

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Юрій Данильченко

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

з напрямку підготовки 131 «Прикладна механіка»

(код і назва)

на тему **Розширення технологічних можливостей фрезерного
верстата з числовим програмним керуванням**

Виконав (-ла) студент(-ка) II курсу, групи МВ-91мп

Коноваленко Юлія Олегівна

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

Ковальов Віктор Андрійович

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

РЕЦЕНЗЕНТ:

Приходько В.П.

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ - 2020 року

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект		
2	A4	МВ-9105мп.МД.000.ПЗ	Пояснювальна записка	70	
3	A1	МВ-9105мп.МД.100.000.000.00 ЗВ	Загальний вигляд	1	
4	A1	МВ-9105мп.МД.200.000.000.00 КЗ	Кінематична схема	1	
5	A1	МВ-9105мп.МД.300.000.000.00 СК	Шпиндельний вузол	1	
6	A1	МВ-9105мп.МД.400.000.000.00 СК	Магазин інструменту	1	
7	A1		Поворотний стіл	1	
8	A1		Фрези	1	
9	A1		Оправки	1	
10	A1		Autodesk Inventor	1	
11	A1		HEIDENHAIN	1	

				МВ-9105мп.МД 00.000.00		
	ПІБ	Під п.	Дата			
Розробн.	Коноваленко			Відомість магістеркої дисертації	Лист	Листів
Керівн.	Ковальов				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. 131 Гр. МВ-91мп	
Н/контр.						
Зав.каф.						

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

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма «Технології комп'ютерного
конструювання верстатів, роботів і машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Олександр ШЕВЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Коноваленко Юлія Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розширення технологічних можливостей
фрезерного верстата з числовим програмним керуванням

науковий керівник дисертації Ковальов В.А.

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

затверджені наказом по університету від “03” листопада 2020 року № 3205-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Фрезерні верстати з числовим програмним
керуванням

4. Предмет дослідження Вертикально – фрезерний верстат з
числовим програмним керуванням мод. ГФ2171.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Огляд та аналіз фрезерних верстатів з числовим програмним забезпеченням. Підбір оптимального поворотного стола для даного верстата. Пошук сучасних фрезерних верстатів з ЧПК.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Загальний вигляд, кінематична схема, шпиндельний вузол, магазин інструменту, оцінка піддатливості шпиндельного вузла з використанням модулю аналіз напружень Autodesk Inventor, обробка деталі з використанням програми HEIDENHAIN, поворотний стіл.

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 публікації

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд та аналіз фрезерних верстатів з ЧПК	1 тиждень	
2	Пошук сучасних фрезерних верстатів з ЧПК	1 тиждень	
3	Підбір оптимального поворотного стола	2 тижня	
4	Розробка загального вигляду (креслення)	2 тижня	
5	Розробка кінематичної схеми (креслення)	1 тиждень	
6	Розробка шпиндельного вузла (креслення та 3D)	2 тижня	
7	Розробка магазину інструменту (креслення)	1 тиждень	
8	Розрахунок жорсткості шпинделя в Autodesk Inventor	1 тиждень	
9	Обробка деталі з використанням HEIDENHAIN	2 тижня	

	та 3D		
--	-------	--	--

Студент _____ Коноваленко Ю.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ Ковальов В.А. _____

Анотація

В магістерській дисертації на тему «Розширення технологічних можливостей фрезерного верстата з числовим програмним керуванням» проведено огляд та аналіз фрезерних верстатів, пошук оптимального поворотного столу, забезпечено сучасне інструментальне забезпечення, замінено програмне забезпечення на сучасне, розроблена деталізована модель шпинделя в SolidWorks та розрахована податливість шпиндельного вузла з використанням модулю аналізу напружень Autodesk Inventor та програма обробки типової деталі в системі програмного забезпечення фірми HEIDENHAIN, і деталізована модель деталі в SolidWorks.

Магістерська дисертація виконана на 70 сторінках з 52 рисунками, 15 посиланнями на джерела інформації.

Ключові слова: фрезерний верстат, поворотний стіл, числове програмне забезпечення, фрези, оправки.

Abstract

In the master's dissertation on "Expansion of technological capabilities of a milling machine with numerical program control" a review and analysis of milling machines, search for the optimal turntable, provided modern tools, replaced the software with modern, developed a detailed spindle model in SolidWorks spindle using the Autodesk Inventor stress analysis module and a typical part processing program in the HEIDENHAIN software system, and a detailed part model in SolidWorks.

The master's dissertation is made on 70 pages with 52 figures, 15 references to sources of information.

Keywords: milling machine, rotary table, numerical software, cutters, mandrels.

Аннотация

В магистерской диссертации на тему «Расширение технологических возможностей фрезерного станка с числовым программным управлением» проведен обзор и анализ фрезерных станков, поиск оптимального поворотного стола, обеспечено современное инструментальное обеспечение, заменено программное обеспечение на современное, разработана детализированная модель шпинделя в SolidWorks и рассчитана податливость шпиндельного узла с использованием модуля анализа напряжений Autodesk Inventor, и программа обработки типовой детали в системе программного обеспечения фирмы HEIDENHAIN, и детализированная модель детали в SolidWorks.

Магистерская диссертация выполнена на 70 страницах с 52 рисунками, 15 ссылками на источники информации.

Ключевые слова: фрезерный станок, поворотный стол, числовое программное обеспечение, фрезы, оправки.

Зміст

1. Огляд та аналіз фрезерних верстатів.	6
2. Сучасні фрезерні верстати з ЧПК.	13
3. Технічні характеристики та опис базового верстата.	20
4. Інструментальне забезпечення.	26
4.1. Фрези.	26
4.2. Оправки.	32
5. Поворотні столи для фрезерних верстатів.	41
6. Оцінка жорсткості шпиндельного вузла з використанням модулю аналізу напружень Autodesk Inventor.	51
7. Обробка деталі з використанням програми HEIDENHAIN.	57
8. Висновок.	
9. Список літератури.	

Підп. дата		Инв. № дубл.		Взам. Инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.			
						<i>МВ-9105мп.МД.000.2020ПЗ</i>					
						Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	
						Розроб..		Коноваленко			
						Перевір.		Ковальов			
						Н. контр.					
						Затвер.		Ковальов			
						<i>Пояснювальна записка</i>			Літер.	Лист	Листів
						у		5			
						<i>КПІ ім. І. Сікорського, ММІ, МВ-91мп</i>					

Вступ

«Фрезерними називають верстати, які застосовують при фрезеруванні фасонних, плоских та гвинтових поверхонь, різьби та зубів зубчастих коліс, нарізуванні шліців, утворенні гвинтових канавок і т. ін»

(<http://bcpl.pto.org.ua/index.php/dopomoga/itemlist/category/306-10-frezerni-verstati>). [1]

Фрезерні верстати належать до шостої групи, отже перша цифра марки фрезерного верстата — 6, друга цифра означає тип верстата, а третя це основний параметр верстата.

Сучасні фрезерні верстати з ЧПК - поєднують в собі як класичні рішення, відпрацьовані роками, так найсучасніші розробки світового верстатобудування. Фрезерні верстати з ЧПК - одні з найпоширеніших і затребуваних на ринку металообробки. Критерії, за яким діляться металообробні фрезерні верстати - наявність ЧПК і компоновка: горизонтальні і вертикальні фрезерні верстати.

1.1«Широкоуніверсальний фрезерний верстат — (рис.1.1) призначений для обробки фрезеруванням різноманітних поверхонь на невеликих і неважких деталях в умовах одиничного та серійного виробництва також присутній горизонтальний шпиндель . Обробка відбувається циліндричними, дисковими, кутовими, кінцевими, фасонними, торцевими фрезами. На таких верстатах оброблюють вертикально, горизонтально фасонні та гвинтові поверхні, пази і кути»(<https://stanok-kpo.ru/stati/64.html>).[2]



Рис.1.1. Широкоуніверсальний верстат

1.2. «Горизонтально-фрезерні верстати призначені для обробки як плоских поверхонь, так і для різноманітних поверхонь (рис.1.2). Такі верстати використовують для одиничного та серійного виробництва»(<https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/1275>). [3]



Рис.1.2. Горизонтально-фрезерний верстат

1.3. Вертикальний консольно - фрезерний верстат —верстат, шпиндель якого розташований вертикально (рис.1.3). Також допускається зсув уздовж своєї осі й поворот навколо горизонтальної осі, який розширює технологічні можливості верстата.



Рис.1.3. Консольно-вертикальний фрезерний верстат

1.4. «Шпонково - фрезерний верстат призначений для фрезерування пазів шпон в різних валах (рис.1.4)» (<http://bcpl.pto.org.ua/index.php/dopomoga/itemlist/category/306-10-frezerni-verstati>). [1] Існують шпонково - фрезерні верстати, розмір паза на яких забезпечується розміром інструменту.

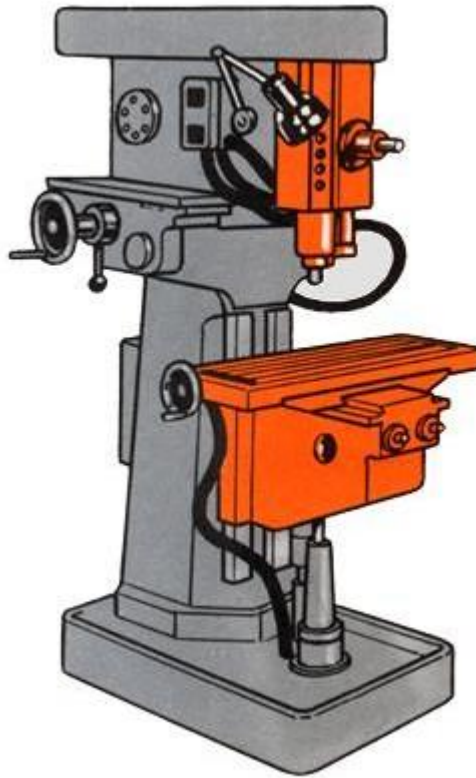


Рис.1.4. Шпонково-фрезерний верстат

1.5. «Поздовжньо-фрезерний верстат — використовується для обробки великогабаритних заготовок (рис.1.5)»

(<http://bcpl.pto.org.ua/index.php/dopomoga/itemlist/category/306-10-frezerni-verstati>). [1] Обробка здійснюється торцевою фрезою але також є можливість обробки дисковими, кінцевими, циліндричними та фасонними фрезами.

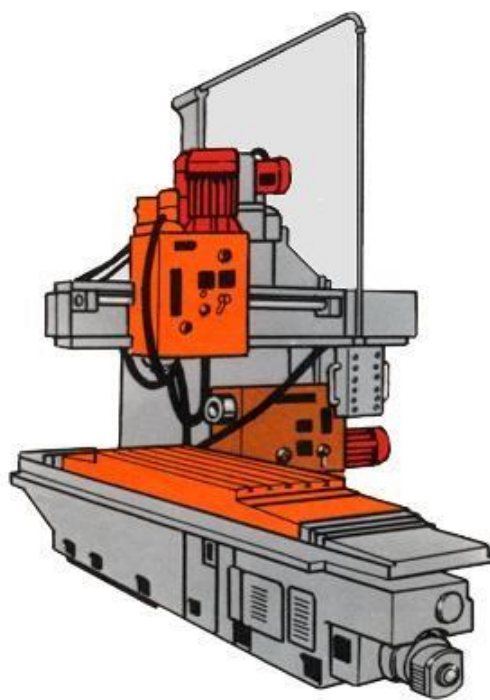


Рис.1.5. Одностояковий поздовжньо-фрезерний верстат

1.6. Копіювально-фрезерні верстати (рис.1.6) призначені для фрезерування поверхонь складної форми. Процес обробки здійснюється по копіру, після чого на копіювальний пристрій викликається відповідне переміщення інструменту відносно заготовки (рис.1.6)» (<https://stanok-kpo.ru/stati/64.html>).[4].



Рис.1.6. Копіювально-фрезерний верстат

1.7. «Карусельно-фрезерні верстати (рис.1.7) призначені для обробки різних деталей поверхонь торцевими фрезами в умовах масового, великосерійного та одиничного виробництва. Верстат має один або кілька шпинделів. Якщо шпиндель не один, то в один з них встановлюють фрезу для чистової обробки. Шпиндельна головка здійснює переміщення по вертикальних напрямних стійки».

Карусельно-фрезерний верстат (рис.1.7), має круглий стіл або ще також називається карусель, вісь у якому розташована вертикально. Фрези встановлюються в двох шпинделях фрезерної головки. Встановити та зняти деталі з завантажувальної позиції можливе без зупинення верстата, що дозволяє підвищити продуктивність праці. Ці верстати застосовують у масовому виробництві.

