

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

**Дипломний проект**

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»

на тему **Покращення технологічних можливостей фрезерного  
верстата з числовим програмним керуванням.**

Виконав студент групи

IV курсу, групи МВ-51

Копейкін Марко Вікторович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

Ковальов В.А.

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Київ - 2019 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

До захисту допущено

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) О.В. Шевченко  
(ініціали, прізвище)

“18” червня 2019 р.

## Пояснювальна записка

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»  
(код і назва)

на тему Покращення технологічних можливостей фрезерного  
верстата з числовим програмним керуванням

Виконав студент

IV курсу, групи МВ-51

Копейкін Марко Вікторович

\_\_\_\_\_  
(прізвище ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту

Ковальов Віктор Андрійович

\_\_\_\_\_  
(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

РЕЦЕНЗЕНТ:

\_\_\_\_\_  
(посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2019 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

[illegible]

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**ім. Ігоря Сікорського”**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання верстатів та машин**

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_ **6.050503 «Машинобудування»** \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ **О.В. ШЕВЧЕНКО**  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“18” червня 2019 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ **КОПЄЙКНУ МАРКУ ВІКТОРОВИЧУ** \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

керівник проекту Ковальов В.А. \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“11” травня 2017 року № 1494-с**

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту технічна документація верстата \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки Конструктивні особливості та принцип дії елементів верстату та особливості обробки на ньому,

Особливості процесів обробки деталей на багатоцільових верстатах

Різальний інструмент для фрезерних верстатів

Огляд механізмів автоматичної зміни інструментів в верстатах з ЧПК

Огляд інструментальних магазинів

Конструктивні особливості та опис дії верстату і його вузлів

Розрахунок механізмів пристрою зміни інструментів

Розрахунки режимів різання

Конструктивні особливості та технічні характеристики датчиків обертання фірми HEIDENHAIN

Програмування в системі HEIDENHAIN TNC 640

Аналіз напружень використанням модулю Autodesk Inventor для оцінювання податливості шпиндельного вузла

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Загальний вигляд, маніпулятор, механізм орієнтації шпинделя, інструментальний магазин, розрахунок напружень в Autodesk inventor, програмування в HEIDENHAIN TNC 640.

6. Дата видачі завдання 12 березня 2019 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Визначення теми дипломного проекту	Березень	
2	Аналіз конструктивних особливостей	Квітень	
3	Опис дії верстату і його вузлів	Квітень	
4	Розрахунок механізмів зміни інструменту	Квітень	
5	Розрахунок приводу інструментального механізму	Травень	
6	Розрахунок режимів різання	Травень	
7	Конструктивні особливості датчиків обертання	Травень	
8	Програмування керуючої програми верстата	Травень	
9	Аналіз напруження шпинделя	Червень	
10	Розробка креслень та плакатів	Червень	
11	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	Червень	


**Студент** \_\_\_\_\_ **Копейкін М.В.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту** \_\_\_\_\_ **Ковальов В.А**

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Визначення тематики дипломного проекту.....	8
2. Конструктивні особливості та принцип дії елементів верстату та особливості обробки на ньому.....	11
2.1. Особливості процесів обробки деталей на багатопільових верстатах .....	11
2.2. Різальний інструмент для фрезерних верстатів.....	16
2.3. Огляд механізмів автоматичної зміни інструментів в верстатах з ЧПК.....	19
2.4. Огляд інструментальних магазинів.....	23
2.5. Конструктивні особливості та опис дії верстату і його вузлів.....	26
3. Розрахунок механізмів пристрою зміни інструментів.....	37
3.1. Розрахунок механізму орієнтації .....	37
3.2. Визначення основних параметрів гідромотора.....	39
3.3. Розрахунок часу спрацювання механізмів автооператора.....	41
3.4. розрахунок приводу інструментального магазину....	43
3.5. визначення необхідної подачі насосної установки гідросистеми маніпулятора.....	44
3.6. розрахунок механізму відтиску інструмента у шпинделі верстата .....	44
4. Розрахунки режимів різання.....	47
5. Конструктивні особливості та технічні характеристики датчиків обертання фірми HEIDENHAIN.....	55

					МВ-5111.ДПБ000.000 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата				
Розроб.		Копейкін М.В			Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК Пояснювальна записка	Літ.	Арк	Аркушів
Перевір.		Ковалев В.А					4	80
Реценз.						НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»		
Н. Контр.								
Затвердив.								

6. Програмування в системі HEIDENHAIN TNC 640.....	61
7. Аналіз напружень використанням модулю Autodesk Inventor для оцінювання податливості шпиндельного вузла.....	66
8. Висновок.....	72
Література .....	74

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						5
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## Вступ

Сучасне машинобудування вимагає впровадження у виробництво високопродуктивних машин та технологічного обладнання, які мають високі технічні показники. Вони повинні забезпечити значне підвищення продуктивності праці, високу точність та якість виготовлення деталей за рахунок автоматизації технологічних процесів та швидкого переналагоджування верстатів.

Найбільша об'єм загальної номенклатури припадає на корпусні, плоскі призматичні, фасонні та профільні деталі складної форми. В цьому об'ємі корпусні деталі є найбільш трудомісткими у виробництві. Трудовитрат на обробку цих деталей становлять більше половини загальної трудомісткості механічного оброблення в машинобудуванні.

Особливість виготовлення корпусних деталей являє собою дрібносерійний або й одиничний характер виробництва. Це вимагає використання гнучких виробничих моделей для швидкого переналагоджування з використанням сучасних верстатів фрезерної групи. Багатоопераційні верстати є технологічним комплексом з числовим програмним керування, дозволяють розширити технологічні можливості за рахунок використання декількох робочих органів, магазину інструментів та маніпулятора для прискорення заміни цих самих інструментів. Найбільш доцільне використання багатоцільових верстатів (БВ) в умовах одиничного, малосерійного виробництва. Які характеризуються широкою номенклатурою виробів на необхідністю частого переналагоджування верстатів. При обробці деталей на багатоопераційних верстатах використовується послідовна схема обробки, тобто у кожний момент часу використовується один інструмент (іноді-кілька). Скорочення транспортування деталей і допоміжного часу підвищує продуктивність багатоцільових верстатів за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу. Особливо ефективне використання БВ при повній обробці деталей з однієї

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						6
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

установки.Ефективність обробки на цих верстатах може бути суттєво підвищена за рахунок покращення технічних характеристик верстата та використання сучасних інструментів і високо автоматизованих пристосувань.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						7
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМАТИКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Базовим верстатом є багатоцільовий вертикально фрезерний консольний верстат ГФ2171 з ЧПК. На ньому передбачена автоматична заміна інструментів. Він призначений для обробки складно профільних деталей із чорних та кольорових металів фрезерування свердлінням розточуванням.

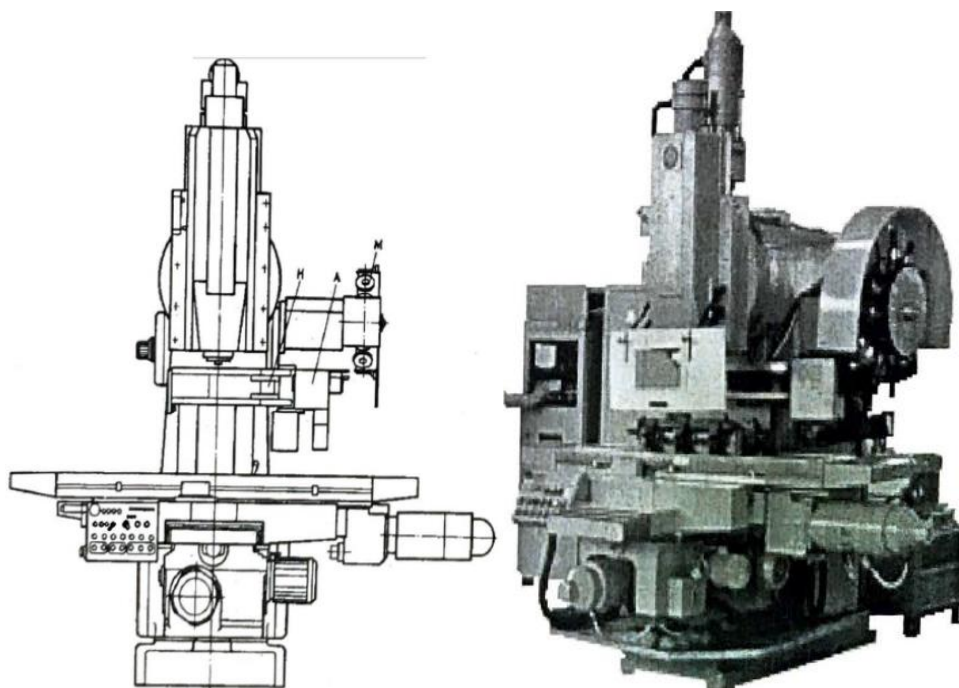


Рис.1.1. Багатоцільовий верстат Гф2171

Верстат оснащений контурно-позиційною системою ЧПК. Система забезпечує управління переміщеннями робочих органів одночасно по трьох координатних осях:

- Повздовжнє переміщення столу з оброблюваною деталлю по осі X;
- Поперечне переміщення санчат із столом по осі Y;
- Вертикальне переміщення повзуна по осі Z;

Додатковим в порівнянні з верстатом додатковими вузлами верстату є наступні :

- Магазин інструментів ;

- Маніпулятор що забезпечую автоматичну заміну інструментів;
- коробка швидкостей з гідравлічним керуванням ;
- Механізми затиску інструментів та орієнтації шпинделя, яка необхідні для заміни інструменту.

Для підвищення надійності заміни інструменту замість наявного маніпулятора, обираємо автооператор, що використовується на верстатах серії МЦ, в тому числі на верстаті МЦ 800. Цей автооператор має меншу трудомісткість виготовлення ,а отже меншу собівартість. В той же час забезпечує більшу швидкість зміни інструменту і дозволяє встановлення на верстаті ГФ2171 без значних змін в його конструкції. автооператор на базовому верстаті достатньо складний за рахунок використання в його конструкції поверхонь кочення для переміщення маніпулятора з одночасним поворотом на 90 градусів вздовж станини верстата . Через це зростає час зміни інструменту. Перевагою запропонованого маніпулятора є також висока надійність в порівнянні з базовим.

На рис 1.2 показаний механізм автоматичної зміни інструмента до зміни автооператора. На ньому цифрами позначені:

1. – інструментальний магазин;
2. – автооператора;

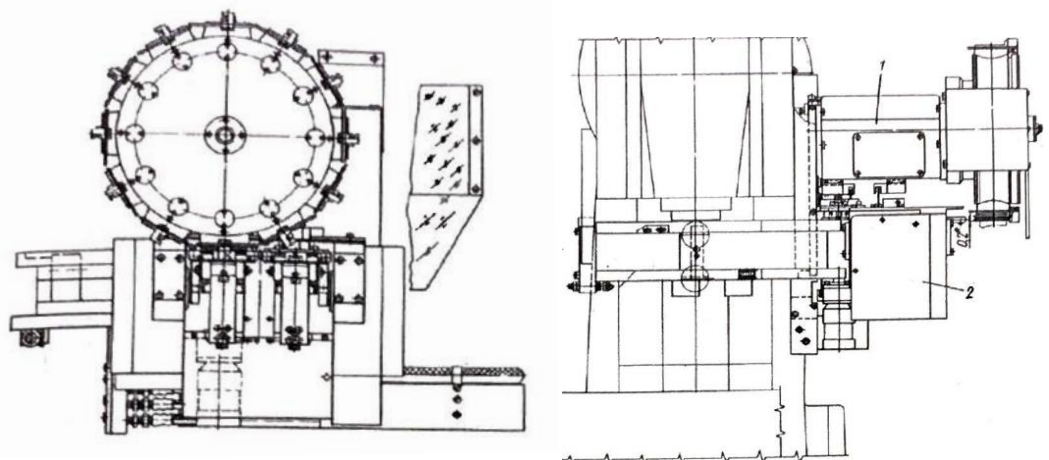


Рис. 1.2. Механізм автоматичної заміни інструментів  
верстата ГФ2171 до зміни.

Запропонований до зміни автооператор, більш простий у виготовленні. Його конструкція і розміщення дозволяє скоротити час зміни інструменту. Базова конструкція може застосовуватись на різних типах верстатів. Для встановлення на версті ГФ2171 потрібні незначні конструктивні зміни які не вимагають значних затрат. але при цьому виникла необхідність зміни типу пристосування затиску інструменту. Електромеханічні пристосування замінюємо на гідравлічні, що дозволяє виключити з верстата асинхронний двигун потужністю 0.18 кВт.

Конструктивні зміни, що використані в базовій моделі ГФ2171, дозволили збільшити його продуктивність і зменшити його собівартість у цілому.

Верстат після модернізації відповідає вимогам охорони праці.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						10
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Конструктивні особливості та принцип дії елементів верстату та особливості обробки на ньому

### 2.1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ НА БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ.

У виробництві нерідко оброблюються складні корпусні деталі, що потребують обробки з різних сторін. Наявність похилих площини на деталі збільшує число оброблюваних сторін до десяти і більше. При цьому на кожній стороні є пази, виступи, кишені, та інші конструктивні елементи. Таким чином на кожній стороні корпусної деталі поверхня має декілька рівнів по глибині, а кожний рівень має складний контур. До того ж на кожній поверхні часто розташовують основні та кріпильні отвори а також ступінчасті конічні та різьбові отвори різних розмірів глибини та точності. Часто виникає необхідність обробки внутрішньої порожнини корпусних деталей з перемички, ребрами жорсткості, кишеннями. Обробка таких поверхонь на універсальних верстатах вимагає розробки складної технологічних процесів із великим числом фрезерних, свердлильних і розточувальних операцій. Необхідність транспортування громіздких і масивних деталей від одного верстата до іншого вимагає додаткових транспортних елементів. При такій роботі машинний час значно менший із загальним часом обробки. Тобто основна частина часу витрачається на допоміжні операції.

Багатоцільові верстати дозволяють поєднувати фрезерні операції обробки площин та фасонних поверхонь, операцій центрування, свердління розточування нарізання різьби. При цьому можлива обробка зовнішніх та внутрішніх об'єктів і пазів різної форми кінцевими та дисковими фрезами.

При цьому висока ефективності багатоцільових верстатів досягається за рахунок зменшення установок до одної - двох. Необхідно рахуватися також з небезпекою спотворення форми деталей після обробки через перерозподіл залишкових напруг через наявних у

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк. 11
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідній заготовці. Щоб уникнути цієї небезпеки технологічні процеси розділяють на операції чорнової та остаточної обробки. Чорнову обробку виконують на достатньо жорстких верстатах а деталі відправляють на термообробку, яка дозволяє зняти внутрішні напруження. Остаточну механічну обробку продовжують на багатоопераційних верстатах. Обробка окремих контуру деталей має свої особливості. Зазвичай це роблять у два переходи. Операцію фрезерування площини виконують за два переходи на першому – чорнове фрезерування з великими припусками доцільно виконувати торцевими фрезерами, послідовними проходами уздовж оброблювальної поверхні. Діаметр фрези обирають таким щоб оброблювати всю ширину поверхні за один робочий хід. При нерівномірному великому припуску необхідно виконувати декілька робочих ходів для зменшення величини відтиску фрези. Остаточну обробку виконують фрезою, діаметр якої перевищує всю ширину оброблення.

Особливо низьку шорсткість поверхні отримують при використанні торцевих фрез з пластинами із надтвердих матеріалів або мінералокераміки.

Кінцевими фрезами оброблюють відкриті неширокі площини. В основному ці фрези використовують для фрезерування уступів пазів, та контурного фрезерування. У сучасному машинобудуванні використовують кінцеві фрези оснащеними змінними твердосплавним пластинами. Діаметр фрези обирають меншим ширини пазу що дозволяє підвищити точність обробки і скоротити перелік інструментів. Обробку виконують в наступній послідовності: спочатку фрезерується середня частина а потім ліва та права сторони пазу. Висока точність пазу по ширині забезпечується корекцією на радіус фрези. В кінці циклу фрезерування корекція скасовується.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						12
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання кінцевих фрез із збільшеним кутом нахилу на спіралі та полірованими канавками підвищують стійкість та покращують відведення стружки при обробці глухих пазів. Для зменшення осьової сили при врізанні використовують спеціальне заточування торцевих зубів фрези.. Фрези з підсиленою серцевиною конічної форми і змінною глибиною канавок мають підвищену жорсткість і дозволяють інтенсифікувати режими різання. Для зменшення вібрації використовують трьох та чотирьох зубі фрези із змінним кроком зубів.

На фрезерних і багатоцільових верстатів з ЧПК можливе виконання кругового фрезерування, що замінює операцію розточення отворів в корпусних деталях. Для цього фрезі повідомляють кругову подачу. Якщо позначити час фрезерування  $t_f$ , а час розточування  $t_p$ , то продуктивність кругового фрезерування буде вище продуктивності розточування, якщо виконується співвідношення  $t_f / t_p < 1$ .

Як показує аналіз даних з побудови ТП на фрезері операції, в сучасних умовах кругового фрезеруванню віддається перевага у всіх випадках, коли цей процес можливий до застосування. Глибина отвору обмежується лише довжиною звичайних кінцевих фрез і становить 60-80 мм. Необхідно підкреслити, що кругове фрезерування найбільш доцільно використовувати для попередньої обробки отворів у литих заготовках (для зняття чорнового припуску).

Обробка отворів– найпоширеніший вид технологічних переходів на БВ.

Серед них свердління і нарізування різьби в кріпильних отворах під болти, гвинти і шпильки; свердління, zenкування, розгортання, розточування точних посадочних отворів - гладких, і ступінчастих; обробка отворів у литих деталях.

Співвісні отвори в протилежних стінках корпусних деталей обробляють на БВ консольно закріпленими інструментами, послідовно,

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.  13
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



з поворотом заготовки разом зі столом верстата на  $180^0$ . Співвісність, що досягається, залежить від точності ділильного столу. Похибка поділки не повинна перевищувати половини поля допуску на відхилення взаємного розташування отворів за кресленням деталі. Для збільшення жорсткості шпиндельного вузла отвори прагнуть розточувати з постійним вильотом шпинделя, за рахунок переміщення столу або стійки верстата. Справа в тому, що жорсткість висувної пінолі в десятки разів менше жорсткості шпиндельної бабки. Тому на БВ з висувною піноль шпинделя доводиться знижувати параметри режимів різання для отримання високої точності оброблення. Остаточну обробку найбільш важливих отворів в особливо точних корпусних деталях виконують на прецизійних розточувальних верстатах, окремою операцією.

При невисокої точності оброблюваних отворів операції виконують наступним чином: спочатку обробляють всі отвори першим інструментом, а вже потім іншим в тому випадку якщо зміна інструмента на даному верстаті більш довготривала ніж позиціонування столу. При високих вимогах до точності розмірів форми, їх обробляють зі змінною інструментів в кожному з отворів та переміщенням шпинделя тільки по осі Z. Це дозволяє зменшити похибку позиціонування скорочення часу свердління спіральними свердлами досягають використання прискореної автоматичної зміни режимі різання. Після прискореного підведення свердла до заготовки вмикається робоча подача. А в кінці свердління отвору подачу зменшують, що дозволяє уникнути поломки інструменту через зміну осьової сили при виході свердла з отвору. При наявності ливарної кірки на поверхні заготовки в програмі передбачають зменшення швидкості різання. На багатоцільових верстатах зазвичай використовують центрувальні отвори короткими жорсткими свердлами. Це також дозволяє полегшити врізання і підвищити стійкість свердл малого діаметра при роботі по

ливарній кірці. Одночасно знімається фаска на в ході в отвір, якщо вона передбачена кресленням.

Центрування доцільно застосовувати для обробки отворів діаметром до 8 – 15 мм в сталюх та чавунних заготовках.

При обробці отворів у корпусних заготовках ефективно застосування інструментів що призначалися тільки для свердлення глибоких отворів, наприклад двокромчастих свердл з механічним кріпленням тригранних твердосплавних пластин. Використання таких свердл дозволяє розділяти припуск по ширині зрізу та внутрішнє підведення охолоджувальної рідини. Це дозволяє в три – п'ять разів підвищити ефективність різання в порівнянні зі спіральними свердлами. Конструкції свердел різні.

Використання комбінованих інструментів різних типів дозволяє значно розширити. Наприклад, якщо отвір у вихідних заготовці відсутній, можна використовувати можливості підвищення продуктивності оброблення отворів. Якщо свердління виконується без попереднього центрування можна використовувати комбінований інструмент свердл – зенкер. Можуть застосовуватись і трьо ступінчасті інструменти в яких комбінується виготовлення перешої ступені із інструментальної сталі ,а інших що працюють з більш високими швидкостями різання , твердосплавними пластинами

## 2.2. РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ

НА фрезерних верстатах з ЧПК найбільш поширеним інструментом є кінцеві фрези. Робоча частина найчастіше виготовляють із швидкорізальних сталей марок P6M5, P6M5K5, P5K10, P18. Може використовуватись також тверді сплави з покриттям фрези діаметром до 12 мм роблять цільними , фрези діаметром понад 12 мм – збірними.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						15
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги до Розмірів та форми робочої частини фрез та визначаються стандарти і технічні умови. На рис. 2.1 показана фреза з конічним хвостовиком (ГОСТ 17026 -71 \*) та рис 2.2 з циліндричним хвостовиком (ГОСТ 17025-71) відповідно.

