Неактивне тіло	-	Під_пластину_3
Неактивне тіло	-	Під_пластину_4
Неактивне тіло	-	Під гвинт_1
Неактивне тіло	-	Під гвинт_2
Неактивне тіло	-	Під гвинт_3

Останнім елементом побудови є поверхні, щодо яких надалі відбуватиметься прив'язка інших елементів інструменту. Дані поверхні не мають аналогів в реальному інструменті, тому вони не мають чітких обмежень за формою та розмірами і вибираються при створенні САПР РІ виходячи з того, з яким типом поверхні надалі будуть створюватися прив'язки. В даному випадку обрані прив'язки по осі отворів корпусу інструменту і ріжучої пластини. Однією з особливостей системи PowerShape є те, що при створенні прив'язок необхідно вказувати ключові точки поверхонь і одиничний нормальний вектор (рис. 4.19). В якості ключових точок зазвичай виступають геометричні центри зазначених поверхонь. Так для циліндра ключова точка знаходиться в центрі утворюваного кола, на висоті половини висоти циліндра.

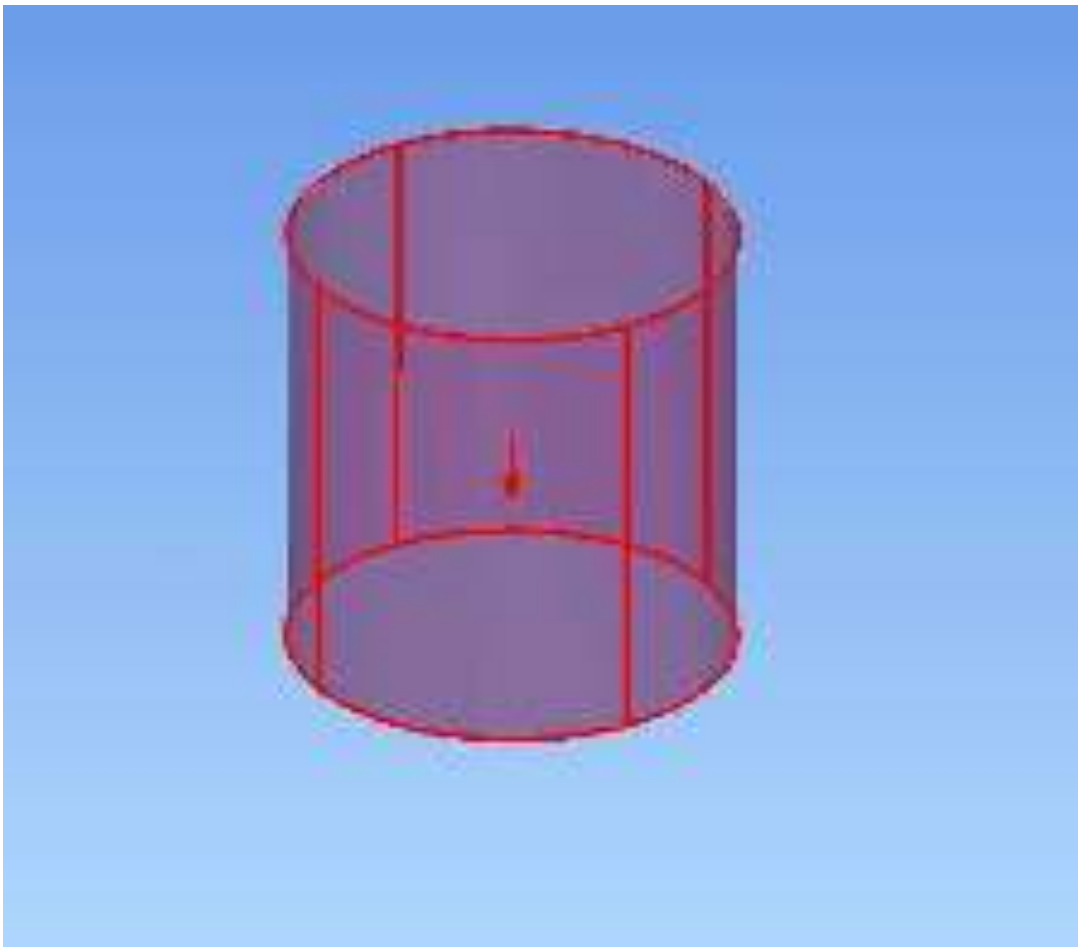


Рисунок 4.19 – Приклад прив'язки по осі циліндра

Однак такий спосіб не зовсім зручний для створення прив'язки по осі поверхонь, утворених елементами «Під гвинт». Особливість цих циліндричних поверхонь полягає в тому, що одна з підстав поверхні лежить на площині, а друге – проєцировано на ділянку бокової поверхні іншого циліндру (рис. 4.20).

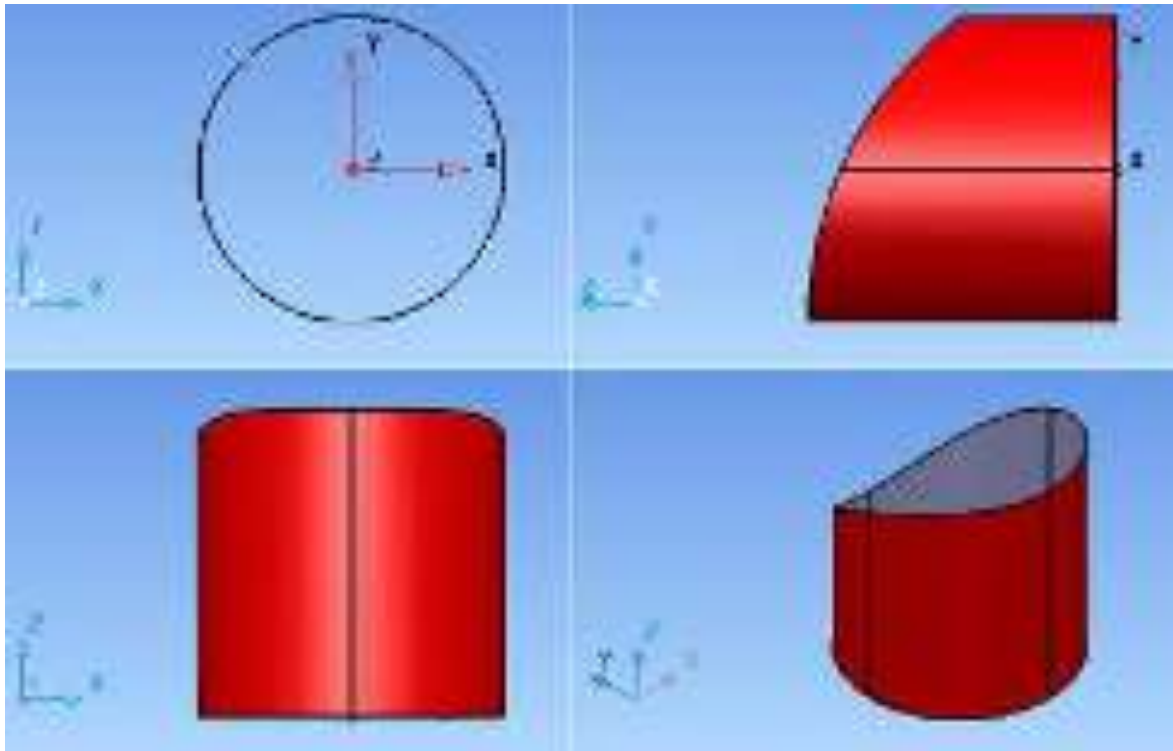


Рисунок 4.20 – Приклад поверхні, утвореної тілом «Під гвинт»

У подібному випадку досить важко розрахувати і вказати ключову точку з необхідною точністю. Для того, щоб уникнути подібних розрахунків отвору додається ще одна ступінь, щодо якої і виконується прив'язка (рис. 4.21).

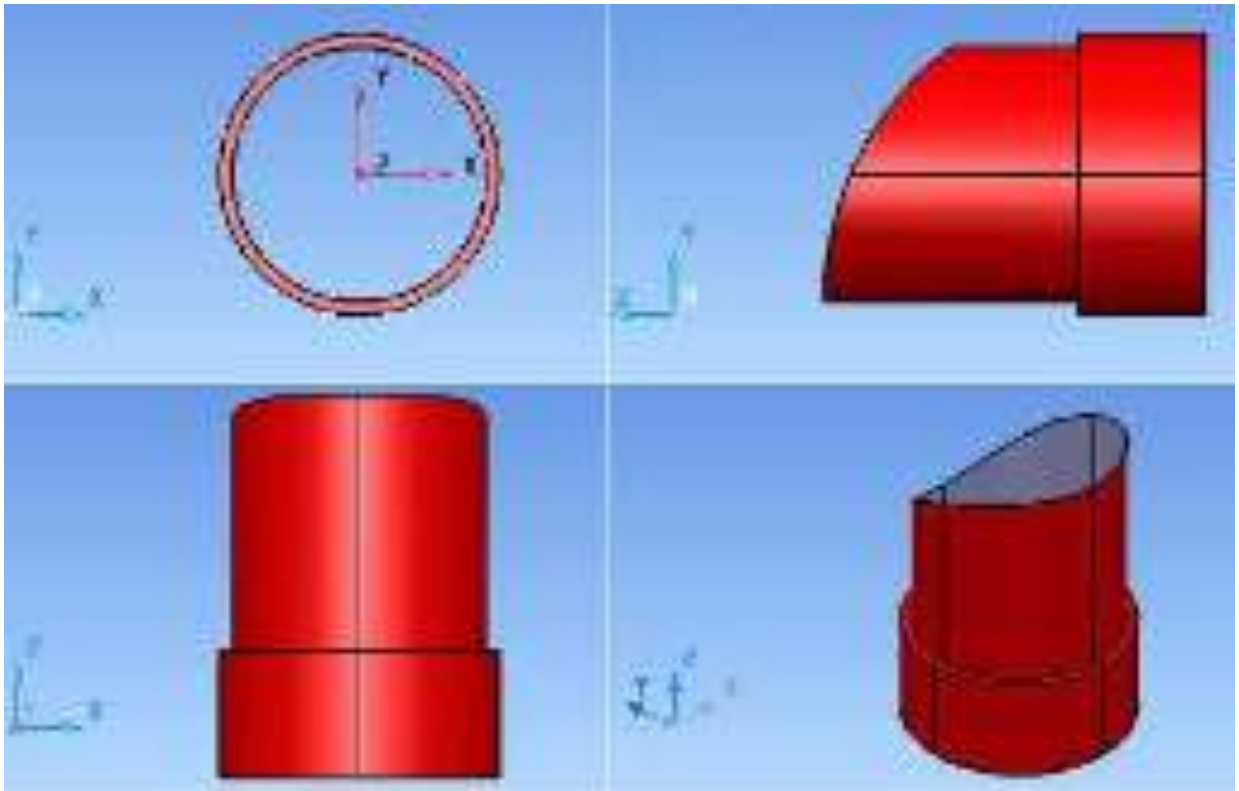


Рисунок 4.21 – Приклад поверхні, утвореної тілами «Під гвинт» і «База_гвинт»

При створенні дослідної системи САПР РІ друга ступінь зазначеної поверхні утворюється за допомогою тіл «База_гвинт».

```

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину
CREATE SOLID CYLINDER
0 0 0
modify
name база винт
DIMENSION $d_vint/2*1.1
LENGTH 0.2+$t_plast
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED

```

Порівняно з тілом «Під гвинт» тіло «База_гвинт» має більший діаметр, однак не проходить через усе тіло «корпус інструмента» а заглиблюється на 0.2 мм. Створення кожного тіла типу «База_гвинт» закінчується рядком, пересилаючим створене тіло в розряд прихованих.

Таблиця 4.11 – таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: створення поверхонь для подальшої прив'язки

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	-	корпус інструмента
Неактивне тіло	-	Виточка_1
Неактивне тіло	-	Виточка_2
Неактивне тіло	-	Виточка_3
Неактивне тіло	-	Виточка_4
Неактивне тіло	-	Під_пластину_1
Неактивне тіло	-	Під_пластину_2
Неактивне тіло	-	Під_пластину_3
Неактивне тіло	-	Під_пластину_4
Неактивне тіло	-	Під_гвинт_1
Неактивне тіло	-	Під_гвинт_2
Неактивне тіло	-	Під_гвинт_3
Неактивне тіло	-	Під_гвинт_4
Неактивне тіло	-	База_гвинт_1
Неактивне тіло	-	База_гвинт_2
Неактивне тіло	-	База_гвинт_3
Неактивне тіло	-	База_гвинт_4

На завершальному етапі побудови всі побудовані тіла за допомогою булевих операцій утворюють корпус інструменту. Одна з особливостей системи PowerShape полягає в можливості виконувати булеві операції одночасно з безліччю тел. При цьому активну тіло виступає в ролі основи, до якої додаються або від якої віднімаються інші вибрані, неактивні тіла. Так як в роботі дослідної системи САПР РІ використовувався реєстр прихованих тіл, то спочатку необхідно перевести всі тіла в розряд активних. Дана операція виконується за допомогою наступного рядка-команди:

DISPLAY UNBLANK

При цьому на дисплеї відображаються всі тіла, що були до цього «прихованими» (рис. 4.22).

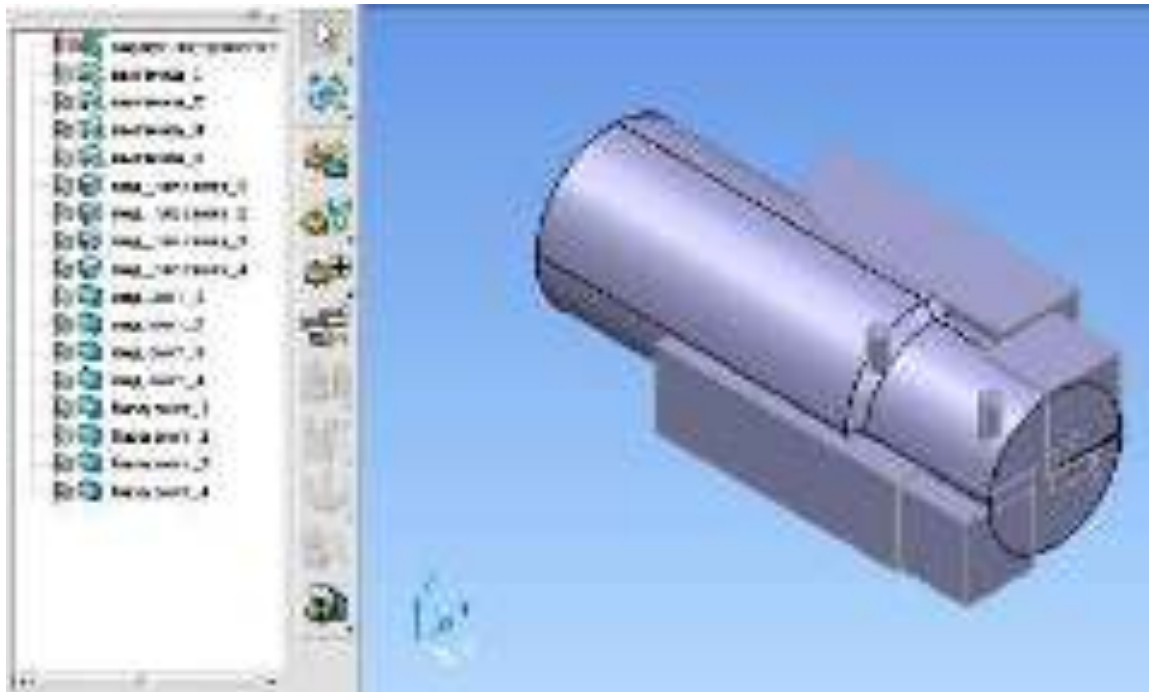


Рисунок 4.22 – Виведення на дисплей прихованих елементів

Таблиця 4.11 – Таблиця станів складових елементів корпусу інструменту: виведення на дисплей прихованих елементів

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	корпус інструмента	-
Неактивне тіло	Виточка_1	-
Неактивне тіло	Виточка_2	-
Неактивне тіло	Виточка_3	-
Неактивне тіло	Виточка_4	-
Неактивне тіло	Під_пластину_1	-
Неактивне тіло	Під_пластину_2	-
Неактивне тіло	Під_пластину_3	-
Неактивне тіло	Під_пластину_4	-
Неактивне тіло	Під_гвинт_1	-
Неактивне тіло	Під_гвинт_2	-
Неактивне тіло	Під_гвинт_3	-
Неактивне тіло	Під_гвинт_4	-
Неактивне тіло	База_гвинт_1	-
Неактивне тіло	База_гвинт_2	-
Неактивне тіло	База_гвинт_3	-
Неактивне тіло	База_гвинт_4	-

При виведення на дисплей прихованих елементів елементи зберігають ієрархію і залишаються виділеними. Це дозволяє відразу ж приступати до булевого віднімання (рис 4.23). Таким чином, використання реєстру прихованих елементів не тільки робить зручніше і наочніше створення елементів інструменту, але і дозволяє спростити підготовку тіл до логічних операцій.

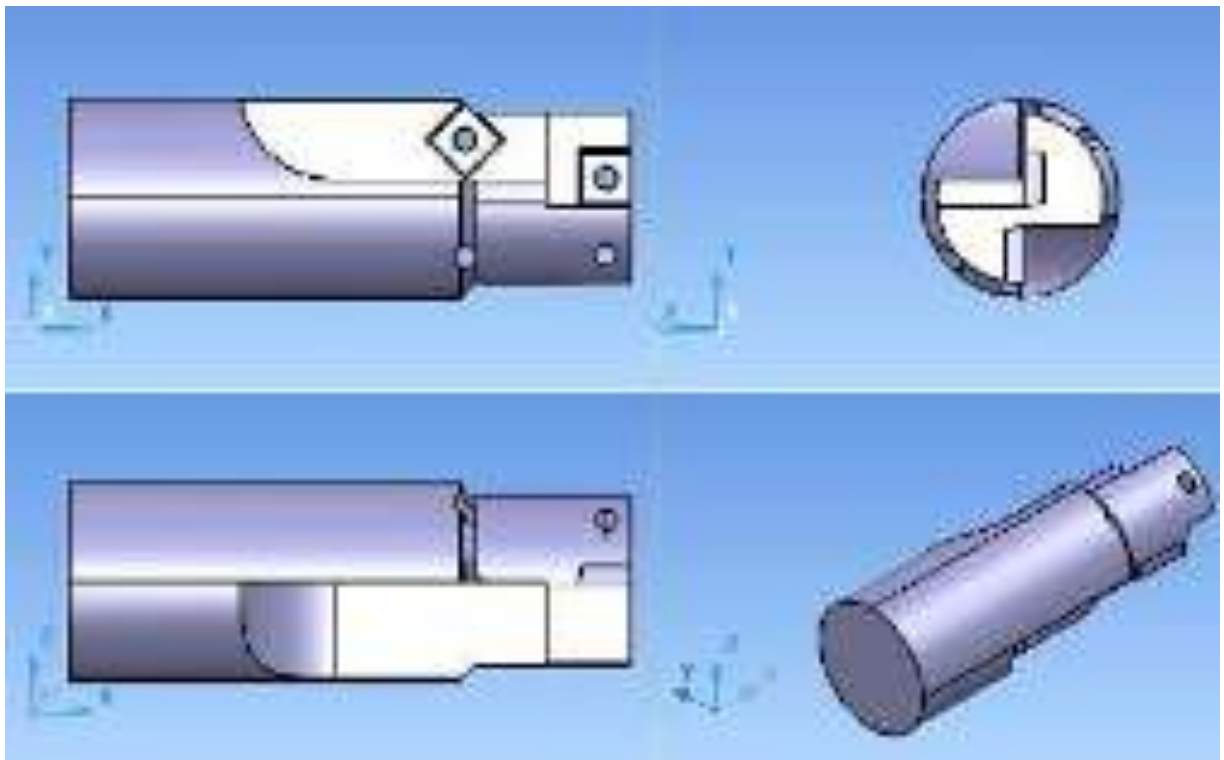


Рисунок 4.23 – Результат булевого віднімання

Після закінчення проектування система збирає дані про моделі, необхідні для подальшої роботи і передає їх у головний макрос (табл. 4.12). Для експорту даних між макросами використовується команда «EXPORT». Зокрема, в якості вихідних даних після проектування корпусу інструменту виступають як змінні, так і імена елементів, а так само ім'я файлу.