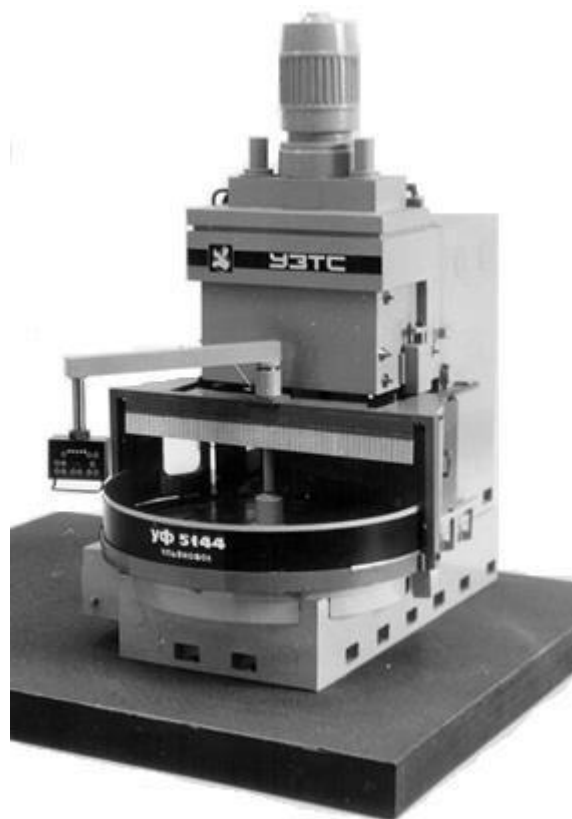


Рис.1.7.Карусельно-фрезерний верстат

Завдяки фрезеруванню можна оброблювати різні за формою та розмірами деталі зі складними поверхнями. Це обумовлює велику конструктивну різноманітність фрезерних верстатів. Існують верстати: консольно - фрезерні (універсальні, широкоуніверсальні, горизонтальні, вертикальні); копіювально-фрезерні та гравіювально - фрезерні; поздовжньо-фрезерні (одно- та двостійкові); фрезерні безперервної дії (барабанні та карусельні); безконсольно вертикально-фрезерні.

Консольно-фрезерні верстати мають відмінну особливість це наявність консолі.

На фрезерних верстатах консольного можна вести спостереження за обробкою, тому що переміщенням консолі можна забезпечити необхідне положення поверхні, яка фрезерується, мають зручне ручне управління, тобто вони універсальні. Щоб збільшити універсальність верстата, потрібно застосовувати різні пристосування та операції, наприклад такі як свердління, розгортання, зенкерування.

Наявний недолік консолі – це те, що вона знижує жорсткість, точність та обмежує масу деталей, яких необхідно обробити.

Обробку на консольно-фрезерних верстатах можна виконувати, торцевими, циліндричними, кінцевими, дисковими, кутовими, фасонними та іншими фрезами.

2.Сучасні фрезерні верстати з ЧПК

Сучасні верстати з ЧПУ високопродуктивні і здатні забезпечити неперевершену якість не в єдиному екземплярі, а на потоці, що робить їх незамінним обладнанням на будь-якому серйозному виробництві (<http://met-all.org/oborudovanie/stanki-frezernye/sovremennye-frezernye-stanki-po-metallu.html>). [6]

Верстати з ЧПУ, які обробляють деталі з різних металів з високою продуктивністю і точністю, мають один великий недолік: пристойну вартість, але його повністю компенсують такі позитивні фактори:

- зниження потреби в кваліфікованих фахівцях на виробництві;
- висока продуктивність щодо верстатів з ручним керуванням;
- зниження терміну виробничих циклів;
- прискорення переходу на виробництво нової продукції.

Фрезерна обробка металу на таких верстатах - це складний процес, завдяки якому ми отримаємо деталі з ідеальною геометрією поверхні. Фрезерна металообробка дозволяє виконувати шліфування, обробку фасонних або простих поверхонь та за наявності ріжучих матеріалів.

Сучасні фрезерні верстати дозволяють автоматизувати велику частину процесу обробки матеріалу, значно підвищити рівень продуктивності, збільшити точність обробки і знизити відсоток можливого браку до мінімуму. Поєднуючи в собі універсальність і якість, фрезерне обладнання стало застосовуватися в багатьох галузях промисловості, ставши незамінним елементом різних стадій виробничого процесу.

2.1.1 x HAAS UMC-750

«HAAS UMC-750 –вертикальний верстат, який здатний оброблювати 5 координат з переміщенням по осях X - 762 мм, Y- 508 мм, Z - 508 мм, відстань від переднього кінця шпинделя до столу 102мм та наявний поворотний стіл. Верстат має електродвигун потужністю 30 Кс та інструмент автоматичної заміни на 40+1.(рис.2.1.)» (<https://ncengineering.net/equipment.html>). [6]



Рис.2.1. 5-осьовий вертикально-фрезерний верстат з ЧПК

2.2. Вертикальний консольно-фрезерний верстат з ЧПК моделі SGM450-V-05

Верстат моделі SGM450-V-05 оснащений системою ЧПК SIEMENS 808D ADVANCED (рис.2.2)

Основні вузли: фундаментальна плита, стійка, консоль, хрестовий супорт, санчата поворотної частини і стіл, виготовляються з чавуну марки СЧ25, мають оптимальну форму і велику жорсткість;



Рис.2.2. Вертикальний консольно-фрезерний верстат з ЧПК моделі SGM450-V-05

Поперечні і вертикальні напрямні з фторопластовим покриттям мають гарні антифрикційними властивостями (низьким коефіцієнтом тертя) і стійкістю до утворення задирів, що забезпечує стабільність параметрів точності протягом не менше семи років;
Виїзд в «0», можливість роботи в ручному режимі, режимі

попереднього набору і в автоматичному режимі по керуючої технологічній програмі;
програмування в стандартах G- і M-кодах, програмування циклів для багаторазового повтору відрізка програми, пропуск кадрів, функція виклику підпрограм;

2.3. 1x Cincinnatti Sabre 1000

CINCINNATI SABRE 1000 - це вертикально - фрезерний верстат, який здатен обробляти деталі 500*1100мм (рис.2.3.). Обладнаний автоматичною заміною на 21 інструмент, оброблює важкі деталі. [6].



Рис.2.3. Універсальний вертикальний фрезерний верстат 1х
Cincinnatti Sabre 1000

2.4. 6 x Haas VF2SS

Верстат має супер-швидкісний вертикальний обробний центр із переміщенням по осі X-762мм, Y-406мм, Z-508мм, з електродвигуном прямого приводу на 22,4 кВт, максимальна частота обертання шпинделя -12000 об/хв, заміна інструменту на 24 + 1 та швидкість переміщення 35,6 м / хв. Оброблює деталі середнього розміру (рис.2.4.). [6]



Рис.2.4. Фрезерний верстат з конусом 6 x Haas VF2SS

2.5. 3 x Haas MiniMill

HAAS Mini Mill від Haas має максимальні переміщення по осі X-406мм, Y-305мм, Z-254 мм (рис.2.5.). Шпиндель має максимальну частоту обертання 6000 об/хв, автоматична заміна на 10 інструментів. Базується на виробництві простих деталей. [6]



Рис.2.5. Фрезерний верстат 3 x Haas MiniMill

3. Технічні характеристики та опис базового верстата

«Вертикальний фрезерний верстат з ЧПК мод. ГФ2171 призначений для багатоопераційної обробки різноманітних деталей складної конфігурації зі сталі, чавуну, кольорових і легких сплавів (рис.3.1)» (http://stanki-katalog.ru/sprav_gf2171.htm). [7]

Також на верстаті можна робити точне свердління, зенкування, розгортання і розточування отворів, пов'язаних координатами.



Рис.3.1. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК мод.ГФ2171.

Завдяки наявності потужного приводу головного руху, широкого

діапазону подач та частот обертання шпинделя, високої жорсткості конструкції верстата дозволяє застосовувати фрези, виготовлені з швидкорізальної сталі, також наявний інструмент, який оснащений пластинками з твердих і надтвердих синтетичних матеріалів.

Верстат оснащений трьох- (чотирьох) координатним пристроєм ЧПК і електроприводами подач, що дозволяє проводити обробку складних криволінійних поверхонь.

Механізм автоматичної орієнтації шпинделя.

Коробка швидкостей має уже встановлений механізм автоматичної орієнтації шпинделя (рис. 3.2), який представляє собою гідроциліндр, що за допомогою фланця кріпиться до станини. На валу коробки швидкостей закріплена муфта з 2 глибокими пазами, по одному з яких ковзає ролик важеля, який закріплений на штоку, а по іншому - ролик важеля, закріплених на фланці гідроциліндра. Осі роликів зміщені відносно один одного на 10° .

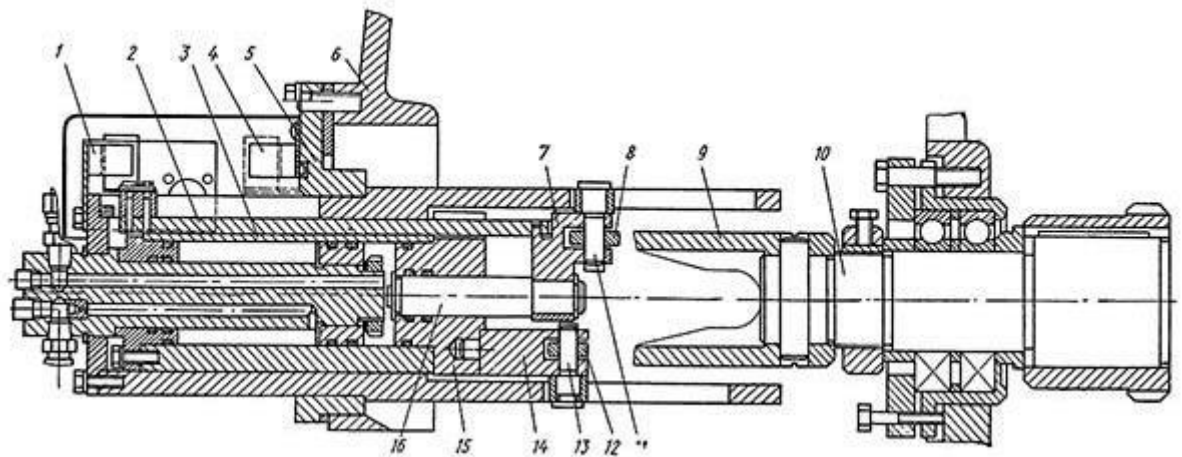


Рис.3.2. Шпиндель верстата.

Інструментальний магазин.

Інструментальний магазин показаний на рис. 3.3. Корпус магазину змонтований на шарикопідшипниках, що встановлені на осі. Також на цій же осі змонтована плита з безконтактними 2-ома кінцевими вимикачами, які при проході через них повідків дають команду на зупинку обертання магазину відповідно з сигналом, що надійшли від ЧПК.

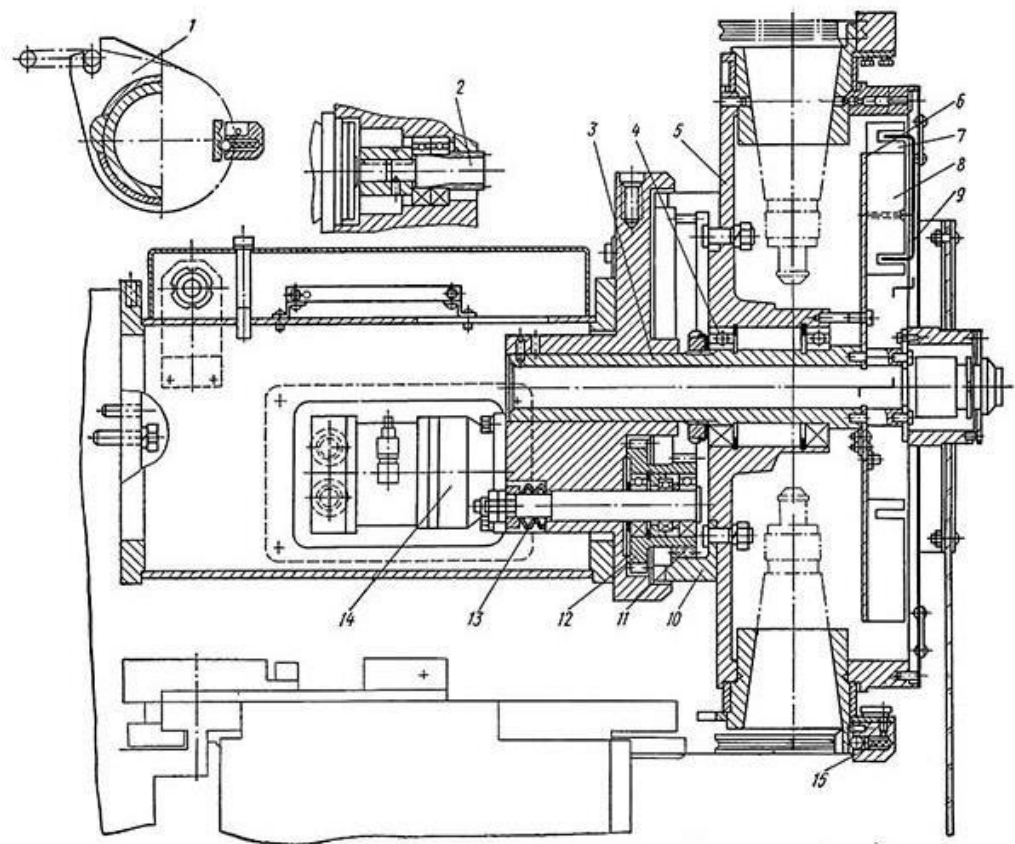


Рис.3.3. Інструментальний магазин.