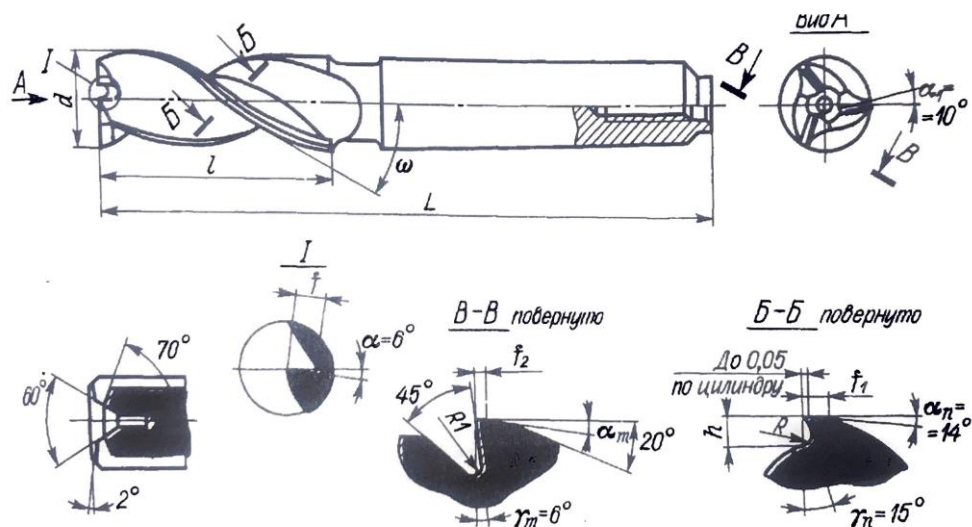
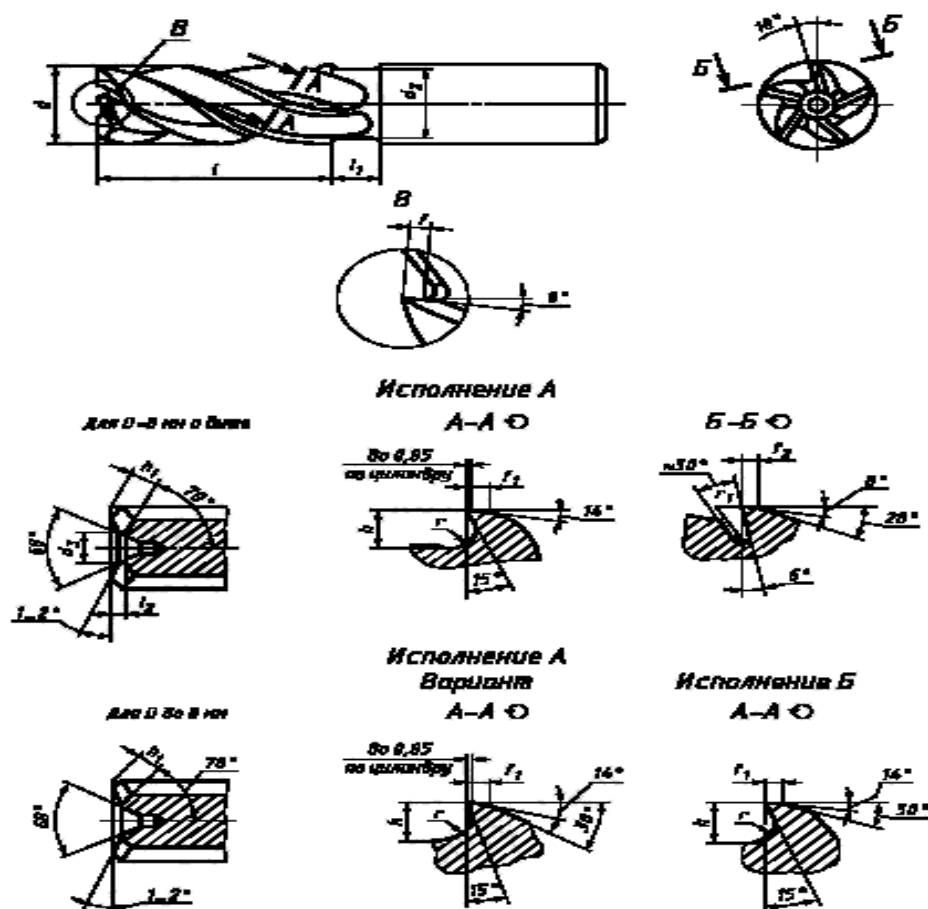


Рис. 2.1. Кінцева фреза з конічним хвостовиком



Крім стандартних фрез що використовуються на верстатах з ЧПК, бувають і спеціальні для виконання робіт в особливо важких умовах.

Спеціально конструктивних рішень для кінцевих фрез вимагають наступні особливі випадки. ( рис. 2.3):

1 – полегшення виходу стружки при обробці глибоких глухих колодязів при зменшенні кількості зубів та збільшення кута нахилу канавок;

2 – зміна напрямку осьової складової сили різання таким чином, щоб заготовка притискалась до столу верстата (цього досягають застосуванням право ріжучих фрез з лівою спіраллю або ліво ріжучих фрез з правою спіраллю);

3 – демпфування вібрацій при різанні несиметричним розташуванням зубів фрези;

4 – особливе загострювання торця двозубих фрез, що дозволяє здійснювати вертикальне врізання у метал;

5 – підвищення жорсткості ріжучої частини за рахунок змінної глибини стружкових канавок;

6 і 7 – використання фасонних кінцевих фрез для фрезерування складних криволінійних поверхонь.

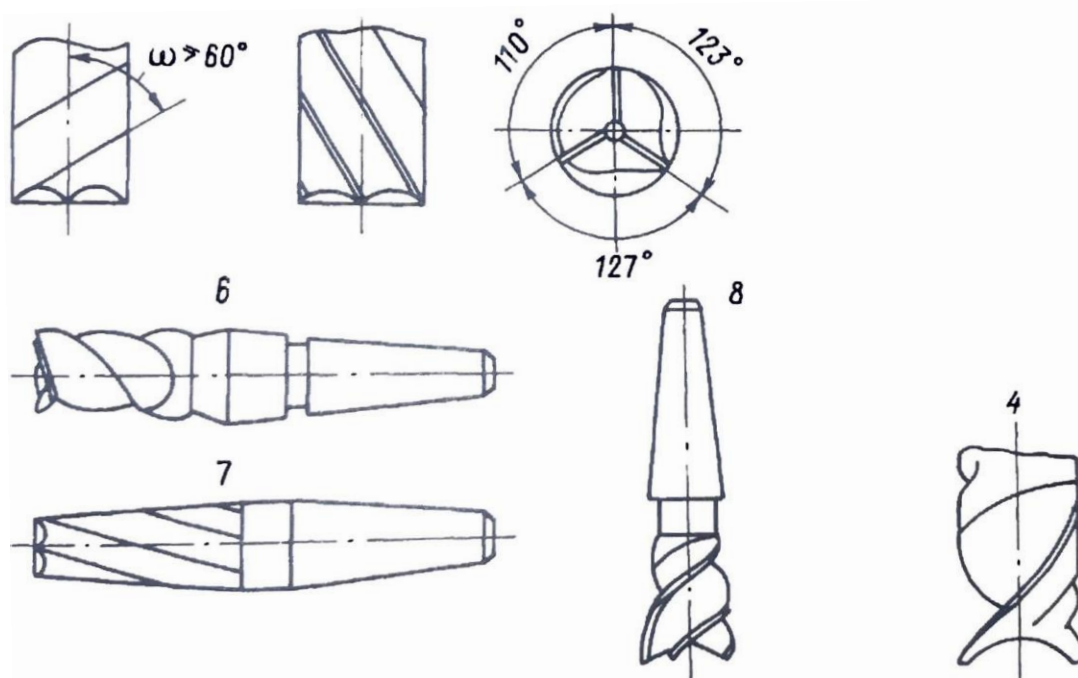


Рис.. 2.3. Особливі випадки конструктивних рішень кінцевих фрез

Торцеві та дискові фрези мають стандартну конструкцію. В основному використовують фрезу з механічним закріпленням твердосплавних пластин або надтвердих матеріалів (рис 2.4)



Рис 2.4 торцева фреза зі змінними пластинами

### 2.3. ОГЛЯД МЕХАНІЗМІВ З АВТОМАТИЧНОЮ ЗМІНОЮ ІНСТРУМЕНТІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Багатоцільовими верстатами називають ,машини що мають систему числового програмного керування та пристрій для автоматичної заміни інструменту, призначені для виконання великого числа різних технологічних операцій без переустановлення оброблювальних деталей.

Пристрій зміни інструментів, що залежать від компонування верстата і його технологічних можливостей, можуть включати в себе:

- накопичувач інструментів ( магазини шпиндельних гільз, револьверну головки, інструментальний магазин);
- завантажувальні та розвантажувальні пристрої для виймання та установки інструменту в шпиндель верстату (інструментальні завантажувальні автооператори);
- конвеєрні проміжні пристрої, що передають інструменту до завантажувально – розвантажувального

пристрою від накопичувача при великих відстанях від шпинделя до накопичувача (автооператори, перевантажувачі);

- проміжні накопичувачі інструментальних наладок, що є місцем заміни інструменту при великих ємностях магазину.

На рис. 2.3 ... 2.6 приведені приклади пристроїв з автоматичною зміною інструменту.

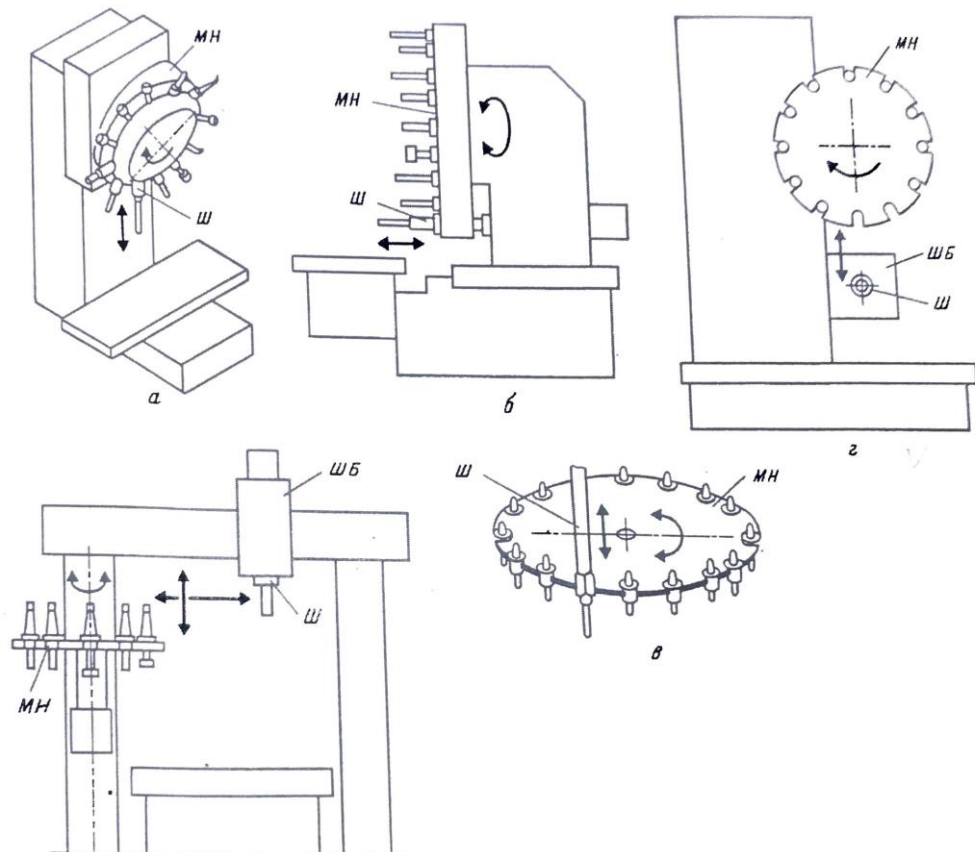


Рис. 2.3 Зміна інструментів без використання автооператора: а, б, в – при співвісному розташуванні в магазині і шпинделі; г, д – при паралельному розташуванні в магазині і шпинделі;

МН – магазин інструментів;

ШБ – шпиндельна бабка

Ш – шпиндель;

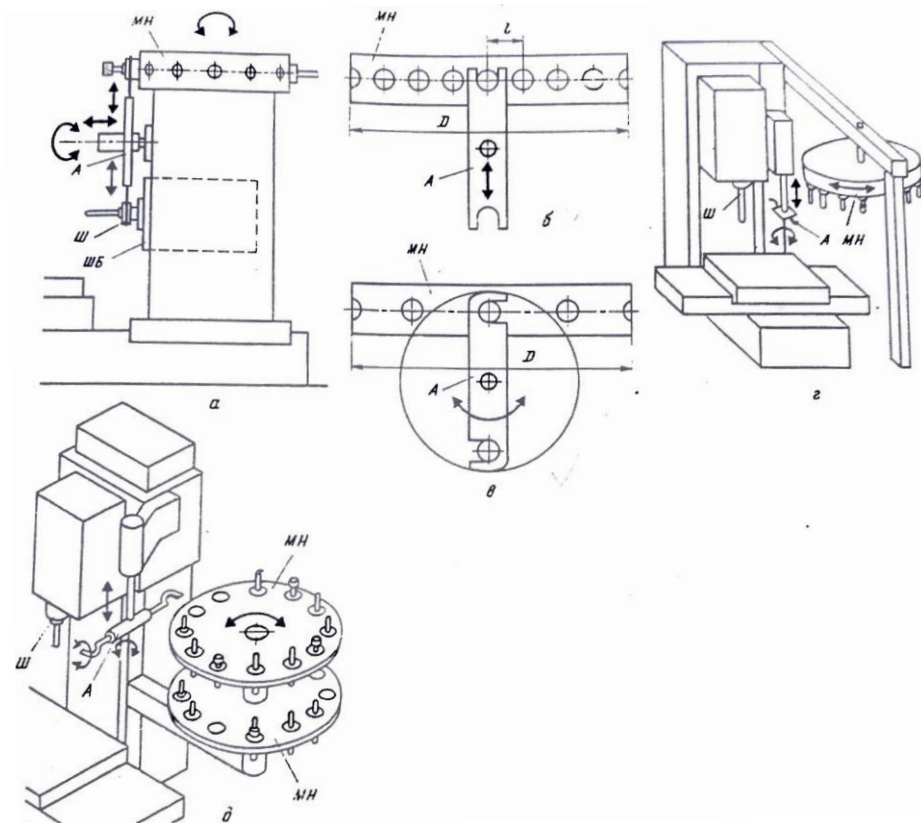


Рис. 2.4 Пристрій з автооператором для заміни інструментів : а, б, в – для горизонтальних багатоцільових верстатів; г, д – для вертикальних і багатоцільових верстатів;

МН – магазин з інструментами ;

А – автооператор;

Ш –шпиндель;

ШБ -шпиндельна бабка

змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Покращення технологічних можливостей  
фрезерного верстата з ЧПК

Арк.

20



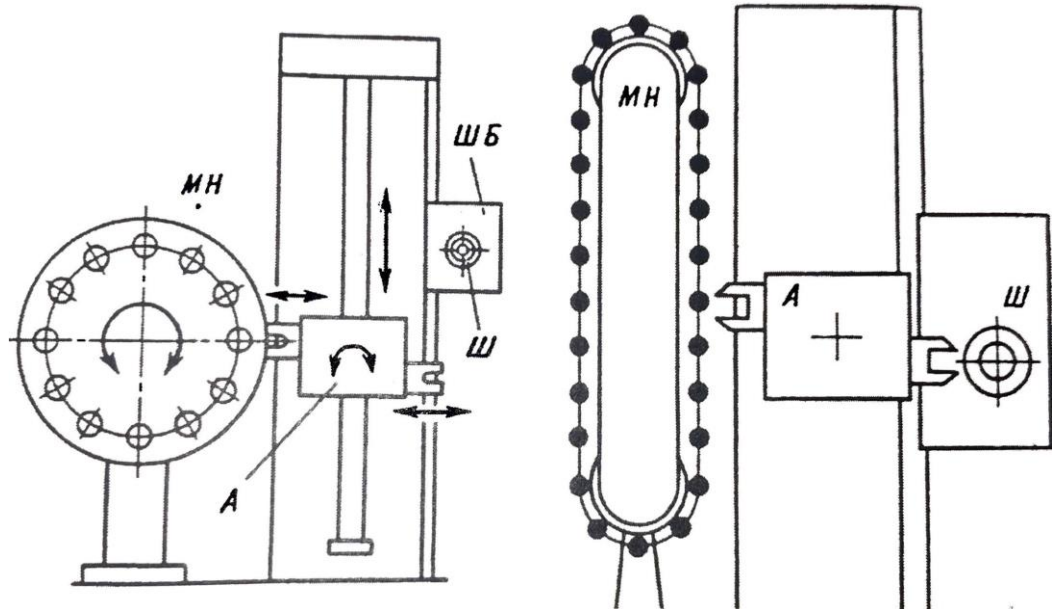


Рис 2.5. Пристрій для зміни інструментів з автооператором і магазином: а – з дисковим магазином, б – з ланцюговим магазином;

МІ – магазин інструментів

А – автооператор

Ш – шпиндель

ШБ – шпиндельна бабка

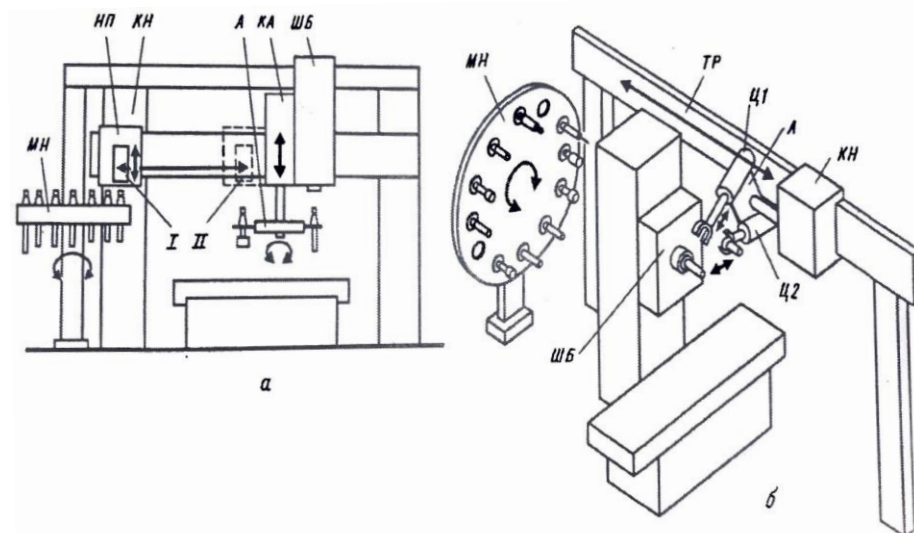


Рис.2.6. Пристрій зміни інструментів з порожнім носієм:

А – для поздовжньо-оброблювального багатоцільового верстата;

Б- для горизонтального БВ

/, // -позиції проміжного носія ;

МН- магазин ;



НП – носій проміжний ;  
 А – автооператор;  
 КА – Корпус автооператора ;  
 ШБ – шпиндельна бабка;  
 КН – каретка проміжного носія

## 2.4. ОГЛЯД ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАГАЗИНІВ

У сучасних багатоцільових верстатах з ЧПК дуже широкого застосування отримали інструментальні магазини, що виконуються методом окремих механізмів для зберігання інструментів (12 штук і більше). Перед тим як програма почне відпрацювання, інструмент автоматичною вибираються з магазину ,а потім завантажуються в шпиндель верстата. Використаний інструмент аналогічним чином автоматично повертаються в магазин.

Вибір системи проектування та конструктивної схеми автоматичної зміни інструментів виробляються в залежності від подальшого призначення та компонування верстата. Особливо потребує уваги при створенні ДПС. Це слід враховувати, якщо різні заготовки при обробці вимагають різного числа інструментів. При використанні досить великих магазинів інструментів та накопичувачів заготовок дає можливість обробити велику кількість різних заготовок за допомогою ДПС, що включають у себе багатоцільові верстати з ЧПК.

Найбільшого розповсюдження набули інструментальні магазини барабанного, дискового та ланцюгового типу. Залежно від компонування верстата вони можуть бути розташовані на колоні станини, шпиндельній бабці, або поза верстату.

При розташуванні дискового магазину на шпиндельній бабці ( Рис. 2. 7, а) не потрібно додаткової координації положення магазину і шпинделя при зміні інструменту завантажувальним

автооператором. Цикл роботи автооператора найбільш простий. Але розташування інструментального магазину на шпиндельній бабці збільшує її розміри і масу, а що зменшує точність обробки.

При розташуванні магазину на станині (рис. 2.7, б – е) шпиндельна бабка розвантажується, цикл зміни інструменту ускладнюється при кожній зміні інструменту шпиндельна бабка повинна додатково переміщатися з робочого положення для зміни інструменту назад.

Установці магазину на стойці, розташованій поруч з верстатом, (рис. 2.7 ж) динамічні навантаження магазину не впливають на точність роботи верстата. Однак при цьому збільшується габаритні розміри верстата, а отже площа, необхідна для його встановлення.

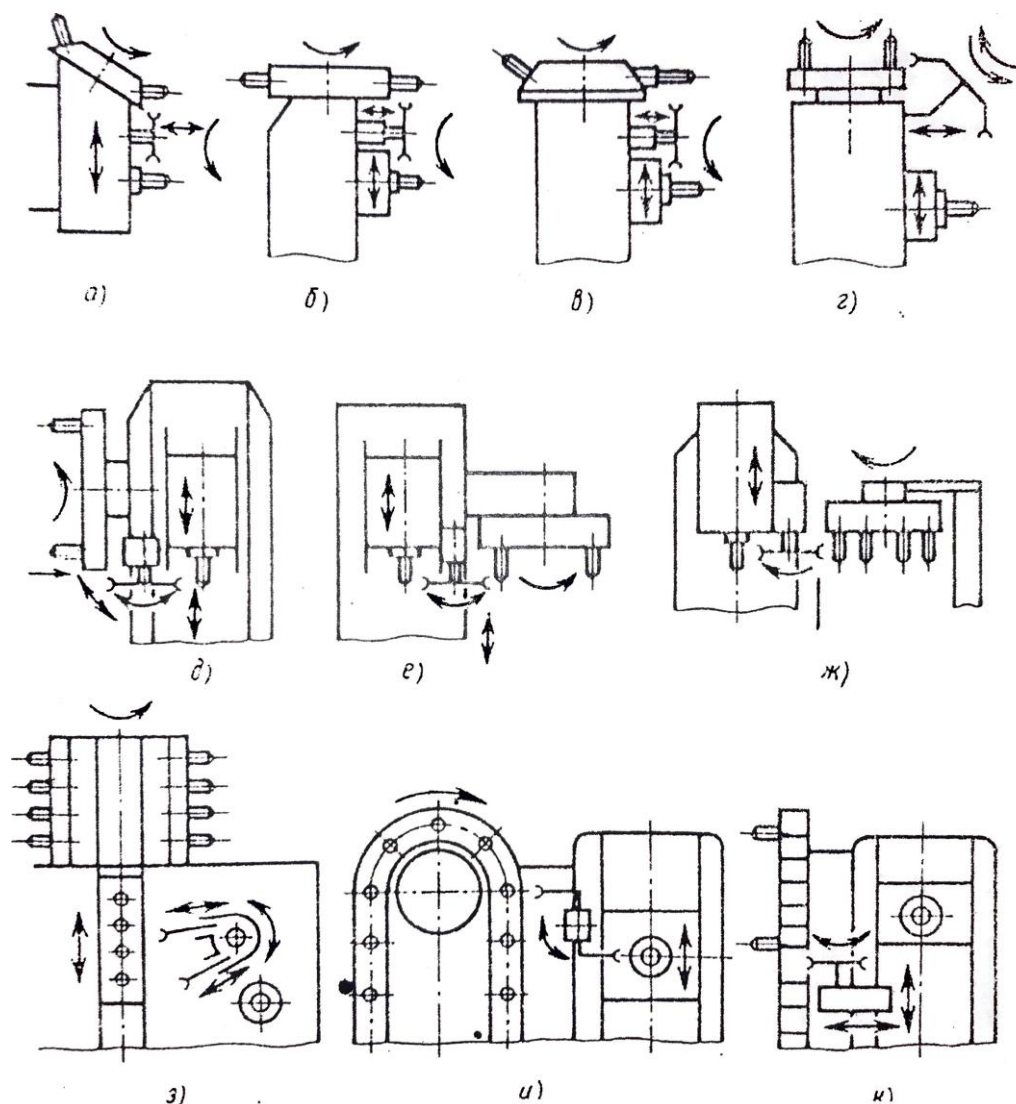


Рис 2.7. Види інструментальних магазинів

Магазини з великим числом секцій для інструменту барабанного типу (рис. 2.7, 3), володіючи великою місткістю, дають можливість використовувати під час роботи верстата одну із секцій магазину без переміщення всього запасу інструментів.