Таблиця 4.12 – Таблиця експортованих даних з моделі «корпус інструменту»

Ім'я експортованих змінних	Призначення експортованих змінних
\$Xpl1	Координата X елемента «Під пластину_1»
\$Ypl1	Координата Y елемента «Під пластину_1»
\$Zpl1	Координата Z елемента «Під пластину_1»
\$Xpl2	Координата X елемента «Під пластину_2»
\$Ypl2	Координата Y елемента «Під пластину_2»
\$Zpl2	Координата Z елемента «Під пластину_2»
\$Xpl3	Координата X елемента «Під пластину_3»
\$Ypl3	Координата Y елемента «Під пластину_3»
\$Zpl3	Координата Z елемента «Під пластину_3»
\$D_zenk	Діаметр ступені – зенкера
\$D_sverl	Діаметр ступені – свердла
\$L_cage	Довжина корпусу інструменту

Крім зазначених даних для коректної роботи необхідно, щоб файл з моделлю мав ім'я «sage», а ім'я моделі в збереженому файлі – «корпус інструменту».

4.3.3 Хвостовик. Створення моделі хвостовика так само починається з експорту введених діаметру і глибини отвору.

```

Args {
  real Diam
  real L_obr
}

```

Наступним етапом побудови є створення ескізу під операцію обертання. Однак у дослідній САПР РІ була закладена можливість побудови різних варіантів виконання хвостовика. Тому, в залежності від введених даних система створить або ескіз хвостовика HSK-A (рис 4.24), або хвостовика з конусністю 7:24 (рис 4.25).

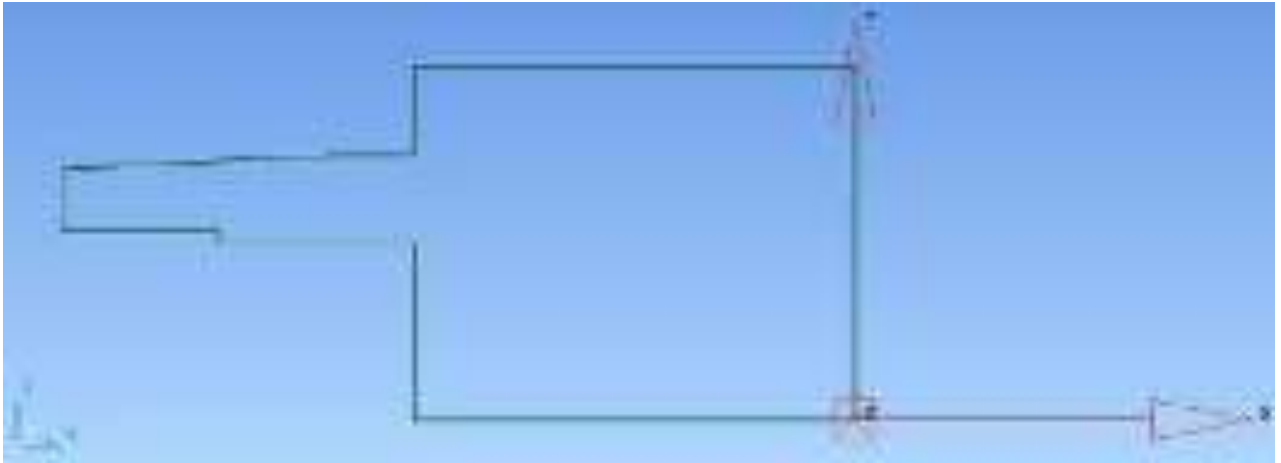


Рисунок 4.24 – Ескіз хвостовика HSK-A

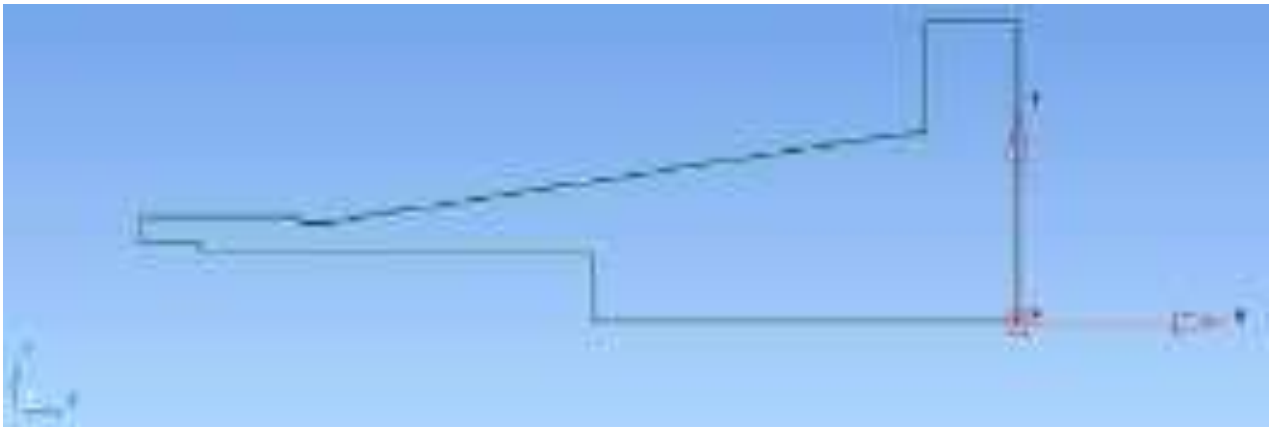


Рисунок 4.25 – Ескіз хвостовика 7:24

Як вказано на ескізах ескіз хвостовика 7:24 містить більше елементів. Додатковий елемент – циліндрична частина, служить для кріплення хвостовика. У хвостовика HSK-A для тієї ж мети призначений торцевий паз. Однак інші елементи обох хвостовиків схожі.

На основі ескізів система створює тіла, використовуючи операцію обертання.

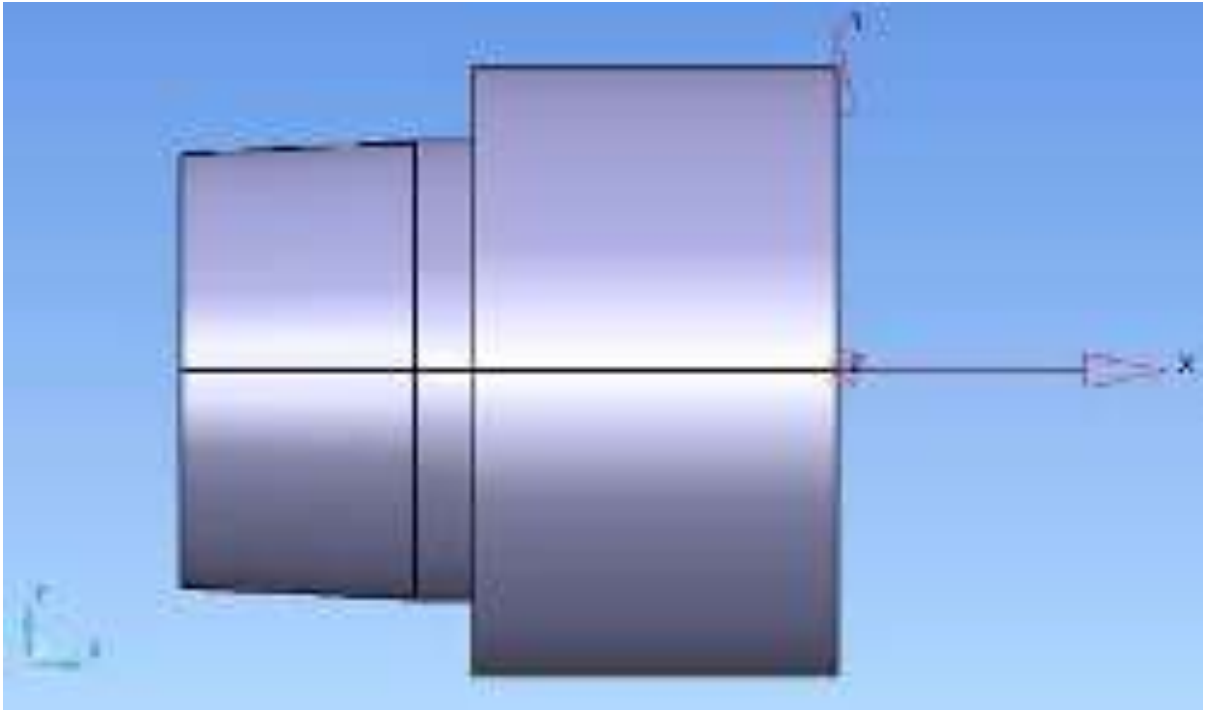


Рисунок 4.26 – Тіло хвостовика HSK-A

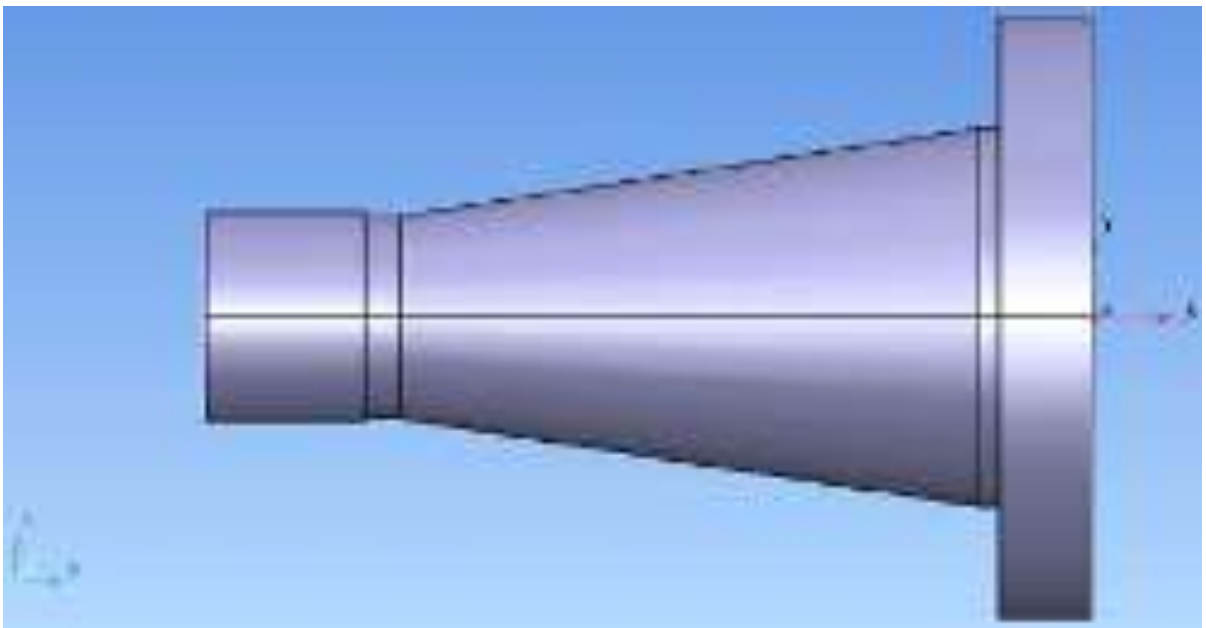


Рисунок 4.27 – Тіло хвостовика 7:24

Як і при створенні моделі корпусу інструменту, при створенні моделі хвостовика використовується реєстр прихованих елементів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – таблиця станів складових елементів хвостовика

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Хвостовик	-

Наступним етапом після створення тіла хвостовика йде створення виточки для автоматичної зміни інструменту – АСІ. В основі цього елемента лежить тіло обертання з базовим ескізом у вигляді трапеції. Типорозмір даного елемента визначається діаметром вписаного в трапецію кола. Кут нахилу бічних стінок трапеції дорівнює 30° . На рисунку 4.28 наведено ескіз АСІ з типорозміром 4. На рисунку 4.29 наведено тіло АСІ з типорозміром 4.

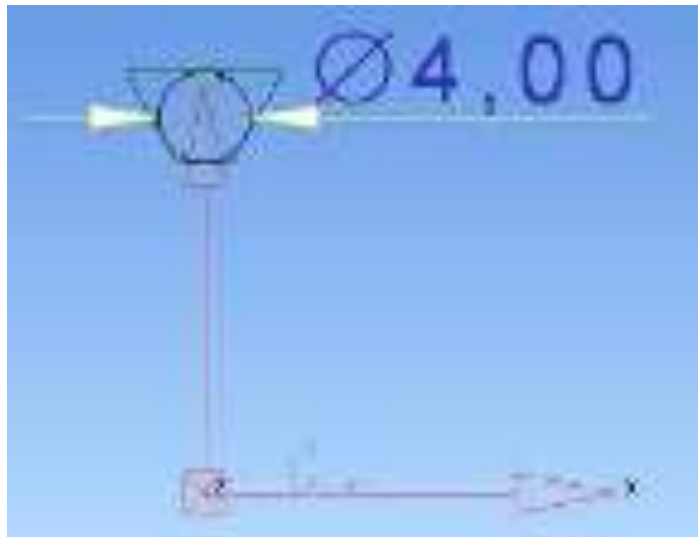


Рисунок 4.28 – Ескіз виточки АСІ



Рисунок 4.29 – Тіло виточки АСІ

Таблиця 4.14 – Стани складових елементів хвостовика

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Виточка АСІ	Хвостовик

Останнім спільним елементом хвостовиків є лиски для передачі обертання від шпинделя до інструменту. Ці елементи мають найбільш просту геометрію і можуть бути виконані у вигляді базових примітивів. Однак при роботі дослідної САПР РІ використовувався метод створення тіла витягуванням контуру (рис 4.30).

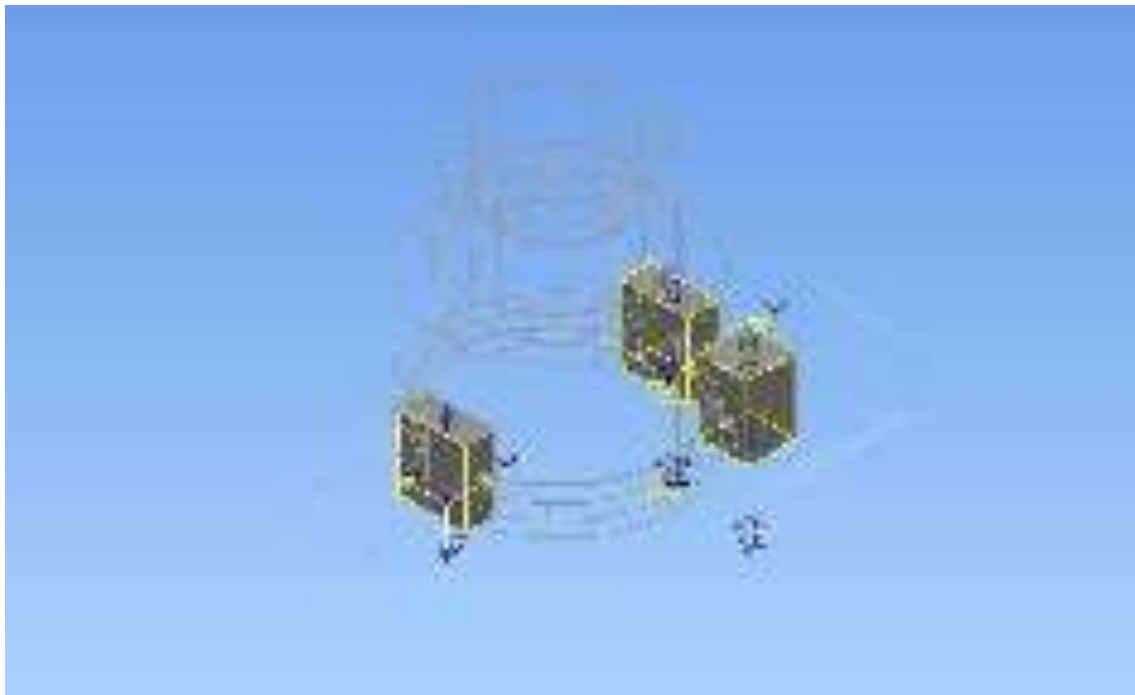


Рисунок 4.30 – Тіло лиски

Таблиця 4.15 – Стани складових елементів хвостовика

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Лиска	Хвостовик
Неактивне тіло	Лиска_1	Виточка АСИ
Неактивне тіло	Лиска_2	-

Для хвостовика HSK система створює додатковий елемент – торцевий паз. Таким чином, на момент завершення даного етапу проектування, в залежності від конструкції хвостовик може складатися з наступних елементів (рис 4.31, табл.4.16 і рис 4.32, табл.4.17 відповідно):

Таблиця 4.16 – таблиця станів складових елементів хвостовика з конусністю 7:24.

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Хвостовик	-
Неактивне тіло	Виточка АСИ	-
Неактивне тіло	Лиска	-
Неактивне тіло	Лиска_1	-
Неактивне тіло	Лиска_2	-

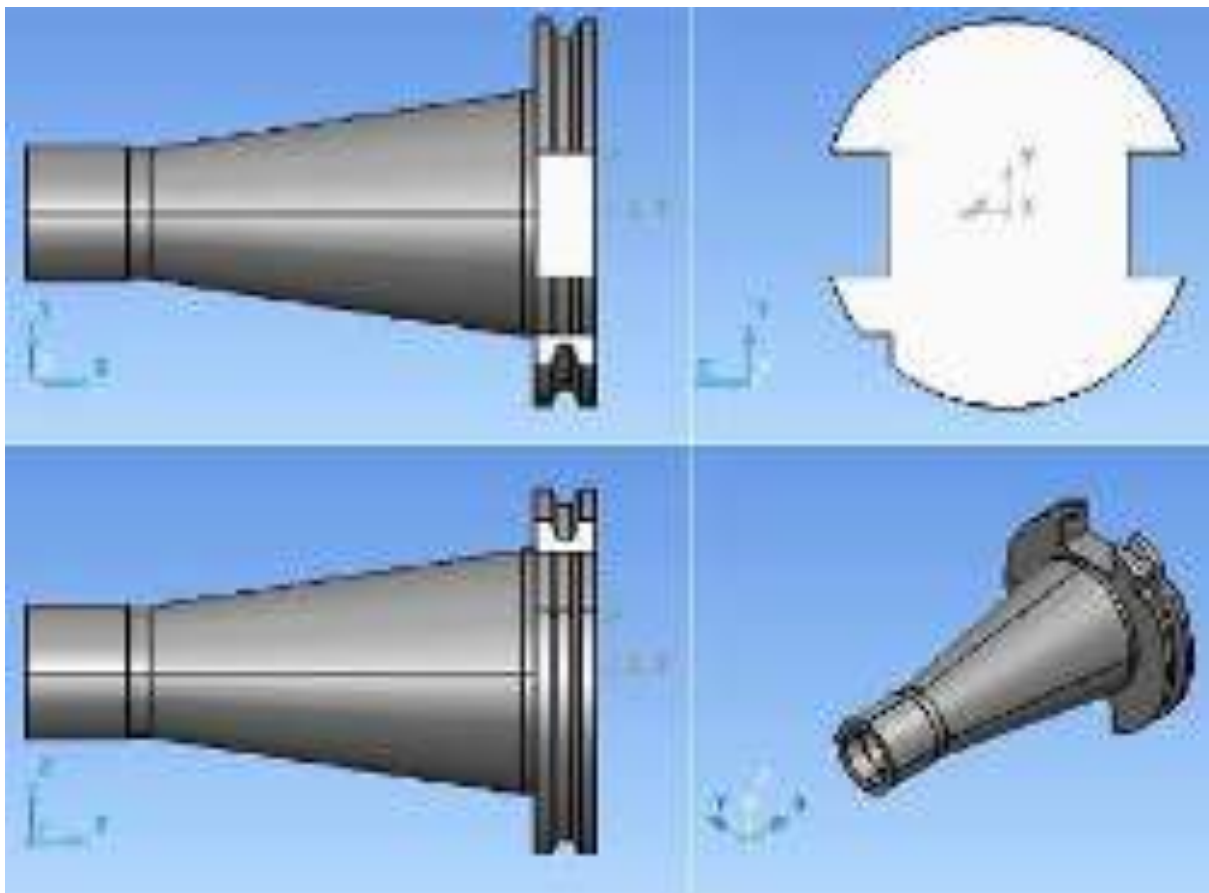


Рисунок 4.31 – Модель хвостовика з конусністю 7:24

Таблиця 4.17 – Стани складових елементів хвостовика HSK-A

	Робочі елементи	Приховані елементи
Активне тіло	Хвостовик	-
Неактивне тіло	Виточка АСИ	-
Неактивне тіло	Лиска	-
Неактивне тіло	Лиска_1	-
Неактивне тіло	Лиска_2	-
Неактивне тіло	Торцевий паз	-