Основні технічні дані та характеристики верстата ГФ2171.

Габарити і маса верстата	
Габарити верстата (довжина ширина висота), мм	3680 x 4170 x 3150
Маса верстата, кг	6580
Основні параметри	
Клас точності по ГОСТ	Н
Модель пристрою ЧПК	2C45-65
Кількість керованих координат	3
Найменша та найбільша відстань від торця шпинделя до столу, мм	250..500
Відстань від осі шпинделя до вертикальних напрямних станини (виліт), мм	500
Граничні розміри оброблюваних поверхонь (довжина x ширина x висота), мм	850 x 250 x 380
Максимальне навантаження на стіл (по центру), кг	400
Робочий стіл	
Розміри робочої поверхні стола (довжина x ширина), мм	1600 x 400
Число Т-образних пазів Розміри Т-образних пазів	3
Найбільше поздовжнє переміщення столу (X), мм	1010

Найбільше вертикальне переміщення столу (установче)(Z), мм	250
Найбільше переміщення повзуна (Z), мм	260
Межа робочих подач столу і повзуна, мм / хв	3..6000
Швидкість швидких переміщень столу (X, Y) / повзуна (Z), мм / хв	7000
Допустиме зусилля подачі з координування X і Y, Н	15690
Допустиме зусилля подачі з координування Z, Н	9806
Точність позиціонування, мм	0,015
Магазин інструмента	
Ємність магазину інструменту	12
Час зміни інструменту,с	20
Максимальний діаметр фрези торцевої, мм	125
Максимальний діаметр фрези кінцевий, мм	40
Максимальний діаметр свердла, мм	30
Максимальна вага інструменту, кг	15
Виліт інструмента від торця шпинделя, мм, не більше	250

4. Інструментальне забезпечення

4.1. Фрези.

«Фрези являють собою багатозубі інструменти і використовуються на фрезерних верстатах для обробки деталей. Залежно від призначення фрези для верстата мають різну форму і виконують різноманітні роботи»(<https://o-remonte.com/vidy-frez-po-metallu-i-ikh-naznacheniya/>). [8]

Найчастіше застосовують циліндричні та торцеві фрези, які призначені для обробки плоских поверхонь; за допомогою дискових фрез прорізають пази, фрезерують уступи; для прорізання вузьких пазів і відрізки застосовують спеціальні фрези; кінцевими фрезами можна виготовляти шпонкові пази, фрезерувати вузькі поверхні; кутові фрези застосовують для утворення на заготівлі поверхонь, розташованих під певним кутом; для фрезерування фасонних поверхонь застосовують фрези з увігнутим профілем і т. д. Їх виготовляють зі швидкорізальної сталі. Вони можуть бути також оснащені твердосплавними пластинами. В такому випадку можна працювати на високих режимах. Фрези бувають суцільні і складальні, в яких ріжуча частина виготовлена з швидкорізальних сталей або твердих сплавів.

Дискові фрези:



Рис.4.1. Дискова фреза

Дискові фрези є одними з найпоширеніших видів ріжучого інструменту. За допомогою них роблять обрізку деталей, прорізають пази та знімають фаски. Завдяки того, що робоча поверхня може бути нанесена з двох сторін, це дозволяє використовувати оснащення на фрезерних верстатах всіх типів. Розрізняють такі види дискових фрез:

- Відрізні.
- Пазові.
- Прорізні.
- Двосторонні.

Даний вид фрез може бути використаний в найскладніших умовах, коли повноцінний відведення металевої стружки неможливе або затруднене.

Циліндричні фрези:



Рис.4.1.1. Циліндрична фреза

Фрези такого типу використовують для обробки об'ємних деталей. Розрізняють лише циліндричне оснащення з гвинтовими і прямими зубцями. Якщо ж операція нескладна, то використовують інструмент з прямими зубцями, а для складних та якісних операцій - гвинтові зубці.

Торцеві фрези:



Рис.4.1.2. Торцеві фрези зі змінними пластинами

Торцеві фрези застосовують для обробки деталей з плоскими поверхнями. Зазвичай ці фрези виготовляють з високоміцних матеріалів. Їх відмінність в тому, що вони відрізняються високою продуктивністю. Також у торцевих фрез є особливість, вони мають велику кількість зубців.

Черв'ячні фрези:



Рис.4.1.3. Черв'ячна фреза

Мабуть, сама специфічна оснащення з усіх існуючих. Черв'ячна фреза обробляє методом обкатки. Існують такі види черв'ячних фрез:

- Ліві.
- Праві.
- Одне або багато західна.
- Збірні або цільні.
- З шліфованими зубами.

Такі види використовуються для створення складних та багатоступеневих деталей.

Кінцеві фрези:



Рис.4.1.4. Кінцеві фрези

Кінцеві фрези створені для того, щоб зробити уступ чи паз. Існує 2 типи: з великими зубцями – це початкова обробка та дрібними (кінцева обробка).

Обдирні фрези:



Рис.4.1.5. Обдирні фрези

Обдирні фрези створені для того, щоб обробляти уже готові заготовки, які отримані за допомогою лиття або ручного кування.

4.2. Основні види фрезерних оправок

Для торцевих фрез:

«Торцеві фрези, а також деякі дискові, установлюють на оправках які мають коротку циліндричну частину (рис.4.2). На торці оправки є два напрямних сухаря, який захищає фрезу від провертання на оправці. Затягування фрези виробляється гвинтом, вкручувати в торець оправлення»

(<https://stankomach.com/o-kompanii/articles/opravki-dlja-frezernyh-stankov.html>). [9]



Рис.4.2.Оправка для торцевих фрез

Для циліндричних фрез:

До фрез цього типу також відносяться дискові, прорізні, відрізні, фасонні та кутові фрези, тому їх кріплення виконується таким же чином. За способом кріплення ці фрези називають насадними, оскільки вони надягають на оправлення (рис.4.2.1).

Оправлення цього типу можуть мати різну довжину частини, на якій закріплюються фрези. У більшості випадків для захисту інструменту від провороту, посадка на валу оправлення здійснюється за допомогою шпонки в пазу, який фрезерують на всю можливу довжину установки фрези. На кінці оправлення нарізана різьба, на яку накручується підтискної гайка. Для установки фрези в потрібній

частині оправки використовуються втулки, набір яких входить в комплект фрезерного верстата. Втулки мають різну ширину, і шляхом їх підбору фреза розміщується в необхідному місці. Для установки зручні регульовані втулки, які змінюють свою довжину при обертанні корпусу.

Довга оправлення для горизонтально фрезерного верстата закріплюється другим кінцем в сережці хобота. Це забезпечує достатню жорсткість і дозволяє встановити на оправлення більше одного інструмента.

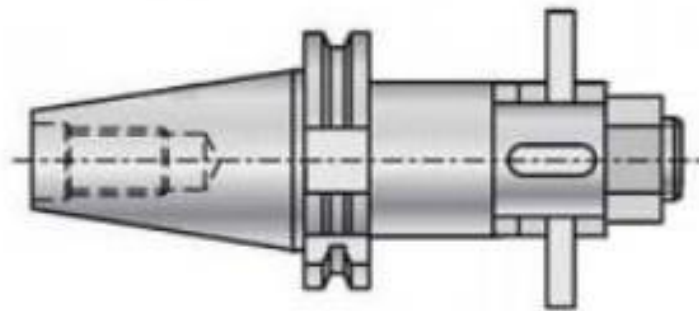


Рис. 4.2.1. Оправка для циліндричних фрез

Для кінцевих фрез і свердел:

При виборі патрона необхідно визначити для яких цілей він буде використовуватися:

- для затиску кінцевої фрези, свердла, мітчики або;
- для обробки сталі, чавуну, нержавіючої сталі або кольорових металів;
- для чорнових, напівчистових або чистових робіт;
- великий обсяг виробництва або невеликими партіями;
- без застосування МОР, зовнішня подача МОР через трубки або подача МОР через інструмент під тиском;

Кінцеві фрези мають менший діаметр, ніж оправлення, тому вони кріпляться не поверх неї, а в отворі. Закріплення фрез і свердел з циліндричним хвостовиком діаметром до 20 мм найзручніше проводити в цангових патронах ER. При великих навантаженнях, у цангових патронів є ймовірність витягування фрези з патрона, проте досить непогана точність по биттю і гнучкість робить їх універсальним патроном для свердління і чистового і напівчистового фрезерування.

Для чорнового фрезерування використовують спеціальні посилені цангові патрони з циліндричної цангою.

Кінцеві фрези мають менший діаметр, ніж оправлення, тому вони кріпляться не поверх неї, а в отворі. Закріплення фрез і свердел з циліндричним

хвостовиком діаметром до 20 мм найзручніше проводити в цангових патронах ER. При великих навантаженнях, у цангових патронів є ймовірність витягування фрези з патрона, проте досить непогана точність по биттю і гнучкість робить їх універсальним патроном для свердління і чистового і напівчистового фрезерування.

Для чорнового фрезерування використовують спеціальні посилені цангові патрони з циліндричної цангою.



Для свердел з циліндричним хвостовиком невеликого діаметра так само застосовуються універсальні свердлильні патрони, в які можна затискати інструмент в дуже широкому діапазоні діаметрів, але тільки свердла, тому що дані патрони не сприймають радіальне навантаження. Зусилля затиску у цих патронів менше ніж у цангових, внаслідок меншої площі контакту з хвостовиком фрези, а отже і ймовірність провороту більше. Для виконання точних робіт застосовуються прецизійні свердлильні патрони.



Так само існує гідравлічний цанговий патрон, в яких зажим цанги здійснюється за рахунок тиску спеціальної рідини - Гідропласт, необхідний тиск досягається шляхом піджима гвинтом мембрану всередині оправлення. Гідравлічна мембрана забезпечує високу зусилля затиску і точність по биттю. Патрон дуже простий у

використанні і не вимагає окремого устаткування, але має досить високу вартість.



Іншим варіантом затиску інструменту з циліндричних хвостовиком є патрон з термообжимом. Отвір в патроні трохи менше, ніж діаметр хвостовика, для зміни інструменту патрон нагрівають індукційної котушкою, щоб він розширився. Точність по биттю дуже хороша при зусиллі затиску від середнього до високого.

Необхідно різне теплове розширення власника і хвостовика інструменту, тому патрони з термообжимом використовуються в основному для цільних твердосплавних інструментів. Для зміни інструменту необхідно спеціальне нагрівальне обладнання, кожен патрон призначений тільки для одного діаметра хвостовика і підведення МОР. Тому термообжим найкраще підходить для спеціального виробництва з інструментальним ділянкою для зміни інструменту.



Для більш високих крутних моментів використовуються інструменти мають хвостовик з лискою, для їх затиску використовуються два типи патрона: патрон для свердел з хвостовиком ISO9766 і патрон Weldon для інструменту з хвостовиком DIN 6535-HB. Лиски забезпечують опір крутний момент і підвищують надійність від витягування, але радіальне биття інструмента в даних патронах значно вище ніж в цангових, що зумовлює їх використання в основному для чорнових робіт.

Патрон для свердел з хвостовиком ISO9766 відрізняється від патрона Weldon лискою на всю довжину хвостовика а не короткою, і шліфованої внутрішньої поверхнею.