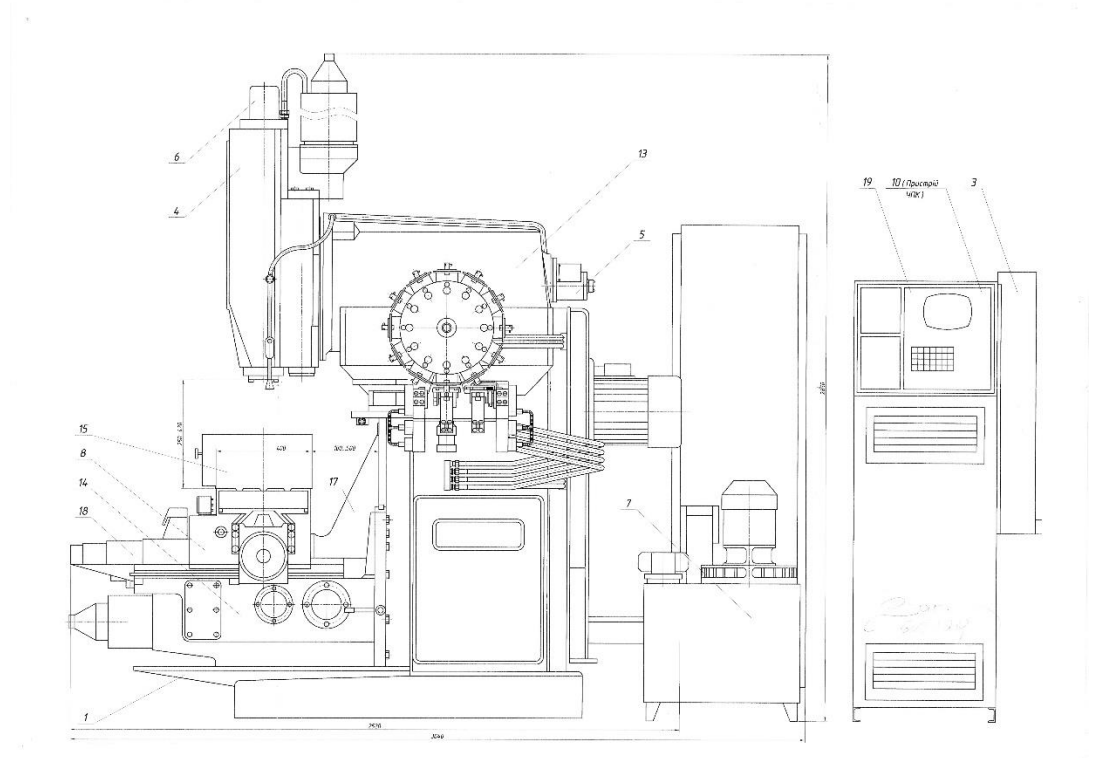
Магазини з конструкцією ланцюгового типу (рис. 2.7, і, к) така, що можна змінювати їх місткість без істотної зміни конструкції верстата.

При проектуванні системи з автоматичною зміни інструменту верстата, місткість інструментального магазину повинна бути розрахована так, щоб можна було обробити заготовки певних груп по можливості без додаткової комплектації магазину інструментом. При цьому необхідно передбачити наявність в магазині певного базового інструменту для свердління, фрезерування, так як це дає можливість компонувати магазин додатково тільки тим інструментом, який потрібен для обробки заготовок нової групи. Крім того, число місць в магазині необхідно збільшити з урахуванням того, що інструменти з меншою стійкістю або зі збільшеним часом різання необхідно мати в магазині в двох або трьох примірниках, щоб краще організувати їх переналагодження.

При створенні гнучких виробничих систем що включають багатоцільові верстати з ЧПК, а також у випадках, коли для обробки груп заготовок потрібен магазин з великим числом позицій під інструмент, слід передбачити можливість стаціонарного розташування магазину біля верстату, з огляду на збільшену в результаті цього загальну масу оснащеного інструментом магазину. Крім того, це можливість здійснювати автоматичну під заправку зі зв'язаного з ним резервного магазину інструментів.

## 2.5. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ І ПРИНЦИПУ ДІЇ ВЕРСТАТУ ТА ОСНОВНИХ ЙОГО ВУЗЛІВ

### ПОЯСНЕННЯ ДО ЗАГАЛЬНОГО ВИДУ ВЕРСТАТА.



Розташування основних вузлів верстата моделі ГФ2171 із внесеними змінами зображено на аркуші «Загальний вигляд верстата». Станина (поз. 8) є основним базовим вузлом, на якому монтуються вузли і механізми верстата.

Спереду станина має вертикальні напрямні, по яких переміщається консоль (поз. 7). Консоль є базовим вузлом, об'єднуючи приводи вертикального і поперечного переміщень столу.

По вертикальним напрямним станини забезпечується вертикальне установче переміщення консолі. За горизонтальним направляючим консолі прямокутного профілю переміщається в поперечному напрямку вузол "Стіл і санчата" (вісь Y).

У консолі змонтований двоступінчастий редуктор поперечного переміщення столу з передатним ставленням  $i = 1:2$ .

Переміщення стола здійснюється за допомогою електродвигуна через редуктор і передачу “гвинт – гайка кочення” з кроком гвинту  $t = 10$  мм.

На правій стороні корпусу консолі встановлений асинхронний електродвигун М2 вертикального переміщення. Переміщення виконується через черв’ячну пару та гвинтову передачу. Для відліку величини вертикального переміщення консолі служить лінійка, закріплена на станині. У лівій частині станини розміщено кінцевий вимикач обмеження ходу консолі, а також встановлена коробка перемикачів швидкості. Вона виконана самостійним вузлом. Перемикач частот обертання шпинделя здійснюється за програмою. У коробці швидкостей передбачений механізм автоматичної орієнтації шпинделя. В середині корпусу станини є резервуар для масла. Станина встановлюється на основу і кріпиться до нього болтами. На горизонтальних направляючих консолі змонтовані санчата (див. 6), по поздовжніх напрямних яких пересувається стіл (поз.5). Стіл отримує рух по осі Х від електродвигуна через одноступінчастий редуктор з передаточним

відношенням  $i = 1:2$  і передачу “Гвинт гайка кочення” з кроком гвинта  $t = 10$  мм.

Ходовий кульковий гвинт для поздовжнього переміщення столу обертається в підшипникових опорах, вмонтовуючись з лівого боку в кронштейні, а з правого – у корпусі редуктора. Переміщення стола по осі Y здійснюється від приводу, змонтованого в консолі. Ходовий кульковий гвинт поперечного переміщення столу встановлений в корпусі консолі.

Для ручного переміщення столу є квадратний вивід.

На площині горловини станини закріплена шпиндельна головка (поз. 9), по вертикальних напрямках яких переміщується повзун (поз. 10) з шпинделем (поз. 11). Переміщення повзуна зі шпинделем за

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк.
						26
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

програмою здійснюється від електродвигуна через редуктор приводу шпиндельної головки, що складається з пари циліндричних коліс з передавальним відношенням 1:2 і передачу “гвинт – гайка кочення” з кроком гвинта  $t = 10$  мм.

Ззаду верстата розташована шафа з електроустаткуванням (поз.1) і шафа з ЧПУ (поз. 2). У верстаті використовується система ЧПК мод.2С42-65. Розроблений автооператором (поз. 3) розташований з правого боку фрезерної бабки. Вертикальна вісь автооператора знаходиться в одній площині з віссю шпинделя. Інструментальний магазин (поз. 4) відповідно до норм безпеки має захисний щиток (поз. 12). Центр западин інструментальних оправлень що знаходяться в шпинделі, захопленні автооператора і гнізді інструментального магазину знаходяться в одній горизонтальній площині. Технічна характеристика верстат наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Найменування параметрів	Дані
Клас точності верстата	Н
Розміри поверхні столу, мм	
Довжина	1600
ширина	400
Кількість Т-подібних пазів	3
Ширина Т-подібних пазів, мм	
Центральний	18Н8
крайній	18Н11
Відстань між пазами, мм	100
Найбільше переміщення столу, мм	
Повздовжнє (вісь Х)	1000
Поперечне (вісь У)	400
вертикальне	250

Найбільше переміщення повзуна (вісь Z),мм	260
Швидкість швидкого переміщення столу по осі X,Y, Повзуна по осі Z,мм/хв	6000
Кінець шпинделя з конусністю 7:24, мм	50
Кількість частот обертання шпинделя	18
Межі частоти обертання шпинделя, об/хв	40...2000
Коефіцієнт ряду вхідних частот обертання шпинделя	1,26
Найбільший крутний момент на шпинделі кН·м	0,615
Електродвигун головного руху Тип Потужність, кВт	4AM132S4Y3 7,5
Межі подач столу ,повзуна,	3...6000
Допустиме зусилля подачі, Н: Вісь X, Y Вісь Z	15960 9806
Електропривод подач Тип Електродвигун Тип Номінальний Н· м	
Номінальна частота обертання об/хв	
Виліт інструменту від торця шпинделя, мм, не більш	250

Кількість інструментальних позицій в магазині	12
Порядок завантаження інструменту	Довільний
Найбільша маса деталі, що може оброблюватись і пристосування, що встановлюються на верстаті, кг.	400
Максимальний діаметр інструментів, мм не більш :	125
Фрези торцеві	40
Кінцеві фрези	30
Свердла	
Максимальна вага інструменту, кг	15
Габаритні розміри верстата з електроустаткуванням,	3710
Мм, не більше :	
Довжина	4010
Ширина	3150
Висота	
Маса верстата без пристрою ЧПК, гідро та електрошафи мм, не більш	5000
Маса верстата з пристроєм ЧПК, гідро та електрошафи мм, не більш	6130
Тип пристрою ЧПК	2С42-61
Тип станції гідроприводу	5ФГ48-22Н
Тип гідромотора	Г15-21



## МЕХАНІЗМ ОРІЄНТАЦІЇ ШПИНДЕЛЯ

У коробці швидкостей встановлений механізм автоматичної орієнтації шпинделя (рис. 2. 3), що являє собою гідроциліндр 3, який за допомогою фланця 5 кріпиться до станини 6. На валу 10 коробки швидкостей кріпиться муфта 9 з двома глибокими пазами, по одному з яких ковзає ролик 8 важеля 7, закріпленого на штоку 16, а по іншому – ролик 12 важеля 14, закріпленого на фланці 15 гідроциліндра. Осі 11 і 13 роликів зміщені щодо одного на  $10^0$ .

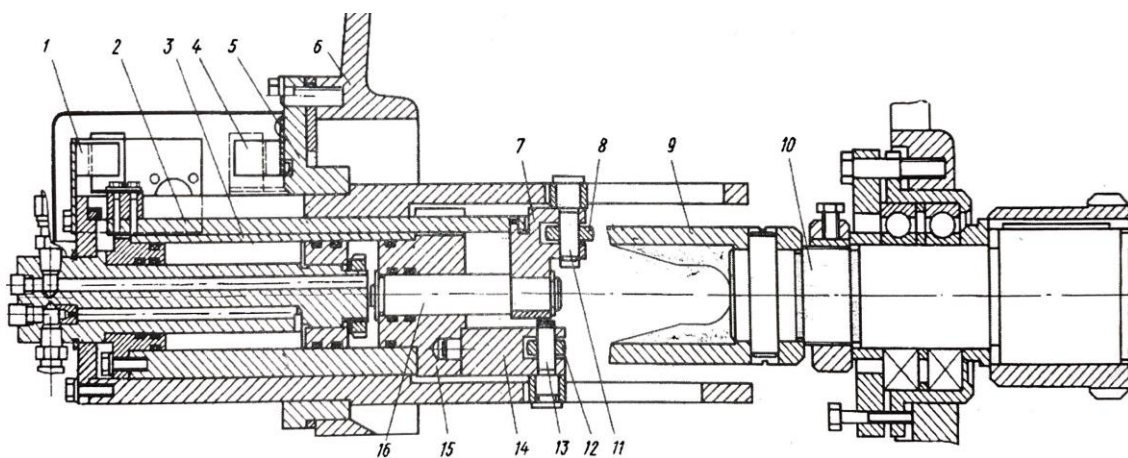


Рис. 2.8. Механізм орієнтації шпинделя

При відключенні шпинделя команда автоматично дається на його орієнтацію. Ролики, що приводяться в рух сорочкою 2 гідроциліндра, заходять у пази муфти 9 і обертають її з валом 10 до певного положення. Якщо ролик 8, що входить у паз муфти першим, зупиниться, то ролик 12 (наслідок свого зміщення на  $10^0$ ) при своєму русі поверне муфту з валом до положення, при якому обидва ролики будуть рухатися безперешкодно. Кінцеві положення роликів щодо муфти контролюються безконтактними вимикачами 4 і 1.

У конструкції шпинделя використовується затискної механізм, в якому затиск інструменту здійснюється пружинами, а розжився – за допомогою гідравлічного циліндра. Важливою особливістю механізму, що підвищує його надійність, є те що в ньому передбачено примусове виштовхування оправки з ріжучим інструментом.

У шпиндель верстат, автооператором вставляється оправлення 22 (з інструментом), на кінці якої знаходиться захоплення 12, що входить до цанги 13, яка складається з трьох пелюсток, з'єднаних один з одним пружинним кільцем 14. При затиску і звільнення цанга 13, здійснюється прямолінійне переміщення під дією наконечника 15 тяги 16 причому величина цього переміщення розрахована таким чином, що в кінці переміщення наконечник 15 натискає на захоплення оправки 11, зрушуючи її на 0,8 мм, що цілком достатньо для виштовхування оправки з гнізда шпинделя і запобігання її заклинювання в гнізді.

На верхньому кінці тяги 16 закріплена втулка 17, в якій змонтований штовхач 18 і три кульки 19, через які від тарілчастої пружини 20 передається зусилля, затискають оправку. Кульки одночасно є замком, що запобігає ослабленню затиску оправки в процесі обробки. Конструкція механізму забезпечує розвантаження опор шпинделя від зусиль затиску.

Після установки оправки в шпинделях верстата дається команда на її затиск і гідроциліндр 23 втягує шомпол із захопленнями, які тримають оправку. Дійшовши до упору, поршень гідроциліндра зупиняється, і в цей момент спрацьовують тарілчасті пружини, які створюють зусилля затяжки інструменту

одночасно відводять поршень 24, який, стискаючи їх, повертається у вихідне положення.

За допомогою кінцевих вимикачів 21 і 22 контролюються затискач і звільнення оправки, а також її відсутність у шпинделі. У випадку неправильної затяжки інструменту обертання шпинделя не включається.

## МЕХАНІЗМ АВТОМАТИЧНОЇ ЗМІНИ ІНСТРУМЕНТУ

Механізм зміни інструментів складається з маніпулятора 2 (складальний вузол "Маніпулятор") та магазину інструментів і барабанного

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						31
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

типу місткістю 12 інструментів (складальний вузол “Магазин інструментальний”) Вибір інструментів відбувається довільній послідовності. Маніпулятор подає інструмент з магазину у шпиндель і повертає відпрацьований інструмент з шпинделя у магазин. У процесі зміни інструменту автооператором забезпечує відведення його за межі робочої зони верстата, що сприяє скороченню максимального робочого простору і виключає можливість попадання стружки на робочі поверхні інструментальних оправок.

Маніпулятор і магазин інструментів розташовані в зоні, зручній для обслуговування верстата.

### ОПИС РОБОТИ МАНІПУЛЯТОРА

Автоматична заміна інструменту виконується переміщенням «руки» маніпулятора 2 вздовж його осі з поворотом на  $180^0$ . При цьому за рахунок конфігурації руки маніпулятора, осі положень інструменту в магазині 1 і шпинделі 21 верстату повернуті один відносно одного на  $90^0$ . Головними конструктивними елементами автооператора являється каретка 1, механічна «рука» 2, блок механізмів 3 висунення і повороту руки, механізм фіксації цього блоку з гідроциліндром 4. Каретка і переміщається по траверсі 12 електромеханічним приводом через зубчасто-рейкову передачу.

Обертання валу двигуна 5 за допомогою включення електромагнітних муфт 6 або 7 перетворюється за допомогою блоку механізмів 3 в поступальний переміщення каретки 1 або поворот руки 2 на  $180^0$ . У приводі переміщення каретки є двоступінчастий редуктор 8, на вихідному валу якого встановлено дві шестерні 9, що знаходяться в зачепленні з рейками 10. Рейки закріплені на напрямних 11 траверси 12. Стабілізацію положення каретки у горизонтальних і вертикальних площинах виконують притискні ролики 13, два з яких розташовані знизу і кінематично пов'язані між собою.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						32
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Поворот руки на 180° виконуються черв'ячною передачею 14 і 15, колесо 15 закріплено на валу-шестерні (конічної) 16, що знаходиться в зачепленні з конічним колесом 17. Колесо 17 встановлено нерухомо щодо корпусу диференціального гідроциліндра 18. Висунення руки 2 здійснюється разом зі штоком 19 гідроциліндра 18, який забезпечений пристроєм гальмування в кінці ходу за допомогою дроселюючі пристроїв 20, зі зворотними клапанами. Наприкінці ходу поршня рідина з відповідної порожнини циліндра відводиться тільки через дроселюючий пристрій. Рідина в порожнині циліндра підводиться через отворив штоку.

Захоплення інструменту здійснюється пружними губками 21, що після висунення фіксуються профільним кулачком 22.

### ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ МАГАЗИН

Корпус 5 інструментального магазину (рис. 2.4) змонтований на шарикопідшипниках 4, встановлених на осі 3. На цій же осі змонтована плита 6 з безконтактними кінцевими вимикачами 7 і 8, які при проході через повідців 9 (закріплених на обертовому корпусі магазину) дають команду на зупинку обертання магазину відповідно до сигналу, що надійшли від УЧПУ. Оправка з інструментом сидить у гнізді магазину і утримується від випадання скобою 1, а від провороту - фіксатором 15. При необхідності вилучення оправки з магазину шриффт автооператора входить в проріз гнізда магазину, повертає гніздо, виводячи оправку з-під скоби 1. Для приводу обертання магазину служить гідромотор 14, який через зубчасті колеса 2, 12, 11, і 10 приводить в обертання корпус 5 магазину. Натяг в зубчастих колесах забезпечується тарілчасті пружинами 13

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк.
						33
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

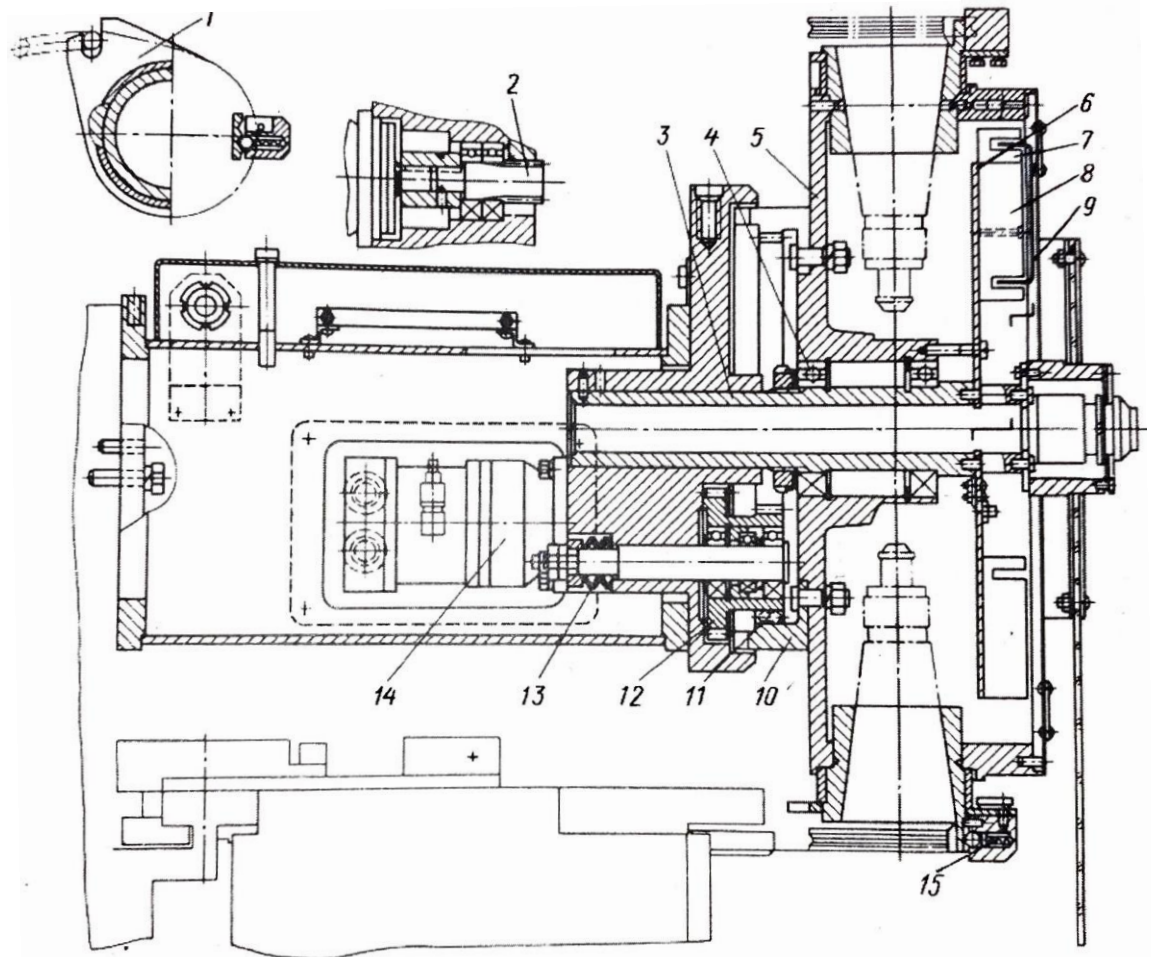


Рис. 2.9. Інструментальний магазин

Гідропривід верстата служить для переміщення каретки автооператора, обертання інструментального магазину, переміщення захоплень, а також для орієнтації шпинделя, віджимання інструменту і переміщення блоків шестерень в коробці швидкостей.