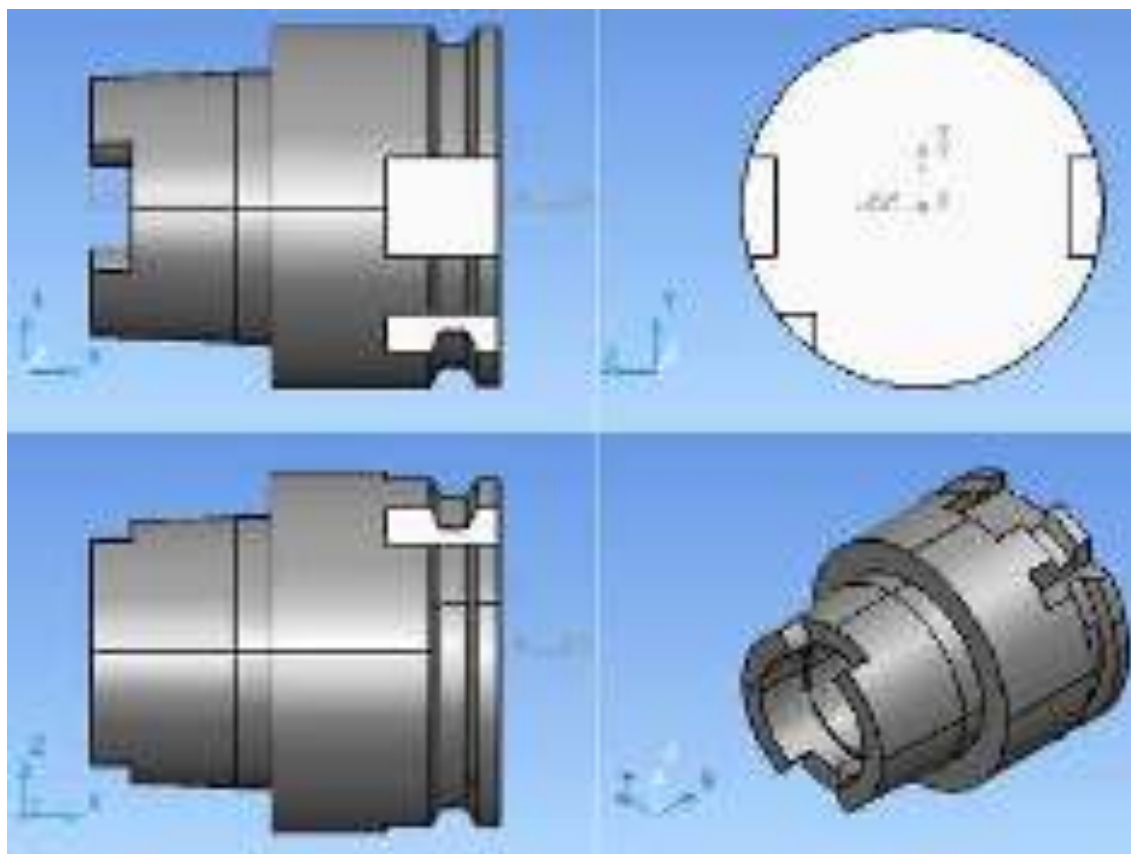


Рисунок 4.32 – Модель хвостовика HSK-A

По закінченні побудови моделі, як і при проектуванні корпусу інструменту, система експортує деякі дані. Проте в даному випадку даних на експорт значно менше (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 – Таблиця експортованих даних з моделі «хвостовик»

\$L_shaft	Загальна довжина хвостовика
\$D_hvost	Максимальний діаметр хвостовика
Хвостовик	Ім'я моделі
Shaft.psmodel	Ім'я та розширення файлу

4.3.4 Ріжуча пластина. Створення моделі ріжучої пластини також починається з імпорту даних:

```
Args {
  real Diam
  real alfa
  real gamma
}
```

На відміну від попередніх моделей ріжуча пластина не є тілом обертання. Як вже зазначалося раніше, в подібних випадках можливі два варіанти побудови основного тіла моделі

- Використання базових примітивів з додатковими настройками;
- Побудова моделі за перерізами.

В даному випадку верхня і нижня площини являють собою профіль, який не може бути отриманий безпосередньо з базових примітивів. Виходячи з цього, тіло пластини зручніше побудувати за перерізами (рис. 4.33, 4.34).

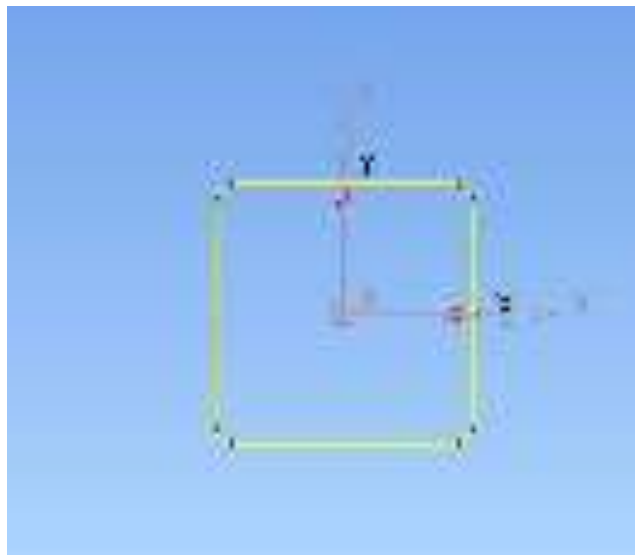


Рисунок 4.33 – Ескіз нижнього перетину ріжучої пластини (вид зверху)

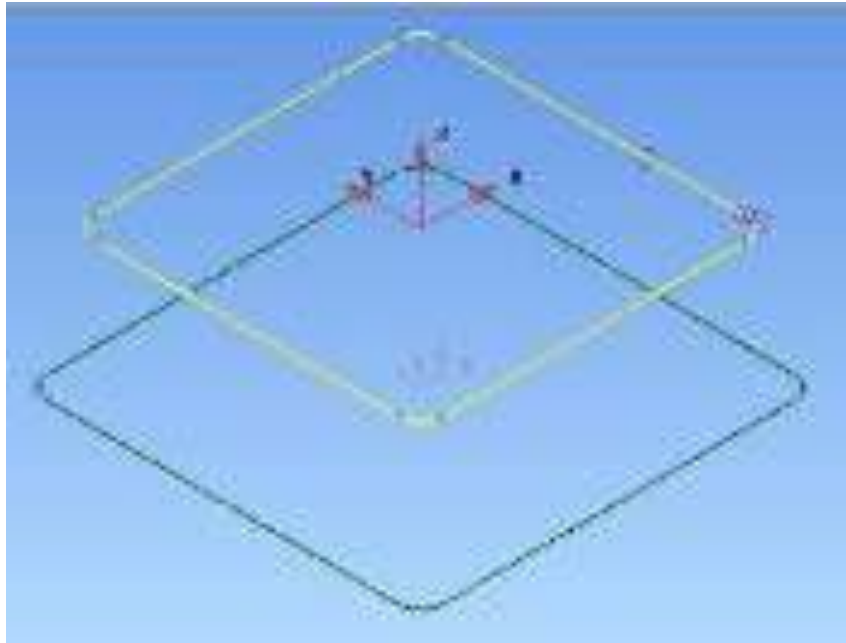


Рисунок 4.34 – Ескіз верхнього перетину ріжучої пластини

Як показано на рисунках 4.33, 4.34 обидва ескізи містять скруглення. При створенні тіла з базових примітивів створити такі скруглення досить проблематично. Модель за перерізами дозволяє побудувати подібні поверхні значно легше. Для того щоб створити скруглення в ескізі достатньо вказати точку перетину ліній і віддати системі відповідну команду:

create arc filletline

\$X \$Y \$Z

modify

R \$R_plast

accept

де *\$X*, *\$Y*, *\$Z* – відповідні координати перетину ліній;

\$R_plast – параметр, який встановлює радіус округлення ріжучої кромки.

Подібною командою створюються скруглення в обох ескізах-перетинах.

В системі PowerShape для створення тіла за перерізами необхідно побудувати утворюючу лінію (напряму). В ролі утворюючої може бути як

пряма, так і крива, як у площині, так і просторова. В даному випадку достатньо прямої лінії, що з'єднує верхній перетин з нижнім (рис 4.35).

Налаштування операції створення тіла за січеннями перебувають у спливаючому вікні. У цьому ж вікні необхідно у відповідних графах вказати перерізи і напрямну.

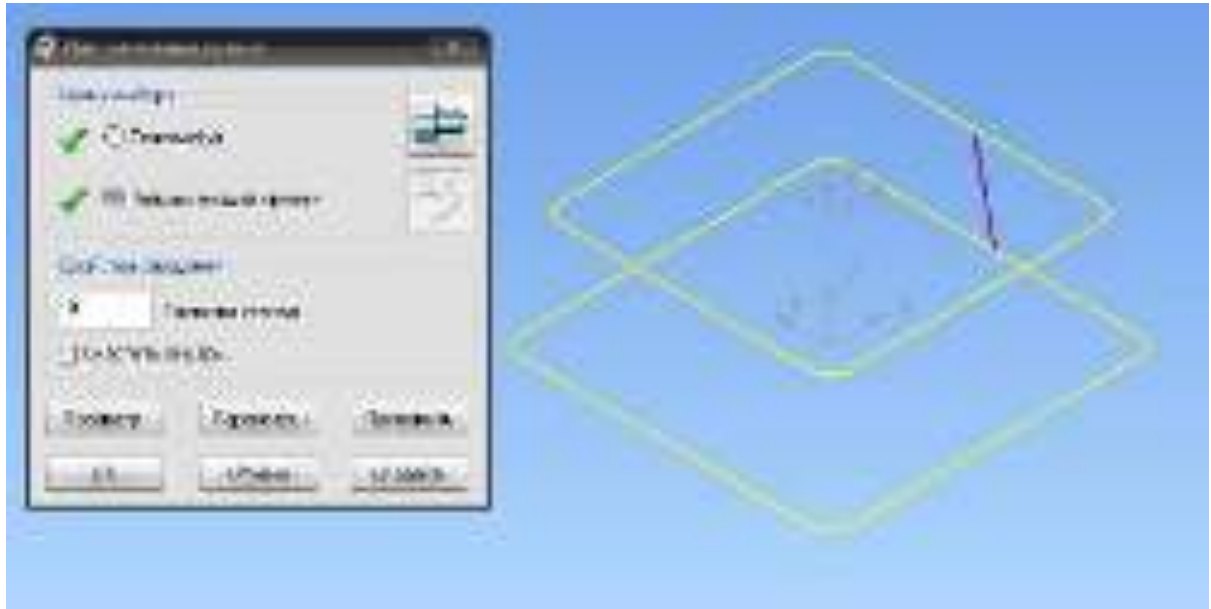


Рисунок 4.35 – Спливаюче вікно для створення тіла методом перерізів

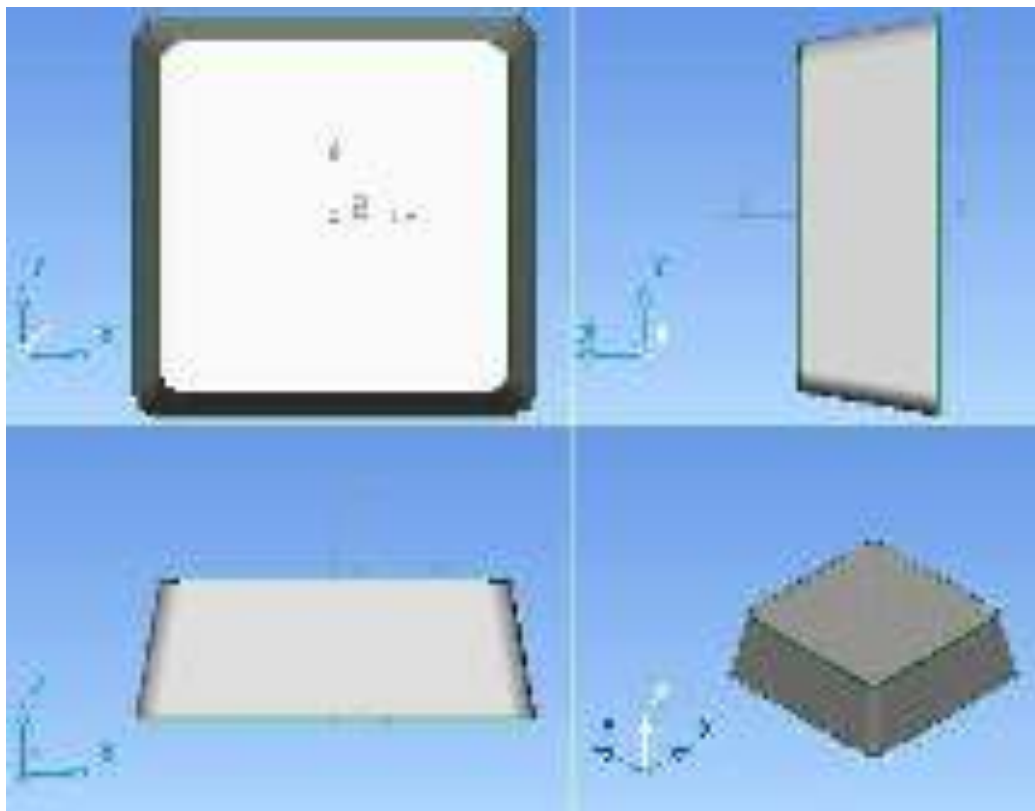


Рисунок 4.36 – Тіло методом перерізів

Після створення тіла ріжучої пластини, отриманий елемент «ховається» і система створює тіло отвору пластини під кріпильний гвинт. Дане тіло належить до розряду тіл обертання, тому ескіз повинен відповідати всім необхідним вимогам. Приклад виконання тіла отвори наведено на рисунку 4.37.

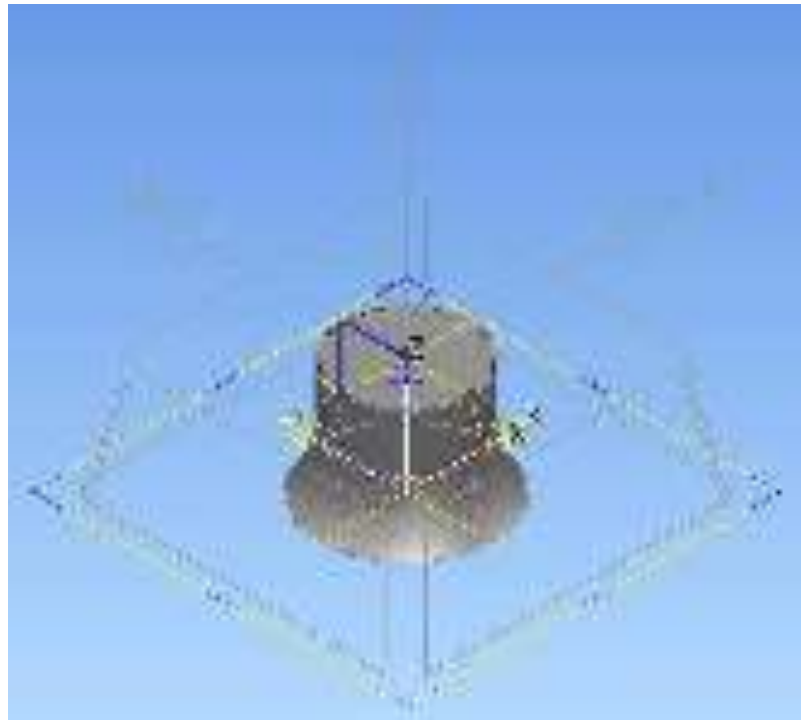


Рисунок 4.37 – Тіло отвору пластини під кріпильний гвинт

Для створення моделі ріжучої пластини елементи, побудовані системою, віднімаються з допомогою відповідної булевої операції.

Модель може також містити елемент, що створює передню поверхню пластини. Цей елемент також будується за перерізами. Однак якщо в разі тіла пластини основу становили два перетини, а спрямовуюча грала лише допоміжну роль, то в даному випадку і перетин і спрямовуюча рівно важливі. Для порівняння можна привести виконання таких операцій в програмному пакеті КОМПАС 3D. Створення тіла пластини, аналогічне наведеному вище, виконується командою «операція за перерізами» і являє собою плавний

перехід від перерізу до перерізу. А створення елемента для освіти передньої поверхні – «кінематична операція» і являє собою протягування одного ескізу за іншим. У разі використання даної операції в системі PowerShape на дисплей виводиться вікно налаштувань, аналогічне операції створення тіла пластини (рис 4.38).



Рисунок 4.38 – Створення тіла, утворюючого передню поверхню методом перетинів

Однак дана операція не була включена до складу виконуваних дослідної САПР РІ. При проектуванні ріжучої пластини було зроблено спрощення – передній кут γ прийнятий рівним 0^0 . Це припущення було зроблено з метою спростити модель і уникнути помилок при її відображенні на дисплеї. Таким чином, модель ріжучої пластини, підготовлена системою, складається тільки з двох елементів. Зовнішній вигляд моделі показано на рисунку 4.39, дані для експорту в систему наведені в таблиці 4.19.

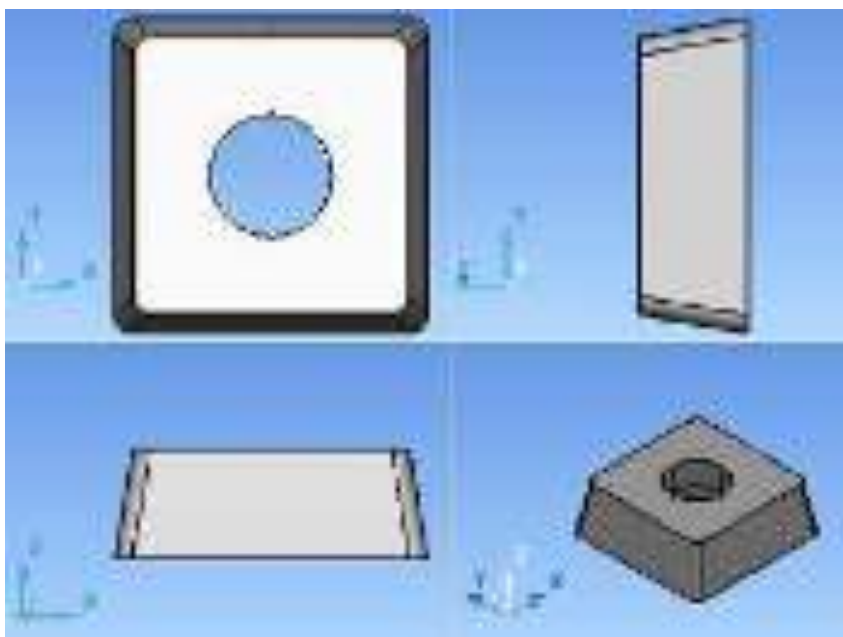


Рисунок 4.39 – Модель ріжучої пластини

Таблиця 4.19 – Таблиця експортованих даних з моделі «пластина»

\$d_plast	Діаметр отвору в пластині
\$R_plast	Радіус округлення ріжучої кромки
\$t_plast	Товщина пластини
Пластина	м'я моделі
Plate.psmodel	Ім'я та розширення файлу з моделлю

4.4 Об'єднання елементів інструменту в єдину збірку

Завершальним етапом побудови моделі інструменту є об'єднання елементів у збірку. Етап зборки елементів інструменту в загальну модель починається з імпорту даних. Перелік імпортованих даних наведено в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 – Таблиця імпортованих даних підпрограму зборки

Найменування параметра	Позначення параметра	Експортує підпрограма
\$D_hvost	Загальна довжина хвостовика	Shaft7to24.mac, ShaftHSK.mac
\$D_zenk	Діаметр ступені – зенкера	Cage.mac
\$Xpl1	Координата X елемента «Під пластину_1»	Cage.mac
\$Ypl1	Координата Y елемента «Під пластину_1»	Cage.mac
\$Zpl1	Координата Z елемента «Під пластину_1»	Cage.mac
\$Xpl2	Координата X елемента «Під пластину_2»	Cage.mac
\$Ypl2	Координата Y елемента «Під пластину_2»	Cage.mac
\$Zpl2	Координата Z елемента «Під пластину_2»	Cage.mac
\$Xpl3	Координата X елемента «Під пластину_3»	Cage.mac
\$Ypl3	Координата Y елемента «Під пластину_3»	Cage.mac
\$Zpl3	Координата Z елемента «Під пластину_3»	Cage.mac
\$d_plast	Вписаний діаметр, що визначає типорозмір	Cage.mac
\$R_plast	Радіус округлення ріжучої кромки	Plate.mac
\$t_plast	Товщина пластини	Plate.mac
\$L_cage	Довжина корпусу інструменту	Plate.mac
\$L_shaft	Довжина хвостовика	Shaft7to24.mac, ShaftHSK.mac
\$Alfa	Передній кут ріжучої пластини	Start.mac
«Корпус інструмента»	Ім'я моделі корпусу інструменту	Cage.mac
«Хвостовик»	Ім'я моделі хвостовика	Shaft7to24.mac, ShaftHSK.mac
«Пластина»	Ім'я моделі ріжучої пластини	Plate.mac
Cage.psmode	Ім'я та розширення файлу з моделлю корпусу інструменту	Cage.mac
Shaft.psmode	Ім'я та розширення файлу з моделлю хвостовик	Shaft7to24.mac, ShaftHSK.mac
Plate.psmode	Ім'я та розширення файлу з моделлю ріжучої пластини	Plate.mac

Для зручності роботи і налагодження підпрограми створення збірки була розбита на два файли. У першому файл містить команди, що додають елементи в бібліотеку компонентів програми. У другій частині програми містяться команди, що створюють прив'язки між елементами.