Для затиску кінцевих фрез і свердел з конічним хвостовиком використовуються спеціальні патрони з внутрішнім Конусом Морзе. Для фіксації свердел в таких патронах використовується паз під лапку на торці свердла, а для фіксації фрез використовується болт

загортається в торець фрези



Для свердл



Для фрез

Для нарізування різьблення мітчиком:

Для нарізування різьблення застосовуються патрони з посадкою під квадратний хвостовик мітчика.

Існує досить багато конструкція патронів для нарізування різьблення але можна виділити основні.

На сучасних фрезерних верстатах існує два варіанти нарізування різьблення мітчиком:

А) Звичайне різьбонарізання без синхронізації частоти обертання шпинделя з подачею по осі Z

Жорстке нарізування різьблення з синхронізацією частоти обертання шпинделя з подачею по осі Z

При першому варіанті нарізування різьблення необхідно використовувати спеціальні компенсуючі похибка кроку по осі Z

патрони.

При другому варіанті в теорії використовувати патрони з компенсацією не обов'язково, для цього можна застосовувати цангові патрони із затискачем квадрата мітчика чотирма гвинтами



але на практиці рекомендують використовувати мітчикові патрони типу SynchroFlex, з вбудованим гнучким елементом



Для універсальних фрезерних верстатів передбачені патрони з реверсом, для виведення мітчика з отвору.



5. Поворотні столи для фрезерних верстатів.

«Аби розширити технологічні можливості універсальних металорізальних верстатів, застосовуються поворотні столи (рис.5.1). В основному встановлюються вони на фрезерні верстати. Збільшення технічного потенціалу - запорука випуску якісної і унікальної продукції. При використанні поворотних столів знижуються трудовитрати на встановлення та перевстановлення заготовок на столі» (<https://uk.ebolet.com/6202834-turntable-for-milling-machines>). [10]



Рис.5.1. Поворотний стіл.

Робоча поверхня фрезерного верстата переміщається в трьох координатах:

- X - вправо-вліво - поперечна подача;
- Y - вперед-назад - поздовжня подача;
- Z - вгору-вниз - вертикальна подача.

Використання поворотного столу додає ще три координати:

- В - кругове обертання, вісь якого перпендикулярна робочій поверхні;
- З - кругове обертання, вісь якого паралельна робочій поверхні;
- Д - нахил; створюється кут між робочими поверхнями верстата і столу.

Через можливість обертати заготовку практично як куля, поворотні столи називають глобусні.

Види поворотних столів:

Розроблено і випускається декілька типів технологічного оснащення - поворотних столів.

По розташуванню робочої поверхні поділяють на:

- горизонтальні;
- вертикальні.

За виконанням.

1. Поворотні:

- нахиляються;
- горизонтально-вертикальні;
- горизонтальні;

2. Координатні:

- хрестові;
- ділильні;
- порталні.

Пристрій

Конструкція столів, що обертають заготовки, виглядає наступним чином:



Рис.5.2. Конструкція поворотного стола.

- масивний корпус;
 - планшайба;
- черв'ячний гвинт;
- черв'ячне колесо;
- столик з Т-образними пазами;
 - механізм приводу;
- ділительний механізм;
- механізм фіксації.

Види виконуваний робіт

«Глобусні столи для фрезерних верстатів використовують для фрезерування, свердління, розточування, поділу, установки кутів і іншого. При установці на універсальних верстатах крім звичайних переходів можна обробляти заготовки з зовнішньої сторони по колу, закругляючи поверхні або отримувати криволінійні поверхні. Якщо ж їх встановити на верстати з ЧПК, то додатково можна обробляти спіральні і овальні поверхні» (<https://uk.ebolet.com/6202834-turntable-for-milling-machines>). [10]

Різновиди модифікацій.

Аби збільшити темп випуску продукції та їх різноманітність потрібно зробити вибір відповідної моделі поворотної конструкції для дооснащення універсального обладнання (рис.5.3).



Рис.5.3. Поворотний механізм.

Поворотні механізми дозволяють переміщати заготовку в зоні різання не тільки в двох площинах, а й обертати її. Так виконують кругову обробку або фрезерування гвинтових канавок. Здатність створювати невеликий ухил дозволяє встановлювати заготовку з

невеликими кутовими значеннями.

Кут повороту по координаті можливий до 90 градусів. Завдяки цьому відпадає необхідність в перевстановленні похилій заготовки. Але додаткові опори обмежують вихід інструменту.

Ділильний стіл для фрезерного верстата має спеціальний синусний диск, який дозволяє розділити робочу зону на кілька секторів. Зафіксувати в заданому положенні робочу поверхню дозволяє кривошипно пристрій. Для безпеки передбачені замикні елементи.

Найчастіше використовуються поворотні столи для верстатів з ЧПК. Для управління ними застосовують окремий привід. Це дозволяє обробляти деталі в чотирьох площинах.

Для захисту робочої поверхні від ударів, прогинів, вібрацій її покривають захисним шаром. Для цього використовують пластик або бакеліт. До того ж покладена панель захистить ріжучий інструмент від поломки в разі непередбаченого торкання.

Закріплення заготовок.

Для закріплення оброблюваних деталей на робочій поверхні конструкції, яка призначена для обертання заготовок, користуються двома методами (рис.5.4). Перший - це стандартної кріпильної оснащенням через Т-образні пази. Другий метод - використання вакууму.



Рис.5.4. Закріплення заготовок.

При вакуумній фіксації немає механічних пристроїв, що дозволяє вести обробку по всьому периметру заготовки. Насос, відкачуючи повітря, імітує ефект присоски. Стільницю з такою фіксацією деталей можна встановлювати практично на будь-який верстат. Необхідний тільки зовнішній насос або компресор.

Вакуумні модифікації випускаються наступних видів:

- «VAC - MAT. Має жорстку конструкцію з полімерів. Усередині влаштовано безліч окремих, ізольованих один від одного відділень. На них можна вести наскрізну обробку.
- Шліцьові. Призначені для закріплення деталей з маленькою контактною площею або деталей з безліччю отворів.
- Ґратчасті. Покладена заготівля створює матрицю контуру, з якої потім відкачується повітря, надійно закріплюючи деталь.



- З складальними платами. Платами можна зібрати конструкцію для закріплення заготовок великою площею, але невеликої товщини. Підходить для отримання неглибоких пазів або для розмітки.
- Flip - Rod. Має безліч присосок, що дозволяє вести фрезерування з торців»(<https://uk.ebolet.com/6202834-turntable-for-milling-machines>). [10].

Компанія "Рустан" є офіційним дилером провідних світових верстатобудівних фірм, а також підприємств Росії та країн СНД:

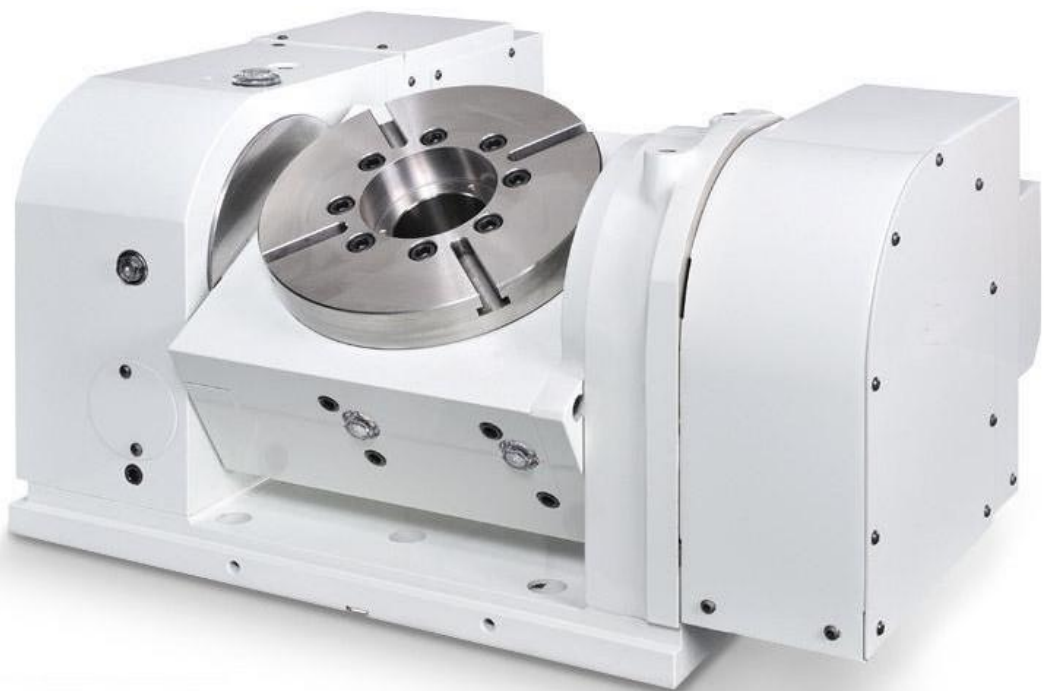


Рис.5.5. Двоосьовий поворотний стіл з нахилом від ЧПК CNCT-100

GSA +

Діаметр стола 120 мм

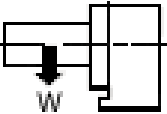
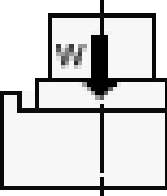
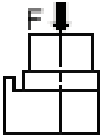
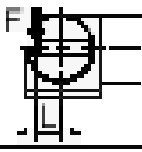
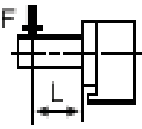
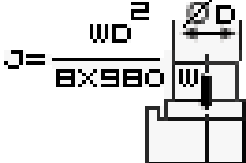
Маса 105 кг

Компактний дизайн дозволяє встановлювати на верстати з довжиною стола від 1 м. Проста установка на традиційні 3-осьові верстати. За допомогою 1-осьового контролера GSA +, що підключається до системи ЧПК через M-коди для програмованого нахилу столу, можна виробляти 5-осьову обробку без зміни конструкції верстата і його електрообладнання.

На вимогу замовника стіл може бути оснащений як гідравлічним, так і пневматичним затискним пристроєм. Для підвищення точності позиціонування може бути встановлений фотоелектричний датчик.

Технічні характеристики CNCT-100		
Параметр	Одиниця вимір.	Значення
Діаметр	мм	120
Висота центру	мм	150
Загальна висота	мм	235
Маса CNCT-100 нетто (без двигуна)	кг	105
Центральний отвір	мм	30 ^{H7}
Ширина Т-пазів	мм	10 ^{H7}
Ширина направляючого сухаря	мм	14 ^{H7}

Поворот та нахил			
Параметр	Одиниця вимір.	Поворот	Нахил
Сервомотор Meltas		HF-75T	HF-75T
Сервомотор Fanuc		a2i	a2i
Сервомотор Siemens		1FK7042	1FK7042
Сервомотор Heidenhein		QSY96A	QSY96A
Передавальне число		1:72	1:120
Кут нахилу	град	-20...120	-20...120
Мінімальний кут	град	0,001	0,001
Максимальні обороти	об/хв	27.8	16.7
Зусилля пневмозатиском	кг*м	12	12
Зусилля гідрозатиском	кг*м	24	24
Точність позиціювання		30''	60''
Повторюваність	с	±4''	

Максимальні навантаження			
Параметр	Схема	Одиниця вимір.	Значення
Максимальне вертикальне навантаження		кг	$W = 20$
Максимальне горизонтальне навантаження		кг	$W = 35$
Максимальне радіальне зусилля		кг	$F = 400$
Максимальне радіальне зусилля		кг*м	$F \times L = 24$
Максимальне радіальне зусилля		кг*м	$F \times L = 30$
Максимальна робоча інерція		кг*см*сек ²	0.87

6. Оцінка жорсткості шпиндельного вузла з використанням модулю аналізу напружень Autodesk Inventor

Шпиндель вертикально - фрезерного верстата з ЧПК ГФ2171 (рис.6).

6.1. Розрахункова модель

1.1. За рахунок спрощення моделі, на деформацію шпинделя переднього кінця впливають:

1. Шпиндель, що зазнав ряд спрощень.
2. Радіально-упорні кулькові підшипник: 90x140.
3. Радіальний дворядний роликовий підшипник: 90x140x37.
4. Радіальний кульковий підшипник: 2шт. 85x130x22.
5. Дистанційні кільця, гайки.
6. Спрощена модель фрези.