Станція гідроприводу представляє собою бак ємністю 63 л, на якому змонтовані насосна установка, система охолодження масла, контрольно-регулююча апаратура і система фільтрації олії.

Змазування направляючих консолей, стіл, санчат і механізмів подач, розташованих в консолях, здійснюється включенням спеціальної кнопки. Система змащування включає в себе резервуар (розташований в консолях), фільтр, насос і масло розподільувач. Наявність масла в резервуарі перевіряють за маслом показнику, що знаходиться з лівого боку консолей.

## РОБОЧИЙ ЦИКЛ ЗМІНИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

1. Зупинка верстата

2. В автоматичній коробці швидкостей (АКШ) перемкнути шестерний блок в середнє положення для від'єднання шпинделя від коробки швидкостей, привідний електродвигун якої відключений від мережі.

3. Відведення столу зі закріпленою на ньому деталлю у вихідне положення.

4. Включити механізм орієнтації шпинделя, який повинен зупинити його в строго визначеному кутовому положенні, щодо шпонок, що фіксують кутове положення інструментальних оправлень.

5. Каретка з рукою маніпулятора рухається до шпинделя і вільним захопленням охоплює інструментальну оправку.

6. У шпинделі спрацьовує механізм віджиму, зриваючи з місця інструментальну оправку.

7. Маніпулятор витягує інструментальну оправку з шпинделя (рух вниз)

8. Відведення каретки маніпулятора в нейтральне положення

9. Маніпулятор повертає руку із захопленнями на 180°.

10. Каретка переміщається до шпинделя, встановлюючи по осі шпинделя нову інструментальну оправку, заздалегідь взяту з магазину.

11. Маніпулятор вставляє в отвір шпинделя інструментальну оправку (рух руки вгору)

12. Механізм затиску інструментальної оправки затягує її в конус шпинделя.

13. Маніпулятор відводить від шпинделя руку із захопленнями, один з яких утримує зняту інструментальну оправку (рух руки вниз)

14. Каретка маніпулятора відводиться в нейтральне положення.

15. Відключається механізм орієнтації шпинделя .

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						35
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Включається aКС і верстат починає виконувати технологічну операцію.
17. Тим часом магазин встановлюється в положення прийому інструментальної оправки (повертається вільним запрограмованим гніздом). Стіл рухається в заданому програмою положенні.
18. Каретка маніпулятора переміщується до магазину.
19. Маніпулятор рухом руки вгору встановлює вийняту з шпинделя інструментальну оправку в магазин.
20. Відведення руки маніпулятора від магазину в середнє положення (позиція очікування).
21. Розворот магазину в положення з позицією наступного за програмі інструменту.
22. Рука маніпулятора рухається до магазину – захоплює черговий інструмент.
23. Маніпулятор рухом руки вниз витягує інструмент із гнізда магазину.
24. Каретка маніпулятора відводиться в позицію очікування і чекає черговий команди зміни інструменту.
25. Магазин тим часом встановлюється в положення прийому інструменту, який закріплений в шпинделі

### 3. РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМІВ ПРИСТРОЮ ЗМІНИ ІНСТРУМЕНТІВ

#### 3.1. РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ОРІЄНТАЦІЇ

У даному розрахунку визначається необхідний тиск в порожнині гідроциліндра механізму орієнтації для повороту шпинделя в фіксоване положення, що забезпечує надійність установки інструменту в шпиндель.

#### ВИЗНАЧЕННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ МУФТИ МЕХАНІЗМУ ОРІЄНТАЦІЇ

Потрібний крутний момент шпинделя для його орієнтації:

$$M_{кр.ш} = 9H \cdot m.$$

Крутний момент муфти:

$$M_{кр.м} = M_{кр.ш} \cdot \eta_k \cdot \eta_{ц} \cdot i_k i_{ц}$$

де:

$\eta_k$  – ККД конічної передачі = 0,96;

$\eta_{ц}$  – ККД циліндричної передачі = 0,97;

$i_k, i_{ц}$  – передавальне відношення конічної і циліндричної передач.

#### ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ $F_{окр}$ ВПЛИВУ РОЛИКА НА МУФТУ, ДЛЯ ПОВІДОМЛЕННЯ ЇЇ $M_{кр}$

$$F_{окр} = \frac{M_{кр}}{r}.$$

де  $r$  – Відстань від осі механізму орієнтації до точки а дотику ролика з поверхнею муфти (рис. 3.1.),  $r = 0,0315\text{м}$



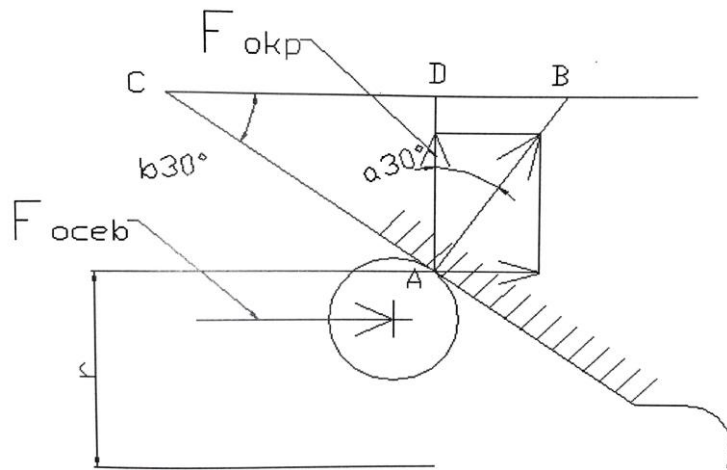


Рис. 3.1. Передача роликом крутного моменту муфти.

### ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ $F_{ос}$ , СТВОРЮВАНОЇ ГІДРОЦИЛІНДРОМ НА РОЛИКУ

(формула)

де  $\alpha = 60^0$  – з трикутників  $aBC$  і  $aBD$  (рис. 5.12.1.).

$$F_{ос} = 266 \cdot \operatorname{tg} 60^0 = 461 \text{ Н}$$

### ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧОГО ТИСКУ В КАМЕРІ ГІДРОЦИЛІНДРА МЕХАНІЗМУ ОРІЄНТАЦІЇ

$$F_{ос} = p_p \cdot S_{ц}$$

де:

$P_p$  – робочий тиск необхідне для створення сили  $F_{ос}$ ;

$S_{ц}$  – робоча площа циліндра

$$S_{ц} = \pi(R_n^2 - R_{ш}^2) = 3,14 \cdot (0,0125^2 - 0,0008^2) = 0,000289 \text{ м}^2$$

$R_n$  – радіус поршня;

$R_{ш}$  – радіус штока

$$P_p = \frac{F_{ос}}{S_{ц}} = \frac{461}{0,000289} = 1591550 \text{ Н/м}^2 = 1,59155 \text{ МПа}$$

Тиск у гідросистемі верстат дозволяє розвинути необхідні зусилля для орієнтації шпинделя. Кут нахилу пазів муфти обраний правильно.

### 3.2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМОТОРА

Визначаємо необхідні потужність і момент гідромотора: за швидкістю каретки; за швидкістю повороту захоплення. Так як замінний електродвигун використовувався для переміщення каретки і повороту захоплення.

#### ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ГІДРОМОТОРА ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ КАРЕТКИ

Знаходимо частоту обертання валу гідромотора, необхідну для переміщення каретки, виходячи з кінематичного ланцюга для переміщення каретки, за формулою

$$n_{\text{гм}} = \frac{V_{\text{кар}}}{\frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \pi \cdot d_{\text{рш}}},$$

де:  $V_{\text{кар}}$  – швидкість переміщення каретки ( $V_{\text{кар}} = 0,4 \text{ м / с}$ )

$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  - зубчасті колеса з відповідною кількістю зубів, які вказані в технічному паспорті маніпулятора зміни інструменту (16;21;14;21);

$D_{\text{рш}}$  – діаметр кола рейкової шестірні

$$d_{\text{рш}} = 0.04$$

#### ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ НА ВАЛУ ГІДРОМОТОРА ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ КАРЕТКИ

Для визначення моменту на валу гідромотора при переміщенні каретки зі швидкістю  $V_{\text{кар}} = 0,4 \text{ м / с}$ , а часом розгону  $t_{\text{розг}} = 0,25 \text{ с}$  і масі рушійних частин  $m = 50 \text{ кг}$  (дані з технічного паспорта автооператора ) розрахуємо силу, необхідну для розгону каретки, за формулою,

$$F_{\text{разг}} = \frac{m \cdot a_{\text{разг}}}{\eta_m}$$

$$\text{Де } a_{\text{разг}} = \frac{V_{\text{кар}}}{t_{\text{разг}}} = \frac{0.4}{0.25} = 1.6 \text{ м/с}^2$$

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						39
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$\eta_m = 0,7$  - механічний ККД приводу каретки.

$$\text{Тоді } F_{\text{розг.}} = \frac{50 \cdot 1,6}{0,7} = 114 \text{ Н}$$

Момент на рейкової шестірні

$$M_p = F \frac{d_{\text{pw}}}{2} = 114 \cdot \frac{0,04}{2} = 2,28 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Так як момент на рейці шестерні можна знайти ще однією формулою

$$M_p = M_{\text{зд}} \frac{1}{\frac{Z}{Z} \cdot \frac{Z}{Z}}$$

де:  $Z, Z, Z, Z$  зубчасті колеса з відповідною кількістю зубів, як вказані в технічному паспорті маніпулятора (16; 21; 14; 21;).

З цієї формули знаходимо момент гідромотора

$$M_{\text{зд}} = \frac{M_p}{\frac{Z}{Z} \cdot \frac{Z}{Z}} = \frac{2,28}{\frac{21}{16} \cdot \frac{21}{14}} = 1,16 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Так як вже знайшли момент гідромотора то з формули

$$M_{\text{зд}} = \frac{\Delta p \cdot V_0}{2\pi} \cdot \eta_m$$

знаходимо потрібний робочий об'єм для гідромотора за формулою:

$$V_0 = \frac{2\pi \cdot M_{\text{зд}}}{\Delta p \cdot \eta_m},$$

$\Delta p$  – перепад тисків на гідромотори,  $\Delta p = p_p - p_{\text{ном}} = 1 - 0,1 = 0,9$  МПа,

$p_p$  – тиск налаштування редукційного клапана,

$p_p = 1,0$  МПа  $p_{\text{втр}}$  – втрати тиску в місцевих опорах і по довжині трубопроводів,  $p_{\text{втр}} = 0,1$  МПа.

Після підстановки в формулу отримуємо значення необхідного робочого об'єму гідромотора

$$V_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,16}{0,9 \cdot 10^6 \cdot 0,85} = 9,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

По каталогу гідро обладнання (Свешніков В. К., Усов а. а. «Верстатні Гідроприводи») вибираємо аксіально-поршневий гідромотор

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк. 40
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

типу Г15-21Н з робочим об'ємом  $V_0 = 11.2 \text{ см}^3$  визначаємо необхідний витрата для забезпечення необхідної частоти обертання гідромотора  $n_{\text{ГМ}} = 375 \text{ мін}^{-1}$

$Q_{\text{ГМ}} = V_0 \cdot n_{\text{ГМ}} = 11,2 \cdot 375 = 4200 \text{ см}^3 / \text{хв.} = 4,2 \text{ л/хв}$ , що цілком забезпечується насосом гідростанції верстата.

### 3.3 РОЗРАХУНОК ЧАСУ СПРАЦЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ АВТООПЕРАТОРА.

#### ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ ПОРШНЯ АВТООПЕРАТОРА ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАХВАТУ

Розрахунок часу проводиться виходячи з даних взятих в технічному паспорті автооператора;

$S$  – довжина хід поршня автооператора для переміщення захоплення,  $S = 176 \text{ мм}$ ;

$a = 4 \text{ м/с}^2$  – прискорення при гальмуванні (задається технічними умовами).

$S_r = 10 \text{ мм}$ -гальмівний шлях (Довжина гальмівної втулки – конструктивний розмір).

Оскільки заданий гальмівний шлях,

$$S_T = \frac{a \cdot t_T^2}{2}$$

Знаходимо

$$t_T = \sqrt{\frac{2 \cdot S_T}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,01}{4}} = 0.07$$

$$t_{\text{осн}} = \frac{S \cdot S_T}{V_{\text{осн}}} = \frac{0,176 - 0,010}{0,12} = 1,38 \text{ с}$$

де  $V_{\text{осн}}$  – задана швидкість усталеного руху поршня,

$$V_{\text{осн}} = 0,12 \text{ м/с}$$

Час спрацювання

$$t_{\text{сраб}} = t_{\text{осн}} + t_T = 1,338 + 0,07 = 1,45 \text{ с}$$

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						41
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПОВОРОТУ ЗАХВАТУ

Поворот забезпечує вже обраним аксіально-плунжерним гідромотором типу Г15-21Н при включенні електричної муфти 7, по кінематичного ланцюга (гідродвигун – муфта – черв'ячна ( $\emptyset 32-6=26$ ) – черв'ячна шестерня ( $\emptyset 96,6$ ) – конічна зубчаста передача)

$$\frac{Z_{\text{кон}}}{Z_{\text{кон}}} \left( \frac{25}{50} \right)$$

$$3 \text{ передавальним відношенням } i = \frac{26}{96,6} \cdot \frac{25}{50} = 0,134$$

$$\text{частота обертання валу гідродвигуна } n_{\text{гд}} = 375 \text{ хв}^{-1} = 6,2 \text{ с}^{-1} \text{ } m_{\text{г}} = 12 \cdot 9,8 = 117,6 \text{ Н},$$

де  $m$  – маса заготовки ( 12 кг)

$$M_{\text{захв.}} = m_{\text{г}} \cdot R$$

де  $R$  – відстань від центру моменту до кінця захоплення

$$M_{\text{захв.}} = 117,6 \cdot 0,280 = 33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для забезпечення такого моменту необхідно, щоб на валу гідромотора створювався наступний момент

$$M_{\text{гд1}} = M_{\text{захв}} \cdot i = 33 \cdot 0,134 = 4,41 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Частота повороту захвату.

Швидкість повороту захоплень при частоті обертання вала гідромотора  $n_{\text{гд}} = 375 \text{ хв}^{-1}$

$$n_{\text{захв}} = n_{\text{гд}} \cdot i = 375 \cdot 0,134 = 50,4 \text{ об/мин} = 0,84 \text{ с}^{-1}.$$

Час повного повороту (360 ) захоплень

$$t_n' = 1/n_{\text{захв}} = 1/ 0,84 = 1,2 \text{ с}.$$

Час повороту на  $180^\circ$ , що має місце при роботі автооператора, становить

$$t_n = t_n' / 2 = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ с}.$$

## ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ АВТООПЕРАТОРА

Базою для розрахунку є Циклограма роботи механізмів автооператора, а також механізм верстата та магазину інструментів, які включені в робочий цикл при заміні інструментів.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк. 42
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- час переміщення каретки від шпинделя до позиції очікування і від позиції до магазину інструментів і навпаки – 1с
- час повороту захоплень на  $180^\circ$  - 0,6 с
- час висунення захоплень – 1,45 с
- час повороту магазину на максимальний кут ( $180^\circ$ ) – 0,79с

Для приводів механізму магазину обраний також аксіально-поршневий гідромотор (тип Г15-21Н).

### 3.4 РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАГАЗИНУ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ГІДРОМОТОРА ПРИВОДУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАГАЗИНУ

Дані для розрахунку:

Робочий об'єм гідромотора тип Г15-21Н  $v_0 = 11.2 \text{ см}^3 = 11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$

За циклограмою є такт, в якому одночасно працюють обидва гідромотора – магазину і переміщення каретки.

При номінальній подачі насосу (Г15-31м) –  $Q_n = 9.7 \text{ л/хв}$  і витраті гідромотора каретки  $Q_{ГДкар} = 4.2 \text{ л/хв}$ . на частоту гідромотора магазину доводиться:

$$Q_{ГДмах} = Q_n - Q_{ГДкар} = 9,7 - 4,2 = 5,5 \text{ л/хв.} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{мін.}$$

З урахуванням втрат (повний ККД гідромотора  $\eta = 0,87$ ) такий витрата забезпечує частоту обертання валу другого гідромотора: Тоді частота обертання магазину інструментів буде:  $n_{\text{маг}} = n_{ГМ\text{маг}} \cdot \eta = 38.1 \text{ хв}^{-1} = 0,635 \text{ с}^{-1}$ .

### ВИМЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ОБЕРТАННЯ БАРАБАНА

Визначаємо час повного обороту барабана

$$T_{\text{пол}} = \frac{1}{n_{\text{маг}}} = \frac{1}{0.635} = 1,574 \text{ с.}$$

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк.
						43
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний час пошуку інструменту при повороті на 180°, тому найбільший час повороту:

$$t_{\max} = \frac{T_{\text{пол}}}{2} = \frac{1,574}{2} = 0,79 \text{ с.}$$

Мінімальний час пошуку інструменту при повороті на 30°:

$$t_{\min} = \frac{t_{\max}}{6} = \frac{1,574}{6} = 0,26 \text{ с.}$$

Висновок: Обраний гідромотор типу Г15-21 відповідає вимогам лімітування часу пошуку інструменту, що відводиться йому діями інших механізмів автоматичної зміни інструменту.

### 3.5. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ПОДАЧІ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ГІДРОСИСТЕМИ МАНІПУЛЯТОРА

Аналіз роботи механізмів маніпулятора показує, що максимальні витрати робочої рідини мають місце при спрацьовуванні механізму висунення захоплень автооператора. Так як  $V_{\text{осн}} = 0,12 \text{ м/с}$ , то

$$Q_{\text{ГЦ max}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot V_{\text{осн}} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} \cdot 0,12 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} = 9,048 \text{ л/хв.}$$

Насос, який використовується для живлення гідросистеми маніпулятора, забезпечує подачу  $Q_n = 8 \text{ л/хв.}$ , що не достатньо для необхідних швидкостей механізмів маніпулятора. Значить необхідно витрати більш продуктивний насос: типу Г12-31м 3 номіналом по тиску  $P_{\text{ном}} = 6,3 \text{ МПа}$  і номінальною подачею  $Q_n = 9,7 \text{ л/хв.}$ , з об'єднання ККД -  $\eta_{\text{об}} = 0,81$ .

### 3.6. РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ВІДТИСКУ ІНСТРУМЕНТУ У ШПИНДЕЛІ ВЕРСТАТА.

Процес затиску і відтиску.

Вихідні дані:

Величини переміщень: мм:

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк. 44
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Хід поршня повний 5,5

Хід поршня для звільнення захоплення – 5

Хід поршня при відштовхуванні хвостовика інструменту- 0,5

Зусилля затяжки хвостовика попереднє  $F_{\text{зат}} = 15\text{кН}$

Розміри гідроциліндра.

Затягування хвостовика забезпечується пакетом тарілчастих пружин.

Розміри пружин задаються з креслення (див. лист Механізм орієнтації)

$D=70\text{ мм}; d=40\text{ мм}; t=4\text{ мм}; h=5,5\text{ мм};$

По характеристиці пружини: максимальна деформація  $f_m=1,5\text{ мм}$  при зусиллі

$F_m=31\text{кН}.$

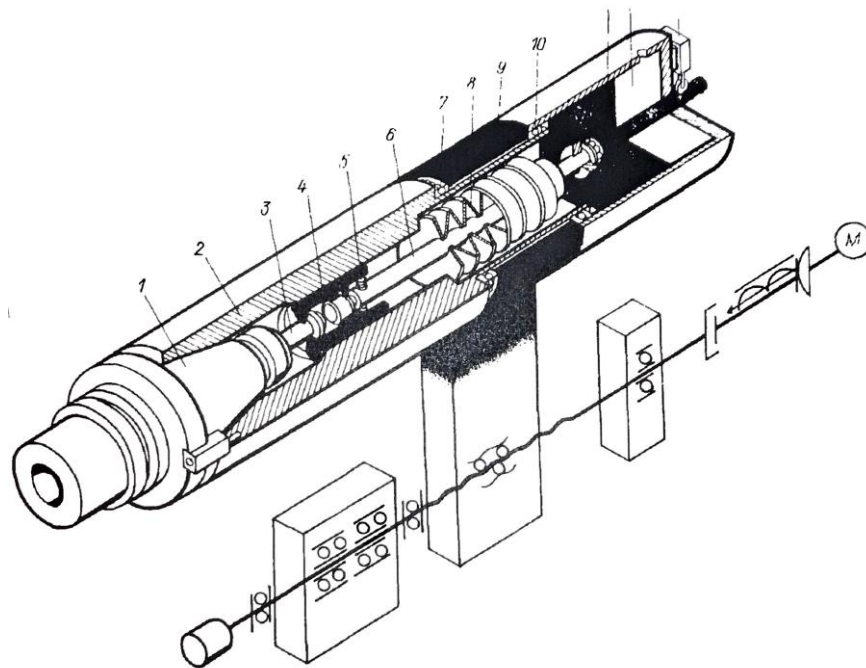


Рис.3.2. Механізм кріплення і затиску інструментальних оправок в гнізді шпинделя

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45



За графіком знаходимо величину деформації однієї пружини  $f$  ,  
попередньо підтискаючи  $f_{\text{п}} = 0.7$  мм

Обмежимо величину найбільшою деформацією пружини  
значенням

$$f_{\text{max}} = 1,35 \text{ мм при } < f_{\text{max}} = 1,5 \text{ мм}$$

Тоді при спрацюванні механізму віджиму величина деформації  
пружини складає  $f = f_{\text{max}} - f_{\text{п}} = 1,35 - 0,7 = 0,65$  мм

Для забезпечення необхідних переміщень , пов'язаних із  
звільненням хвостовика оправки та її виштовхування необхідно  
встановити пакет тарілчастих пружин , кількість яких буде дорівнювати  
8 шт. Визначаємо найбільше зусилля стиснення пакету пружин в кінці  
процесу виштовхування (знаходимо за графіком) для деформації  $f_{\text{max}}$   
 $= 1,35$  мм.  $F_{\text{max}} = 28$  кН.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						46
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

##### РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РІЗАННЯ НА ОБРОБКУ ПЛОЩИНИ

Вихідні дані: матеріал заготовки – СЧ21-40; обробка проводиться на верстаті ГФ217; інструмент – торцеві фрези ( $D = 200 \text{ mm}$ ,  $z = 20$ , матеріал інструменту твердосплавний – ВК6, ширина фрезерування  $B = 145 \text{ mm}$ ; глибина фрезерування  $t = 2.5 \text{ mm}$ ).

Розрахунок ведемо за методикою викладеною в [15].