Для створення збірки спочатку потрібно додати всі побудовані об'єкти до бібліотеки компонентів системи. Дана операція виконується наступною командою.

CREATE COMPONENT ON_CURSOR

SELECT

BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл моделі
(.*psmodel)|*.psmodel||' TITLE OPENFILECONTEXT*

Шлях до моделі\модель.psmodel

MODEL C:/ Шлях до моделі / модель.psmodel/

*2*0*

ACCEPT

X Y Z

Cancel

де *Шлях до моделі\модель.psmodel* – вказується шлях до файлу, використовуючи як роздільник символ «\» приклад: C:\Documents and Settings\User\Робочий стіл \Макрос \деталі \Cage.psmodel

MODEL C:/ Шлях до моделі / модель.psmodel/ – додавання файлу до бази даних. Використовується розділювач «/». Приклад: C:/Documents and Settings/User/Робочий стіл/Макрос/деталі/Cage.psmodel.

*2*0*, *2*1* – вказують, що модель знаходиться у зовнішній базі даних. «1» після розділювача * означає, що файл знаходиться в редакції – модель відкрита в одному з вікон PowerShape, «0» – що модель в системі не відкрита.

X Y Z – координати, в яких буде поміщений елемент (у дані координати поміщається нульова точка моделі).

Після внесення всіх елементів свердла в базу даних системи необхідно створити прив'язки між елементами. Оголошення прив'язки має наступний вигляд:

CREATERELATION

Add Component "ім'я зборки" "ім'я компонента 1"

SELECT ATTACHMENT "ім'я компонента 1" "тип прив'язки \$X \$Y \$Z \$X1 \$Y1 \$Z1"

Add Component "ім'я зборки" "ім'я компонента 2"

SELECT ATTACHMENT "ім'я компонента 2" "тип прив'язки \$X \$Y \$Z \$X1 \$Y1 \$Z1"

APPLY

де *ім'я зборки* – ім'я зборки, утворене додаванням до імені файлу зі зборкою позначення «assembly». Наприклад, якщо файл зі зборкою носить ім'я «Drill», то назва збірки буде «Drill_assembly». Назва збірки береться в лапки, як показано в прикладі.

ім'я компонента 1, *ім'я компонента 2* – імена компонентів, що утворюють прив'язку. Імена отримано з назв файлів, що зберігають відповідні елементи. Так, якщо ім'я файлу з елементом «хвостовик» – Shaft.psmodel, то ім'я компонента буде «Shaft». Імена компонентів беруться в лапки, як показано в прикладі.

\$X \$Y \$Z – координати ключової точки об'єкта, щодо якого утворюється прив'язка. Найчастіше в якості ключової точки виступає геометричний центр об'єкта. Координати ключовою точки вводяться у власній системі координат компонента.

\$X1 \$Y1 \$Z1 – координати одиничного вектора. Одиничний вектор представляє напрям прив'язки, будується паралельно осі або перпендикулярно площині, щодо яких створюється прив'язка. При вказівці одиничного вектора повинна виконуватися умова:

$$\sqrt{\$X1^2 + \$Y1^2 + \$Z1^2} = 1$$

Після відкриття у файлі-зборці всіх необхідних компонентів необхідно створити між тілами відповідні зв'язки – прив'язки. Система PowerShape пропонує наступні види прив'язок:

- POINT – прив'язка до точки. У цьому випадку після оголошення прив'язки необхідно додати три координати цієї точки. Дана прив'язка не використовує одиничний вектор.
- LINE – прив'язка до лінії. Зазначаються координати початкової і кінцевої точки. Дана прив'язка не використовує одиничний вектор. При вказівці у прив'язці відстані до обраної лінії слід враховувати, що введена відстань буде розрахована не від точок, безпосередньо лежачих на прямій, а від уявного продовження лінії у напрямку прив'язки. Приклад подібного побудови показано на рисунку 4.40.

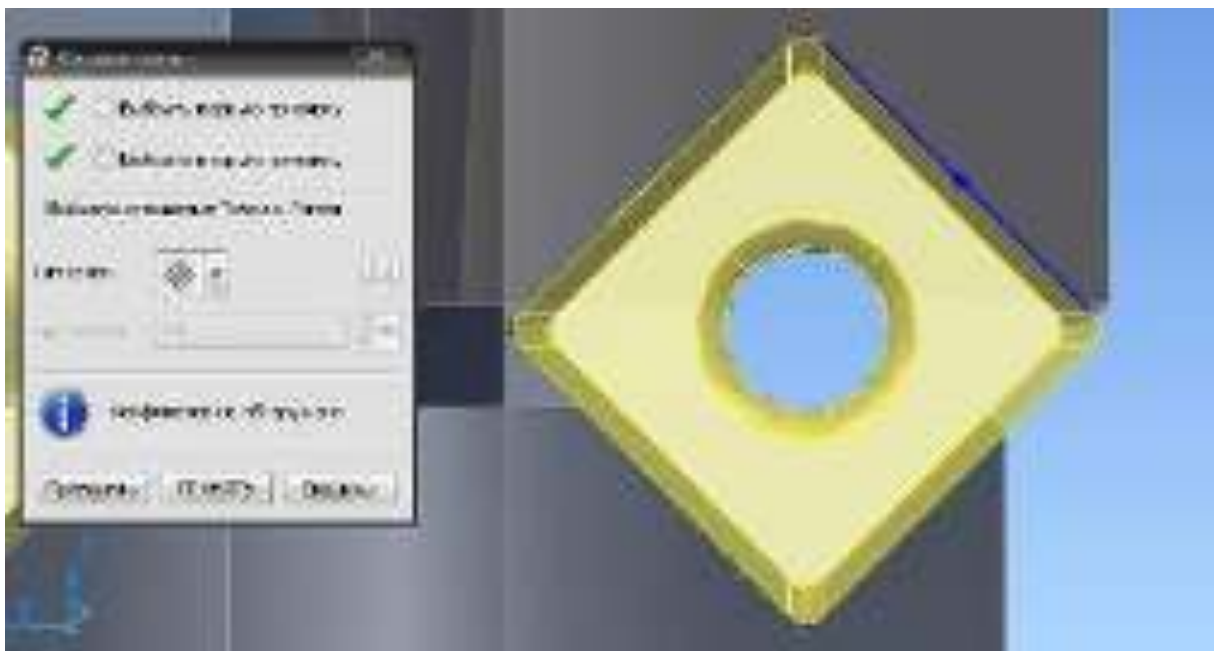


Рисунок 4.40 – Приклад прив'язки пряма – точка.(відстань між прямою і точкою дорівнює 0)

- PLANE – прив'язка до площини. Ключова точка в даному випадку – геометричний центр площини. Дана прив'язка використовує одиничний

вектор. Одиничний вектор спрямований назовні тіла, частиною якого є обрана площина.

- **AXIS** – прив'язка по осі. У разі використання цього типу прив'язок ключова точка – геометричний центр поверхні, щодо осі якої створюється прив'язка. Напрямок одиничного вектора вибирається системою.

У роботі дослідної САПР РІ використовуються всі наведені типи прив'язок. Для того щоб створити прив'язку між двома елементами, необхідно вказати потрібний тип прив'язки для обох елементів. При цьому, для того, щоб надати одному компоненту необхідне положення в просторі, буває необхідно задати кілька прив'язок. У подібних випадках необхідно дотримуватися кількох правил.

- У парі тіл, між якими створюється прив'язка, перше вибране тіло – головне. Слід стежити, щоб у всіх прив'язках цієї пари тіл головним залишалося одне і те ж тіло.
- Необхідно уникати дублюючих прив'язок, які б надавали тілу одне і те ж положення в просторі. Наприклад, якщо була створена прив'язка, як зображено на рисунку 4.41, то прив'язка, зображена на рисунку 4.42, викличе повідомлення про помилку. Така прив'язка перевизначає збірку.

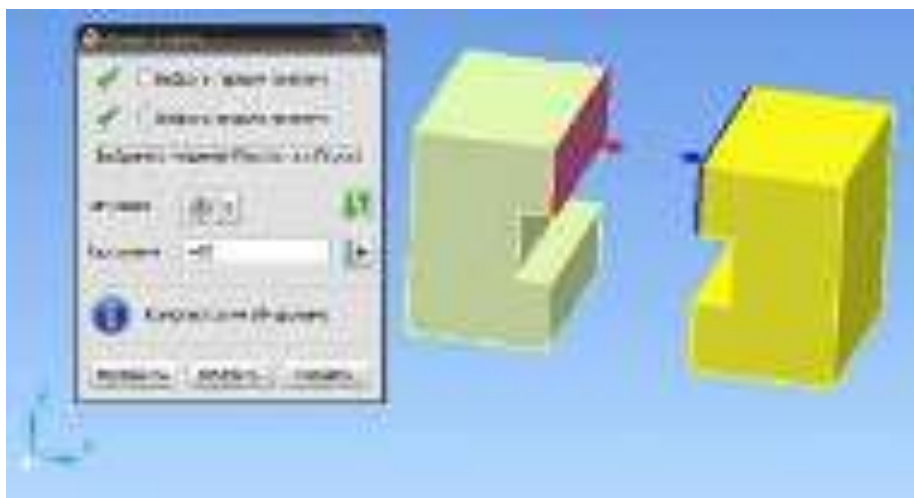


Рисунок 4.41 – Приклад прив'язки «площина – площина»

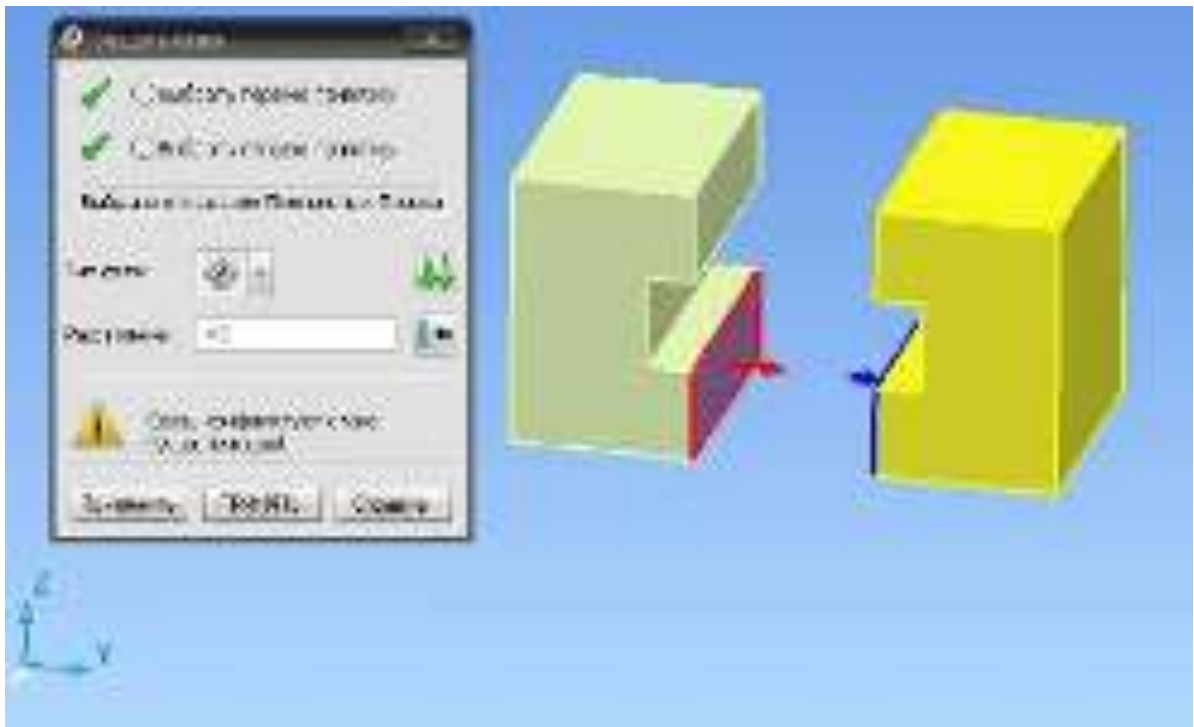


Рисунок 4.42 – Пример привязки, что переопределяет сборку

Для удобства работы и налагодження підпрограма створення збірки була розбита на два файли. У першому файл містить команди, що додають елементи в бібліотеку компонентів програми. У другій частині програми містяться команди, що створюють прив'язки між елементами.

При додаванні моделей координати нульових точок кожного тіла були підібрані згідно з деякими умовами (рис 4.43):

- Корпус інструменту поміщений у координати 0 0 0. Надалі корпус інструмента буде відігравати роль головного тіла в прив'язці.

```

CREATE COMPONENT ON_CURSOR
SELECT
BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл модели
(*.psmodel)|*.psmodel|' TITLE OPENFILECONTEXT
C:\Макрос\детали\Cage.psmodel
MODEL C:\Макрос\детали\Cage.psmodel/
2*0
ACCEPT
0 0 0
  
```

cancel

- Хвостовик поміщений у координати 0 0 100. При таких координатах хвостовик знаходиться на одній осі з корпусом інструменту, що полегшує його подальшу прив'язку.

CREATE COMPONENT ON_CURSOR

SELECT

BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл модели
*(*psmodel)|*.psmodel|' TITLE OPENFILECONTEXT*

C:\Макрос\детали\Shaft.psmodel

MODEL C:\Макрос\детали\Shaft.psmodel/

*2*0*

ACCEPT

0 0 100

cancel

- Пластини поміщені в координати 60 0 0, 70 0 0, 80 0 0, 90 0 0. Такі координати дозволяють уникнути накладення компонентів один на одного.

CREATE COMPONENT ON_CURSOR

SELECT

BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл модели
*(*psmodel)|*.psmodel|' TITLE OPENFILECONTEXT*

C:\Макрос\детали\Plate.psmodel

MODEL C:\Макрос\детали\Plate.psmodel/

*2*0*

ACCEPT

60 0 0

70 0 0

80 0 0

90 0 0

cancel

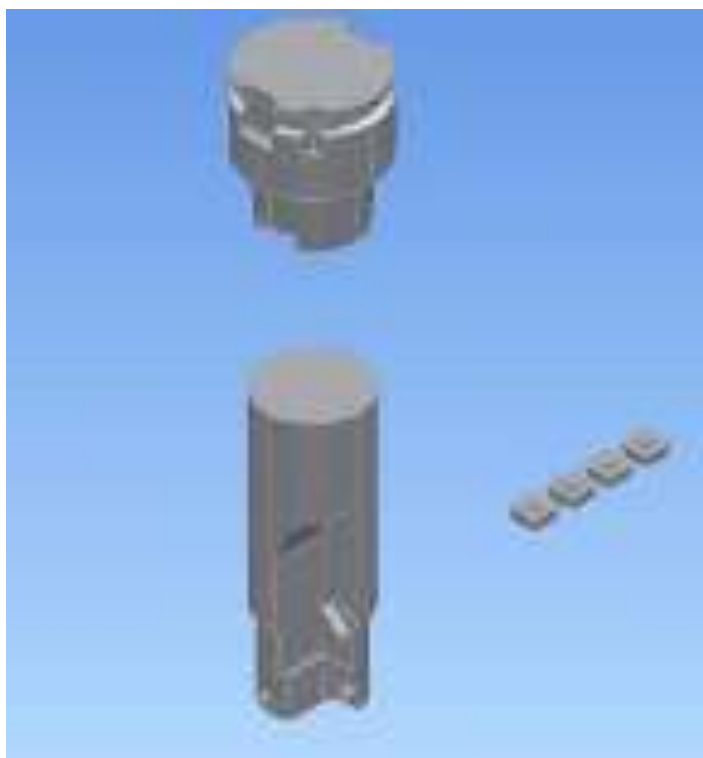


Рисунок 4.43 – Приклад додавання компонентів за координатами у збірку

Другий етап збірки – створення прив'язок, був описаний вище. Між компонентами були створені такі прив'язки:

- Корпус інструменту – хвостовик: для зв'язку компонентів були використані прив'язки «площина – площина» і «вісь – вісь». Як площини були обрані підстави елементів – поверхні, на яких лежить центр глобальної системи координат (точка 0 0 0). Слід враховувати, що ця прив'язка використовує одиничний вектор, який спрямований назовні компонента. За замовчуванням прив'язка «площина – площина» будується таким чином, щоб напрямки одиничних векторів обох тіл збігалися. Однак у подібному випадку тіла будуть накладені один на одне. Для того, щоб уникнути накладення тіл використовується команда «ALIGNMENT ANTIALIGN». Дана команда ставиться після зазначення всіх необхідних елементів прив'язки, але перед підтвердженням прив'язки командою «APPLY». Друга прив'язка поміщає компоненти на одну вісь. Однак, за умовами додавання компонентів у збірку корпус інструменту і хвостовик вже знаходяться на одній осі, тому дана

прив'язка зазначена тільки як підстрахунок на випадок збою при додаванні компонентів.

– Корпус інструменту – пластина, пластина_1: для зв'язку компонентів були використані прив'язки «вісь – вісь» і «точка – площина». Для прив'язки «вісь – вісь» на корпусі інструменту вказується циліндрична поверхню, утворена елементами «база винт_1» і «база винт_2» дані поверхні спеціально створені для освіти прив'язки з моделлю ріжучої пластини. При створенні цієї прив'язки компонент «пластина» переміщується в нове розташування. Однак для додання потрібного положення в просторі необхідно вказати додаткові зв'язки. Прив'язка «точка – площина» переміщує модель пластини у відповідну виточку в моделі корпусу.

– Корпус інструменту – пластина_2, пластина_3: прив'язки даних компонентів повторюють прив'язки компонентів «пластина» і «пластина_1», проте відповідні виточки в моделі корпусу дещо відрізняються. В якості додаткової прив'язки виступає поєднання «точка – лінія».

Для зручності сприйняття моделі користувачем у дослідній САПР РІ використана можливість задати колір кожного компонента. Приклад відповідного блоку команд наведено нижче:

```
add Component "Drill_assembly" "shaft"
Style Colour RaiseOtherColour RGB
RGB 0,24314 0,24314 0,24314
ASEDIT MATERIAL FROM_SUBITEMS_OFF
ASEDIT STYLE FROM_SUBITEMS_ON
FORMAT MATERIAL COLOURON ACCEPT
Select clearlist
```

Після надання відповідного виду компонентів і їх взаємної прив'язки система зберігає отриману складання в окремий файл і завершує роботу. Приклад складання, побудованої дослідної САПР РІ наведено на рисунку 4.44.