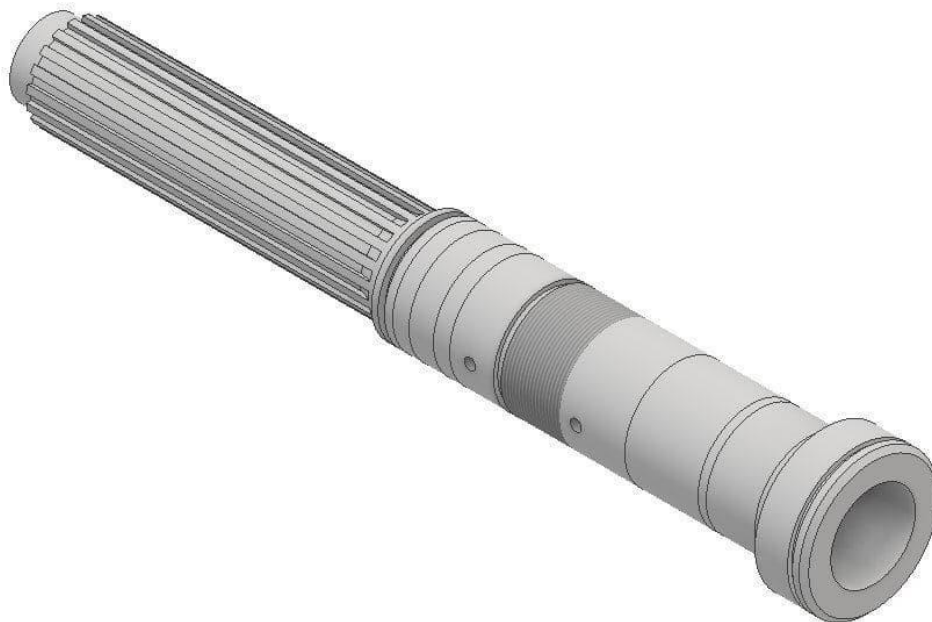


Рис.6. Деталізована модель шпинделя верстата

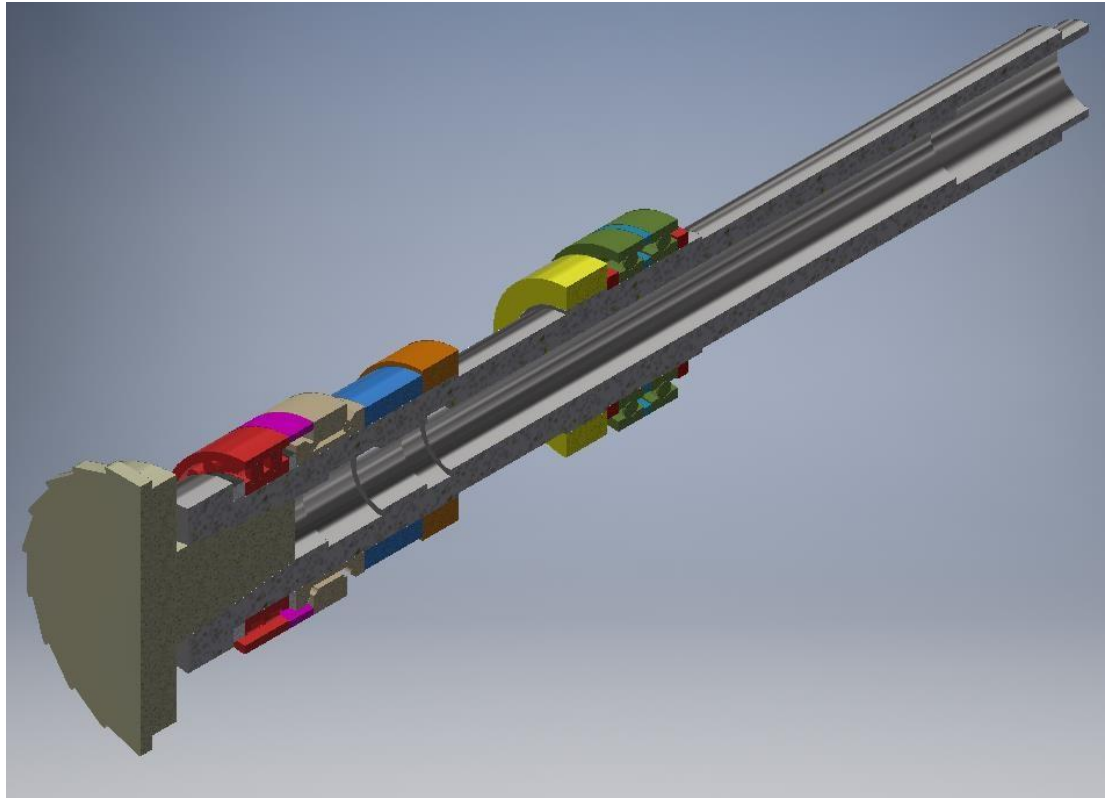


Рис.6.1. Модель шпиндельного вузла

1.2. Розрахункова схема

Чорнове фрезерування площини заготовки зі Сталі 45 торцевою фрезою $D = 52$ мм, $z = 4$; режими різання: ширина фрезерування $B = 25$ мм; глибина фрезерування $t = 5$ мм, швидкість різання $v = 312$ м/хв, подача на оберт $S = 0,4$ мм/об, частота обертання шпинделя $n = 1910$ об/хв.

1. Прикладені до зуба фрези сили різання,: $F_z = 750$ Н;
 $F_y = 375$ Н; $F_x = 225$ Н; ($F_\Sigma = 868$ Н).
2. Крутний момент, прикладений до шпонки $M_{кр} = 39$ Нм.

1.3. Налаштування опор

«Опора» - до циліндричних поверхонь зовнішніх кілець радіально-упорних кулькових підшипників;

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

1.4. На рис.6.1.2 зображені жовтими стрілками – сила та крутний момент, білими піктограмами– опори та лінії сітки.

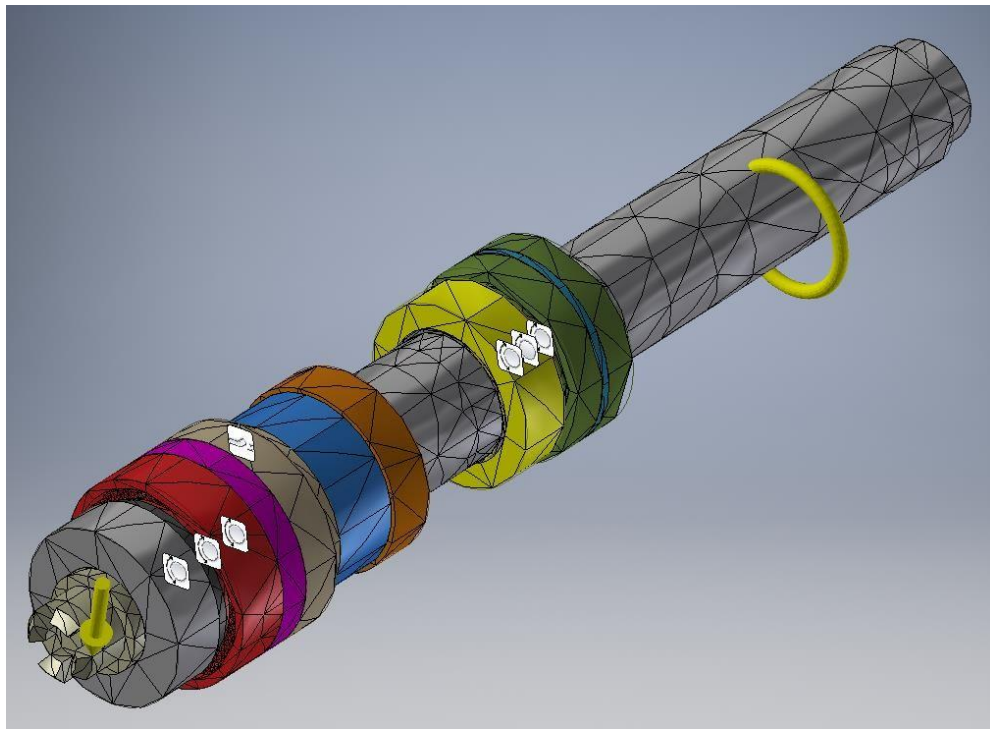
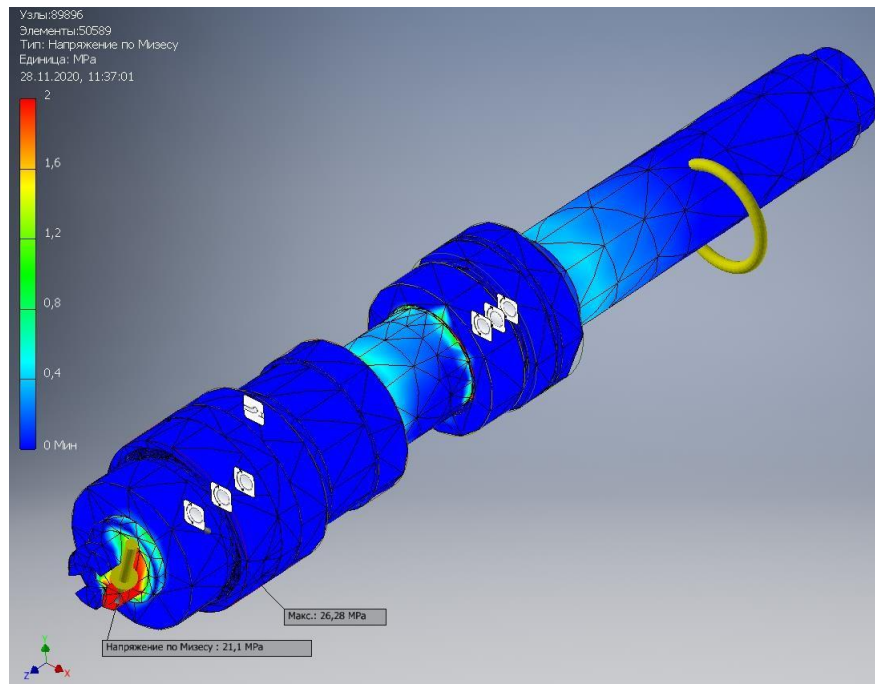


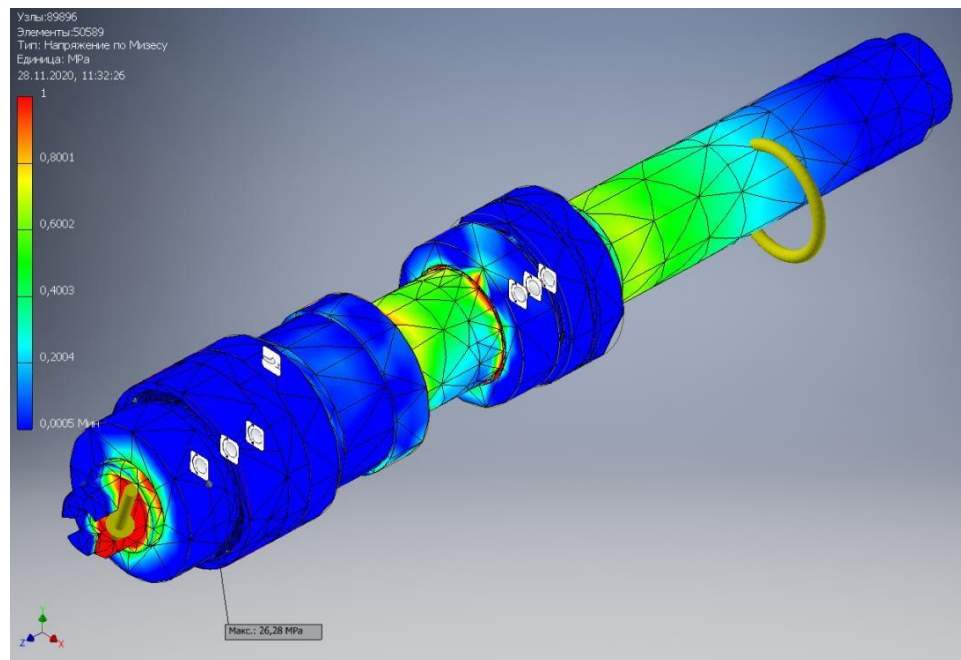
Рис.6.1.2. Шпиндельний вузол

6.2. Результати моделювання

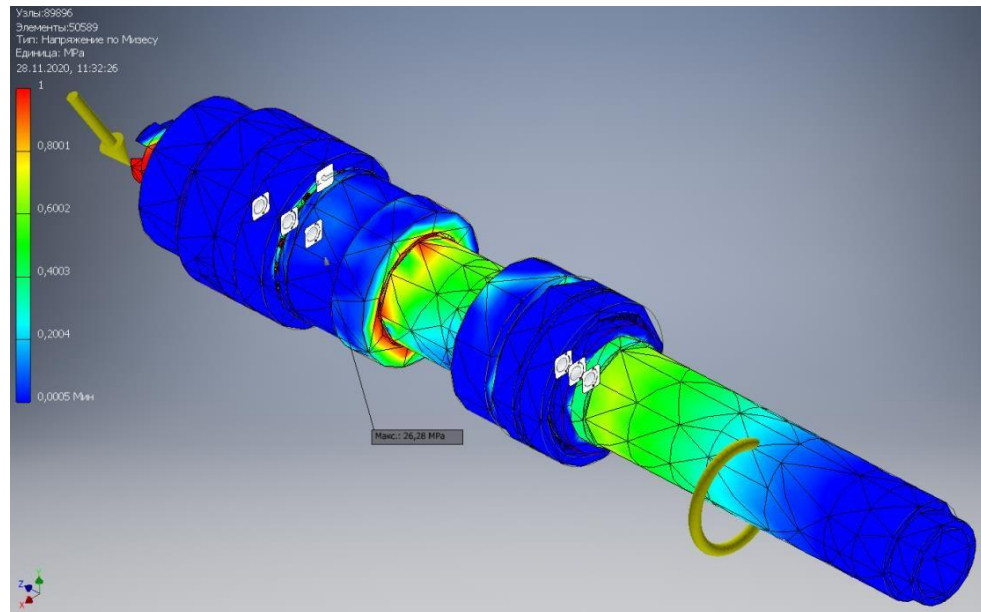
Результати моделювання наведені на рис. 6.2, 6.2.1.