9. Визначаємо подачу на оборот за табл. 37;

$$S_{об} = 2 \text{ mm/об}$$

Подача на зуб: 
$$S_z = \frac{S_{об}}{z} = \frac{2}{20} = 0.1 \text{ mm/зуб}$$

10. Визначаємо швидкість різання за формулою

$$v = \frac{C_v * D^q}{T^m * t^y * S_z^u * B^p * z^r} * K_v$$

Коефіцієнт для формули беремо з табл. 39,40:

$$C_1 = 445, q=0.2, x=0.15, u=0.2, p=0, m=0.32, T=240$$

Для даних умов обробки  $K_v = 0.8$  (табл. 1,2,5,6).

$$v = \frac{445 * 200^{0.2}}{240^{0.32} * 2.5^{0.15} * 0.1^{0.35} * 145^{0.2} * 20^0} * 0.8 = 128 \text{ м/мин}$$



11. Визначаємо частоту обертання шпинделя верстата

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * D} = \frac{1000 * 128}{3.14 * 200} = 204_{\text{мин}^{-1}}$$

Визначаємо хвилинну подачу

$$S_m = S_{об} * n = 2 * 204 = 408_{\text{мм} / \text{мин}}$$

Визначаємо силу різання за формулою

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^x * s_z^y * B^u * Z}{D^q * n^w} * K_{\text{мр}}$$

Поправочний коефіцієнт для даних умов  $K_{\text{мр}}=0.8$ , інші коефіцієнти беремо з табл 41:

$$C_p = 54.5; x = 0.9; y = 0.74; u = 1; q = 1; w = 0.$$

$$P_z = \frac{10 * 54.5 * 2.5^{0.9} * 0.1^{0.74} * 145^1 * 20}{200^1 * 204^0} * 0.8 = 3200_{\text{Н} * \text{м}}$$

Визначаємо крутний момент на шпинделі

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z * D}{2 * 100} = \frac{3.2 * 10^3 * 200}{200} = 3.2 * 10^3_{\text{Н} * \text{м}}$$

Ефективна потужність різання

$$N_e = \frac{P_z * v}{1020 * 60} = \frac{3.2 * 10^3 * 200}{1020 * 60} = 6.9_{\text{кВт}}$$

Порівнюємо ефективну потужність різання з потужністю електродвигуна верстата

$$N > N_e = 7.5 \text{ кВт} > 6.9 \text{ кВт}$$

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						49
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок режиму різання для свердління наскрізного отвору  
Ø24H13

Вихідні дані :свердлити на глибину  $l=153\text{mm}$ . Матеріал заготовки сірий чавун СЧ 2140 .

Охолодження – емульсією .

Згідно з ГОСТ 885-77 ([3]табл.Д.2.) Вибираємо свердло діаметром  $D_{\text{св}}=23.5$ .Приймаються матеріал різальної частини- твердий сплав марки ВК8

Форма заточення подвійна з підточкою поперечної кромки ([3],табл.2.2,2.3).

Розраховуємо режими різання

Подача визначається за умови

$$S = \{[S]_{\text{MC}}, [S]_{\text{PK}}, [S]_{\text{TO}}, [S]_{\text{PK}}\}$$

Подача допустима міцністю стрижня свердла ,визначається за формулою

$$[S]_{\text{MC}} = \left[ 2\sigma_b D^{(3-Z_M)} / (10^6 \sqrt{3} \cdot n_b \cdot C_M \cdot K_M) \right]^{1/y_m}$$

Де  $\sigma_b = 1700\text{МПа}$  ([3]табл.3.)  $D=24\text{мм}$ ;  $n_b$ – коефіцієнт запасу , який забезпечує безпечну роботу свердла при нормальному затупленні для свердління чавуну  $n_b = 4$   $C_M=0.021$ ;  $z_m=2$   $y_m=0.8$  ([3]табл. 3.1)  
 $K_M=(H/190)^{n_1}=1$  ([3]).табл.. 3.2 коефіцієнти і показники ступеня (1)

$$[S]_{\text{MC}} = \left[ 2 \cdot 1700 \cdot 24^{(3-2)} / (10^6 \sqrt{3} \cdot 4 \cdot 0,021 \cdot 1) \right]^{1/0,8} = 0,59 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Подача допустима міцністю різальних кромки свердла

$$[S]_{\text{PK}} = C_s \cdot D^{x_s},$$

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк.
						50
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Де  $C_s=0.664$ - коефіцієнт пропорційності

$$[S]_{PK} = 0,075 \cdot 23,5^{0,6} = 0,554 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

Подача допустима точністю обробленого отвору визначається за ([3]табл 3.5)

Для діаметра свердла вище 20 до 30 при обробці чавуну  $HV < 200 \text{ МПа}$  по 2 групі подач знаходимо  $[S]_{TO} = 0.4 \dots 0.58 \text{ мм/об}$

Подача допустима міцністю механізму подач верстата ,визначається за формулою ([3],табл. 3.9):

$$[S]_{МП} = ([P_0]_{МП} / (10 \cdot C_p \cdot K_p \cdot D^Z))^{1/y_p}$$

де  $[P_0]_{МП} = 15000 \text{ Н}$ -найбільша осьова сила допустима станком;

$$C_p = 68; K_p = K_{МП} = (\sigma_s / 750)^{n_v}; z_p = 1; y_p = 0,7; n_v = 0,75.$$

Коефіцієнт пропорційності, поправочний коефіцієнт і показники ступеня у формулі (2)

$$[S]_{МП} = \left[ \frac{15690}{10 \cdot 42,7 \cdot 24} \right]^{1/0,8} = 1,33 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

$$\text{Адже } [S] = [S]_{PK} = 0,55 \text{ мм/об}.$$

На верстаті є найближчі подачі : менша  $S_p=0.4 \text{ мм/об}$  і велика  $S_p=0.56$  Перевіряємо чи можна працювати з найближчою найбільшою подачею. Оскільки  $1,1 \cdot [S] = 1,1 \cdot 0.55 = 0.605 > 0.56$ , приймаємо  $S = S_p = 0.56 \text{ мм/об}$

2. Призначаємо період стійкості  $T$  свердла ([3]табл. 3.8.)для швидко різального свердла  $D 23.5 \text{ мм}$  при обробці сталі рекомендується  $T=50 \text{ хв}$

Визначаємо швидкість різання

$$[v] = \min((v)_i \cdot (v)_B)$$

$[v]$ - розрахункова швидкість різання ;  $[v]_i$ -швидкість різання допустима інструментом ;

$[v]_B$  – швидкість різання допустима потужністю верстата.

Швидкість допустима свердлом ,визначається за формулою

$$[v]_i = C_v \cdot K_v \cdot D^{z_v} / (60 \cdot T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v})$$

$C_v = 34.2$  коефіцієнт

$Z_v = 0.45$ ;  $x_v = 0$   $y_v = 0.3$ ;  $m = 0.2$  – показники ступеня ([3],табл. 3, 7):

Поправочний коефіцієнт враховує відмінність умов різання від табличних і визначається за формулою

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{I_v} \cdot K_{L_v} \cdot K_{C_v} \cdot K_{O_v}$$

Де  $K_{M_v} = (190/HB)^{1.25} = 1$  враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу ([3],табл. 3, 10);  $K_{L_v} = 1$  для відношення  $l/D \approx 4$  глибину отвору ([3],табл. 3, 11);

$K_{C_v} = 1$  стан поверхні

([3],табл. 3, 12);  $K_{O_v} = 1.0$  наявність охолодження ([3],табл. 3, 13);

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$[v]_i = \frac{34,2 \cdot 1 \cdot 23,5^{0,45}}{60 \cdot 50^{0,2} \cdot 1 \cdot 0,56^{0,3}} = 1,39 \frac{м}{с}$$

Швидкість різання допустима верстатом визначається за формулою :

$$[v]_B = N_{\phi} \cdot \eta / (20 \cdot C_M \cdot D^{z_m-1} \cdot t^{x_m} \cdot s^{y_m} \cdot K_M),$$

де  $N = 4,0$  кВт - потужність електродвигуна;  $\eta = 0,85$  - коефіцієнт корисної дії ланки головного руху;  $CM = 0,012$ ;  $z_M = 2,2$ ;  $y_M = 0,8$  ([3], табл. 3.1);

$$K_M = \left(\frac{190}{190}\right)^4 = 1 \text{ ([3], табл. 3,2).}$$

$$[v]_e = \frac{4 \cdot 0,85}{20 \cdot 0,012 \cdot 23,5^1 \cdot 1 \cdot 0,56^{0,8} \cdot 1} = 0,81 \frac{м}{с}$$

Оскільки  $[v]_i < [v]_e$ , то  $[v] = [v]_i = 0,81$  м/с.

Частота обертання шпинделя який відповідає цій швидкості :

$$[n] = (1000 \cdot 60 \cdot [v]) / (\pi \cdot D)$$

$$[n] = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 0,81}{3,14 \cdot 23,5} = 552,8 \text{ хв}^{-1}$$

На верстаті є найближчі частоти : менша  $n_k = 500 \text{ хв}^{-1}$  і  $n_{k+1} = 630 \text{ хв}^{-1}$

Визначаємо подачу при роботі з найближчою більшою частотою обертання за формулою :

$$[s_{k+1}] = s \cdot ([n] / n_{k+1})^{1/y}$$

Оскільки  $v = [v]_i$  то  $y = y_v = 0,8$ ;  $s = 0,56$  мм/об

$$[s_{k+1}] = 0,56 \cdot (552,8 / 710)^{1/0,8} = 0,35 \frac{мм}{об}$$

Порівнюємо обчислену подачу з наявними на верстаті : меншою  $S_q = 0,28$  мм/об і більшою  $S_{q+1} = 0,4$  мм/об Оскільки  $1,1 \cdot [S_{k+1}] = 1,1 \cdot 0,35 = 0,385 < S_{q+1} = 0,4$

Приймаємо  $S_{k+1} = S_p = 0,28$  мм/об

Порівнюючи хвилинні подачі :  $(S_{хв})_л = S_k \cdot n_k = 0,56 \cdot 500 = 280$  мм/хв

і

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.  53
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$(S_{\text{хв}})_{k+1} \cdot S_{k+1} \cdot n_{k+1} = 0.28 \cdot 630 = 198 \text{ мм/хв}$  вибираємо більшу що забезпечить вищу продуктивність роботи.

Тепер остаточно приймемо  $S = 0,56 \text{ мм/об}$  і  $n = 500 \text{ хв}^{-1}$ .

Фактична швидкість різання

$$V_{\phi} = \pi \cdot D \cdot n / (60 \cdot 100),$$

$$V_{\phi} = \pi \cdot 24 \cdot 500 / (60 \cdot 100) = 0,23 \text{ м/с}$$

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

## 5. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ ОБЕРТАННЯ ФІРМИ HEIDENHAIN

З метою підвищення точності позиціювання було встановлено датчики лінійного переміщення, обертання та кутового переміщення фірми HEIDENHAIN.

Сучасні металорізальні верстати з ЧПК не можуть забезпечувати необхідну точність та продуктивність без використання датчиків лінійних переміщень, обертальних та кутових переміщень. Провідною фірмою на світовому ринку з розробки та виготовлення різноманітних датчиків та програмного забезпечення для верстатів з ЧПК є фірма HEIDENHAIN.

Датчики обертання цієї фірми використовуються для вимірювання швидкості обертання, а при монтажі на ходовому гвинті або кульково-гвинтовій парі – для визначення лінійних переміщень.



Рис. 5.1. Датчики обертання з муфтою статора фірми HEIDENHAIN

Датчики обертання своїм пустотілим валом встановлюються на вал приводу та закріплюються з боку ротора двома гвинтами або трьома ексцентриковими затискачами. Датчики із наскрізним пустотілим валом можна також закріплювати і з боку кришки.

Точність датчиків обертання залежить від наступних параметрів:

- радіального зміщення шкали;
- зміщення центру шкали відносно вісі підшипників;
- радіального биття підшипників;
- похибки, що викликана використанням з'єднувальної муфти;
- інтерполяційних відхилень при обробці сигналів.

У вимірювальних датчиках використовують оптичний метод зчитування – оптоелектронне сканування, використовуючи шкали з упорядкованими структурами, так званими штрихами, що наносяться на основу із скла або сталі.

Для вимірювання можуть використовуватися абсолютний або інкрементальний методи вимірювання.

При абсолютному методі вимірювання інформація про абсолютну координату зчитується по поділках шкали, що виконана у вигляді послідовно кодованої структури або у вигляді кількох паралельних доріжок.

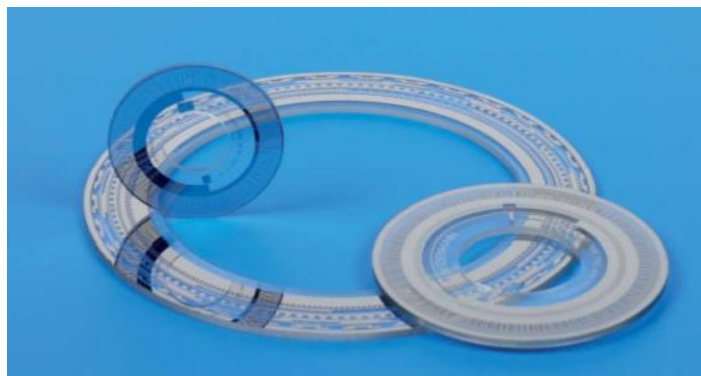


Рис. 5.2. Градуйовані диски датчиків обертання

Сигнал з окремої інкрементальної доріжки інтерполюється для визначення поточного значення координати і одночасно використовується для генерації додаткового інкрементального сигналу.

У однообертних датчиків інформація про координату абсолютної точки повторяється при кожному новому оберті, а багатообертні датчики дозволяють додатково розрізняти і кількість обертів.

При інкрементальному методі вимірювання шкала представляє собою послідовність штрихів з однаковим періодом. Координата положення визначається шляхом підрахунку окремих інкрементів (штрихів) від нульової точки, що задана в будь-якому місці шкали.



Рис. 5.3. Градуйовані диски інкрементальних датчиків обертання

Оскільки для визначення положення необхідна нульова точка підрахунку, то на градуйованих дисках передбачена окрема доріжка з референтною міткою. Період сигналу референтної мітки співпадає з періодом інкрементального сигналу.

Таким чином, перед тим як буде відновлена або встановлена заново нульова точка, повинна бути пройдена референтна точка.

Інкрементальні датчики обертання з числом штрихів від 6000 до 10000 забезпечують точність роботи системи в межах  $\pm 12$  кутових секунд.

У абсолютних датчиків обертання з додатковими інкрементальними сигналами точність залежить від кількості штрихів (для 512 штрихів точність  $\pm 60$  кутових секунд а для 2048 -  $\pm 20$  кутових секунд).

Також необхідно враховувати, що ці дані отримані при нормальній температурі в  $20^{\circ}$  і повільному обертанні.

Датчики кутових переміщень фірми HEIDENHAIN мають високу точність (до кількох кутових секунд і вище). Зазвичай датчиками кутових переміщень називають датчики обертання з точністю  $\pm 5''$  і вище з кількістю штрихів більше 10000. Датчики кутових переміщень використовують в тих випадках, коли необхідно забезпечити точність вимірювання кута в межах декількох кутових секунд (поворотні столи, поворотні головки, ділильні головки, прецизійні установки для вимірювання кутів, антени, телескопи та інше).

Точність датчиків кутових переміщень в межах від  $\pm 5''$  до  $\pm 0,4''$ , а кількість штрихів від 10000 до 180000. Для інкрементальних датчиків крок вимірювання  $0,018''$ , а для абсолютних датчиків біля 536млн позицій на оберт.



Рис. 5.4. Датчики кутових переміщень фірми HEIDENHAIN

Датчики кутових переміщень реалізовані в декількох конструктивних варіантах.

Датчики з пустотілим валом, вбудованими підшипниками та муфтою статора RCN, RON та RPN мають хороші динамічні властивості. При кутових прискореннях муфта статора забезпечує компенсацію крутного моменту, що виникає внаслідок тертя в підшипниках. Ці

Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК					Арк.
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	58

датчики мають невеликі габарити. Пустотілий вал може мати діаметр до 100мм, що дозволяє прокладати в них кабелі при монтажі.

Датчики з вбудованими підшипниками ROD без з'єднувальної муфти використовують для великих обертів або, якщо передбачені великі допуски, при монтажі. Використання прецизійних муфт підвищує осьові допуски спряження до  $\pm 1$ мм.

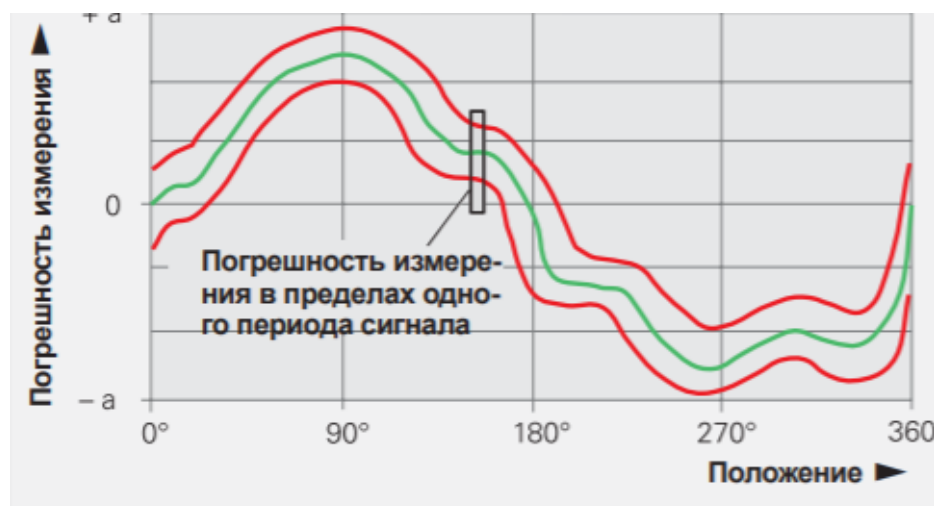
Датчики без підшипників ERP та ERA призначені для використання на елементах верстата. Вони мають великий діаметр пустотілого вала ( варіант зі стрічкою до 10м) та допускають частоту обертання до 20000 об/хв.

Точність вимірювання кутів залежить від декількох параметрів:

- якості штрихів;
- якості зчитування;
- ексцентриситету відносно підшипників;
- якості обробки сигналу;
- похибки радіального биття підшипників;
- гнучкості муфти статору для датчиків RCN, RON та

RPN або муфти валу для датчиків ROD.

Точність вимірювання кута визначає точність позиціювання. При цьому гранично допустима похибка, що віднесена до середнього значення, не повинна виходити за межі точності системи  $\pm a$ .



### Рис.5.5. Похибка вимірювання в межах одного оберта

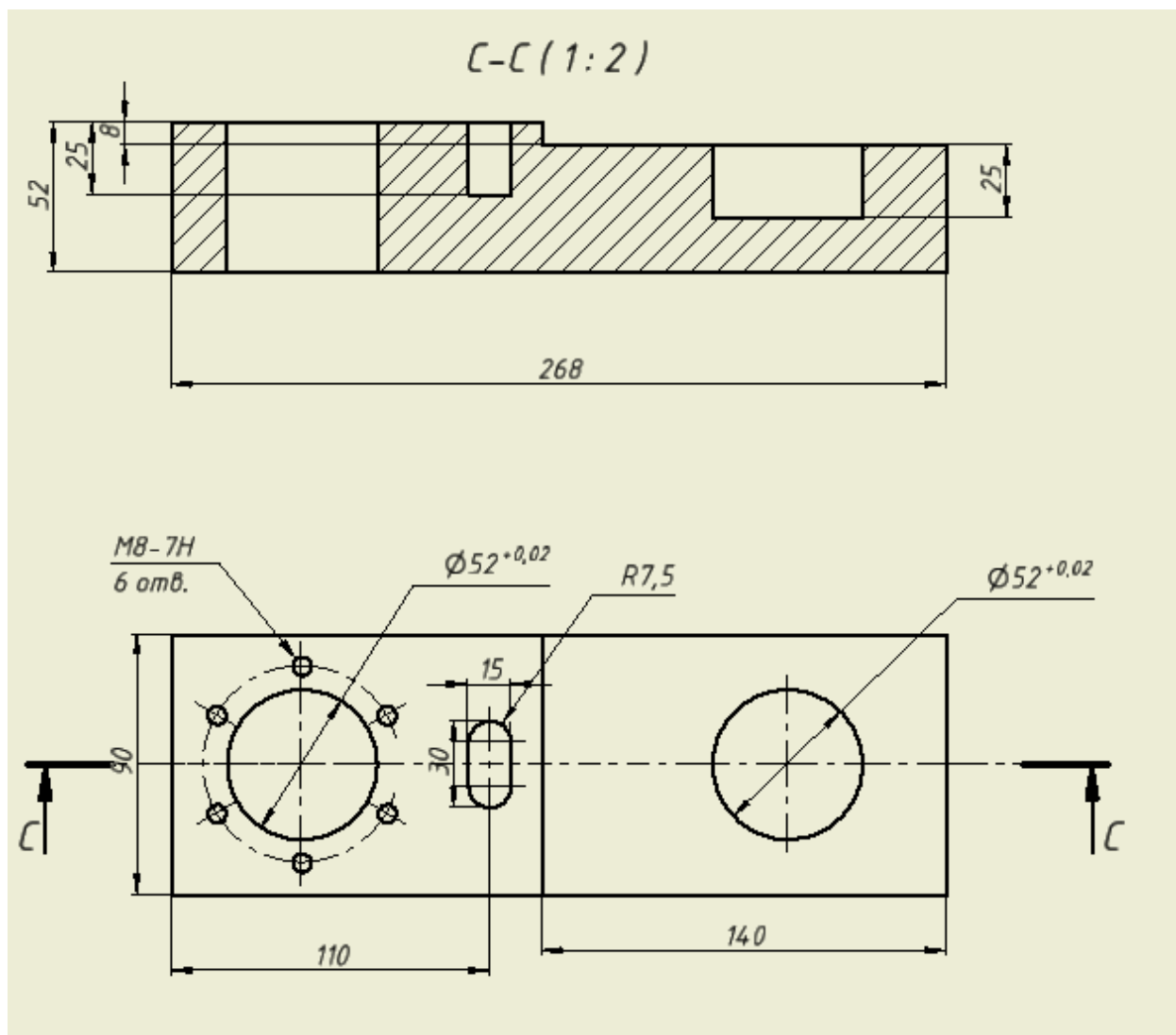
Точність системи враховує похибку вимірювання як в межах одного оберту датчика, що має місце при вимірюванні великих кутів, так і в межах одного періоду сигналу при вимірюванні невеликих кутів переміщення.