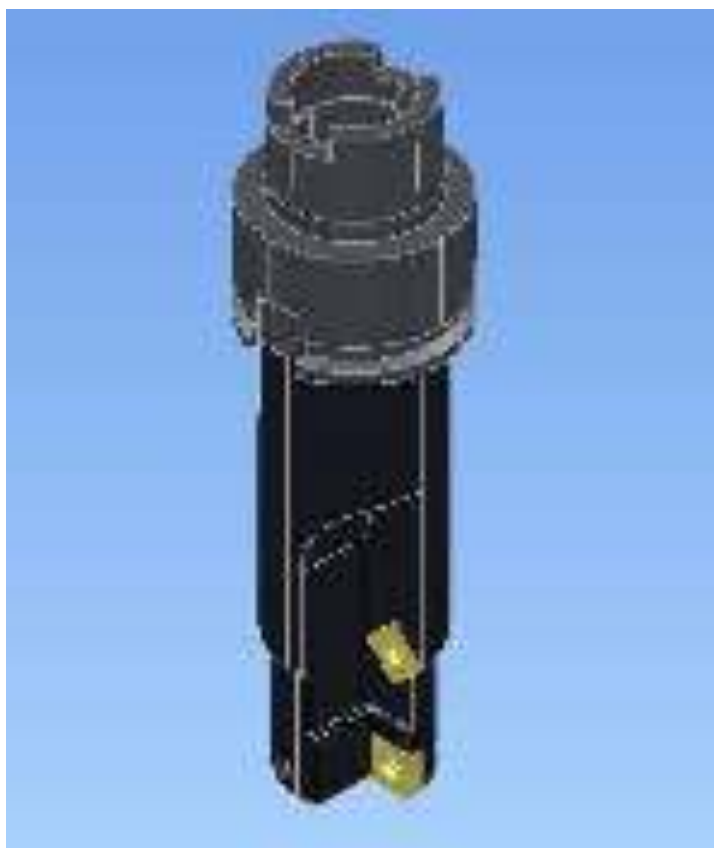


Рисунок 4.44 – Приклад інструменту, побудованого САПР РІ

4.5 Аналіз та висновки з роботи дослідної САПР РІ

У ході написання і налагодження дослідної САПР РІ були використані і описані практично всі можливості твердотільного моделювання системи PowerShape. Система PowerShape показала як ряд переваг, так і ряд недоліків з точки зору поставленої задачі. До переваг можна віднести наступне:

- Наочність побудови – всі етапи автоматичної побудови відображаються на дисплеї користувача. На стадії налагодження дана особливість системи значно спрощує роботу з налагодження.
- Робота з локальними системами координат – система пропонує зручний спосіб створення, редагування і роботи відразу з декількома системами координат. Дана можливість сильно полегшує написання підпрограм, так як дозволяє не перераховувати всі параметри в абсолютну

систему координат, а проектувати елемент за заданими параметрами в локальній.

- Можливість додаткових налаштувань базових примітивів – дана можливість значно спрощує створення складних тіл, зменшуючи обсяг додаткових розрахунків і побудов.

В ході роботи з системою PowerShape були виявлені наступні недоліки:

- Параметризація – в системі PowerShape параметрично можна поставити тільки базові примітиви. Ні системи координат, ні ескізи параметризації не підтримують. Крім того, з точки зору користувача процес зміни значень параметрів виконаний досить плутано і незручно.

- Робота з таблицями параметрів – в системі PowerShape не реалізована можливість збереження таблиць даних у зовнішніх файлах.

- Експорт моделей – експорт моделей в пакеті DELCAM здійснюється програмою «Exchange». Проте ця програма експортує моделі не як твердотільні елементи, а як перелік поверхонь, що обмежують тіло. В той же час для аналізу методом кінцевих елементів необхідна твердотільна модель. Таким чином, моделі, отримані в системі PowerShape, потребують додаткового доопрацювання в програмі кінцевоелементного аналізу. У деяких випадках час на виправлення такої моделі може навіть перевищувати час на створення такої ж моделі вручну.

5 АНАЛІЗ ОТРИМАНОЇ МОДЕЛІ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Для перевірки працездатності дослідної САПР РІ необхідно провести перевірку моделі, отриманої з її допомогою. Для цих цілей можна використовувати програми з розрахунку методом кінцевих елементів. Даний метод дозволяє використовувати для аналізу твердотільні тривимірні моделі.

В якості моделі для перевірки було обрано модель комбінованого інструменту. В якості вхідних параметрів вводимо до системи необхідно ввести глибину та діаметр отвору. Обираємо наскрізний отвір діаметром 25 мм та глибиною 25 мм. Модель, отримана за заданими параметрами зображена на рисунку 5.1, параметри на рисунку 5.2. Параметри отриманої моделі наведені в таблиці 5.1.

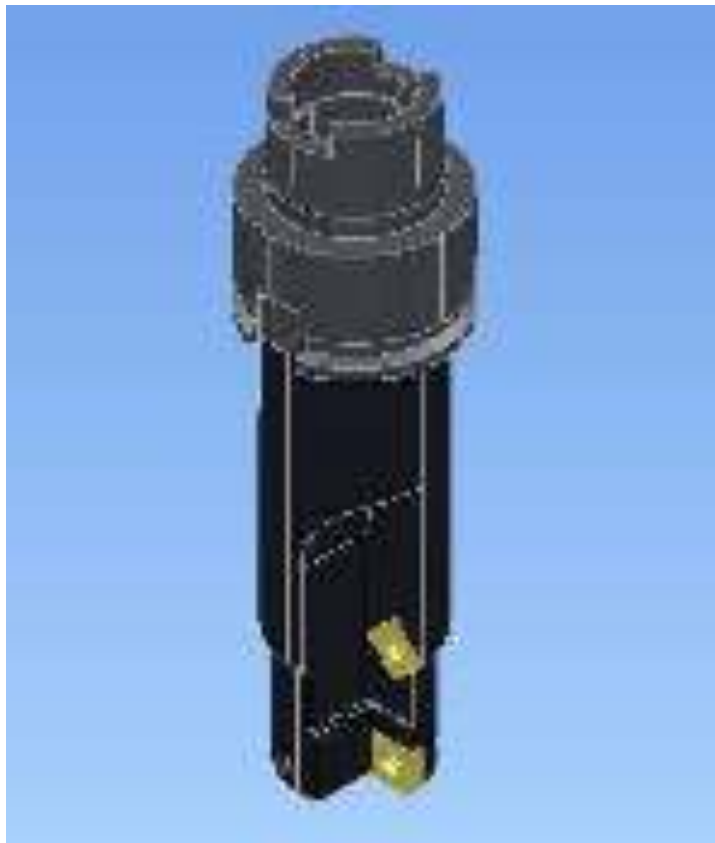


Рисунок 5.1 – Модель збірного інструмента, отримана в дослідній системі автоматизованого проектування різального інструменту



Рисунок 5.2 – Параметри отриманого інструменту

Таблиця 5.1 – Параметри інструменту, отриманому за допомогою дослідної системи САПР РІ.

Найменування параметра	Позначення параметра	Чисельне значення параметра, мм
Діаметр ступені-свердла	D1	21.5
Довжина ступені-свердла	L1	20
Діаметр ступені-зенкеру	D2	25
Довжина ступені-зенкеру	L2	50
Довжина стружкової канавки	Lстр	50
Типорозмір хвостовика	Dхв	32

З наведених параметрів можна зробити висновок, що дослідна система САПР РІ дозволяє отримати інструмент, що забезпечує не тільки жорсткість, але і відвід стружки з зони різання.

Алгоритм розв'язання задачі складається з наступних етапів:

- 1) Вибір типу аналізу, типу кінцевих елементів, визначення властивостей матеріалу.
- 2) Побудова твердотільної геометричної моделі об'єкта.
- 3) Нанесення кінцево-елементної сітки на твердотільну модель.

- 4) Накладення обмежень і сил на модель.
- 5) Рішення задачі, перегляд та аналіз отриманих результатів.
- 6) Висновки про отриману модель.

Для аналізу згідно з наведеним планом був обраний пакет програм кінцево-елементного аналізу «ANSYS».

1) Для аналізу отриманої моделі був обраний метод «Structural». Цей метод підходить для визначення напруги в моделі і переміщень її елементів під дією прикладених навантажень. Для даного типу аналізу моделі в середовищі «ANSYS» як тип елемента обрано Solid, Brick 20 node 95. Даний тип об'єкта обирається для детального дослідження твердотільних моделей та забезпечує досить точні результати. Помітка «Solid» означає, що об'єкт досліджень – суцільне тіло; «Brick 20» – позначає, що кожен елемент тіла буде розбито по двадцятьох основних лініях; «node 95» – позначає, що для аналізу буде взято 95 основних точок.

2) Як вже зазначалося раніше, програма «Exchange» експортує моделі у вигляді набору поверхонь, у той час як для аналізу необхідна твердотільна модель. Тому для аналізу була побудована спрощена твердотільна модель в системі «ANSYS». Спрощення моделі стосуються дрібних елементів, які не відображаються на характеристиках міцності інструменту, але здатні сильно ускладнити аналіз моделі. Спрощення стосуються наступних елементів:

- Модель інструменту виконано суцільною, такою, що об'єднує корпус інструменту і різальні пластини.
- Спрощені скруглення стружкових канавок, так як такі викликані особливостями технології отримання стружкових канавок а також дозволяють уникнути граней, що концентрують напругу. Однак ці скруглення не впливають на точність отриманої поверхні.

Отримана модель показана на рисунку 5.3.

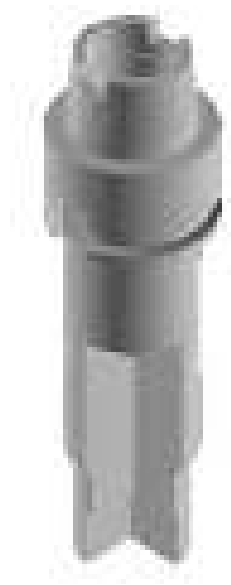


Рисунок 5.3 – Модель для кінцево-елементного аналізу

3) Після створення моделі її необхідно розбити на елементи. Для кращої точності розрахунку застосовується дрібну сітку. Модель з нанесеною сіткою показана на рисунку 5.4.

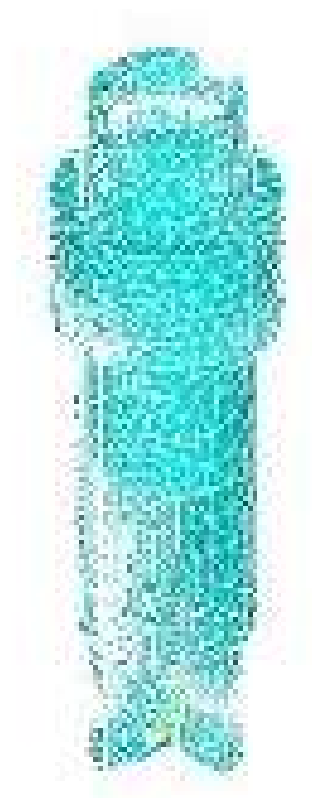


Рисунок 5.4 – Твердотільна модель з нанесеною сіткою.

Закріплення моделі додане до конусної частини хвостовика і торцевого пазу, оскільки за цими поверхнями базується і кріпиться інструмент у шпинделі.

4) Сили, прикладені до моделі, були розраховані відповідно до рекомендацій довідкової літератури окремо для кожного ступеня. У якості оброблюваного матеріалу приймемо матеріал Саль 45. Для розрахунку режимів різання, та сил, що діють на інструмент під час обробки розглянемо положення сил на наведеній схемі різання (рис. 5.5)

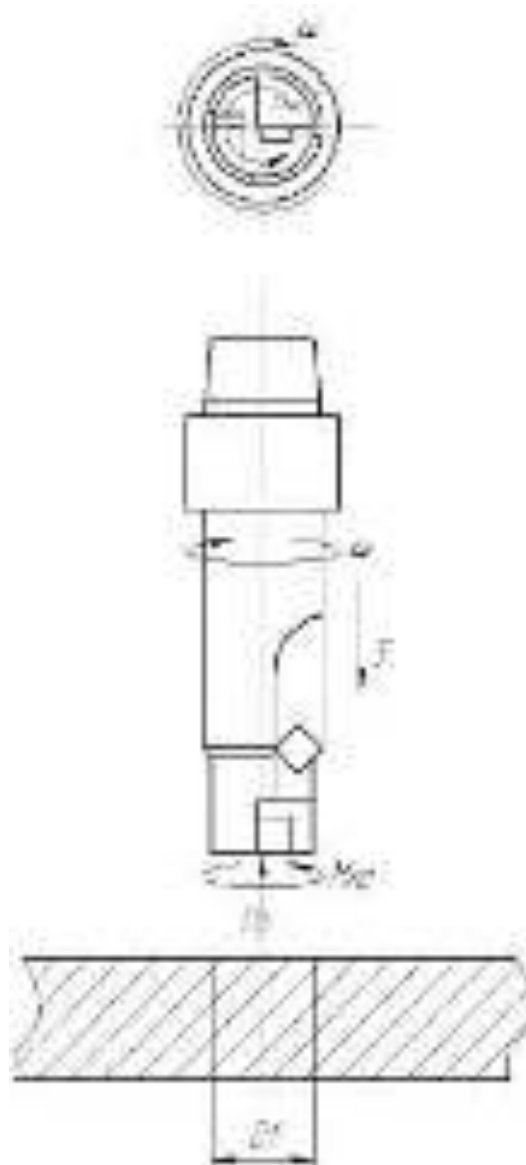


Рисунок 5.5 – Схема різання для створеного інструменту

Розрахунок режимів та сил різання для ступені свердла:

При свердлінні на інструмент діють осьова сила та крутильний момент.

В якості режимів обробки призначаємо:

$D=21.5$ мм – діаметр обробки, відповідний до діаметру ступені-свердла.

$S=0.3$ мм/об – подача при обробці складним інструментом. Подачу призначено згідно з довідниковими рекомендаціями.

Розрахунок вказаних силових параметрів для приведених режимів обробки приведено нижче.

$$F_k = 10 C_F D^{0.8} S^{0.75}$$

$$M_{k_1} = 10 C_{k_1} D^{0.75} S^{0.75}$$

де C_F – коефіцієнт, що характеризує умови обробки з точки зору оброблюваного матеріалу для розрахунку осьової сили. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $C_F=68$;

K_F – показник ступеню при параметрі оброблюваного діаметру для розрахунку осьової сили. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $K_F=1$;

K_S – показник ступеню при параметрі подачі для розрахунку осьової сили. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $K_S=0.7$;

C_{k_1} – коефіцієнт, що характеризує умови обробки з точки зору оброблюваного матеріалу для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $C_{k_1}=0.345$;

K_{k_1} – показник ступеню при параметрі оброблюваного діаметру для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $K_{k_1}=2$;

K_S – показник ступеню при параметрі подачі для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $K_S=0.8$.

Згідно наведених параметрів:

$$F_n = 8999 \text{ Н}, \quad M_{кр} = 915,9 \text{ Н/м}$$

Розрахунок режимів та сил різання для ступені зенкера:

Для розрахунку режимів різання, та сил, що діють на інструмент під час зенкерування розглянемо положення сил на наведеній схемі різання при зенкеруванні (рис. 5.6)

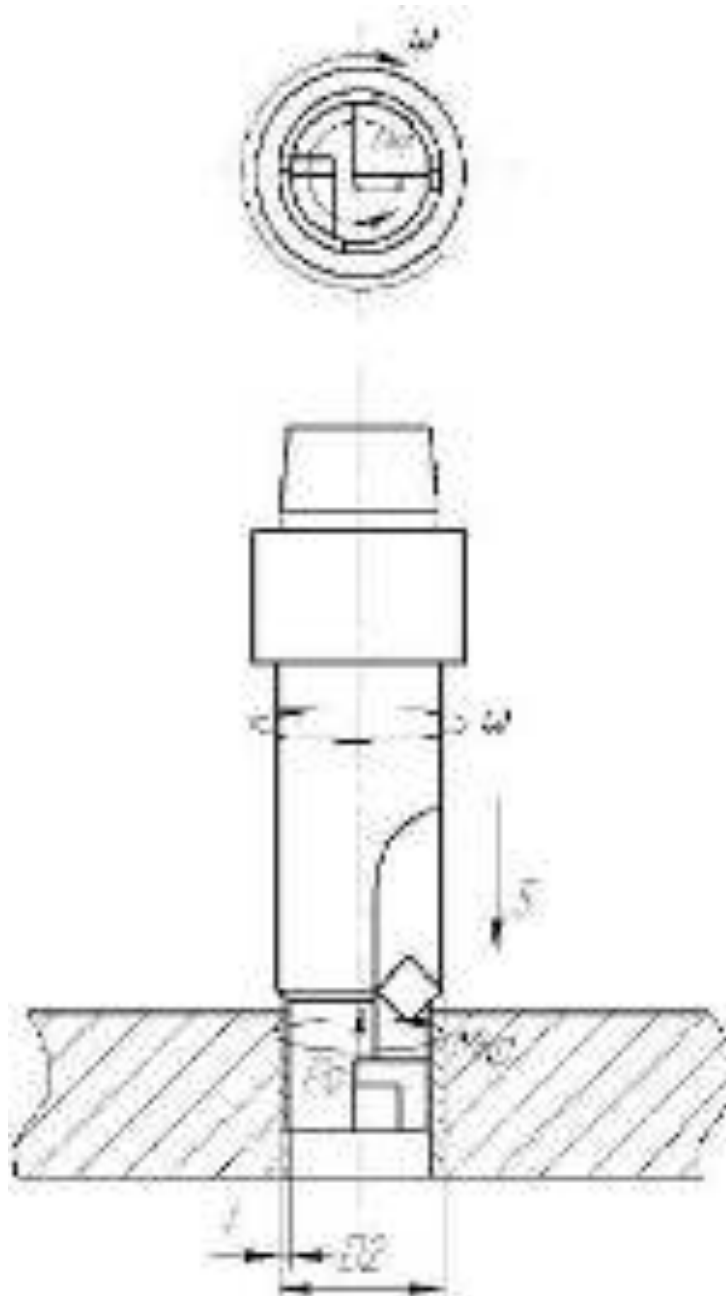


Рисунок 5.6 – Схема різання ступені зенкера для створеного інструменту

При зенкеруванні, як і при свердлінні на інструмент діють осьова сила та крутильний момент. В якості режимів обробки призначаємо:

$D=25$ мм – діаметр обробки, відповідний до діаметру ступені-зенкеру;

$S=0.3$ мм/об – подача при обробці складним інструментом. Подачу призначено згідно з режимами різання для попередньої ступені;

$t=1.75$ мм – товщина зрізуваного шару при зенкеруванні

$$F_z = 10 C_F D^{0.75} t^{0.75} S^{0.75}$$

$$M_{kz} = 10 C_{kz} D^{0.75} t^{0.75} S^{0.75}$$

де C_F – коефіцієнт, що характеризує умови обробки з точки зору оброблюваного матеріалу для розрахунку осьової сили. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції зенкерування $C_F=67$;

C_{kz} – показник ступеню при параметрі товщини зрізуваного шару для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції зенкерування $C_{kz}=0.9$;

C_F – показник ступеню при параметрі оброблюваного діаметру для розрахунку осьової сили. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції зенкерування $C_F=1.2$;

C_{kz} – показник ступеню при параметрі подачі для розрахунку осьової сили. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції зенкерування $C_{kz}=0.7$;

C_{kz} – коефіцієнт, що характеризує умови обробки з точки зору оброблюваного матеріалу для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $C_{kz}=0.9$;

C_F – показник ступеню при параметрі товщини зрізуваного шару для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції зенкерування $C_F=1.2$;

C_{kz} – показник ступеню при параметрі подачі для розрахунку крутильного моменту. Згідно з довідниковими рекомендаціями для операції свердління $C_{kz}=0.8$.

Згідно наведених параметрів:

$$F_n = 807.2 \text{ Н}, \quad M_{kr} = 213.8 \text{ Н/м}$$

Для додавання розрахованих сил розкладемо різальний момент на складові сили з урахуванням діаметру кожного ступеню. Осьову силу на кожній ступені розкладемо на дві складові, що прикладені до точки прикладення крутильних зусиль.

Модель з доданими до неї силами показана на рисунку 5.7.



Рисунок 5.7 – Схема додавання сил і обмежень до моделі інструменту

5) Рішення задачі програмою представляється у вигляді градієнта кольорів залежно від зсуву його точок. Найбільшому зсуву відповідає червоний колір. Рішення показано на рисунку 5.8.

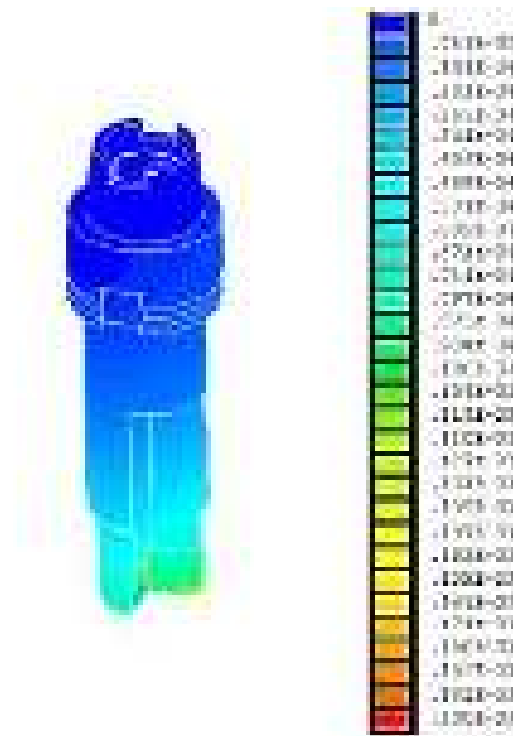


Рисунок 5.8 – Відображення результату розрахунку на зсув

б) Згідно з рішенням, представленим на рисунку 5.8, максимальний зсув становить 0.0002 мм. Таке зміщення задовольняє умовам точності, поставленим до інструменту. Однак слід урахувувати, що зазначена вище величина зсуву стосується різальної кромки свердла, однак поверхню отвору формує ступінь – зенкер. Згідно рисунку 5.8 на різальній кромці вказаної ступені не перевищує 0.00005 мм.