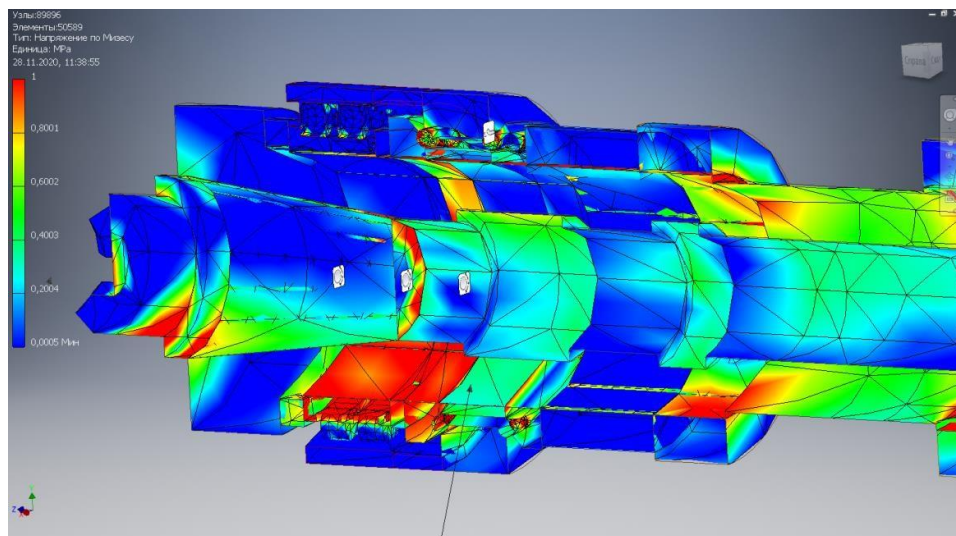
а) Загальний розподіл напружень



б) Передній кінець шпинделя



в) Задня частина шпинделя



г) Кільця та шарики підшипників

Рис.6.2. Розподіл напружень на різних ділянках моделі

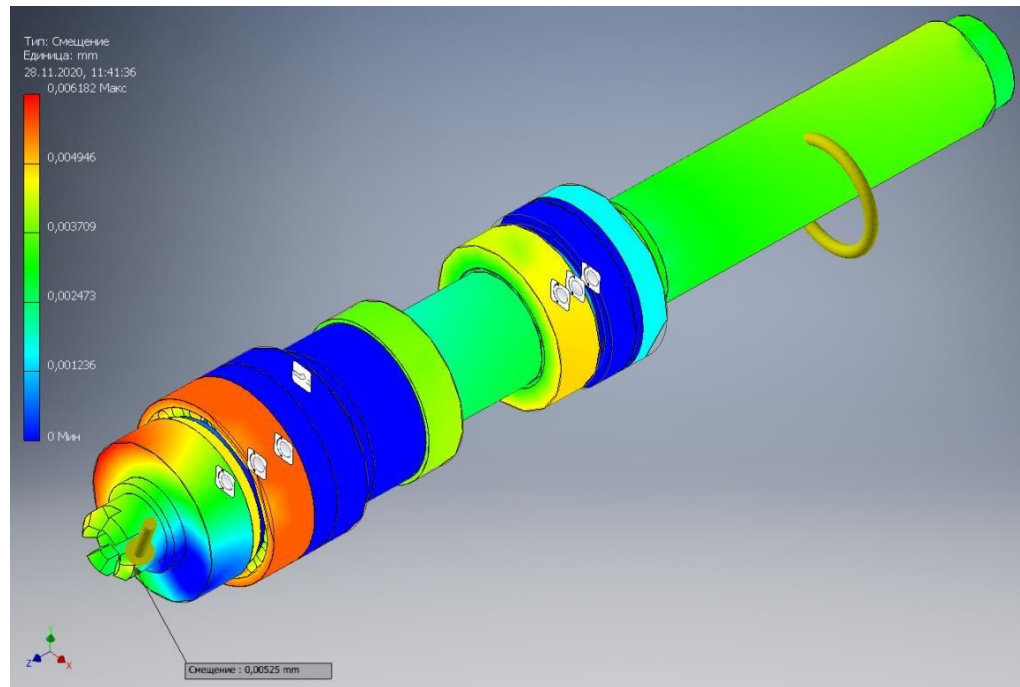


Рис.6.2.1. Сумарне зміщення

Величини зміщення зубця фрези: $\Delta_{\Sigma} = 5,250$ мкм; $\Delta_z = 4,904$ мкм;
 $\Delta_y = 1,717$ мкм.

Значення жорсткості:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{\Delta_{\Sigma}} = \frac{0,868 \text{ кН}}{5,250 \text{ мкм}} = 0,1653 \frac{\text{кН}}{\text{мкм}};$$

$$\delta_z = \frac{F_z}{\Delta_z} = \frac{0,750 \text{ кН}}{4,904 \text{ мкм}} = 0,1529 \frac{\text{кН}}{\text{мкм}};$$

$$\delta_y = \frac{F_y}{\Delta_y} = \frac{0,375 \text{ кН}}{1,717 \text{ мкм}} = 0,218 \frac{\text{кН}}{\text{мкм}}.$$

Висновки: Була проаналізована жорсткість шпиндельного вузла вертикально-фрезерного верстата с ЧПК ГФ2171 при типовому режимі обробки.

7.Обробка деталі з використанням програми HEIDENHAIN.

Аби забезпечити надійну точність та надійність використовують датчики фірми HEIDENHAIN в промиловості.

Точність вимірювання довжини визначають наступні параметри:

- якість зчитування сигналу;
- точність штрихів шкали;
- похибки взаємного розташування зчитувальної головки та шкали;
- якість обробки сигналу.

Точність датчиків залежить від методів якими вони виготовляються. Датчики використовують прецизійні шкали з поділками у вигляді штрихової сітки з періодом від 0,25мм до 10мм. Завдяки спеціальному методу нанесення поділки, забезпечується кінцева точність.

Існує фотоелектричний спосіб зчитування, який завдяки безконтактній обробці виключає зношування робочих елементів. Таким способом датчик розпізнає штрихи шириною в декілька мікрометрів та генерує сигнали з малим періодом. Використовуються два методи зчитування: інтерферентний метод для дуже малих періодів штрихів та метод відображення штрихів шкали від 20мм до 40мм» (Коноваленко Ю. О. Аналіз методів вимірювання та точності лінійних датчиків фірми HEIDENHAIN/ Ю.О. Коноваленко, В.А. Ковальов // Тези доповіді XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні», 19-30 травня 2019 р. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Режим доступу до ресурсу:

<http://imm-mmi.kpi.ua/imm2019/paper/view/17584>). [14]

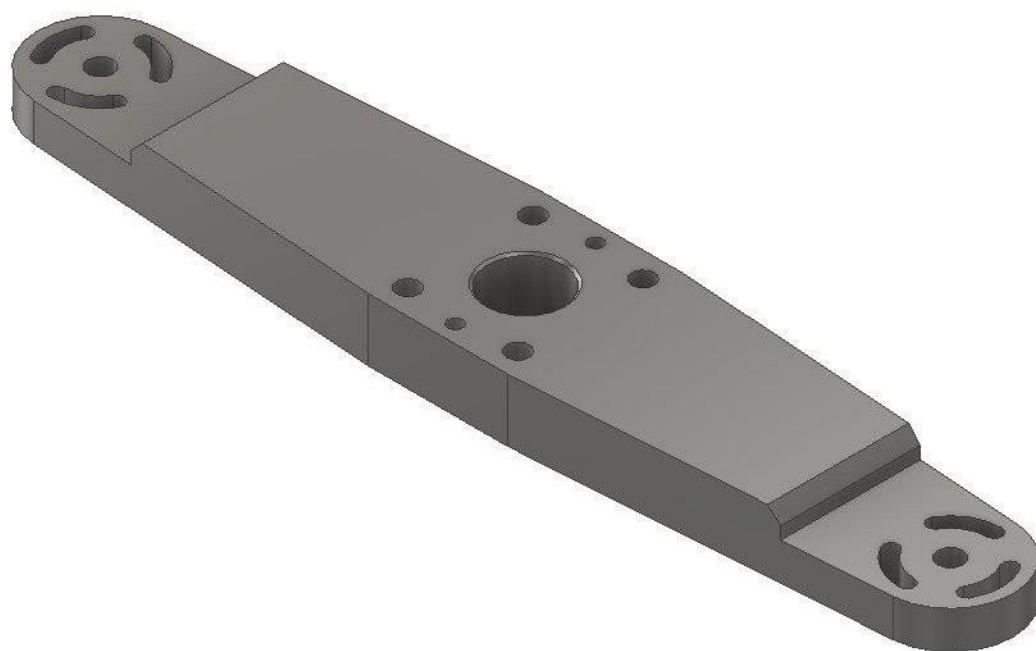


Рис.7. Деталізована модель руки робота

Обираємо наступну послідовність обробки поверхонь деталі:

1. Фрезерування контуру.
2. Фрезерування верхньої площини.
3. Фрезерування 2 карманів.
4. Фрезерування 6 пазів.
5. Свердління центрального отвору.
6. Центрування отворів.
7. Свердління 4 отворів $\varnothing 9H12$.
8. Свердління 2 отворів $\varnothing 6H12$.
9. Свердління 2 отворів $\varnothing 7,8H12$.
10. Розвертання центрального отвору $\varnothing 30H7$.
11. Розвертання 2 отворів $\varnothing 8H7$.

Результати призначення режимів різання представлено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Дані для написання програми

№	Зміст переходу	Інструмент	Подача F, мм/хв	Швидкість різання, V, м/хв	Частота обертів S, об/хв
1	Фрезерування контуру	Фреза концева Ø 30, T5K10	150	47	500
	Фрезерування верхньої площини		360	56,5	600
2	Фрезерування 2 карманів	Фреза концева Ø 20, T5K10	100	22	350
3	Фрезерування 6 пазів	Фреза концева Ø 6, P6M5	800	30	1600
4	Свердління центрального отвору	Свердло спіральне Ø 29,8, P18	135	40	450
5	Центрування отворів	Свердло центрувальне, Ø 5, P18	150	25	1500
6	Свердління 4 отворів	Свердло спіральне Ø 9, P18	100	28	1000
7	Свердління 2 отворів	Свердло спіральне Ø 6, P18	100	25	1350
8	Свердління 2 отворів	Свердло спіральне Ø 7,8, P18	100	25	1000
9	Розвертання центрального отвору	Розвертка Ø 30, P6M5	450	47	500
10	Розвертання 2 отворів	Розвертка Ø 8, P6M5	240	7,5	300

2. Складання програми обробки

Було використано стандартні цикли обробки, такі як фрезерування площини, фрезерування пазів, центрування, свердління, розвертання отворів.