Таким чином, конструктивні особливості та якість виготовлення, а також ефективна система вимірювання гарантують високу точність датчиків та їх довговічність при експлуатації.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						60
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. ПРОГРАМУВАННЯ В СИСТЕМІ HEIDENHAIN TNC 640

Задання: розробити управляючу програму для плити в системі ЧПК  
HEIDENHAIN TNC 640



0 BEGIN PGM 555 MM	3 TOOL CALL
1 BLK FORM 0.1 Z X+0	"FACE_MILL_D50" Z S2100
Y+0 Z-54	F270
2 BLK FORM 0.2	4 L X+300 Y+300
X+268 Y+90 Z+0	Z+300 FMAX M3



5 CYCL DEF 233  
FREZEROVAN.POVERKHN.  
~  
Q215=+0  
;OBRABOTKA ~  
Q389=+4 ;MILLING  
STRATEGY ~  
Q350=+1  
;NAPRAVL.FREZEROVAN. ~  
Q218=+268 ;DLINA 1-  
OJ STORONY ~  
Q219=+90 ;DLINA 2-  
OJ STORONY ~  
Q227=+0  
;KOORD.POWIERCH. ~  
Q386=-1  
;KONECHN.TOCHKA 3 OSI ~  
Q369=+0.1 ;PRIPUSK  
NA GLUBINU ~  
Q202=+4  
;MAX.GLUBINA VREZAN. ~  
Q370=+1.9  
;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~  
Q207=+250 ;PODACHA  
FREZER. ~  
Q385=+220 ;PODACHA  
CHIST. OBRABOTKI ~  
Q253=+750 ;PODACHA  
PRED.POZIC. ~

Q357=+2  
;BEZOP.RASST. STORONA ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q347=+0 ;1-E  
OGRANICHENIYE ~  
Q348=+0 ;2-E  
OGRANICHENIYE ~  
Q349=+0 ;3-E  
OGRANICHENIYE ~  
Q220=+1 ;RADIUS  
ZAKRUGL. UGLA ~  
Q368=+0.1 ;PRIPUSK  
NA STORONU ~  
Q338=+1 ;WREZ.  
CHISTOW.OBR.  
6 L X+0 Y+0 R0 FMAX  
M99  
7 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
8 TOOL CALL  
"MILL\_D10\_ROUGH" Z  
S4200 F700  
9 L X+300 Y+300  
Z+300 FMAX M3

10 CYCL DEF 233  
FREZEROVAN.POVERKHN.  
~  
Q215=+0  
;OBRABOTKA ~  
Q389=+1 ;MILLING  
STRATEGY ~  
Q350=+1  
;NAPRAVL.FREZEROVAN. ~  
Q218=+134 ;DLINA 1-  
OJ STORONY ~  
Q219=+90 ;DLINA 2-  
OJ STORONY ~  
Q227=+0  
;KOORD.POWIERCH. ~  
Q386=-8  
;KONECHN.TOCHKA 3 OSI ~  
Q369=+1 ;PRIPUSK  
NA GLUBINU ~  
Q202=+1  
;MAX.GLUBINA VREZAN. ~  
Q370=+1  
;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~  
Q207=+200 ;PODACHA  
FREZER. ~  
Q385=+150 ;PODACHA  
CHIST. OBRABOTKI ~  
Q253=+750 ;PODACHA  
PRED.POZIC. ~

Q357=+2  
;BEZOP.RASST. STORONA ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q347=-1 ;1-E  
OGRANICHENIYE ~  
Q348=+0 ;2-E  
OGRANICHENIYE ~  
Q349=+0 ;3-E  
OGRANICHENIYE ~  
Q220=+0 ;RADIUS  
ZAKRUGL. UGLA ~  
Q368=+0.5 ;PRIPUSK  
NA STORONU ~  
Q338=+1 ;WREZ.  
CHISTOW.OBR.  
11 L X+134 Y+0 R0  
FMAX M99  
12 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
13 CYCL DEF 252  
KRUGOWOJ KARMAN ~  
Q215=+0  
;OBRABOTKA ~  
Q223=+52 ;DIAMETR  
OKRUSHNOSTI ~

Q368=+0 ;PRIPUSK  
 NA STORONU ~  
 Q207=+500 ;PODACHA  
 FREZER. ~  
 Q351=+1 ;TIP  
 FREZEROWANIA ~  
 Q201=-55 ;GLUBINA ~  
 Q202=+4 ;GLUBINA  
 WREZANJA ~  
 Q369=+3 ;PRIPUSK  
 NA GLUBINU ~  
 Q206=+150 ;PODACHA  
 NA WREZANJE ~  
 Q338=+1 ;WREZ.  
 CHISTOW.OBR. ~  
 Q200=+2  
 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
 ~  
 Q203=+0 ;KOORD.  
 POVERHNOSTI ~  
 Q204=+50 ;2-YE  
 BEZOP.RASSTOJ. ~  
 Q370=+1  
 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~  
 Q366=+1 ;TIP  
 VREZANIYA ~  
 Q385=+200 ;PODACHA  
 CHIST. OBRABOTKI ~  
 Q439=+0 ;FEED RATE  
 REFERENCE

14 TOOL CALL  
 "TORUS\_MILL\_D20\_1" Z  
 S2400 F300  
 15 L X+45 Y+45 R0  
 FMAX M99  
 16 L X+200 Y+200  
 Z+200 FMAX  
 17 CYCL DEF 252  
 KRUGOWOJ KARMAN ~  
 Q215=+0  
 ;OBRABOTKA ~  
 Q223=+52 ;DIAMETR  
 OKRUSHNOSTI ~  
 Q368=+0 ;PRIPUSK  
 NA STORONU ~  
 Q207=+500 ;PODACHA  
 FREZER. ~  
 Q351=+1 ;TIP  
 FREZEROWANIA ~  
 Q201=-25 ;GLUBINA ~  
 Q202=+6 ;GLUBINA  
 WREZANJA ~  
 Q369=+2 ;PRIPUSK  
 NA GLUBINU ~  
 Q206=+150 ;PODACHA  
 NA WREZANJE ~  
 Q338=+1 ;WREZ.  
 CHISTOW.OBR. ~

Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q203=-8 ;KOORD.  
POVERHNOSTI ~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q370=+1  
;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~  
Q366=+1 ;TIP  
VREZANIYA ~  
Q385=+200 ;PODACHA  
CHIST. OBRABOTKI ~  
Q439=+0 ;FEED RATE  
REFERENCE  
18 L X+205 Y+45 R0  
FMAX M99  
19 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
20 TOOL CALL  
"NC\_SPOT\_DRILL\_D5" Z  
S2100 F120  
21 CYCL DEF 240  
ZENTRIROVANIE ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q343=+0 ;VIBOR  
DIAM./GLUBINA ~  
Q201=-5 ;GLUBINA ~

Q344=-5 ;DIAMETR ~  
Q206=+45 ;PODACHA  
NA WREZANJE ~  
Q211=+0  
;WYDER.WREMENI WNIZU  
~  
Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOSTI ~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ.  
22 CYCL DEF 220  
OBRAZEC KRUG ~  
Q216=+45 ;1-AJA  
KOORD.CENTRA ~  
Q217=+45 ;2-JA  
KOORD.CENTRA ~  
Q244=+68 ;DIAMETR  
OBRAZUI. ~  
Q245=+60 ;UGOL  
NACHAL.TOCHKI ~  
Q246=+300 ;UGOL  
KONECHN. TOCHKI ~  
Q247=+60 ;SCHAG  
UGLA ~  
Q241=+6 ;CHISLO  
POWTORENIJ ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~

Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOСТИ ~  
Q204=+100 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q301=+1 ;DWISH.NA  
BEZ.WYSOTU ~  
Q365=+0 ;WID  
PEREMESCHENJA  
23 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
24 TOOL CALL  
"DRILL\_D6.8" Z S1950 F95  
25 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
26 CYCL DEF 203  
UNIVERS. SWERLENIE ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q201=-30 ;GLUBINA ~  
Q206=+45 ;PODACHA  
NA WREZANJE ~  
Q202=+5 ;GLUBINA  
WREZANJA ~  
Q210=+0 ;WYDER.  
WREMENI WWER. ~  
Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOСТИ ~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~

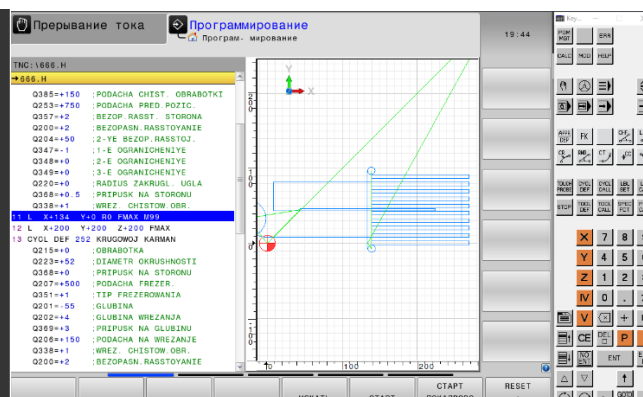
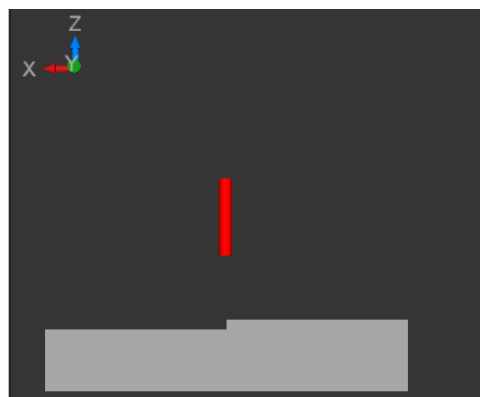
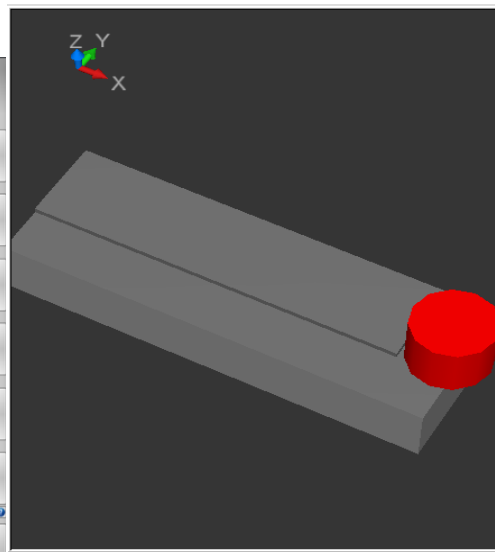
Q212=+15 ;SJOM  
MATERIALA ~  
Q213=+0  
;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~  
Q205=+0  
;MIN.GLUBINA WREZANJA  
~  
Q211=+0  
;WYDER.WREMENI WNIZU  
~  
Q208=+99999  
;PODACHA WYCHODA ~  
Q256=+1 ;WYCHOD  
PRI LOMANII ~  
Q395=+1 ;DEPTH  
REFERENCE  
27 CYCL DEF 220  
OBRAZEC KRUG ~  
Q216=+45 ;1-AJA  
KOORD.CENTRA ~  
Q217=+45 ;2-JA  
KOORD.CENTRA ~  
Q244=+68 ;DIAMETR  
OBRAZUI. ~  
Q245=+60 ;UGOL  
NACHAL.TOCHKI ~  
Q246=+300 ;UGOL  
KONECHN. TOCHKI ~  
Q247=+60 ;SCHAG  
UGLA ~

Q241=+6 ;CHISLO  
POWTORENIJ ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOСТИ ~  
Q204=+100 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q301=+1 ;DWISH.NA  
BEZ.WYSOTU ~  
Q365=+0 ;WID  
PEREMESCHENJA  
28 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
29 CYCL DEF 203  
UNIVERS. SWERLENIE ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q201=-30 ;GLUBINA ~  
Q206=+45 ;PODACHA  
NA WREZANJE ~  
Q202=+5 ;GLUBINA  
WREZANJA ~  
Q210=+0 ;WYDER.  
WREMENI WWER. ~  
Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOСТИ ~

Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q212=+15 ;SJOM  
MATERIALA ~  
Q213=+0  
;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~  
Q205=+0  
;MIN.GLUBINA WREZANJA  
~  
Q211=+0  
;WYDER.WREMENI WNIZU  
~  
Q208=+99999  
;PODACHA WYCHODA ~  
Q256=+1 ;WYCHOD  
PRI LOMANII ~  
Q395=+1 ;DEPTH  
REFERENCE  
30 TOOL CALL 264 Z  
S2500 F2500  
31 CYCL DEF 206  
NAREZANIE REZBI ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q201=-30 ;GLUBINA  
REZBY ~  
Q206=+2500  
;PODACHA NA WREZANJE  
~

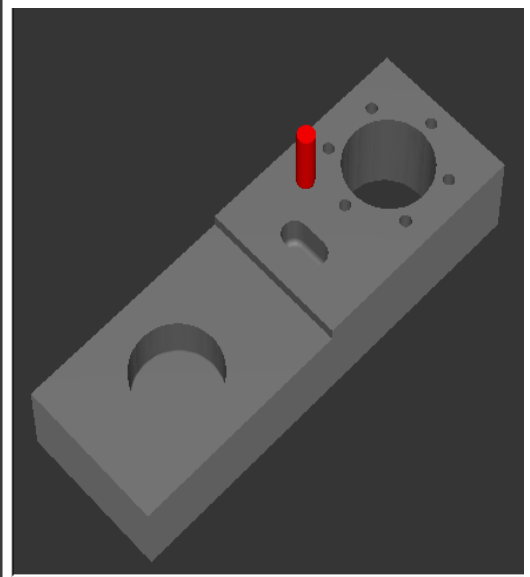
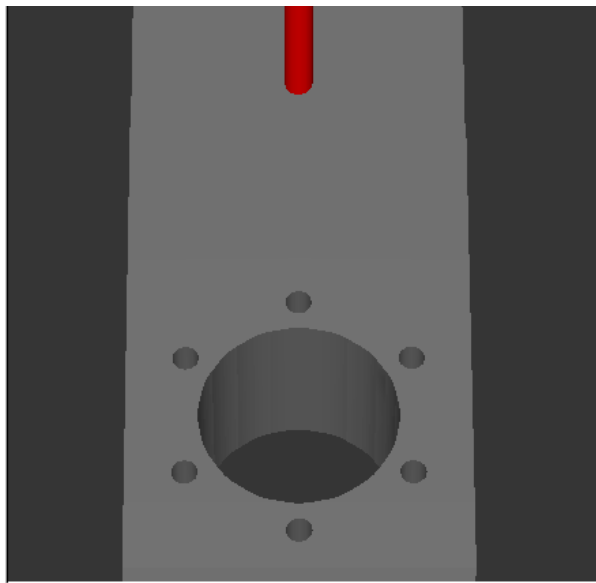
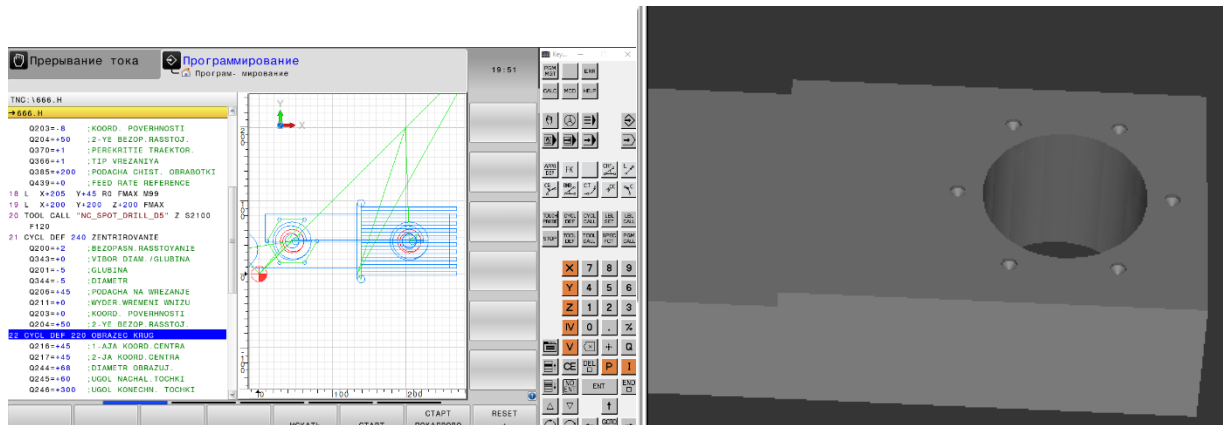
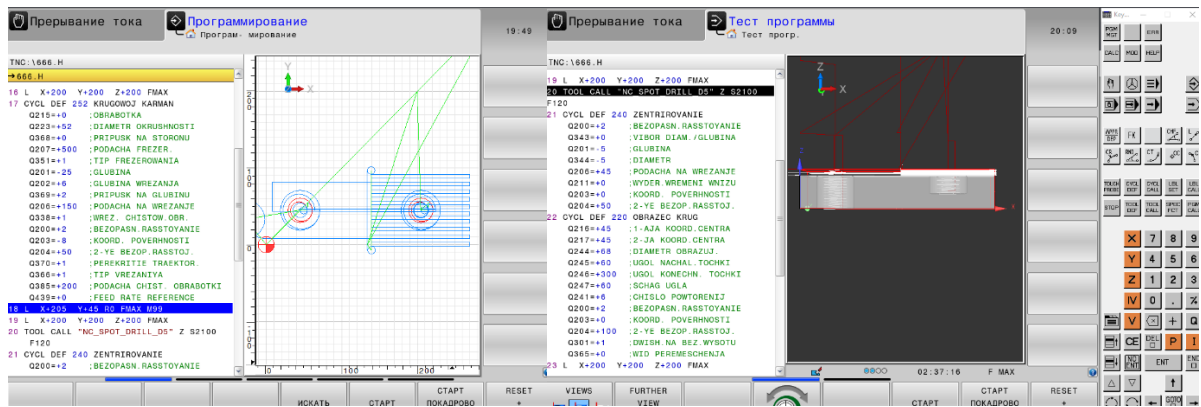
Q211=+0  
;WYDER.WREMENI WNIZU  
~  
Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOSTI ~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ.  
32 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
33 TOOL CALL  
"TORUS\_MILL\_D10\_4" Z  
S3200 F300  
34 CYCL DEF 253  
FREZEROWANIE PAZOW ~  
Q215=+0  
;OBRABOTKA ~  
Q218=+30 ;DLINA  
PAZA ~  
Q219=+15 ;SCHIRINA  
KANAWKI ~  
Q368=+1 ;PRIPUSK  
NA STORONU ~  
Q374=+90 ;UGOL  
POWOROTA ~  
Q367=+0  
;POLOSHENJE PAZA ~  
Q207=+500 ;PODACHA  
FREZER. ~  
Q351=+1 ;TIP  
FREZEROWANIA ~

Q201=-20 ;GLUBINA ~  
Q202=+5 ;GLUBINA  
WREZANJA ~  
Q369=+0 ;PRIPUSK  
NA GLUBINU ~  
Q206=+150 ;PODACHA  
NA WREZANJE ~  
Q338=+0 ;WREZ.  
CHISTOW.OBR. ~  
Q200=+2  
;BEZOPASN.RASSTOYANIE  
~  
Q203=+0 ;KOORD.  
POVERHNOSTI ~  
Q204=+50 ;2-YE  
BEZOP.RASSTOJ. ~  
Q366=+2 ;TIP  
VREZANIYA ~  
Q385= AUTO  
;PODACHA CHIST.  
OBRABOTKI ~  
Q439=+3 ;FEED RATE  
REFERENCE  
35 L X+110 Y+45 R0  
FMAX M99  
36 L X+200 Y+200  
Z+200 FMAX  
37 L Z+200 FMAX M5  
M30  
38 END PGM 555 MM



					МВ-5111.ДПБ000.000 ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разроб.		Копейкін М.В			Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК Пояснювальна записка			Літ.	Арк	Аркушів		
Перевір.		Ковалев В.А								4	80	
Реценз.								НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»				
Н. Контр.												
Затвердив.												





## 7. АНАЛІЗ НАПРУЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЮ AUTODESK INVENTOR ДЛЯ ОЦІНКИ ПОДАТЛИВОСТІ ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА

Мета роботи:

1. Виконати розрахунок з перевірки конструкції шпиндельного вузла методом скінченних елементів в Autodesk Inventor.
2. Визначити адекватність характеристик вимогам стандарту.
3. Внести необхідні зміни до конструкції з метою покращення жорсткості шпиндельного вузла.

Індивідуальне завдання – шпиндель консольно-фрезерного верстата с ЧПК мод. ГФ2171.

### 1. Формування розрахункової моделі

#### 1.1. Спрощення моделі

Для аналізу буде використана збірка (рис.1), що складається з деталей, що безпосередньо впливають на сумарну деформацію переднього кінця шпинделя:

1. Шпиндель, що зазнав ряд спрощень.
2. Радіально-упорні кулькові підшипник: 90х140.
3. Радіальний дворядний роликовий підшипник: 90х140х37.
4. Радіальний кульковий підшипник: 2шт. 85х130х22.
5. Дистанційні кільця, гайки.
6. Спрощена модель фрези.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						71
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

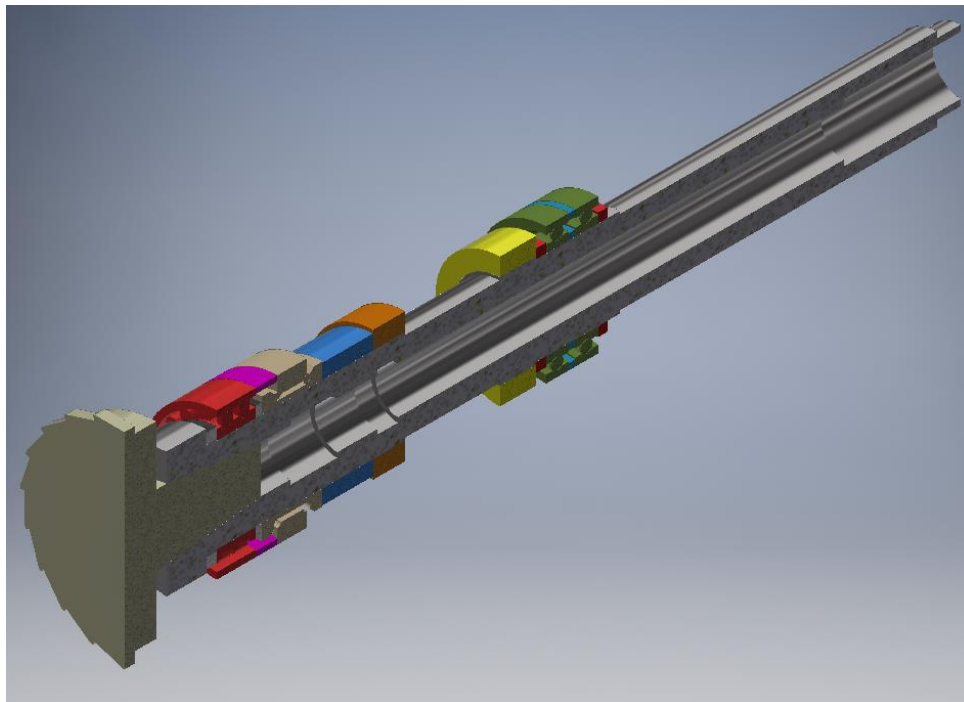


Рис.1 Розрахункова модель шпиндельного вузла

### 1.2. Формування розрахункової схеми

Приймаємо схему навантаження. Вона відповідає типовому режиму обробки (розрахунок – в розділі 3.6. Розрахунок режимів різання) – чорнове фрезерування площини заготовки із СЧ21-40 торцевою фрезою  $D = 200 \text{ mm}$ ,  $z = 20$ ; режими різання: ширина фрезерування  $B = 145 \text{ mm}$ ; глибина фрезерування  $t = 2.5 \text{ mm}$ , швидкість різання  $v = 128 \text{ м/хв}$ , подача на оберт  $S = 2 \text{ мм/об}$ , частота обертання шпинделя  $n = 204 \text{ об/хв}$ .