Таким чином, можна зробити висновок, що інструмент, отриманий за допомогою дослідної САПР РИ, забезпечує обробку отвору на стадії свердління за 12 квалітетом точності, на стадії зенкерування – за 8 – 9 квалітетами точності. Тобто інструмент, отриманий за допомогою автоматизованої системи проектування, задовольняє сучасним умовам точності і може служити підставою для вибору осьового інструменту для обробки отвору із заданими параметрами.

ВИСНОВКИ

В даній роботі були розглянуті та проаналізовані всі основні кроки по створенню підпрограми САПР для створення осьового інструменту, починаючи з етапу блок-схеми і закінчуючи налагодженням і перевіркою результатів. На підставі виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

З точки зору актуальності створення спеціальних САПР:

- Зараз у промисловості зростає потреба в спеціалізованих САПР-системах.
- Стан обчислювальної техніки та програмного забезпечення в даний момент робить можливим створення подібних систем не тільки в якості окремих програм, але і у вигляді додатків до існуючих систем. Подібна ситуація дозволяє залучати до створення спеціальних систем САПР вже не програмістів високого рівня, а досвідчених користувачів базових систем САПР.

З точки зору написання і налагодження САПР РІ:

- Створення спеціальних САПР значно спрощується при наявності в базовій САПР візуалізації процесу побудови. Однак при роботі в таких системах візуалізація вже не відіграє вирішальну роль.
- Для виправлення і в цілях забезпечення можливості доповнення спеціальної САПР бажано створювати підпрограму, як систему ієрархічно пов'язаних файлів. При такому підході рекомендується використовувати таблиці імпорту-експорту даних, щоб уникати помилок при додаванні в систему нових компонентів-підпрограм.
- З метою спростити написання спеціальних САПР рекомендується складати спрощені – послідовні розмірні ланцюги.

З точки зору особливостей роботи САПР РІ:

- При розробці САПР РІ високу ефективність показав метод поелементного проектування. У дослідній системі САПР використовувався даний метод – деталь була розбита на основні складові. Подальше

застосування даного методу – розбиття основних елементів на типові піделементи дозволить розширити номенклатуру моделей, одержуваних у спеціальній САПР, що означає подальше зростання ефективності даних систем.

- Згідно з вищевказаним, для більшої ефективності САПР РІ необхідна подальша уніфікація та стандартизація елементів інструменту, наприклад типорозмірів елемента автоматичної зміни інструменту, ступенів корпусу інструменту, і т.і.

- З метою спростити як створення, так і застосування САПР РІ рекомендується розробка вимог оформлення тривимірних моделей, на зразок того, як існують вимоги до креслень.

З точки зору роботи з дослідною САПР РІ:

- В дослідній САПР РІ були виконані і описані всі основні етапи автоматичного проектування інструменту. Однак метою створення цієї системи було виявлення особливостей написання і роботи таких систем. У зв'язку з цим дана система має ряд спрощень:

- 1) Спрощення геометрії – модель відрізняється спрощеною, порівняно з реальним інструментом, геометрією.

- 2) Спрощені бази даних бази даних дослідної САПР РІ не передбачає вибору матеріалу і деяких інших параметрів. Однак ці параметри можуть бути додані в систему описаними в даній роботі способами або на підставі запропонованих у роботі алгоритмів.

- Дослідна система САПР передбачає отримання моделі «з нуля» – тобто в ході роботи кожен раз створюється нова модель. Такий підхід більш характерний для створення моделі користувачем, а не автоматизованою системою. Для використання всього потенціалу ЕОМ рекомендується використовувати параметричні моделі інструментів, а в оптимальному випадку – параметричні моделі елементів інструменту.

– Дослідна САПР РІ передбачає створення моделі інструменту. З точки зору використання САПР РІ необхідна так само підпрограма, що виконує креслення інструменту за створеної моделі. Однак застосована базова САПР не дозволяє створення адекватного креслення з отриманої моделі в автоматичному режимі.

– На підставі САПР РІ можна отримати різальний інструмент, здатний забезпечити точність поверхні за 9 квалітетом при умові, що компоненти інструменту виконані згідно сучасних рекомендацій по проектуванню інструменту. Це було підтверджено на підставі практичного застосування САПР РІ та подальшого аналізу отриманої моделі методом кінцевих елементів.

– Робота з САПР РІ значно скоротити час, необхідний на проектування різального інструменту та оформлення пов'язаної з цим документації. Так, без автоматизації процесу проектування створення моделі, аналогічної до тої, що була описана в розділах 4 та 5, необхідно від двох с половиною годин і більше роботи з CAD-системою. Більшу частину цього часу витрачається на пошук інформації у джерелах, на різноманітні допоміжні побудови, необхідні для отримання моделі та на покрокове створення елементів, з яких складається модель. Автоматизація цього процесу дозволяє отримати такий самий результат менш ніж за п'ять хвилин. Наприклад, створення моделі, що описана в роботі, в автоматизованому режимі знадобилося півтори хвилини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.Е. Петухов: Некоторые направления развития САПР режущего инструмента// СТИН. 2003. № 8.
2. 2.Г.С. Железнов: Оценка сил, действующих на фаске износа инструмента по задней поверхности// СТИН. 2003. № 6.
3. В.А.Гречишников, В.И.Кокарев, Е.А.Копейкин, Н.А.Уваров, А.Ю.Цыбульский: Применение метода конечных элементов при расчете сверла на кручение// СТИН. 2001. №7.
4. Н. А. Чемборисов, А. И. Фасхутдинов: Формообразование профиля винтовой канавки концевой инструмента// СТИН. 2009. № 3.
5. Ю. А. Новосёлов: Проблематика автоматизации проектирования режущих инструментов// СТИН. 2008. № 9.
6. С. В. Сергеев: Моделирование точности формирования отверстий при сверлении// СТИН. 2010. №9.
7. Ю. А. Кряжев, Е. С. Огневенко, Е. В. Титова: Изучение основных характеристик контактных процессов на рабочих поверхностях спирального сверла// СТИН. 2011. № 2.
8. Металлорежущие инструменты: справочник конструктора/Е.Э. Фельдштейн, М.А.корниевич – Минск: новое знание, 2009
9. Малышко И. А. Исследование влияния конструктивных элементов разверток на точность обработки отверстий: дис. кандидата технических наук: 05.03.01 / Малышко Иван Александрович. - Донецк, 1979. – 240 с.
10. Малышко И.А. Основы проектирования осевых комбинированных инструментов: дисс. доктора технических наук: 05.03.01 / Малышко Иван Александрович. – Киев, 1996. – 430 с.
11. Проектування комбінованого осьового інструмента : метод. вказівки / сост. Кисельова І.В. – Донецьк : ДонНТУ, 2007. –54с

12. Методичні вказівки до практичної роботи «Система «PowerShape». Створення САПР за допомогою макросів» з курсу «Комп'ютерні технології у верстатобудуванні» та «Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві» : метод. вказівки / сост. Залога В.О., Зінченко Р.М. – Суми : СумДУ, 2011. –164с

13. Станки с ЧПУ и их инструментальная оснастка. [электронный ресурс] – 2009. Режим доступа: <http://www.chpus.ru>.

14. ГОСТ 23501.101-87.Системы автоматизированного проектирования. Основные положения.–М.: Издательство стандартов, 1988.-11с.

15. Медведев Ф.В. Автоматизированное проектирование и производство деталей сложной геометрии на базе программного комплекса PowerSolution: Учеб. пособие / Ф.В. Медведев, И.В. Нагаев / Под общ. ред. А.Г. Громашева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005 – 167 с.

16. Delcam PowerSHAPE. Getting started. [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.powershape.com>.

17. Проектирование металлорежущих инструментов / [И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров]; под ред. И.И. Семенченко. – М.: Машгиз., 1963. – 952с.

18. Металлорежущие инструменты / [Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л.Боровой и др.]; - М.: Машиностроение., 1989. – 326с.

19. Справочник инструментальщика. /[И.А.Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.]; под ред. И.А.Ординарцев. – Л: Машиностроение; 1987.-846с.

20. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов: учебное пособие для вузов / Г.Г.Иноземцев – М.: Машиностроение, - 1984. - 272с.

21. Аршинов В.А. Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеева – М: Машиностроение, - 1976. -440с.

22. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин. – К.: Вища школа, 1974. – 400с.
23. Ординарцев И.А Автоматизация производства режущего инструмента / И.А.Ординарцев, Г.В.Филипов, - Л.: Машиностроение; -1972.- 264с
24. Проектирование и производство режущего инструмента / [М.И.Юликов, Б.И.Горбунов, Н.В.Колесов]. – М.: Машиностроение, - 1987. – 296с.
25. CADD Education Center [электронный ресурс] – Режим доступа :<http://www.caddprimer.com>.

ДОДАТКИ

Додаток А – Текст головного макросу для проектування збірного інструменту в діапазоні діаметрів від 15 до 70 мм

```

do {
INPUT NUMBER 'Введите диаметр отверстия.' $Diam
Let $Condition1=($Diam>=13.5)&($Diam<=70)
Let $Condition1_inv=($Condition1==0)
if $Condition1_inv {
input query 'Диаметр должен лежать в диапазоне от 0 до 15 мм. Повторить
ввод данных?' $repeat1
} else {
Let $repeat1=0.0
}
} while $repeat1

if $Condition1 {
do {
INPUT NUMBER 'Длина отверстия' $L_obr
Let $Lmin=($L_obr/$Diam<=2.0)
if $Lmin {
Let $L_obr=2*$Diam
}
Let $Condition2=($L_obr/$Diam<=5.0)
Let $Condition2_inv=($Condition2==0)
if $Condition2_inv {
input query 'Недостаточно жесткости инструмента для данной глубины.
Повторить ввод данных?' $repeat2
} else {
Let $repeat2=0.0
}
} while $repeat2
}
if $Condition1 {
if $Condition2 {
Let $alfa=10.0
Let $gamma=0.0
Macro run cage.mac $Diam $L_obr $alfa
Let $jost1=($L_obr/$Diam>=1)&($L_obr/$Diam<3)
Let $jost2=($L_obr/$Diam>=3)&($L_obr/$Diam<5)
if $jost1 {
Macro run ShaftHSK.mac $Diam $L_obr
} elseif $jost2 {
Macro run Shaft7to24.mac $Diam $L_obr
} else {
print error 'wrong dates'
}
Macro run Plate.mac $D_sverl $alfa $gamma

```

Macro run Assembly1.mac

Macro run Assembly2.mac \$D_hvost \$D_zenk \$Xpl1 \$Ypl1 \$Zpl1 \$Xpl2 \$Ypl2
\$Zpl2 \$Xpl3 \$Ypl3 \$Zpl3 \$d_plast \$R_plast \$t_plast \$L_cage \$L_shaft \$alfa
VIEW EDIT ISO1

File SaveAsPath C:\Макрор \Drill_Assembly.psmodel

}

}

Додаток Б – Текст макросу для проектування елементу «Корпус»

```

Args {
real Diam
real L_obr
real alfa
}
FILE OPEN
PATHNAME C:\Макрос\databases\Cage_Database.psmodel
ACCESS READWRITE
ACCEPT
File SaveAsPath C:\Макрос\детали\Cage.psmodel

LET $proverka=1

LET $B=($Diam<12,5)
LET $C=($Diam>12,5)&($Diam<=13)
LET $D=($Diam>13)&($Diam<=13,5)
LET $E=($Diam>13,5)&($Diam<=14)
LET $F=($Diam>14)&($Diam<=14,5)
LET $G=($Diam>14,5)&($Diam<=15)
LET $H=($Diam>15)&($Diam<=15,5)
LET $I=($Diam>15,5)&($Diam<=16)
LET $J=($Diam>16)&($Diam<=16,5)
LET $K=($Diam>16,5)&($Diam<=17)
LET $L=($Diam>17)&($Diam<=17,5)
LET $M=($Diam>17,5)&($Diam<=18)
LET $N=($Diam>18)&($Diam<=18,5)
LET $O=($Diam>18,5)&($Diam<=19)
LET $P=($Diam>19)&($Diam<=19,5)
LET $Q=($Diam>19,5)&($Diam<=20)
LET $R=($Diam>20)&($Diam<=20,5)
LET $S=($Diam>20,5)&($Diam<=21)
LET $T=($Diam>21)&($Diam<=21,5)
LET $U=($Diam>21,5)&($Diam<=22)
LET $V=($Diam>22)&($Diam<=22,5)
LET $W=($Diam>22,5)&($Diam<=23)
LET $X=($Diam>23)&($Diam<=23,5)
LET $Y=($Diam>23,5)&($Diam<=24)
LET $Z=($Diam>24)&($Diam<=24,5)
LET $AA=($Diam>24,5)&($Diam<=25)
LET $AB=($Diam>25)&($Diam<=25,5)
LET $AC=($Diam>25,5)&($Diam<=26)
LET $AD=($Diam>26)&($Diam<=26,5)
LET $AE=($Diam>26,5)&($Diam<=27)

```

```

LET $AF=($Diam>27)&($Diam<=27,5)
LET $AG=($Diam>27,5)&($Diam<=28)
LET $AH=($Diam>28)&($Diam<=28,5)
LET $AI=($Diam>28,5)&($Diam<=29)
LET $AJ=($Diam>29)&($Diam<=29,5)
LET $AK=($Diam>29,5)&($Diam<=30)
LET $AL=($Diam>30)&($Diam<=30,5)
LET $AM=($Diam>30,5)&($Diam<=31)
LET $AN=($Diam>31)&($Diam<=31,5)
LET $AO=($Diam>31,5)&($Diam<=32)
LET $AP=($Diam>32)&($Diam<=32,5)
LET $AQ=($Diam>32,5)&($Diam<=33)
LET $AR=($Diam>33)&($Diam<=33,5)
LET $AS=($Diam>33,5)&($Diam<=34)
LET $AT=($Diam>34)&($Diam<=34,5)
LET $AU=($Diam>34,5)&($Diam<=35)
LET $AV=($Diam>35)&($Diam<=35,5)
LET $BA=($Diam>35,5)&($Diam<=36)
LET $BB=($Diam>36)&($Diam<=36,5)
LET $BC=($Diam>36,5)&($Diam<=37)
LET $BD=($Diam>37)&($Diam<=37,5)
LET $BE=($Diam>37,5)&($Diam<=38)
LET $BF=($Diam>38)&($Diam<=38,5)
LET $BG=($Diam>38,5)&($Diam<=39)
LET $BH=($Diam>39)&($Diam<=39,5)
LET $BI=($Diam>39,5)&($Diam<=40)
LET $BJ=($Diam>40)&($Diam<=40,5)
LET $BK=($Diam>40,5)&($Diam<=41)
LET $BL=($Diam>41)&($Diam<=41,5)
LET $BM=($Diam>41,5)&($Diam<=42)
LET $BN=($Diam>42)&($Diam<=42,5)
LET $BO=($Diam>42,5)&($Diam<=43)
LET $BP=($Diam>43)&($Diam<=43,5)
LET $BQ=($Diam>43,5)&($Diam<=44)
LET $BR=($Diam>44)&($Diam<=44,5)
LET $BS=($Diam>44,5)&($Diam<=45)
LET $BT=($Diam>45)&($Diam<=45,5)
LET $BU=($Diam>45,5)&($Diam<=46)
LET $BV=($Diam>46)&($Diam<=46,5)
LET $CA=($Diam>46,5)&($Diam<=47)
LET $CB=($Diam>47)&($Diam<=47,5)
LET $CC=($Diam>47,5)&($Diam<=48)
LET $CD=($Diam>48)&($Diam<=48,5)
LET $CE=($Diam>48,5)&($Diam<=49)

```

```

LET $CF=($Diam>49)&($Diam<=49,5)
LET $CG=($Diam>49,5)&($Diam<=50)
LET $CH=($Diam>50)&($Diam<=50,5)
LET $CI=($Diam>50,5)&($Diam<=51)
LET $CJ=($Diam>51)&($Diam<=51,5)
LET $CK=($Diam>51,5)&($Diam<=52)
LET $CL=($Diam>52)&($Diam<=52,5)
LET $CM=($Diam>52,5)&($Diam<=53)
LET $CN=($Diam>53)&($Diam<=53,5)
LET $CO=($Diam>53,5)&($Diam<=54)
LET $CP=($Diam>54)&($Diam<=54,5)
LET $CQ=($Diam>54,5)&($Diam<=55)
LET $CR=($Diam>55)&($Diam<=55,5)
LET $CS=($Diam>55,5)&($Diam<=56)
LET $CT=($Diam>56)&($Diam<=56,5)
LET $CU=($Diam>56,5)&($Diam<=57)
LET $CV=($Diam>57)&($Diam<=57,5)
LET $DA=($Diam>57,5)&($Diam<=58)
LET $DB=($Diam>58)&($Diam<=58,5)
LET $DC=($Diam>58,5)&($Diam<=59)
LET $DD=($Diam>59)&($Diam<=59,5)
LET $DE=($Diam>59,5)&($Diam<=60)
LET $DF=($Diam>60)&($Diam<=60,5)
LET $DG=($Diam>60,5)&($Diam<=61)
LET $DH=($Diam>61)&($Diam<=61,5)
LET $DI=($Diam>61,5)&($Diam<=62)
LET $DJ=($Diam>62)&($Diam<=62,5)
LET $DK=($Diam>62,5)&($Diam<=63)
LET $DL=($Diam>63)&($Diam<=63,5)
LET $DM=($Diam>63,5)&($Diam<=64)
LET $DN=($Diam>64)&($Diam<=64,5)
LET $DO=($Diam>64,5)&($Diam<=65)
LET $DP=($Diam>65)&($Diam<=65,5)
LET $DQ=($Diam>65,5)&($Diam<=66)
LET $DR=($Diam>66)&($Diam<=66,5)
LET $DS=($Diam>66,5)&($Diam<=67)
LET $DT=($Diam>67)&($Diam<=67,5)
LET $DU=($Diam>67,5)&($Diam<=68)
LET $DV=($Diam>68)&($Diam<=68,5)
LET $EA=($Diam>68,5)&($Diam<=69)
LET $EB=($Diam>69)&($Diam<=69,5)
LET $EC=($Diam>69,5)&($Diam<=70)
LET $ED=($Diam>70)&($Diam<=70,5)

```

```
object parameter
SPREADSHEET MULTIPLE
switch $proverka {
case $B
VALUES B
break
case $C
VALUES C
break
case $D
VALUES D
break
case $E
VALUES E
break
case $F
VALUES F
break
case $F
VALUES F
break
case $G
VALUES G
break
case $H
VALUES H
break
case $I
VALUES I
break
case $J
VALUES J
break
case $K
VALUES K
break
case $L
VALUES L
break
case $M
VALUES M
break
case $N
VALUES N
```

break
case \$O
VALUES O
break
case \$P
VALUES P
break
case \$Q
VALUES Q
break
case \$R
VALUES R
break
case \$S
VALUES S
break
case \$T
VALUES T
break
case \$U
VALUES U
break
case \$V
VALUES V
break
case \$W
VALUES W
break
case \$X
VALUES X
break
case \$Y
VALUES Y
break
case \$Z
VALUES Z
break
case \$AA
VALUES AA
break
case \$AB
VALUES AB
break
case \$AC