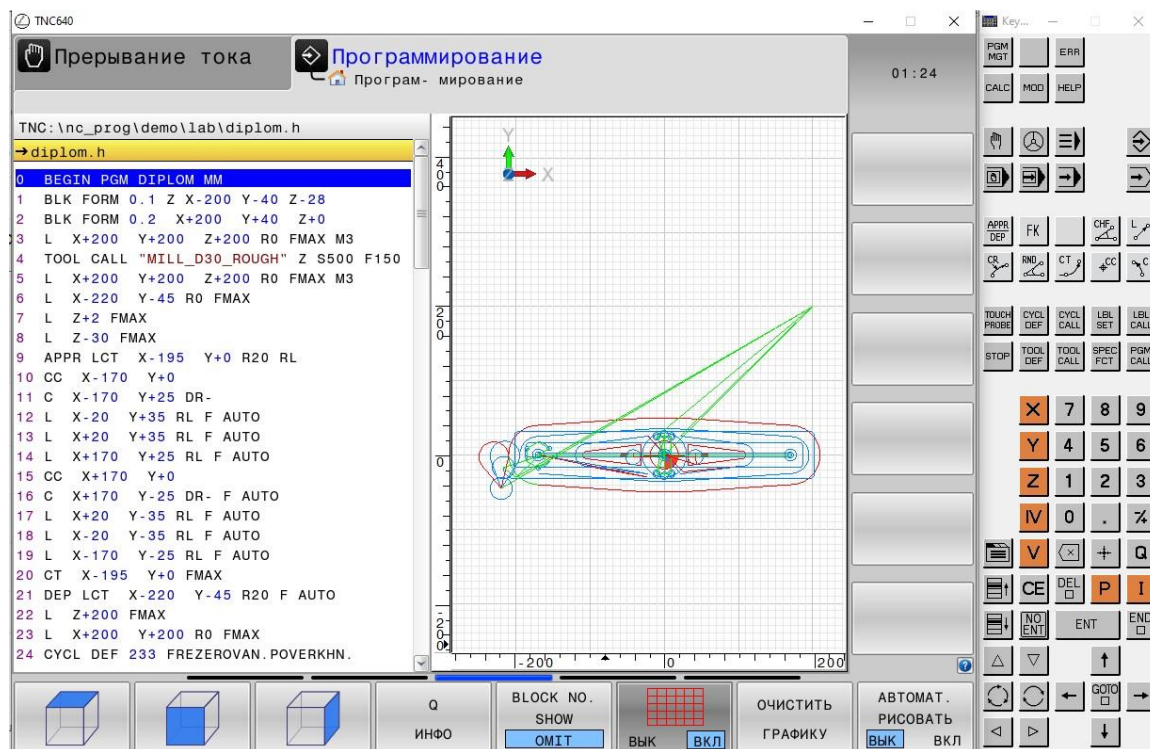


Рисунок 7.2- Интерфейс режима програмування

Складена програма виглядає наступним чином:

```

0 BEGIN PGM DIPLOM MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-200 Y-40 Z-28
2 BLK FORM 0.2 X+200 Y+40 Z+0
3 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3
4 TOOL CALL "MILL_D30_ROUGH" Z S500 F150
5 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3
6 L X-220 Y-45 R0 FMAX
7 L Z+2 FMAX
8 L Z-30 FMAX
9 APPR LCT X-195 Y+0 R20 RL
10 CC X-170 Y+0
11 C X-170 Y+25 DR-
12 L X-20 Y+35 RL F AUTO
13 L X+20 Y+35 RL F AUTO
14 L X+170 Y+25 RL F AUTO
15 CC X+170 Y+0
16 C X+170 Y-25 DR- F AUTO
17 L X+20 Y-35 RL F AUTO
18 L X-20 Y-35 RL F AUTO
19 L X-170 Y-25 RL F AUTO
20 CT X-195 Y+0 FMAX
21 DEP LCT X-220 Y-45 R20 F AUTO
22 L Z+200 FMAX
23 L X+200 Y+200 R0 FMAX
24 CYCL DEF 233 FREZEROVAN.POVERKHN.~
    Q215=+0 ;OBRABOTKA ~
    Q389=+4 ;MILLING STRATEGY ~
    Q350=+1 ;NAPRAVL.FREZEROVAN. ~
    Q218=+400 ;DLINA 1-OJ STORONY ~
    Q219=+60 ;DLINA 2-OJ STORONY ~
    Q227=+0 ;KOORD.POWIERCH. ~
    Q386=-3 ;KONECHN.TOCHKA 3 OSI ~
    Q369=+0 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
    Q202=+1 ;MAX.GLUBINA VREZAN. ~
    Q370=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~
    Q207=+350 ;PODACHA FREZER. ~
    Q385=+500 ;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=+0 ;RADIUS ZAKRUGL. UGLA ~
    Q368=+0 ;PRIPUSK NA STORONU ~
    Q338=+0 ;WREZ. CHISTOW.OBR.
25 L X-200 Y-30 R0 FMAX M99
26 TOOL CALL "MILL_D20_FINISH" Z S350 F100
27 CYCL DEF 14.0 KONTUR
28 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA1
29 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~
    Q1=-20 ;GLUBINA FREZEROWANIA ~
    Q2=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~
    Q3=+0 ;PRIPUSK NA STORONU ~
    Q4=+0 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
    Q5=+0 ;KOORD. POVERHNOSTI ~
    Q6=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q7=+50 ;BEZOPASNAYA VYSOTA ~
    Q8=+0 ;ROUNDING RADIUS ~
    Q9=+1 ;ROTATIONAL DIRECTION
30 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~
    Q10=-5 ;GLUBINA WREZANJA ~
    Q11=+350 ;PODACHA NA WREZANJE ~
    Q12=+500 ;FEED RATE F. ROUGHNG ~
    Q18=+0 ;INST.CHER.OBR. ~
    Q19=+0 ;FEED RATE FOR RECIP. ~
    Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~
    Q401=+100 ;FEED RATE FACTOR ~
    Q404=+0 ;FINE ROUGH STRATEGY
31 CYCL CALL
32 CYCL DEF 14.0 KONTUR
33 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA2
34 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~
    Q1=-20 ;GLUBINA FREZEROWANIA ~
    Q2=+1 ;PEREKRITIE TRAEKTOR. ~
    Q3=+0 ;PRIPUSK NA STORONU ~
    Q4=+0 ;PRIPUSK NA GLUBINU ~
    Q5=+0 ;KOORD. POVERHNOSTI ~
    Q6=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
    Q7=+50 ;BEZOPASNAYA VYSOTA ~
    Q8=+0 ;ROUNDING RADIUS ~
    Q9=+1 ;ROTATIONAL DIRECTION
35 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~
    Q10=-5 ;GLUBINA WREZANJA ~
    Q11=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
    Q12=+500 ;FEED RATE F. ROUGHNG ~
    Q18=+0 ;INST.CHER.OBR. ~
    Q19=+0 ;FEED RATE FOR RECIP. ~
    Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~
    Q401=+100 ;FEED RATE FACTOR ~
    Q404=+0 ;FINE ROUGH STRATEGY
36 CYCL CALL
37 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
38 TOOL CALL "MILL_D6_ROUGH" Z S1600 F800
39 CYCL DEF 254 KRUGOW.KANAWKA ~
    Q215=+0 ;OBRABOTKA ~
    Q219=+6 ;SCHIRINA KANAWKI ~
    Q368=+0 ;PRIPUSK NA STORONU ~

```

Q375=+35 ;DIAMETR OBRAZUI. ~
 Q367=+0 ;BAZA DLJA DLINY PAZA ~
 Q216=-170 ;1-AJA KOORD.CENTRA ~
 Q217=+0 ;2-JA KOORD.CENTRA ~
 Q376=+30 ;UGOL NACHAL.TOCHKI ~
 Q248=+60 ;UGLOWAJA DLINA ~
 Q378=+120 ;SCHAG UGLA ~
 Q377=+3 ;CHISLO POWTORENIJ ~
 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. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q366=+2 ;TIP VREZANIYA ~
 Q385=+500 ;PODACHA CHIST. OBRABOTKI ~
 Q439=+0 ;FEED RATE REFERENCE
 40 L X-170 Y+0 R0 FMAX M99
 41 TOOL CALL 245 Z S450 F135
 42 L X+0 Y+0 Z+3 FMAX
 43 L Z-40 F AUTO
 44 L Z+3 FMAX
 45 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 46 TOOL CALL 203 Z S1600 F800
 47 CYCL DEF 240 ZENTRIROVANIE ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q343=+1 ;VIBOR DIAM./GLUBINA ~
 Q201=-2 ;GLUBINA ~
 Q344=-10 ;DIAMETR ~
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ.
 48 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
 Q225=+0 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=-28 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q237=+0 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+56 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+0 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+2 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 49 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
 Q225=+0 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=-28 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q237=+0 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+56 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+0 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+2 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 50 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
 Q225=-10.5 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=-25 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q237=+20 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+50 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+2 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+2 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~

Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 51 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 52 TOOL CALL 232 Z S1000 F100
 53 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q201=-32 ;GLUBINA ~
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
 Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
 Q395=+0 ;DEPTH REFERENCE
 54 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
 Q225=+0 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=-28 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q237=+0 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+56 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+0 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+2 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 55 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99
 56 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3
 57 TOOL CALL 228 Z S1350 F100
 58 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q201=-32 ;GLUBINA ~
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
 Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
 Q395=+0 ;DEPTH REFERENCE
 59 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
 Q225=-10.5 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=-25 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q237=+20 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+50 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+2 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+2 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 60 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99
 61 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 62 TOOL CALL 235 Z S1000 F100
 63 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q201=-32 ;GLUBINA ~
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q202=+5 ;GLUBINA WREZANJA ~
 Q210=+0 ;WYDER. WREMENI WWER. ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNNOSTI ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
 Q395=+0 ;DEPTH REFERENCE
 64 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~
 Q225=-170 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=+0 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~

Q237=+340 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+0 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+2 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+0 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 65 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99
 66 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 67 TOOL CALL 245 Z S500 F450
 68 CYCL DEF 201 RAZWIORTYWANIE ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q201=-30 ;GLUBINA ~
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
 Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ.
 69 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99
 70 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX
 71 TOOL CALL 231 Z S300 F240
 72 CYCL DEF 201 RAZWIORTYWANIE ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q201=-28 ;GLUBINA ~
 Q206=+150 ;PODACHA NA WREZANJE ~
 Q211=+0 ;WYDER.WREMENI WNIZU ~
 Q208=+99999 ;PODACHA WYCHODA ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ.
 73 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ~
 Q225=-170 ;1-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q226=+0 ;2-JA KOORD.NACH.TOCH ~
 Q237=+340 ;SCHAG PO 1-OJ OSI ~
 Q238=+0 ;SCHAG PO 2-OJ OSI ~
 Q242=+2 ;KOLICH.RIADOW ~
 Q243=+0 ;KOLICH.STROK ~
 Q224=+0 ;UGOL POWOROTA ~
 Q200=+2 ;BEZOPASN.RASSTOYANIE ~
 Q203=+0 ;KOORD. POVERHNOСТИ ~
 Q204=+50 ;2-YE BEZOP.RASSTOJ. ~
 Q301=+1 ;DWISH.NA BEZ.WYSOTU
 74 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99
 75 L X-170 Y+0 R0 FMAX M99
 76 LBL 1
 77 L X-22 Y-25.5 RR
 78 L X-105 Y-15 R0
 79 CR X-105 Y+15 R+15 DR-
 80 L X-22 Y+25.5
 81 LBL 0
 82 LBL 2
 83 L X+22 Y-25.5 RL
 84 L X+105 Y-15 R0
 85 CR X+105 Y+15 R+15 DR+
 86 L X+22 Y+25.5
 87 LBL 0
 88 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M30
 89 END PGM DIPLOM MM

3. Тестування програми

Тестування програми обробки деталі «Рука робота» представлено на рисунку 7.3.