1. Сили різання, прикладені до зуба фрези:  $F_z = 3200 \text{ H}$ ;  $F_y = 1600 \text{ H}$ ;  $F_x = 800 \text{ H}$ ; ( $F_\Sigma = 3667 \text{ H}$ ).

2. Крутний момент, прикладений до шпонки  $M_{кр} = 3200 \text{ Нм}$ .

### 1.3. Налаштування опор

В розрахунковій моделі були задані опори: «Опора» - до циліндричних поверхонь зовнішніх кілець радіально-упорних кулькових

Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК					Арк.
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	72

підшипників; «Защемлення» - на одну з торцевих поверхонь радіально-упорного підшипника.

#### 1.4. Налаштування геометрії сітки

Були внесені зміни в геометрію сітки з метою пониження надмірної деталізації шариків підшипників, підвищення грубої деталізації шпинделя. На рис. 3 зображені лінії сітки, жовтими стрілками – сила та крутний момент, білими піктограмами – опори.

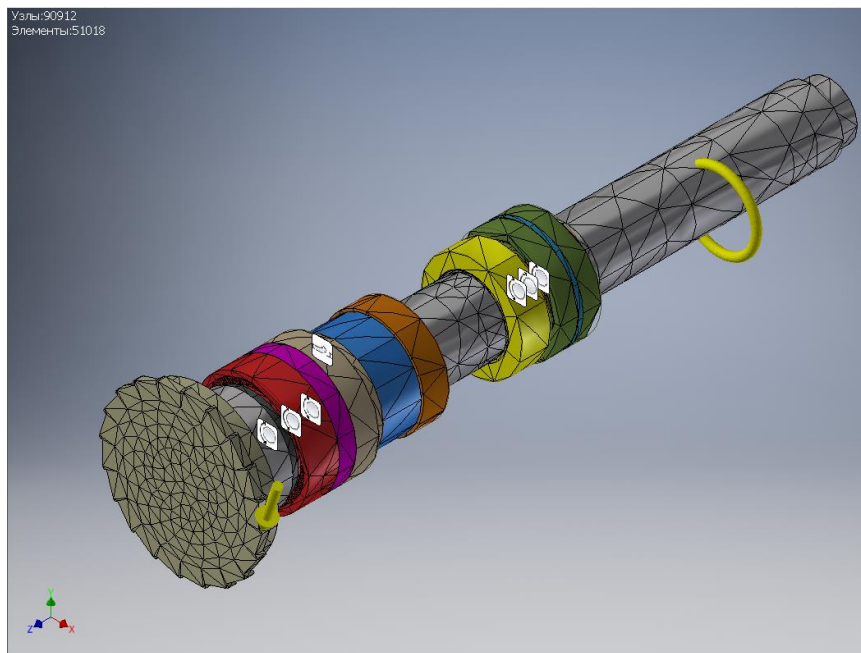


Рис. 2 Вигляд моделі

#### 1.5. Налаштування контактів

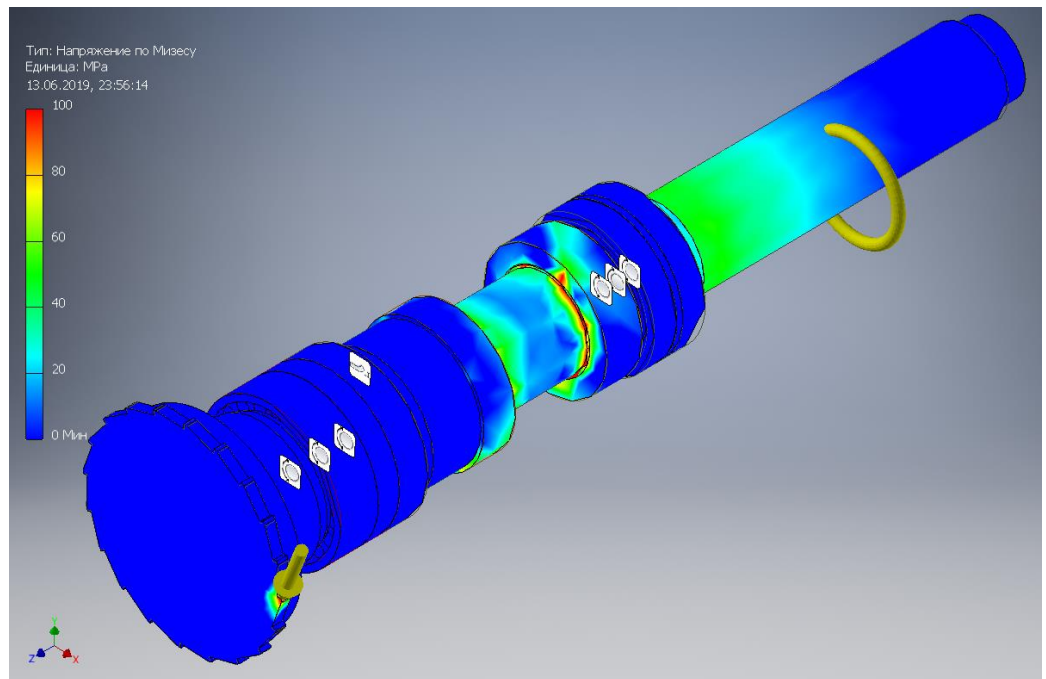
Автоматично створені контакти були розбиті по групам, що відповідають характеристам взаємодій поверхонь відповідних тіл:

1. «Гаряча посадка з ковзанням» – вал з внутрішніми циліндричними поверхнями кілець підшипників.
2. «Розділення» – торці кілець підшипників.
3. «Зв'язані» – з'єднані різьбою гайка з валом.
4. «Ковзання без розділення» – поверхні кульок з пазами кілець підшипників.

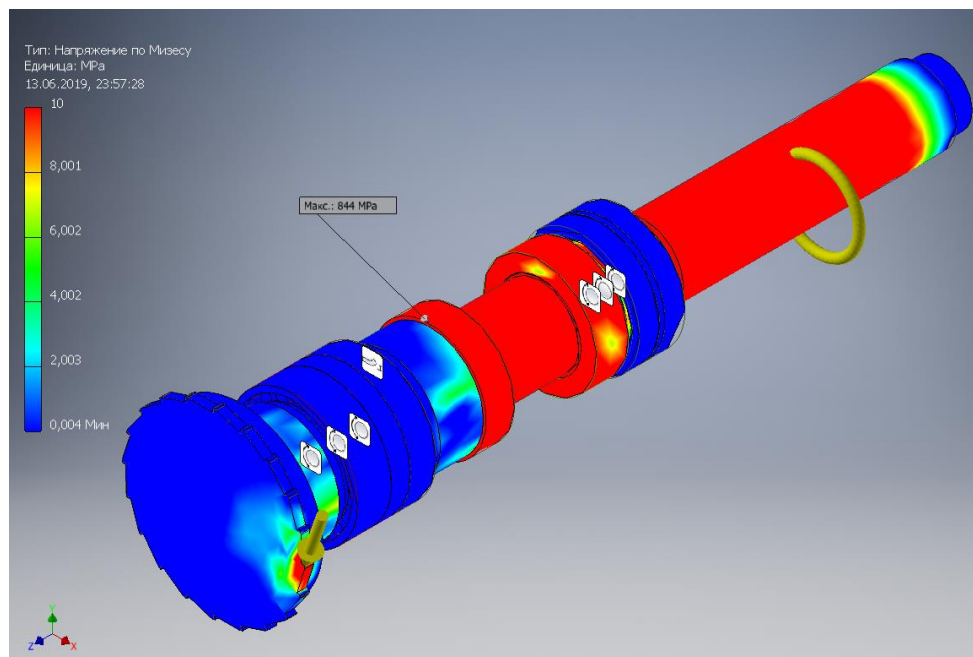
## 2. Результати моделювання

Результати моделювання наведені на рис.3, 4.

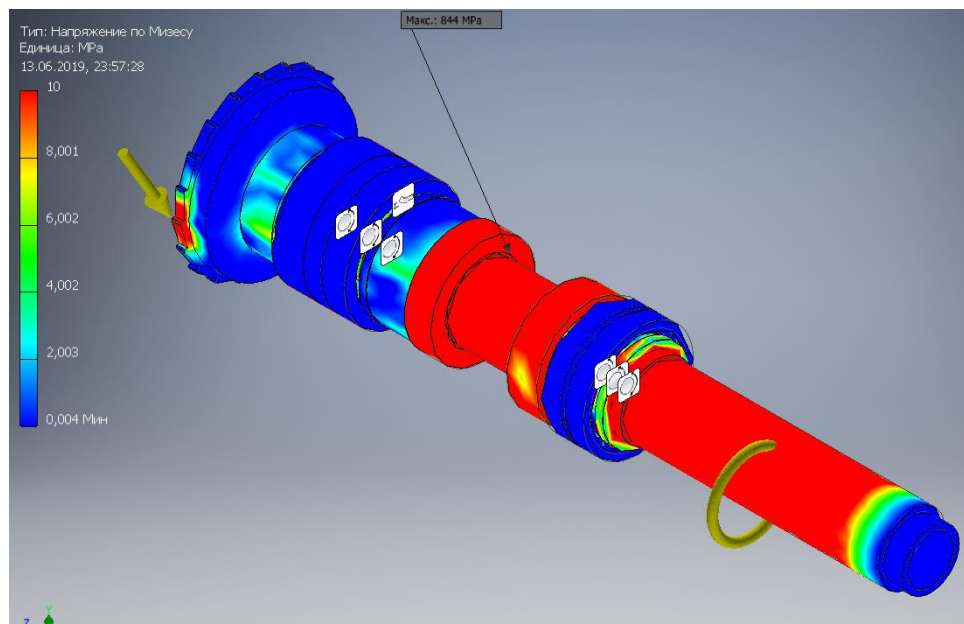
					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк.
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73



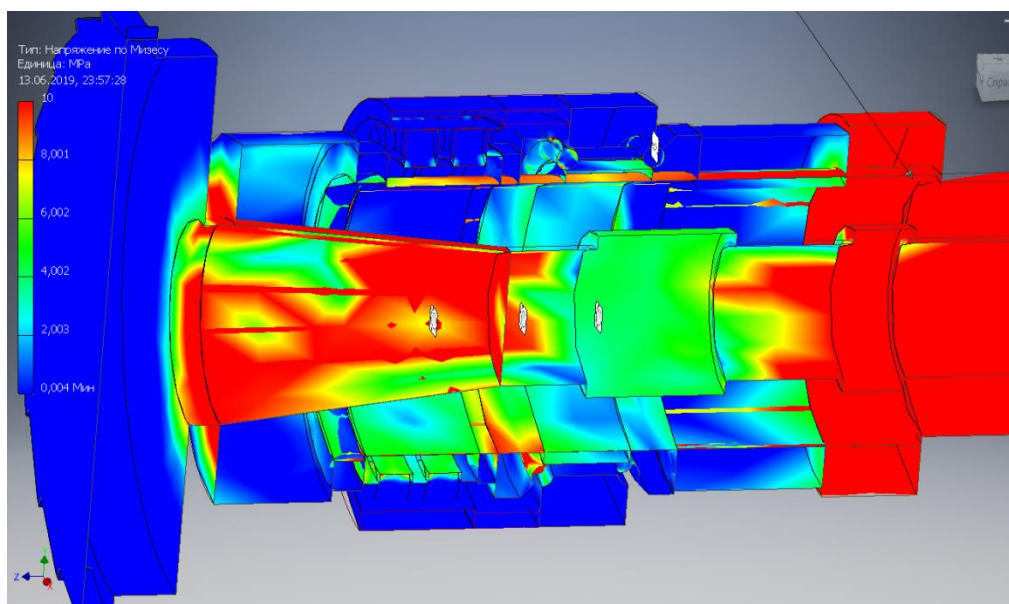
а) Загальний розподіл напружень



б) Передній кінець шпинделя



в) Задній кінець шпинделя



г) Кільця та шарики підшипників

Рис. 3. Розподіл напружень на різних ділянках моделі

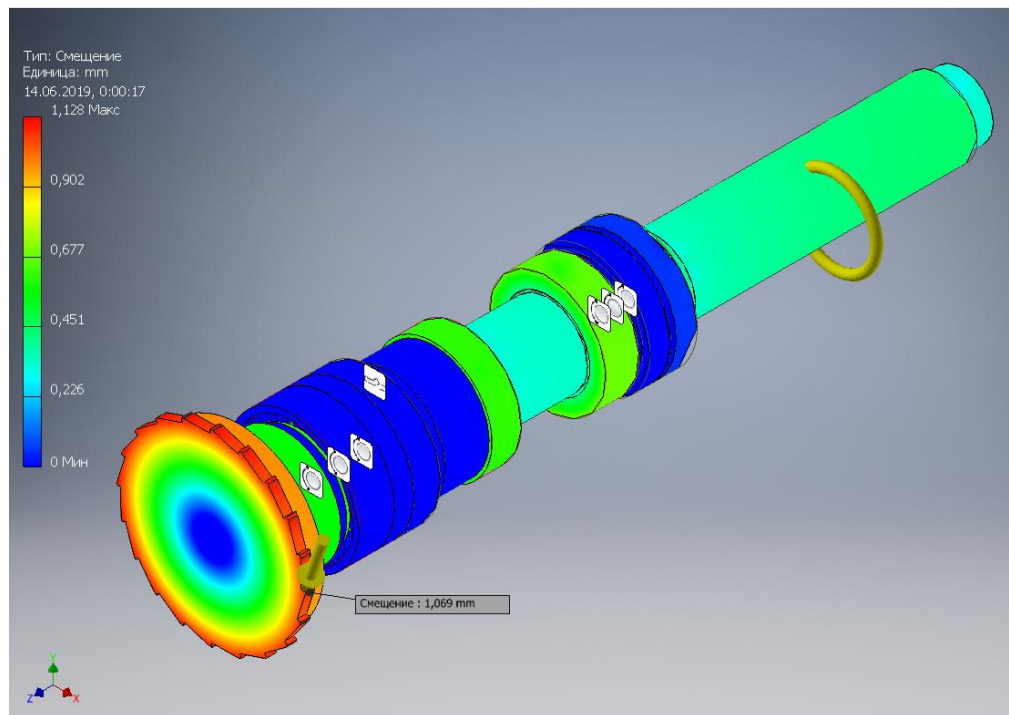


Рис.4. Сумарне зміщення

Величини зміщення зубця фрези:  $\Delta_{\Sigma} = 1070$  мкм;  $\Delta_z = 1069$  мкм;  $\Delta_y = 1$  мкм. За ними можна оцінити теоретичну точність обробки.

Значення податливості пружної системи:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{\Delta_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{1070 \text{ мкм}}{3.667 \text{ кН}} = 291.8 \frac{\text{мкм}}{\text{кН}};$$

$$\delta_z = \frac{\Delta_z}{F_z} = \frac{1069 \text{ мкм}}{3.2 \text{ кН}} = 334.1 \frac{\text{мкм}}{\text{кН}};$$

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{F_y} = \frac{1 \text{ мкм}}{1.6 \text{ кН}} = 0.6 \frac{\text{мкм}}{\text{кН}}.$$

## 8. ВИСНОВОК

У даному дипломному проекті виконані заходи для покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК моделі ГФ 2171, шляхом заміни наявного маніпулятора на автооператора, застосовуваний на верстатах серії МЦ, зокрема на верстаті МЦ 800. Запропонований автооператор більш простий у виготовленні, отже його собівартість менша, має більшу швидкість зміни інструменту і вимагає внесення незначних змін в його конструкцію для встановлення на верстаті ГФ2171.

Однією з переваг запропонованого автооператора є підвищена надійність в експлуатації в порівнянні з автооператором, розробленим спеціально для верстата ГФ2171. Базова конструкція є універсальною для застосування на різних типах верстатів. Зміни у його конструкції, необхідні для встановлення на верстаті ГФ2171, не глобальні і вимагають незначних витрат.

Встановлений в верстаті електромеханічний пристрій був замінений на гідравлічний. Це дало можливість виключити з конструкції верстата асинхронний двигун потужністю 0.18кВт.

Під час дипломного проектування були проведені розрахунки механізмів пристрою зміни інструмента.

Для більш точного позиціювання було встановлені датчики лінійного, кутового переміщення, та датчики обертання фірми HEIDENHAIN.

У системі HEIDENHAIN TNC 640 було розроблена тестова програма для обробки плити обраними режимами різання.

Крім того використані можливості Autodesk Inventor з розрахунку збірок методом скінченних елементів; була проаналізована податливість шпиндельного вузла консольно-фрезерного верстата з ЧПК ГФ2171, а саме – зміщення вершини зубця фрези при типовому режимі обробки.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк. 77
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Були розраховані оптимальні режими різання, що також вплинули на продуктивність верстата, завдяки використанню сучасного обладнання.

Зміни, внесені в базову модель ГФ2171, дозволили збільшити його продуктивність і зменшити його собівартість у цілому. Верстат після модернізації відповідає вимогам охорони праці.

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстата з ЧПК	Арк.
						78
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Література

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Под ред а.Г.Косиловой и Р.К Мещерякова -4-е изд. Машиностроение, 1986.
2. Детали и механизмы металлорежущих станков /Под. Ред. Д.Н. Решетова М., Машиностроение, 1972.
3. Анурьев. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х томах. М., машиностроение 2001.
4. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. «Расчет и проектирование деталей машин» - 3-е изд. перераб., и доп. – Х.: Основа ,1991. – 276с:схем.
5. Металлорежущие станки / Под. ред. В.Э. Пуша.М., машиностроение, 1985.
6. Свешников В.К., Усов а.А. стоночные гидроприводы Справочник.- М: Машиностроение ,1988.- 512 с.
7. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник/ за ред В.О. Федорця.- К.:вища школа 1995 р.
8. Проектирование механических передач /С.А. Чернавский Г.А.Слесарев, Б.С. Козинцев и др.- М.,Машиностроение,1984.-560с.
9. Кузнецов Ю.И., Маслов а.Р., Байков а.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – М.:Машиностроение, 1983.-359с.
10. Фоменко И.А., Коваленко В.В., Стародуб Н.П., Охорона труда при обработке металлов резанием. – Киев : Техника , 1989 – 158с.
11. Методические указания к самостоятельным работам по курсу «Металлорежущие станки» , раздел «Расчет и конструирование станков» для

					Покращення технологічних можливостей фрезерного верстака з ЧПК	Арк.
змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		79

студентов специальности 1202 «металлорежущие станки и инструменты» /сост. И.И. Верба, И.Г.Федоренко, С.В. Чикин –Киев КПИ

12. Офіційний сайт Heidenhain [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.heidenhain.ru/fileadmin/pdb/media/img/350457\\_R3\\_Lieferuebersicht\\_ru.pdf](https://www.heidenhain.ru/fileadmin/pdb/media/img/350457_R3_Lieferuebersicht_ru.pdf) .

13. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля "Анализ напряжений" Autodesk Inventor: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.М. Гейчук, К.М. Рудаков. – К.: НТУУ "КПІ", 2016. – 176 с.

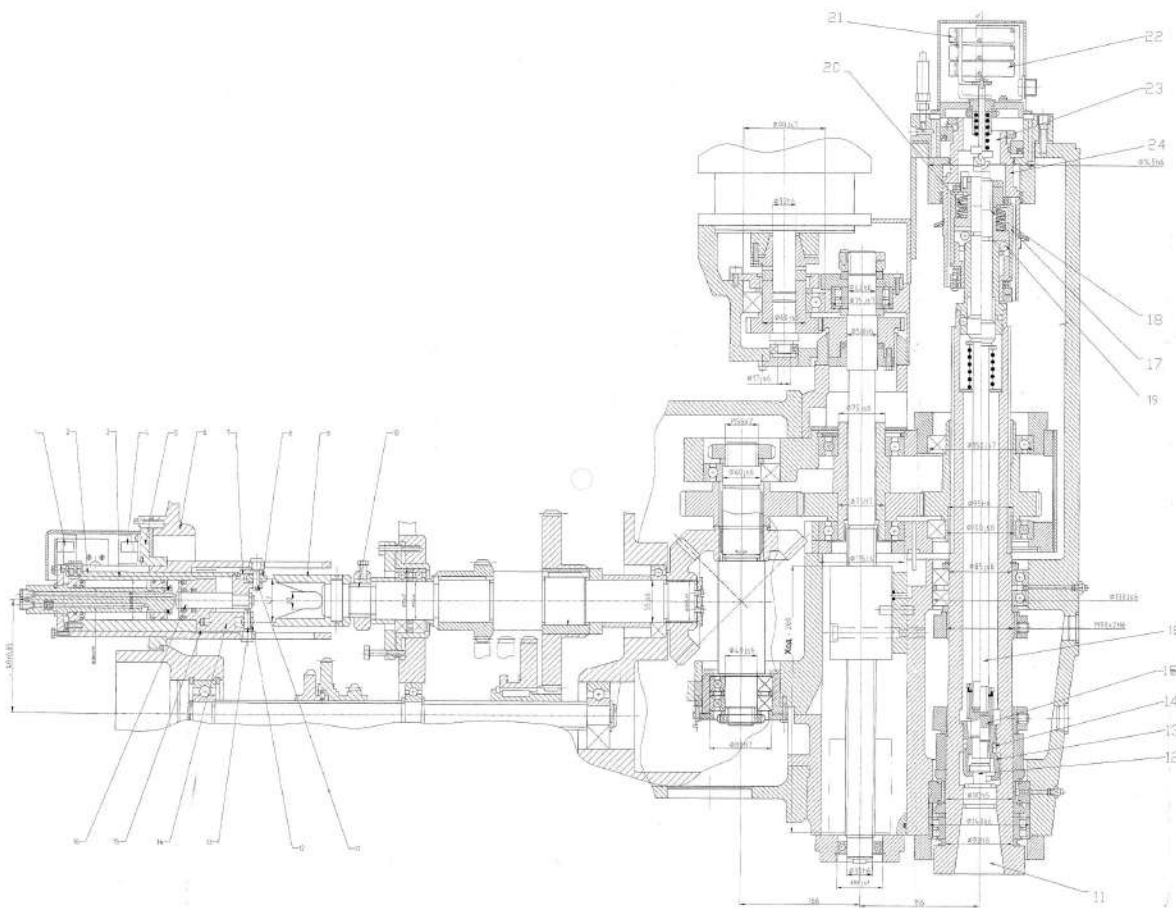
14. Sandvik Coromant ToolGuide [Електронний ресурс] URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/Pages/toolguide.aspx>.