VALUES AC
break
case \$AD
VALUES AD
break
case \$AE
VALUES AE
break
case \$AF
VALUES AF
break
case \$AG
VALUES AG
break
case \$AH
VALUES AH
break
case \$AI
VALUES AI
break
case \$AJ
VALUES AJ
break
case \$AK
VALUES AK
break
case \$AL
VALUES AL
break
case \$AM
VALUES AM
break
case \$AN
VALUES AN
break
case \$AO
VALUES AO
break
case \$AP
VALUES AP
break
case \$AQ
VALUES AQ
break

```
case $AR
VALUES AR
break
case $AS
VALUES AS
break
case $AT
VALUES AT
break
case $AU
VALUES AU
break
case $AV
VALUES AV
break
case $BA
VALUES BA
break
case $BB
VALUES BB
break
case $BC
VALUES BC
break
case $BD
VALUES BD
break
case $BE
VALUES BE
break
case $BF
VALUES BF
break
case $BG
VALUES BG
break
case $BH
VALUES BH
break
case $BI
VALUES BI
break
case $BJ
VALUES BJ
```

```
break
case $BK
VALUES BK
break
case $BL
VALUES BL
break
case $BM
VALUES BM
break
case $BN
VALUES BN
break
case $BO
VALUES BO
break
case $BP
VALUES BP
break
case $BQ
VALUES BQ
break
case $BR
VALUES BR
break
case $BS
VALUES BS
break
case $BT
VALUES BT
break
case $BU
VALUES BU
break
case $BV
VALUES BV
break
case $CA
VALUES CA
break
case $CB
VALUES CB
break
case $CC
```

```
VALUES CC
break
case $CD
VALUES CD
break
case $CE
VALUES CE
break
case $CF
VALUES CF
break
case $CG
VALUES CG
break
case $CH
VALUES CH
break
case $CI
VALUES CI
break
case $CJ
VALUES CJ
break
case $CK
VALUES CK
break
case $CL
VALUES CL
break
case $CM
VALUES CM
break
case $CN
VALUES CN
break
case $CO
VALUES CO
break
case $CP
VALUES CP
break
case $CQ
VALUES CQ
break
```

```
case $CR
VALUES CR
break
case $CS
VALUES CS
break
case $CT
VALUES CT
break
case $CU
VALUES CU
break
case $CV
VALUES CV
break
case $DA
VALUES DA
break
case $DB
VALUES DB
break
case $DC
VALUES DC
break
case $DD
VALUES DD
break
case $DE
VALUES DE
break
case $DF
VALUES DF
break
case $DG
VALUES DG
break
case $DH
VALUES DH
break
case $DI
VALUES DI
break
case $DJ
VALUES DJ
```

```
break
case $DK
VALUES DK
break
case $DL
VALUES DL
break
case $DM
VALUES DM
break
case $DN
VALUES DN
break
case $DO
VALUES DO
break
case $DP
VALUES DP
break
case $DQ
VALUES DQ
break
case $DR
VALUES DR
break
case $DS
VALUES DS
break
case $DT
VALUES DT
break
case $DU
VALUES DU
break
case $DV
VALUES DV
break
case $EA
VALUES EA
break
case $EB
VALUES EB
break
case $EC
```

VALUES EC

break

default

VALUES ED

}

ACCEPT

ACCEPT

//ВВОД ДАННЫХ

LET \$D_sverl=D_sverl

LET \$D_zenk=D_zenk

LET \$L_sverl=L_sverl

LET \$d_plast=d_plast

LET \$t_plast=t_plast

LET \$d_vint=d_vint

//построение

PRINCIPALPLANE XY

LET \$Y2=\$D_zenk/2

LET \$X3=\$L_obr

LET \$X4=(\$D_zenk-\$D_sverl)/2

LET \$Y4=(\$D_sverl-\$D_zenk)/2

LET \$X5=\$L_sverl-\$X4

LET \$Y6=-\$D_sverl/2

LET \$X7=-\$L_sverl-\$L_obr

create workplane SINGLE

0 0 0

Modify

Name корпус инструмента

ACCEPT

select clearlist

PRINCIPALPLANE XY

CREATE LINE CONTINUOUS

CONTINUOUS

0 0 0

0 \$Y2 0

\$X3 0 0

\$X4 \$Y4 0

\$X5 0 0

0 \$Y6 0

\$X7 0 0

accept

create curve COMPCURVE

0 0 0

```

SAVE
QUIT
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE SOLID REVOLUTION
modify
NAME корпус инструмента
ACCEPT
PRINCIPALPLANE XY
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

LET $X1_0=$L_obr+L_sverl
LET $Y1_0=0
LET $Z1_0=-0.5
LET $Y1_2=$D_sverl/2+1
LET $X1_3=-$d_plast/2*3
LET $Y1_4=-$Y1_2
LET $X1_5=-$X1_3
create workplane SINGLE
$X1_0 $Y1_0 $Z1_0
Modify
Name выточка_сверл
ACCEPT
select clearlist
PRINCIPALPLANE XY
CREATE LINE CONTINUOUS
0 -1 0
0 $Y1_2 0
$X1_3 0 0
0 $Y1_4 0
$X1_5 0 0
ACCEPT
create curve COMPCURVE
0 0 0
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
length $D_sverl/2+1
name выточка_1
accept
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

ACTIVATE_WORKPLANE выточка_сверл
LET $Y2_0=-$D_sverl/2+$d_plast
LET $Y2_2=-$D_sverl/2
LET $X2_3=-$d_plast/2*3
LET $Y2_4=-$Y2_2
LET $X2_5=-$X2_3
PRINCIPALPLANE XY
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y2_0 0
0 $Y2_2 0
$X2_3 0 0
0 $Y2_4 0
$X2_5 0 0
ACCEPT
create curve COMPCURVE
0 $Y2_0 0
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
neglength $D_sverl/2+1
length 0
name выточка_2
accept
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

LET $X3_0=L_sverl
LET $Y3_1=$D_zenk/2-$d_plast*SQRT(2)
LET $Y3_2=$D_zenk/2
LET $X3_3=$L_obr+$X1_3
LET $Y3_4=-$Y3_2
LET $X3_5=-$X3_3
create workplane SINGLE
$X3_0 0 0
Modify
Name выточка_зенк
ACCEPT
select clearlist
PRINCIPALPLANE XY
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y3_1 0

```

```

0 $Y3_2 0
$X3_3 0 0
0 $Y3_4 0
$X3_5 0 0
ACCEPT
create arc FilletLine
0 $Y3_1 0
modify
DIMENSION $D_zenk/2
ACCEPT
create curve COMPCURVE
$X3_3 $Y3_2 0
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
length $D_zenk/2
name выточка_3
accept
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $Y4_1=-$D_zenk/2+$d_plast*SQRT(2)
LET $Y4_2=-$D_zenk/2
LET $X4_3=$L_obr+$X2_3
LET $Y4_4=-$Y4_2
LET $X4_5=-$X4_3
ACTIVATE_WORKPLANE выточка_зенк
PRINCIPALPLANE XY
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y4_1 0
0 $Y4_2 0
$X4_3 0 0
0 $Y4_4 0
$X4_5 0 0
ACCEPT
create arc FilletLine
0 $Y4_1 0
modify
DIMENSION $D_zenk/2
ACCEPT
create curve COMPCURVE
$X4_3 $Y4_2 0

```

```

SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
neglength $D_zenk/2
length 0
name выточка_4
accept
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $deltaT=$t_plast*TAN($alfa)
LET $t1=-$t_plast

LET $X5_0=$L_obr+L_sverl-$d_plast/2+$deltaT
LET $Y5_0=-1+$d_plast/2
LET $Z5_0=-0.5
create workplane SINGLE
$X5_0 $Y5_0 $Z5_0
Modify
Name под_пластину_1
ACCEPT
CREATE SOLID BLOCK
0 0 0
modify
Name под_пластину_1
LENGTH $d_plast
WIDTH $d_plast
HEIGHT $t_plast
ANGLE1 -$alfa
ANGLE4 -$alfa
ANGLE2 -$alfa
ANGLE3 -$alfa
PAGE 2
XTWIST CALCULATOR
EXPRESSION 180
ACCEPT
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $X6_0=$L_obr+L_sverl-$d_plast/2+$deltaT

```

```

LET $Y6_0=-$D_sverl/2+$d_plast/2
LET $Z6_0=-0.5
create workplane SINGLE
$X6_0 $Y6_0 $Z6_0
Modify
Name под_пластину_2
ACCEPT
select clearlist
CREATE SOLID BLOCK
0 0 0
modify
Name под_пластину_2
LENGTH $d_plast
WIDTH $d_plast
HEIGHT $t_plast
ANGLE1 -$alfa
ANGLE4 -$alfa
ANGLE2 0
ANGLE3 0
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $X7_0=$L_obr+$deltaT
LET $Y7_0=$D_zenk/2-$d_plast*SQRT(2)/2
create workplane SINGLE
$X7_0 $Y7_0 0
Modify
Name под_пластину_3
ACCEPT
select clearlist
CREATE SOLID BLOCK
0 0 0
modify
Name под_пластину_3
LENGTH $d_plast
WIDTH $d_plast
HEIGHT $t_plast
ANGLE1 -$alfa
ANGLE4 -$alfa
ANGLE2 -$alfa
ANGLE3 -$alfa
PAGE 2

```

XTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 180
 ACCEPT
 ZTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 45
 ACCEPT
 ACCEPT
 DISPLAY BLANKSELECTED
 ACTIVATE_WORKPLANE World

LET \$X8_0=\$L_obr+\$deltaT
 LET \$Y8_0=-\$D_zenk/2+\$d_plast*SQRT(2)/2
 create workplane SINGLE
 \$X8_0 \$Y8_0 0
 Modify
 Name под_пластину_4
 ACCEPT
 select clearlist
 CREATE SOLID BLOCK
 0 0 0
 modify
 Name под_пластину_4
 LENGTH \$d_plast
 WIDTH \$d_plast
 HEIGHT \$t_plast
 ANGLE1 -\$alfa
 ANGLE4 -\$alfa
 ANGLE2 -\$alfa
 ANGLE3 -\$alfa
 ZTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 45
 ACCEPT
 ACCEPT
 DISPLAY BLANKSELECTED
 ACTIVATE_WORKPLANE World

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_1
 CREATE SOLID CYLINDER
 0 0 0
 modify
 name база винт_1
 DIMENSION \$d_vint/2*1.1
 LENGTH 0.2+\$t_plast
 PAGE 2

XTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 180
 ACCEPT
 ACCEPT
 DISPLAY BLANKSELECTED

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_2
 CREATE SOLID CYLINDER
 0 0 0
 modify
 name база винт_2
 DIMENSION \$d_vint/2*1.1
 LENGTH 0.2+\$t_plast
 ACCEPT
 DISPLAY BLANKSELECTED

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_3
 CREATE SOLID CYLINDER
 0 0 0
 modify
 name база винт_3
 DIMENSION \$d_vint/2*1.1
 LENGTH 0.2+\$t_plast
 PAGE 2
 XTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 180
 ACCEPT
 ACCEPT
 ACTIVATE_WORKPLANE World
 EDIT MIRROR
 ZX
 XY
 EDIT MIRROR OFF
 ADD SOLID OBJECT база винт_3
 ADD SOLID OBJECT база винт_4
 DISPLAY BLANKSELECTED
 PRINCIPALPLANE XY
 ADD SOLID OBJECT база винт
 Delete

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_1
 CREATE SOLID CYLINDER
 0 0 0
 modify

name под винт_1
 DIMENSION \$d_vint/2
 LENGTH \$D_zenk/2
 PAGE 2
 XTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 180
 ACCEPT
 ACCEPT
 DISPLAY BLANKSELECTED

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_2
 CREATE SOLID CYLINDER
 0 0 0
 modify
 name под винт_2
 DIMENSION \$d_vint/2
 LENGTH \$D_zenk/2
 ACCEPT
 DISPLAY BLANKSELECTED

ACTIVATE_WORKPLANE под_пластину_3
 CREATE SOLID CYLINDER
 0 0 0
 modify
 name под винт_3
 DIMENSION \$d_vint/2
 LENGTH \$D_zenk/2
 PAGE 2
 XTWIST CALCULATOR
 EXPRESSION 180
 ACCEPT
 ACCEPT
 ACTIVATE_WORKPLANE World
 EDIT MIRROR
 ZX
 XY
 EDIT MIRROR OFF
 ADD SOLID OBJECT под винт_3
 ADD SOLID OBJECT под винт_4
 DISPLAY BLANKSELECTED
 PRINCIPALPLANE XY
 ADD SOLID OBJECT под винт
 Delete

```

ACTIVATE_WORKPLANE World
PRINCIPALPLANE XY
DISPLAY UNBLANK
CREATE FEATURE SUBTRACTION
ADD SOLID OBJECT корпус инструмента
DISPLAY BLANKEXCEPT
select clearlist

```

File Save

```

let $Xpl1=WORKPLANE [под_пластину_1].origin.x
let $Ypl1=WORKPLANE [под_пластину_1].origin.y
let $Zpl1=-0,5
let $Xpl2=WORKPLANE [под_пластину_2].origin.x
let $Ypl2=WORKPLANE [под_пластину_2].origin.y
let $Zpl2=-0,5
let $Xpl3=WORKPLANE [под_пластину_3].origin.x
let $Ypl3=WORKPLANE [под_пластину_3].origin.y
let $Zpl3=0.0
let $L_cage=$L_sverl+$L_obr
EXPORT $Xpl1
EXPORT $Ypl1
EXPORT $Zpl1
EXPORT $Xpl2
EXPORT $Ypl2
EXPORT $Zpl2
EXPORT $Xpl3
EXPORT $Ypl3
EXPORT $Zpl3
EXPORT $D_zenk
EXPORT $D_sverl
EXPORT $L_cage
Window "1" Close

```

Додаток В – Текст макросу для проектування елементу «Хвостовик HSK-A»

```

Args {
real Diam
real L_obr
}
FILE OPEN
PATHNAME C:\Макрос\Databases\ShaftHSK_Database.psmodel
ACCESS READWRITE
ACCEPT
File SaveAsPath C:\Макрос\детали\Shaft.psmodel

LET $proverka=1

LET $B=($Diam>=10)&($Diam<26)
LET $C=($Diam>=26)&($Diam<34)
LET $D=($Diam>=34)&($Diam<42)
LET $E=($Diam>=42)&($Diam<53)
LET $F=($Diam>=53)&($Diam<=71)

object parameter
SPREADSHEET MULTIPLE
switch $proverka {
case $B
VALUES B
break
case $C
VALUES C
break
case $D
VALUES D
break
case $E
VALUES E
break
default
VALUES F
}
ACCEPT
ACCEPT

//ВВОД ДАННЫХ
LET $D_hvost=D_hvost
LET $D_kon=D_kon
LET $D_man=D_man

```

```

LET Dmax=Dmax
LET $b=b
LET $B3=B3
LET $d_rezb=d_rezb
LET $d_otv=d_otv
LET $d_man=d_man
LET $L_hvost=L_hvost
LET $l_otv=l_otv
LET $L3=L3
LET $t=t
LET $l_vit=l_vit
LET $e=e
LET $a=a

```

```

//построение
PRINCIPALPLANE XY
LET $Y2=$D_hvost/2
LET $X3=-$e
LET $Y4=($D_kon-$D_hvost)/2
LET $X5=-$a
LET $X6=$a-$L_hvost
LET $Y6=$X6*SIN(2,8667)
LET $Y7=-$D_kon/2-$Y6+$d_rezb/2
LET $X8=$L_hvost-$l_otv
LET $Y9=($d_otv-$d_rezb)/2
LET $X10=$l_otv
LET $Y11=-$d_otv/2
LET $X12=$e
create workplane SINGLE
0 0 0
Modify
Name тело хвостовика
ACCEPT
select clearlist
CREATE LINE CONTINUOUS
CONTINUOUS
0 0 0
0 $Y2 0
$X3 0 0
0 $Y4 0
$X5 0 0
$X6 $Y6 0
0 $Y7 0
$X8 0 0

```

```

0 $Y9 0
$X10 0 0
0 $Y11 0
$X12 0 0
accept
create curve COMPCURVE
0 0 0
SAVE
QUIT
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE SOLID REVOLUTION
modify
NAME хвостовик
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

LET $Z1_1=$t
LET $Y1_1=-$b/2
LET $Z1_2=-$t+$D_hvost/2+1
LET $Z1_4=-$Z1_2
LET $Y1_5=-$b
create workplane SINGLE
0 0 0
Modify
Name лыски
ACCEPT
select clearlist
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y1_1 $Z1_1
0 0 $Z1_2
0 $b 0
0 0 $Z1_4
0 $Y1_5 0
accept
create curve COMPCURVE
0 $Y1_1 $Z1_1
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
neglength $e/2

```

```

length 0
name лыска_1
accept
PRINCIPALPLANE XY
EDIT MIRROR
XY
EDIT MIRROR OFF
select clearlist
add solid "лыска_1"
add solid "лыска"
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

LET $Y2_1=-$l_vit
LET $Z2_1=$l_vit
LET $Y2_2=$l_vit-$D_hvost/2
LET $Z2_3=-$l_vit+$D_hvost/2
LET $Y2_4=-$l_vit+$D_hvost/2
LET $Z2_5=$l_vit-$D_hvost/2
ACTIVATE_WORKPLANE лыски
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y2_1 $Z2_1
0 $Y2_2 0
0 0 $Z2_3
0 $Y2_4 0
0 0 $Z2_5
accept
create curve COMPCURVE
0 $Y2_1 $Z2_1
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
neglength $e/2
length 0
name лыска_2
accept
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $Xv=-$e+$L3
LET $X3_1=-$d_man/2*cos(30)-(3*$d_man/4)*TAN(30)
LET $Y3_1=Dmax/2
LET $X3_2=-2*$X3_1

```

```

LET $Y3_3=($D_man-Dmax)/2
LET $X3_3=$Y3_3*TAN(30)
LET $X3_4=2*($X3_1-$X3_3)
LET $X3_5=$X3_3
LET $Y3_5=-$Y3_3
create workplane single
$Xv 0 0
Modify
Name выточка
ACCEPT
select clearlist
create line CONTINUOUS
$X3_1 $Y3_1 0
$X3_2 0 0
$X3_3 $Y3_3 0
$X3_4 0 0
$X3_5 $Y3_5
accept
select clearlist
create curve COMPCURVE
$X3_1 $Y3_1 0
SAVE
QUIT
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE SOLID REVOLUTION
modify
NAME выточка
ACCEPT
PRINCIPALPLANE XY
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $XL=-$L_hvost-$e
LET $R4=$D_kon/2-$d_rezb/2
LET $Y4_1=$B3/2+$R4
LET $Z4_1=$D_kon/4+$d_rezb/4-$R4
LET $Y4_2=$B3/2
LET $Z4_3=$D_kon/4+$d_rezb/4-$R4
LET $Z4_4=$D_kon/4+$d_rezb/4
LET $Y4_4=$Y4_1
LET $Z4_5=$D_kon/4-$d_rezb/4
LET $Y4_5=$Y4_1
LET $Z4_6=$D_kon/2
LET $Y4_6=$Y4_1

```

```

create workplane single
$XL 0 0
Modify
Name торцевая шпонка
ACCEPT
select clearlist
PRINCIPALPLANE YZ
create arc SPAN
0 $Y4_1 $Z4_1
0 0 $R4
0 0 0
modify
SPAN -90
name шпонка_1
ACCEPT
create line single
0 $Y4_2 0
0 0 $Z4_3
modify
name шпонка_1
ACCEPT
create line single
0 $Y4_4 $Z4_4
0 0 $Z4_5
modify
name шпонка_2
ACCEPT
create line single
0 0 $Z4_6
0 $Y4_6 0
modify
name шпонка_3
ACCEPT
add Arc "шпонка_1"
add Line "шпонка_1"
add Line "шпонка_2"
add Line "шпонка_3"
EDIT MIRROR
ZX
EDIT MIRROR OFF
add Arc "шпонка"
add Arc "шпонка_1"
add Line "шпонка"
add Line "шпонка_1"

```

```

add Line "шпонка_2"
add Line "шпонка_3"
add Line "шпонка_4"
add Line "шпонка_5"
EDIT MIRROR
XY
EDIT MIRROR OFF
create curve COMPCURVE
0 $Y4_2 0
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
length $B3/2
NAME торцевая шпонка
accept
PRINCIPALPLANE XY
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

DISPLAY UNBLANK
CREATE FEATURE SUBTRACTION
ADD SOLID OBJECT хвостовик
DISPLAY BLANKEXCEPT
select clearlist

File Save
let $L_shaft=($e-$L3)*2
EXPORT $L_shaft
EXPORT $D_hvost
Window "1" Close

```

Додаток Г – Текст макросу для проектування елементу «Хвостовик з конусом
7:24»

```

Args {
real Diam
real L_obr
}
FILE OPEN
PATHNAME C:\Макрос\Databases\Shaft7to24_Database.psmodel
ACCESS READWRITE
ACCEPT
File SaveAsPath C:\Макрос\детали\Shaft.psmodel

LET $proverka=1

LET $B=($Diam>=10)&($Diam<44)
LET $C=($Diam>=44)&($Diam<55)
LET $D=($Diam>=55)&($Diam<68)
LET $E=($Diam>=68)&($Diam<=85)

object parameter
SPREADSHEET MULTIPLE
switch $proverka {
case $B
VALUES B
break
case $C
VALUES C
break
case $D
VALUES D
break
default
VALUES E
}
ACCEPT
ACCEPT

//ВВОД ДАННЫХ
LET $D_hvost=D_hvost
LET $D_kon=D_kon
LET $D_man=D_man
LET Dmax=Dmax
LET $d_cil=d_cil
LET $d_otv=d_otv
LET $d_man=d_man

```

```

LET $d_rezb=d_rezb
LET $d4=d4
LET $L_hvost=L_hvost
LET $l_kon=l_kon
LET $l_vit=l_vit
LET $l_otv=l_otv
LET $l_rezb=l_rezb
LET $t=t
LET $a=a
LET $b=b
LET $e=e
LET $H=H

```

```
//построение
```

```

PRINCIPALPLANE XY
LET $Y2=$D_hvost/2
LET $X3=-$e
LET $Y4=($D_kon-$D_hvost)/2
LET $X5=$e/2-$a
LET $X6=-$l_kon
LET $Y6=($X6*7/24)/2
LET $Y7=-$Y6-($D_kon-$d4)/2
LET $X8=-$H
LET $Y9=($d_cil-$d4)/2
LET $X10=-$L_hvost+$l_kon+$H+$a-$e/2
LET $Y11=-($d_cil-$d_otv)/2
LET $X12=$l_otv
LET $Y13=($d_rezb-$d_otv)/2
LET $X14=$L_hvost/2
LET $Y15=-$d_rezb/2
LET $X16=$L_hvost/2+$e-$l_otv
create workplane SINGLE
0 0 0
Modify
Name тело хвостовика
ACCEPT
select clearlist
PRINCIPALPLANE XY
CREATE LINE CONTINUOUS
CONTINUOUS
0 0 0
0 $Y2 0
$X3 0 0
0 $Y4 0

```

```

$X5 0 0
$X6 $Y6 0
0 $Y7 0
$X8 0 0
0 $Y9 0
$X10 0 0
0 $Y11 0
$X12 0 0
0 $Y13 0
$X14 0 0
0 $Y15 0
$X16 0 0
accept
create curve COMPCURVE
0 0 0
SAVE
QUIT
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE SOLID REVOLUTION
modify
NAME хвостовик
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED
PRINCIPALPLANE XY
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

LET $Z1_1=$t
LET $Y1_1=-$b/2
LET $Z1_2=-$t+$D_hvost/2+1
LET $Z1_4=-$Z1_2
LET $Y1_5=-$b
create workplane SINGLE
0 0 0
Modify
Name лыски
ACCEPT
select clearlist
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y1_1 $Z1_1
0 0 $Z1_2
0 $b 0
0 0 $Z1_4
0 $Y1_5 0

```

```

accept
create curve COMPCURVE
0 $Y1_1 $Z1_1
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
neglength $e
length 0
name лыска_1
accept
PRINCIPALPLANE XY
EDIT MIRROR
XY
EDIT MIRROR OFF
select clearlist
add solid "лыска_1"
add solid "лыска"
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

```

```

LET $Y2_1=-$l_vit
LET $Z2_1=$l_vit
LET $Y2_2=$l_vit-$D_hvost/2
LET $Z2_3=-$l_vit+$D_hvost/2
LET $Y2_4=-$l_vit+$D_hvost/2
LET $Z2_5=$l_vit-$D_hvost/2
ACTIVATE_WORKPLANE лыски
CREATE LINE CONTINUOUS
0 $Y2_1 $Z2_1
0 $Y2_2 0
0 0 $Z2_3
0 $Y2_4 0
0 0 $Z2_5
accept
create curve COMPCURVE
0 $Y2_1 $Z2_1
SAVE
QUIT
CREATE SOLID EXTRUSION
modify
neglength $e
length 0
name лыска_2

```

```

accept
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

LET $Xv=-$e/2
create workplane single
$Xv 0 0
Modify
Name выточка
ACCEPT
select clearlist
LET $X3_1=-$d_man/2*cos(30)-(3*$d_man/4)*TAN(30)
LET $Y3_1=Dmax/2
LET $X3_2=-2*$X3_1
LET $Y3_3=($D_man-Dmax)/2
LET $X3_3=$Y3_3*TAN(30)
LET $X3_4=2*($X3_1-$X3_3)
LET $X3_5=$X3_3
LET $Y3_5=-$Y3_3
create line CONTINUOUS
$X3_1 $Y3_1 0
$X3_2 0 0
$X3_3 $Y3_3 0
$X3_4 0 0
$X3_5 $Y3_5
accept
select clearlist
create curve COMPCURVE
$X3_1 $Y3_1 0
SAVE
QUIT
PRINCIPALPLANE YZ
CREATE SOLID REVOLUTION
modify
NAME выточка
ACCEPT
PRINCIPALPLANE XY
DISPLAY BLANKSELECTED
ACTIVATE_WORKPLANE World

DISPLAY UNBLANK
CREATE FEATURE SUBTRACTION
ADD SOLID OBJECT хвостовик
DISPLAY BLANKEXCEPT

```

select clearlist

File Save

let \$L_shaft=\$L_hvost+\$e

EXPORT \$L_shaft

EXPORT \$D_hvost

Window "1" Close

Додаток Д – Текст макросу для проектування елемента «Ріжуча пластина»

```

Args {
real Diam
real alfa
real gamma
}
FILE OPEN
PATHNAME C:\Макрос\databases\Plate_Database.psmodel
ACCESS READWRITE
ACCEPT
File SaveAsPath C:\Макрос\детали\Plate.psmodel

```

```

LET $proverka=1

```

```

LET $B=($Diam>=12)&($Diam<14)
LET $C=($Diam>=14)&($Diam<16)
LET $D=($Diam>=16)&($Diam<20)
LET $E=($Diam>=20)&($Diam<23)
LET $F=($Diam>=23)&($Diam<25)
LET $G=($Diam>=25)&($Diam<29)
LET $H=($Diam>=29)&($Diam<33)
LET $I=($Diam>=33)&($Diam<41)
LET $J=($Diam>=41)&($Diam<51)
LET $K=($Diam>=51)&($Diam<=61)

```

```

object parameter
SPREADSHEET MULTIPLE
switch $proverka {
case $B
VALUES B
break
case $C
VALUES C
break
case $D
VALUES D
break
case $E
VALUES E
break
case $F
VALUES F
break
case $G

```

```

VALUES G
break
case $H
VALUES H
break
case $I
VALUES I
break
case $J
VALUES J
break
default
VALUES K
}
ACCEPT
ACCEPT
LET $t_plast=t_plast
LET $d_plast=d_plast
LET $d_vint=d_vint
LET $R_plast=R_plast

//расчет
LET $q=$t_plast*TAN($alfa)

LET $Rskr=$d_vint/6+(t_plast/2)*TAN(90-2*ATAN(($d_vint/6)/(t_plast/2)))
LET $hio=2*ATAN(($d_vint/6)/(t_plast/2))

//абсолютные координаты точек
LET $X1=$d_plast/2
LET $Y1=$d_plast/2
LET $Z1=0
LET $X2=-$d_plast/2
LET $Y2=$d_plast/2
LET $Z2=0
LET $X3=-$d_plast/2
LET $Y3=-$d_plast/2
LET $Z3=0
LET $X4=$d_plast/2
LET $Y4=-$d_plast/2
LET $Z4=0
LET $X1v=$d_plast/2-$q
LET $Y1v=$d_plast/2-$q
LET $Z1v=0
LET $X2v=-$d_plast/2+$q

```

```

LET $Y2v=$d_plast/2-$q
LET $Z2v=0
LET $X3v=-$d_plast/2+$q
LET $Y3v=-$d_plast/2+$q
LET $Z3v=0
LET $X4v=$d_plast/2-$q
LET $Y4v=-$d_plast/2+$q
LET $Z4v=0
LET $X1otv=0
LET $Y1otv=0
LET $Z1otv=0
LET $X2otv=0
LET $Y2otv=0
LET $Z2otv=$t_plast
LET $X3otv=0
LET $Y3otv=$d_vint/2
LET $Z3otv=$t_plast
LET $X4otv=0
LET $Y4otv=$d_vint/2+$Rskr
LET $Y4otv1=$d_vint/2-$Rskr
LET $Z4otv=$t_plast/2
//относительные координаты точек
LET $otn1=-$d_plast

```

```

LET $otn1v=-$d_plast+2*$q
LET $otn2v=$d_plast-2*$q
LET $Rv=$R_plast
LET $otn3v=-$t_plast
LET $Y2otv_otn=$d_vint/2
LET $Z3otv_otn=-$t_plast/2
LET $Y5otv_otn=$d_vint*2/3

```

```

PRINCIPALPLANE XY
//система координат
create workplane SINGLE
0 0 0
Modify
Name основа
ACCEPT
select clearlist
ACTIVATE_WORKPLANE World

create workplane SINGLE
0 0 $t_plast

```

Modify
 Name bepx
 ACCEPT
 select clearlist
 ACTIVATE_WORKPLANE World

ACTIVATE_WORKPLANE oCHOBa
 create line single
 \$X1 \$Y1 \$Z1
 \$otn1 0 0
 modify
 name Telo_l1
 accept
 create line single
 \$X2 \$Y2 \$Z2
 0 \$otn1 0
 modify
 name Telo_l2
 accept
 create line single
 \$X3 \$Y3 \$Z3
 \$d_plast 0 0
 modify
 name Telo_l3
 accept
 create line single
 \$X4 \$Y4 \$Z4
 0 \$d_plast 0
 modify
 name Telo_l4
 accept
 create arc filletline
 \$X1 \$Y1 \$Z1
 modify
 name Telo_r1
 R \$R_plast
 accept
 select
 create arc filletline
 \$X2 \$Y2 \$Z2
 modify
 name Telo_r2
 R \$R_plast
 accept

```

select
create arc filletline
$X3 $Y3 $Z3
modify
name Telo_r3
R $R_plast
accept
select
create arc filletline
$X4 $Y4 $Z4
modify
name Telo_r4
R $R_plast
accept
select
create curve COMPCURVE
$X1 0 0
save
select
RENAME
NAME kont1
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED

```

```

ACTIVATE_WORKPLANE bepx
create line single
$X1v $Y1v $Z1v
$otn1v 0 0
modify
name Telo_l1v
accept
create line single
$X2v $Y2v $Z2v
0 $otn1v 0
modify
name Telo_l2v
accept
create line single
$X3v $Y3v $Z3v
$otn2v 0 0
modify
name Telo_l3v
accept
create line single

```

```

$X4v $Y4v $Z4v
0 $otn2v 0
modify
name Telo_l4v
accept
create arc filletline
R $Rv
$X1v $Y1v $Z1v
modify
name Telo_r1v
accept
select
create arc filletline
R $Rv
$X2v $Y2v $Z2v
modify
name Telo_r2v
accept
select
create arc filletline
R $Rv
$X3v $Y3v $Z3v
modify
name Telo_r3v
accept
select
create arc filletline
R $Rv
$X4v $Y4v $Z4v
modify
name Telo_r4v
accept
select
create curve COMPCURVE
$X1v 0 0
save
select
RENAME
NAME kont2
ACCEPT
DISPLAY BLANKSELECTED

create line single
$X4v 0 0

```

```

$q 0 $otn3v
modify
name Telo_1
accept
select clearlist
CREATE SOLID DRIVECURVE
Thickness 0,000000
Offset In
add CompCurve "kont1"
add CompCurve "kont2"
DRIVECURVE
add Line "Telo_1"
FINISH
cancel
ADD SOLID OBJECT 1
modify
name пластина
accept
select clearlist
add CompCurve "kont1"
add CompCurve "kont2"
add Line "Telo_1"
delete
selectall
DISPLAY BLANKSELECTED

ACTIVATE_WORKPLANE основа
PRINCIPALPLANE YZ
create line single
0 0 0
0 0 $t_plast
modify
name под винт1
accept
select clearlist
create line single
0 0 $t_plast
0 $Y2otv_otn 0
modify
name под винт2
accept
select clearlist
create line single
0 $Y3otv $t_plast

```

```

0 0 $Z3otv_otn
modify
name под винт3
accept
select clearlist
create arc SWEPT
$X4otv $Y4otv $Z4otv
0 $Y4otv1 0
ANTICLOCKWISE
0 0 -5
modify
DIMENSION $Rskr
SPAN $hio
ACCEPT
create line single
0 0 0
0 $Y5otv_otn 0
modify
name под винт4
accept
select clearlist
create curve COMPCURVE
0 0 0
save
select
RENAME
NAME kont3
ACCEPT
PRINCIPALPLANE XY
CREATE SOLID REVOLUTION
modify
name отверстие
accept
DISPLAY BLANKSELECTED
DISPLAY UNBLANK
CREATE FEATURE SUBTRACTION
ADD SOLID OBJECT пластина
DISPLAY BLANKEXCEPT
select clearlist
FILE SAVE
EXPORT $d_plast
EXPORT $R_plast
EXPORT $t_plast
Window "1" Close

```

Додаток Є – Текст макросу для додання елементів в бібліотеку компонентів

```

File new
File SaveAsPath C:\Макрос\детали\Drill.psmodel
CREATE COMPONENT ON_CURSOR
SELECT
BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл модели
(*.psmodel)|*.psmodel||' TITLE OPENFILECONTEXT
C:\Макрос\детали\Cage.psmodel
MODEL C:/Макрос/детали/Cage.psmodel/
2*0
ACCEPT
0 0 0
CREATE COMPONENT ON_CURSOR
SELECT
BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл модели
(*.psmodel)|*.psmodel||' TITLE OPENFILECONTEXT
C:\Макрос\детали\Shaft.psmodel
MODEL C:/Макрос/детали/Shaft.psmodel/
2*0
ACCEPT
0 0 100
cancel
CREATE COMPONENT ON_CURSOR
SELECT
BROWSE FILESELECTOR PAT 'PowerSHAPE Файл модели
(*.psmodel)|*.psmodel||' TITLE OPENFILECONTEXT
C:\Макрос\детали\Plate.psmodel
MODEL C:/Макрос/детали/Plate.psmodel/
2*0
ACCEPT
60 0 0
70 0 0
80 0 0
90 0 0
cancel

```

Додаток Ж – Текст макросу для створення прив'язок між елементами

```

Args {
real D_hvost
real D_zenk
real Xpl1
real Ypl1
real Zpl1
real Xpl2
real Ypl2
real Zpl2
real Xpl3
real Ypl3
real Zpl3
real d_plast
real R_plast
real t_plast
real L_cage
real L_shaft
real alfa
}
let $Xpl4=$Xpl3
let $Ypl4=-$Ypl3
let $Zpl4=$Zpl3
let $DeltaT=$t_plast*tan($alfa)

```

VIEW EDIT ISO1

VIEW DETAIL TOGGLE TRANSPARENT

```

let $x1=$L_cage/2
let $x2=-$L_shaft/2

```

CREATERELATION

Add Component "Drill_assembly" "cage"

SELECT ATTACHMENT "cage" PLANE -0,000 0,000 -0,000 -1,000 0,000 -0,000

Add Component "Drill_assembly" "shaft"

SELECT ATTACHMENT "shaft" PLANE -0,000 0,000 -0,000 1,000 -0,000 0,000

ALIGNMENT ANTIALIGN

APPLY

Add Component "Drill_assembly" "cage"

SELECT ATTACHMENT "cage" AXIS \$x1 -0,000 0,000 1,000 -0,000 0,000

Add Component "Drill_assembly" "shaft"

SELECT ATTACHMENT "shaft" AXIS \$x2 0,000 -0,000 -1,000 0,000 -0,000

APPLY
CANCEL

let \$Zcage1_1=\$Zpl1-\$t_plast-0,1
let \$Zcage1_2=\$Zpl1-\$t_plast
let \$Zplate1_1=\$t_plast/2
let \$Zplate1_2=\$t_plast

CREATERELATION

Add Component "Drill_assembly" "cage"

SELECT ATTACHMENT "cage" AXIS \$Xpl1 \$Ypl1 \$Zcage1_1 -0,000 0,000
1,000

Add Component "Drill_assembly" "plate"

SELECT ATTACHMENT "plate" AXIS 0,000 0,000 \$Zplate1_1 -0,000 -0,000 -
1,000

APPLY

Add Component "Drill_assembly" "cage"

SELECT ATTACHMENT "cage" POINT \$Xpl1 \$Ypl1 \$Zcage1_2

Add Component "Drill_assembly" "plate"

SELECT ATTACHMENT "plate" PLANE 0,000 0,000 \$Zplate1_2 -0,000 -0,000
1,000

APPLY

CANCEL

let \$Zcage2_1=\$Zpl2+\$t_plast+0.1
let \$Zcage2_2=\$Zpl2+\$t_plast
let \$Zplate2_1=\$t_plast/2
let \$Zplate2_2=\$t_plast

CREATERELATION

Add Component "Drill_assembly" "cage"

SELECT ATTACHMENT "cage" AXIS \$Xpl2 \$Ypl2 \$Zcage2_1 -0,000 -0,000 -
1,000

Add Component "Drill_assembly" "plate_1"

SELECT ATTACHMENT "plate_1" AXIS 0,000 0,000 \$Zplate2_1 -0,000 -0,000
-1,000

APPLY

Add Component "Drill_assembly" "cage"

SELECT ATTACHMENT "cage" POINT \$Xpl2 \$Ypl2 \$Zcage2_2

Add Component "Drill_assembly" "plate_1"

SELECT ATTACHMENT "plate_1" PLANE 0,000 0,000 \$Zplate2_2 -0,000 -
0,000 1,000

APPLY

CANCEL

```

let $Xcage3_1=$Xpl3-$d_plast*SQRT(2)/2
let $Zcage3_1=$Zpl3-$t_plast-0.1
let $Zcage3_2=$Zpl3-$t_plast
let $Zplate3_1=$t_plast/2
let $Zplate3_2=$t_plast
let $Xplate3=$d_plast/2
let $Yplate3_1=$d_plast/2-$R_plast
let $Yplate3_2=-$Yplate3_1

```

CREATERELATION

Add Component "Drill_assembly" "cage"

```
SELECT ATTACHMENT "cage" AXIS $Xpl3 $Ypl3 $Zcage3_1 -0,000 -0,000
1,000
```

Add Component "Drill_assembly" "plate_2"

```
SELECT ATTACHMENT "plate_2" AXIS 0,000 0,000 $Zplate3_1 -0,000 -0,000
-1,000
```

APPLY

Add Component "Drill_assembly" "cage"

```
SELECT ATTACHMENT "cage" POINT $Xpl3 $Ypl3 $Zcage3_2
```

Add Component "Drill_assembly" "plate_2"

```
SELECT ATTACHMENT "plate_2" PLANE 0,000 0,000 $Zplate3_2 -0,000 -
0,000 1,000
```

APPLY

Add Component "Drill_assembly" "cage"

```
SELECT ATTACHMENT "cage" POINT $Xcage3_1 $Ypl3 $Zpl3
```

Add Component "Drill_assembly" "plate_2"

```
SELECT ATTACHMENT "plate_2" LINE $Xplate3 $Yplate3_1 0,000 $Xplate3
$Yplate3_2 0,000
```

APPLY

CANCEL

```

let $Xcage4_1=$Xpl4-$d_plast*SQRT(2)/2
let $Zcage4_1=$Zpl4+$t_plast+0.1
let $Zcage4_2=$Zpl4+$t_plast
let $Zplate4_1=$t_plast/2
let $Zplate4_2=$t_plast
let $Xplate4=$d_plast/2
let $Yplate4_1=$d_plast/2-$R_plast
let $Yplate4_2=-$Yplate3_1

```

CREATERELATION

Add Component "Drill_assembly" "cage"

```

SELECT ATTACHMENT "cage" AXIS $Xpl4 $Ypl4 $Zcage4_1 -0,000 -0,000 -
1,000
Add Component "Drill_assembly" "plate_3"
SELECT ATTACHMENT "plate_3" AXIS 0,000 0,000 $Zplate4_1 -0,000 -0,000
-1,000
APPLY
Add Component "Drill_assembly" "cage"
SELECT ATTACHMENT "cage" POINT $Xpl4 $Ypl4 $Zcage4_2
Add Component "Drill_assembly" "plate_3"
SELECT ATTACHMENT "plate_3" PLANE 0,000 0,000 $Zplate4_2 -0,000 -
0,000 1,000
APPLY
Add Component "Drill_assembly" "cage"
SELECT ATTACHMENT "cage" POINT $Xcage4_1 $Ypl4 $Zpl4
Add Component "Drill_assembly" "plate_3"
SELECT ATTACHMENT "plate_3" LINE $Xplate4 $Yplate4_1 0,000 $Xplate4
$Yplate4_2 0,000
APPLY
CANCEL
VIEW DETAIL SHADEDWIRE

```