15. Walter Machining Calculator [Електронний ресурс] URL:<https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/wmc/index.html>.

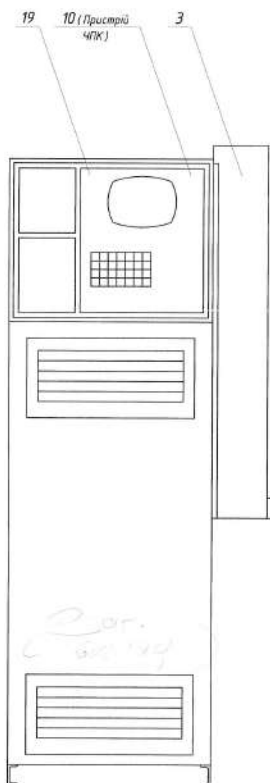
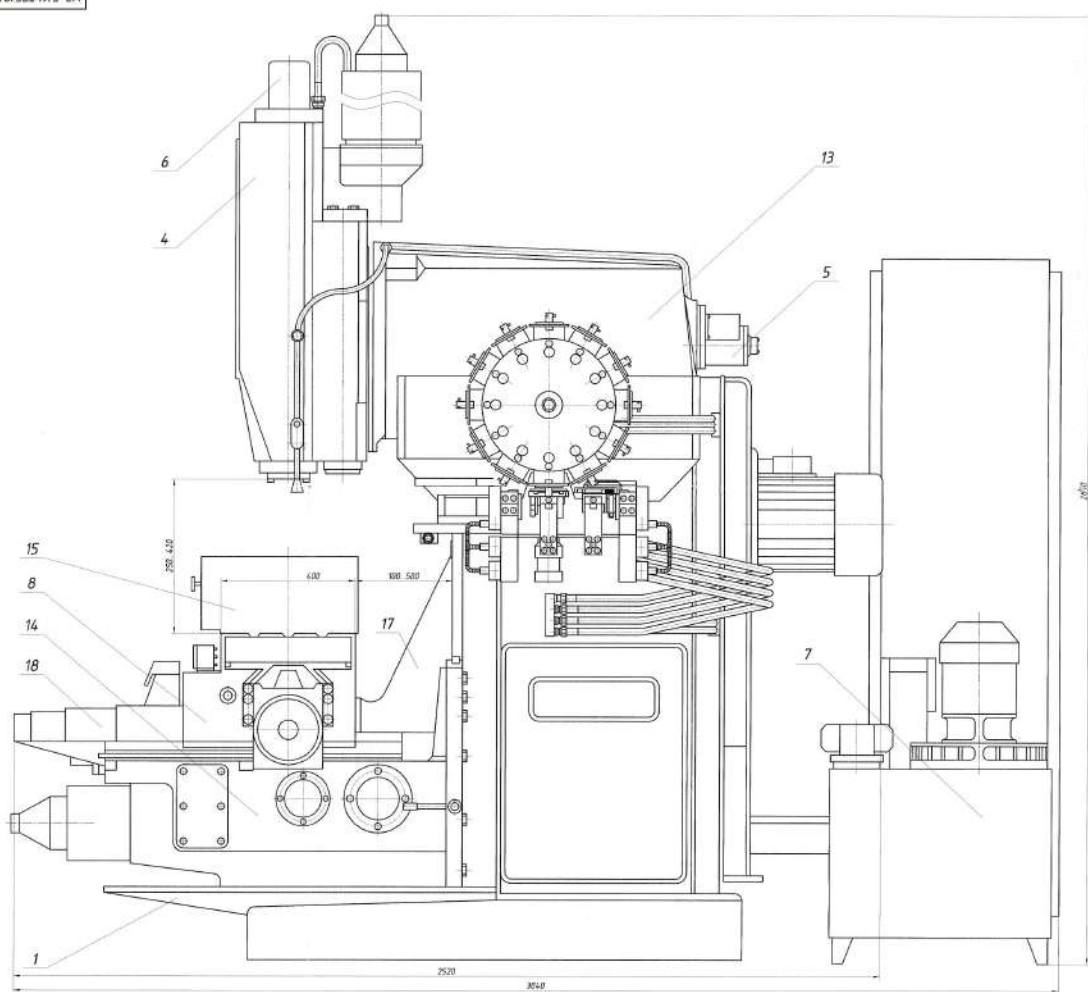


[illegible]

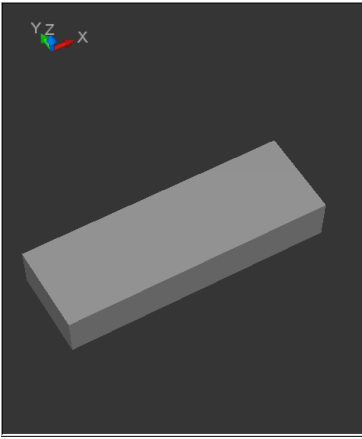
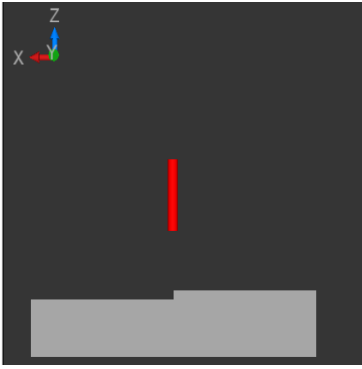
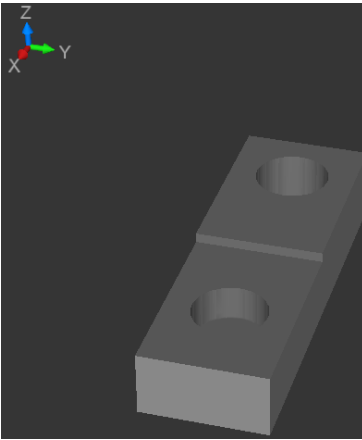
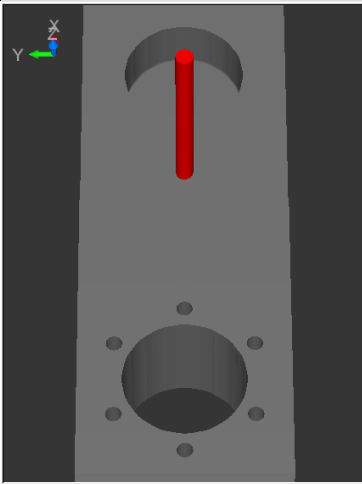
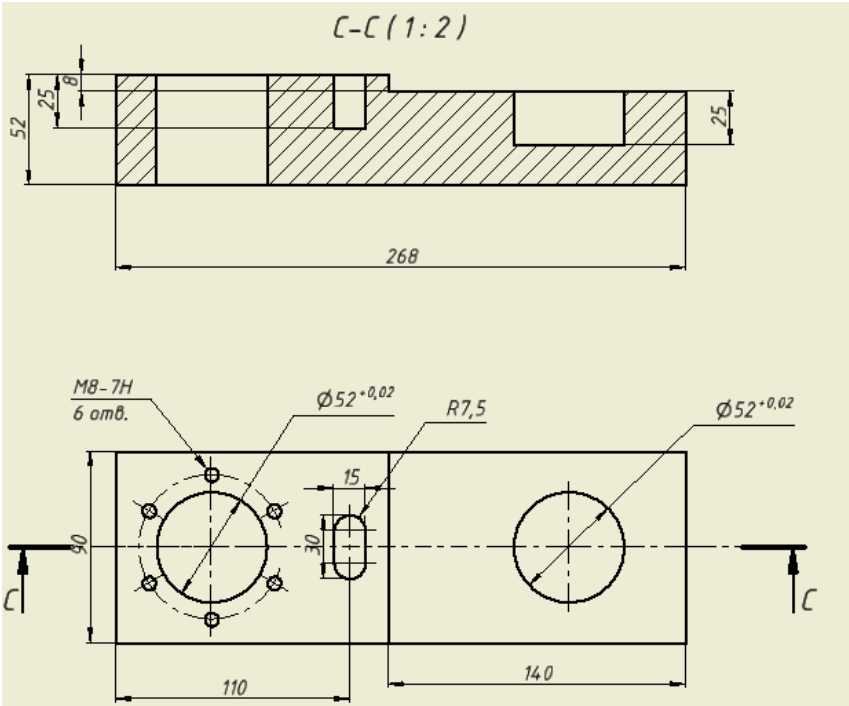
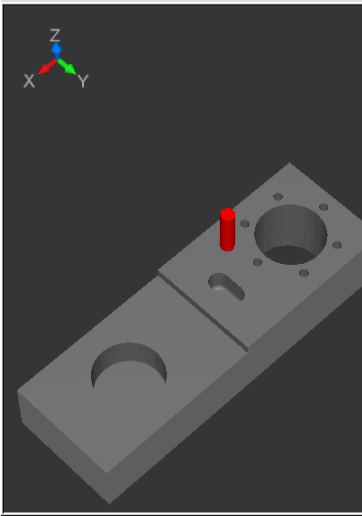
МБ-5111Д/6251000 СК



МБ-5111Д/6251000 СК				Изм.	Рис.	Исполн.
Изм.	Дата	Исполн.	Провер.	6080	23	
Рис.	Дата	Исполн.	Провер.			
Исполн.	Дата	Исполн.	Провер.			
Исполн. М.А.В.С.				Исполн. М.А.В.С.		

[illegible]



Програма		Етап	Режим	Ескіз
<div>0 BEGIN PGM 555 MM 1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-54 2 BLK FORM 0.2 X+268 Y+90 Z+0 3 TOOL CALL "MILL_D10_ROUGH" Z S4200 F700 4 L X+300 Y+300 Z+300 FMAX M3 10 CYCL DEF 233 FREZEROVAN.POVERKHN. ~ Q215=+0 ;OBRABOTKA ~ Q389=+1 ;MILLING STRATEGY ~ Q350=+1 ;NAPRAVL.FREZEROVAN. ~ Q218=+134 ;DLINA 1-OJ STORONY ~ Q219=+90 ;DLINA 2-OJ STORONY ~ Q227=+0 ;KOORD.POWIERCH. ~ Q386=-8 ;KONECHN.TOCHKA 3 OSI ~ Q369=+1 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~ Q202=+1 ;MAX.GLUBINA VREZAN. ~ Q370=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~ Q207=+200 ;PODACHA FREZER. ~ Q385=+150 ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~ Q253=+750 ;PODACHA PRED.POZIC. ~ Q357=+2 ;BEZOP.RASST. STORONA ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q347=-1 ;1-E OGRANICHENIYE ~ Q348=+0 ;2-E OGRANICHENIYE ~ Q349=+0 ;3-E OGRANICHENIYE ~ Q220=+0 ;RADIUS ZAKRUGL. UGLA ~ Q368=+0.5 ;PRIPUSK NA STORONU ~ Q338=+1 ;WREZ. CHISTOW.OBR. 5 L X+134 Y+0 R0 FMAX M99 6 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 7 CYCL DEF 252 KRUGOWOJ KARMAN ~ Q215=+0 ;OBRABOTKA ~ Q223=+52 ;DIAMETR OKRUSHNOSTI ~ Q368=+0 ;PRIPUSK NA STORONU ~ Q207=+500 ;PODACHA FREZER. ~ Q351=+1 ;TIP FREZEROWANIA ~ Q201=-55 ;GLUBINA ~ Q202=+4 ;GLUBINA WREZANIA ~ Q369=+3 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~ Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q338=+1 ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q370=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~ Q366=+1 ;TIP VREZANIYA ~ Q385=+200 ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~ Q439=+0 ;FEED RATE REFERENCE 8 TOOL CALL "TORUS_MILL_D20_1" Z S2400 F300 9 L X+45 Y+45 R0 FMAX M99 10 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 11 CYCL DEF 252 KRUGOWOJ KARMAN ~ Q215=+0 ;OBRABOTKA ~ Q223=+52 ;DIAMETR OKRUSHNOSTI ~ Q368=+0 ;PRIPUSK NA STORONU ~ Q207=+500 ;PODACHA FREZER. ~ Q351=+1 ;TIP FREZEROWANIA ~ Q201=-25 ;GLUBINA ~ Q202=+6 ;GLUBINA WREZANIA ~ Q369=+2 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~ Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q338=+1 ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q203=-8 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q370=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~ Q366=+1 ;TIP VREZANIYA ~ Q385=+200 ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~ Q439=+0 ;FEED RATE REFERENCE 12 L X+205 Y+45 R0 FMAX M99 13 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 14 TOOL CALL "NC_SPOT_DRILL_D5" Z S2100 F120 15 CYCL DEF 240 ZENTRIROVANIE ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q343=+0 ;VIBOR DIAM./GLUBINA ~ Q201=-5 ;GLUBINA ~ Q344=-5 ;DIAMETR ~ Q206=+45 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ 16 CYCL DEF 220 OBRAZEC KRUG ~ Q216=+45 ;1-AJA KOORD.CENTRA ~ Q217=+45 ;2-JA KOORD.CENTRA ~ Q244=+68 ;DIAMETR OBRAZUI. ~ Q245=+60 ;UGOL NACHAL.TOCHKI ~ Q246=+300 ;UGOL KONECHN. TOCHKI ~ Q247=+60 ;SCHAG UGLA ~ Q241=+6 ;CHISLO POWTORENIJ ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU ~ Q365=+0 ;WID PEREMESCHENJA 17 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 18 TOOL CALL "DRILL_D6.8" Z S1950 F95 19 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 20 CYCL DEF 203 UNIVERS. SWERLENIE ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q201=-30 ;GLUBINA ~ Q206=+45 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q202=+5 ;GLUBINA WREZANIA ~ Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q212=+15 ;SJOM MATERIALA ~ Q213=+0 ;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~ Q205=+0 ;MIN.GLUBINA WREZANIA ~ Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~ Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~ Q256=+1 ;WYCHOD PRI LOMANII ~ Q395=+1 ;DEPTH REFERENCE 21 CYCL DEF 220 OBRAZEC KRUG ~ Q216=+45 ;1-AJA KOORD.CENTRA ~ Q217=+45 ;2-JA KOORD.CENTRA ~ Q244=+68 ;DIAMETR OBRAZUI. ~ Q245=+60 ;UGOL NACHAL.TOCHKI ~ Q246=+300 ;UGOL KONECHN. TOCHKI ~ Q247=+60 ;SCHAG UGLA ~ Q241=+6 ;CHISLO POWTORENIJ ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+100 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU ~ Q365=+0 ;WID PEREMESCHENJA 22 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 23 CYCL DEF 203 UNIVERS. SWERLENIE ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q201=-30 ;GLUBINA ~ Q206=+45 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q202=+5 ;GLUBINA WREZANIA ~ Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q212=+15 ;SJOM MATERIALA ~ Q213=+0 ;KOL.OPER.LOMKI STRU. ~ Q205=+0 ;MIN.GLUBINA WREZANIA ~ Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~ Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~ Q256=+1 ;WYCHOD PRI LOMANII ~ Q395=+1 ;DEPTH REFERENCE 24 TOOL CALL 264 Z S2500 F2500 25 CYCL DEF 206 NAREZANIE REZBI ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q201=-30 ;GLUBINA REZBY ~ Q206=+2500 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ 26 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 27 TOOL CALL "TORUS_MILL_D10_4" Z S3200 F300 28 CYCL DEF 253 FREZEROWANIE PAZOW ~ Q215=+0 ;OBRABOTKA ~ Q218=+30 ;DLINA PAZA ~ Q219=+15 ;SCHIRINA KANAWKI ~ Q368=+1 ;PRIPUSK NA STORONU ~ Q374=+90 ;UGOL POWOROTA ~ Q367=+0 ;POLOSHENJE PAZA ~ Q207=+500 ;PODACHA FREZER. ~ Q351=+1 ;TIP FREZEROWANIA ~ Q201=-20 ;GLUBINA ~ Q202=+5 ;GLUBINA WREZANIA ~ Q369=+0 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~ Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~ Q338=+0 ;WREZ. CHISTOW.OBR. ~ Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~ Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~ Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~ Q366=+2 ;TIP VREZANIYA ~ Q385= AUTO ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~ Q439=+3 ;FEED RATE REFERENCE 29 L X+110 Y+45 R0 FMAX M99 30 L X+200 Y+200 Z+200 FMAX 31 TOOL CALL "MILL_D4_FINISH" Z S5700 F1100 32 L X+250 Y+10 R0 FMAX M99 33 L Z+200 FMAX M5 M30 34 END PGM 555 MM</div>		Заготовка	268x90x52	
		Фрезерування площини	Інструмент: фреза кінцева Ø10мм.  Подача F=270 мм/хв  Швидкість різання V=200 м/с  Частота оберт. n=4200 об/хв	
		Розфрезерування отворів	Інструмент: фреза кінцева Ø20мм.  Подача F=300 мм/хв  Швидкість різання V=150 м/с  Частота обертання. n=2400 об/хв	
		Свердління отворів	Інструмент: свердло Ø6.8мм.  Подача F=416 мм/хв  Швидкість різання V=95 м/с  Частота обертання n=1950 об/хв	
<div>Програма складається з 34 кадрів , де використовується 4 інструмента Час обробки складає 56 хвили 42 секунди</div> <div></div>		Фрезерування паза	Інструмент: кінцева фреза Ø10мм.  Подача F=300 мм/хв  Шв. різання V=500 м/с  Частота оберт. n=3200 об/хв	

Розробник:\_\_\_\_\_/Копейкін М,В/

Керівник:\_\_\_\_\_/Ковалев В.А./





# Використання модулю Аналіз напружень Autodesk Inventor для оцінки податливості шпиндельного вузла консольно-фрезерного верстата с ЧПК ГФ2171

## Схема навантаження

Відповідає типовому режиму обробки (розрахунок – в розділі 3.6. Розрахунок режимів різання) – чорнове фрезерування площини заготовки із СЧ21-40 торцевою фрезою  $D = 200 \text{ mm}$ ,  $z = 20$ ; режими різання: ширина фрезерування  $B = 145 \text{ mm}$ ; глибина фрезерування  $t = 2.5 \text{ mm}$ , швидкість різання  $v = 128 \text{ м/хв}$ , подача на оберт  $S = 2 \text{ мм/об}$ , частота обертання шпинделя  $n = 204 \text{ об/хв}$ .

- Сили різання, прикладені до зуба фрези:

$$F_z = 3200 \text{ Н}; F_y = 1600 \text{ Н}; F_x = 800 \text{ Н}; (F_\Sigma = 3667 \text{ Н}).$$

- Крутний момент, прикладений до ділянки шпинделя, де знаходяться шліци

$$M_{кр} = 3200 \text{ Нм}.$$

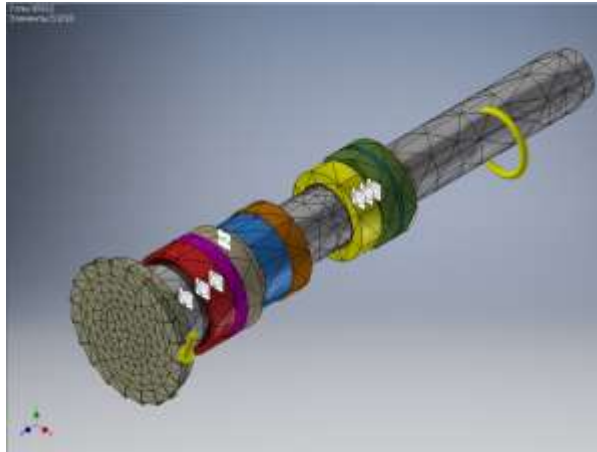


Рис.1. Розрахункова модель шпиндельного вузла

Як результат, розраховані значення податливості пружної системи:

$$\delta_\Sigma = \frac{\Delta_\Sigma}{F_\Sigma} = \frac{1070 \text{ мкм}}{3.667 \text{ кН}} = 291.8 \frac{\text{мкм}}{\text{кН}};$$

$$\delta_z = \frac{\Delta_z}{F_z} = \frac{1069 \text{ мкм}}{3.2 \text{ кН}} = 334.1 \frac{\text{мкм}}{\text{кН}};$$

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{F_y} = \frac{1 \text{ мкм}}{1.6 \text{ кН}} = 0.6 \frac{\text{мкм}}{\text{кН}}.$$

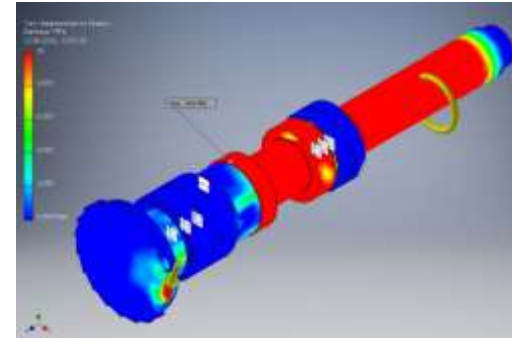


Рис.2. Розподіл напружень на передньому кінці шпинделя

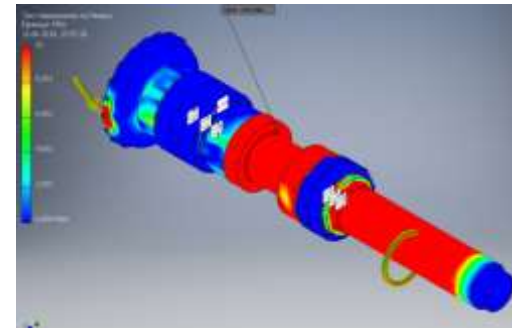


Рис. 3. Розподіл напружень на задньому кінці шпинделя

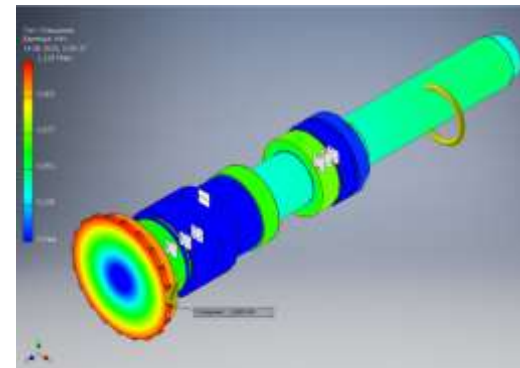


Рис.4. Зміщення точок переднього кінця шпинделя