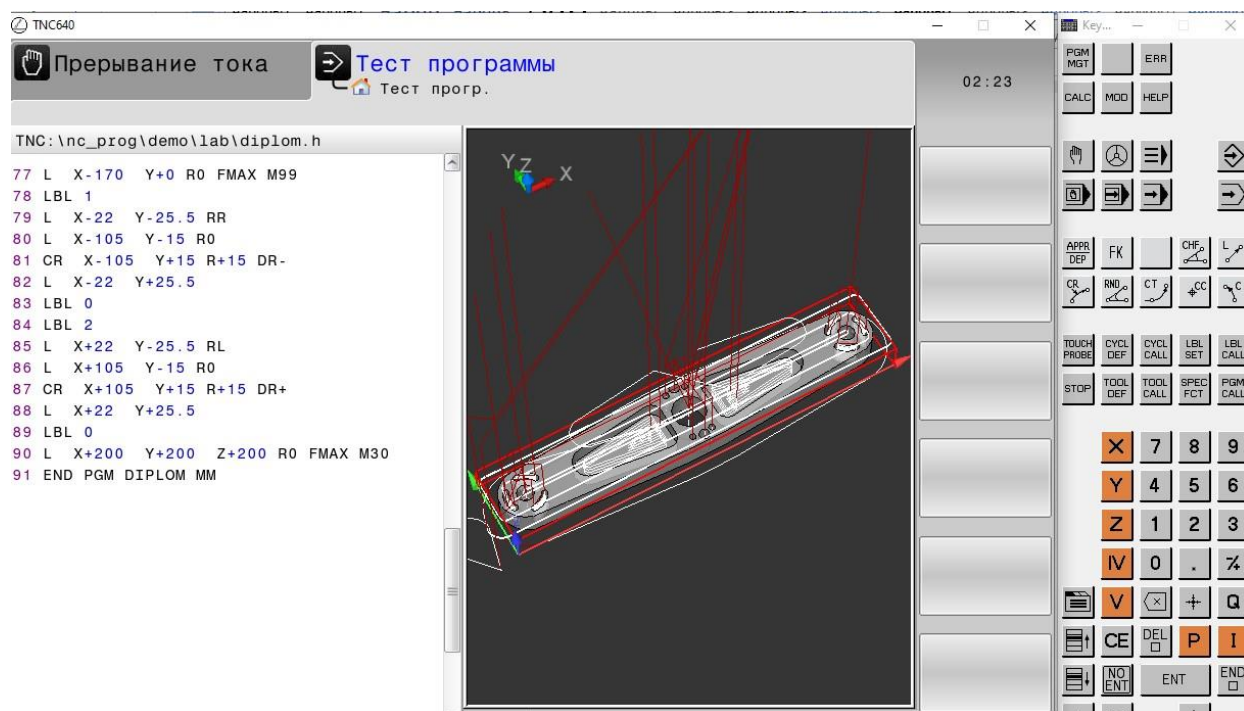


Рисунок 7.3 – Интерфейс режиму тестування програми

Тестування програми обробки деталі успішне, що показало її працездатність.

Програма складається з 91 кадрів при використанні 12 інструментів.

Час обробки деталі склав 40 хвилини і 15 секунд.

ВИСНОВКИ

В ході магістерського проекту виконані заходи по розширенню технологічних можливостей фрезерного верстата з числовим програмним керуванням мод. ГФ2171.

У верстаті базової моделі застосовувалася обробка заготовок в 3-ьох координатах, що недостатньо на сьогоднішній день, тому пропонується використовувати поворотний стіл для реалізації 5-ти координат при обробці заготовок. Для розширення технологічних можливостей також використовуємо сучасне інструментальне забезпечення, яке об'єднує сучасні конструкції різних фрез передових фірм. Використання поворотного столу викликало необхідність заміни програмного забезпечення на сучасне з більшими можливостями. Було вибрано програмне забезпечення фірми HEIDENHAIN, яка займає передові позиції на світовому ринку та забезпечує ефективне керування поворотним столом.

Використання поворотного столу зменшує трудовитрати на встановлення та перевстановлення заготовок та забезпечує ефективну обробку заготовок. За моїми дослідженнями, я обрала двоосьовий поворотний стіл мод. CNCT-100 GSA+ фірми "Рустан". Його компактний дизайн дозволяє встановлювати на верстаті з довжиною стола від 1 м. За допомогою одноосьового контролера GSA+, що підключається до системи ЧПК через М-коди для програмованого нахилу столу, можна виконувати 5-осьову обробку без зміни конструкції верстата та його електрообладнання.

На вимогу стіл може бути оснащений як гідравлічним, так і пневматичним затискним пристроєм. Для підвищення точності

позиціювання може бути встановлений фотоелектричний датчик. А для підвищення точності позиціювання виконавчих органів використані лінійні датчики закритого типу фірми HEIDENHAIN, які дозволяють забезпечити точність в межах сотих долей міліметра. Також була розроблена деталізована модель шпинделя в SolidWorks та розрахована податливість шпиндельного вузла з використанням модулю аналізу напружень Autodesk Inventor.

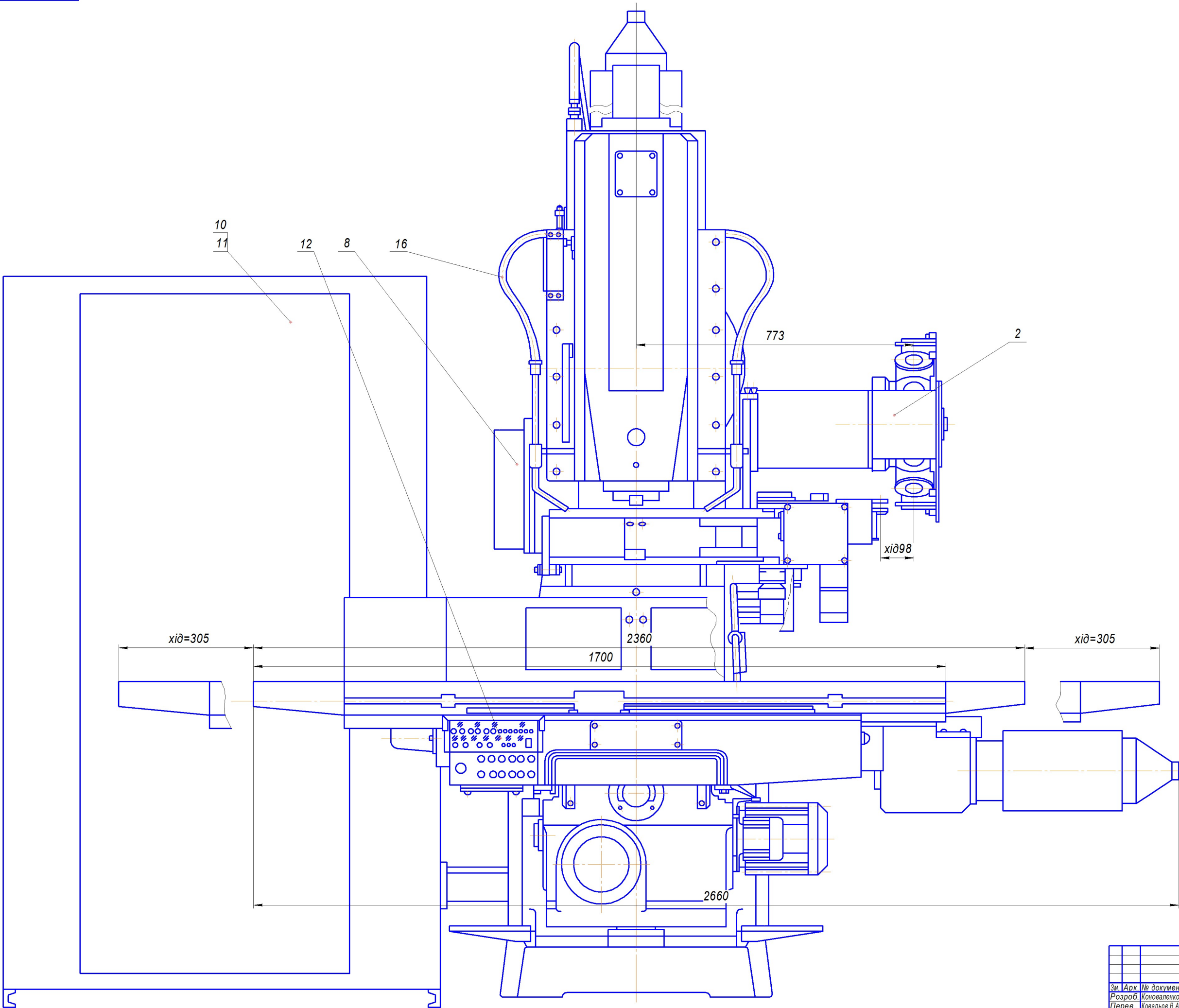
Для обробки типової деталі розроблена програма в системі програмного забезпечення фірми HEIDENHAIN та деталізована модель деталі в SolidWorks.

Список літератури

1. [1]. <http://bcpl.pto.org.ua/index.php/dopomoga/itemlist/category/306-10-frezerni-verstati>
2. [2]. <https://stanok-kpo.ru/stati/64.html>
3. [3]. <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/1275>
4. [4]. <https://stanok-kpo.ru/stati/64.html>
5. [5]. <https://buklib.net/books/36318/>
6. [6]. <http://met-all.org/oborudovanie/stanki-frezernye/sovremennye-frezernye-stanki-po-metallu.html>
7. [7]. http://stanki-katalog.ru/sprav_gf2171.htm
8. [8]. <https://o-remonte.com/vidy-frez-po-metallu-i-ikh-naznacheniya/>
9. [9]. <https://stankomach.com/o-kompanii/articles/opravki-dlja-frezernyh-stankov.html>
10. [10]. <https://uk.ebolet.com/6202834-turntable-for-milling-machines>
11. 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.
12. Sandvik Coromant ToolGuide [Електронний ресурс] URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/Pages/toolguide.aspx>.
13. Walter Machining Calculator [Електронний ресурс] URL: <https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/wmc/index.html>
14. Коноваленко Ю. О. Аналіз методів вимірювання та точності лінійних датчиків фірми HEIDENHAIN/ Ю.О. Коноваленко, В.А. Ковальов // Тези доповіді XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації

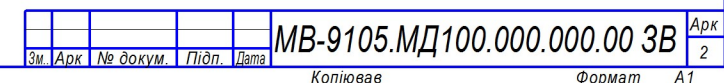
молоді в машинобудуванні», 19-30 травня 2019 р. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2019/paper/view/17584>

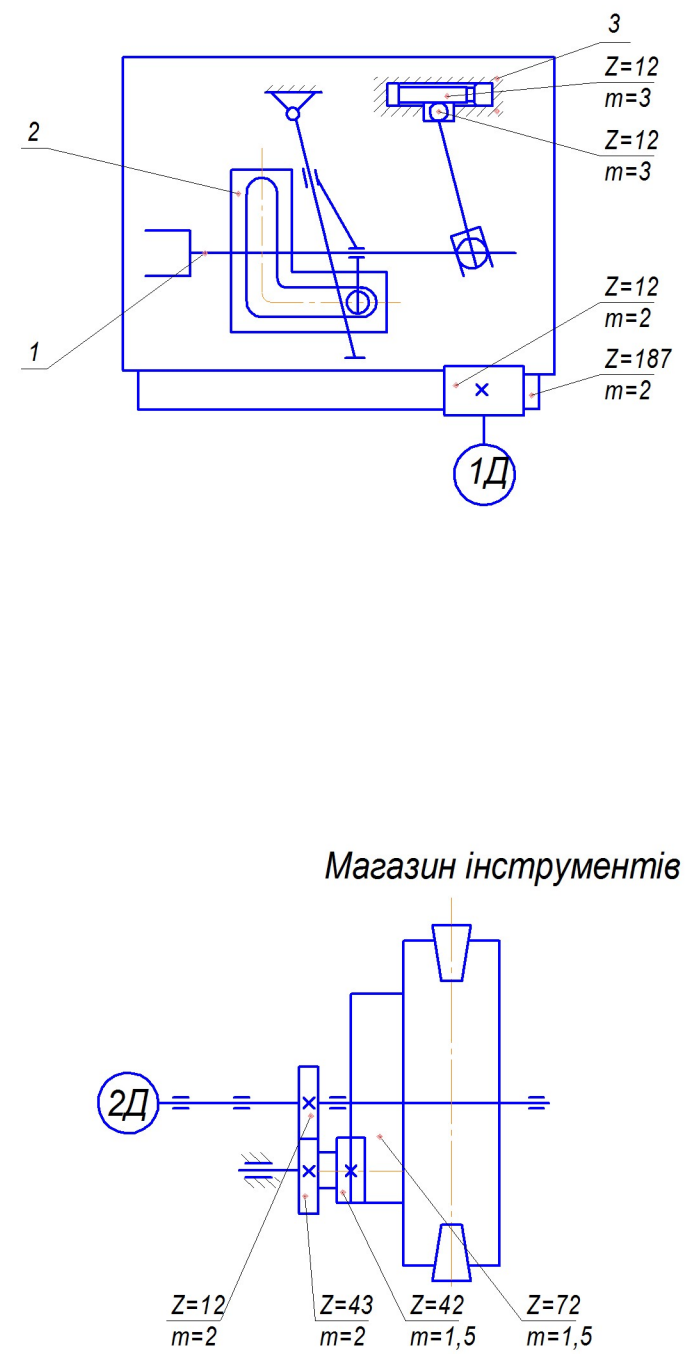
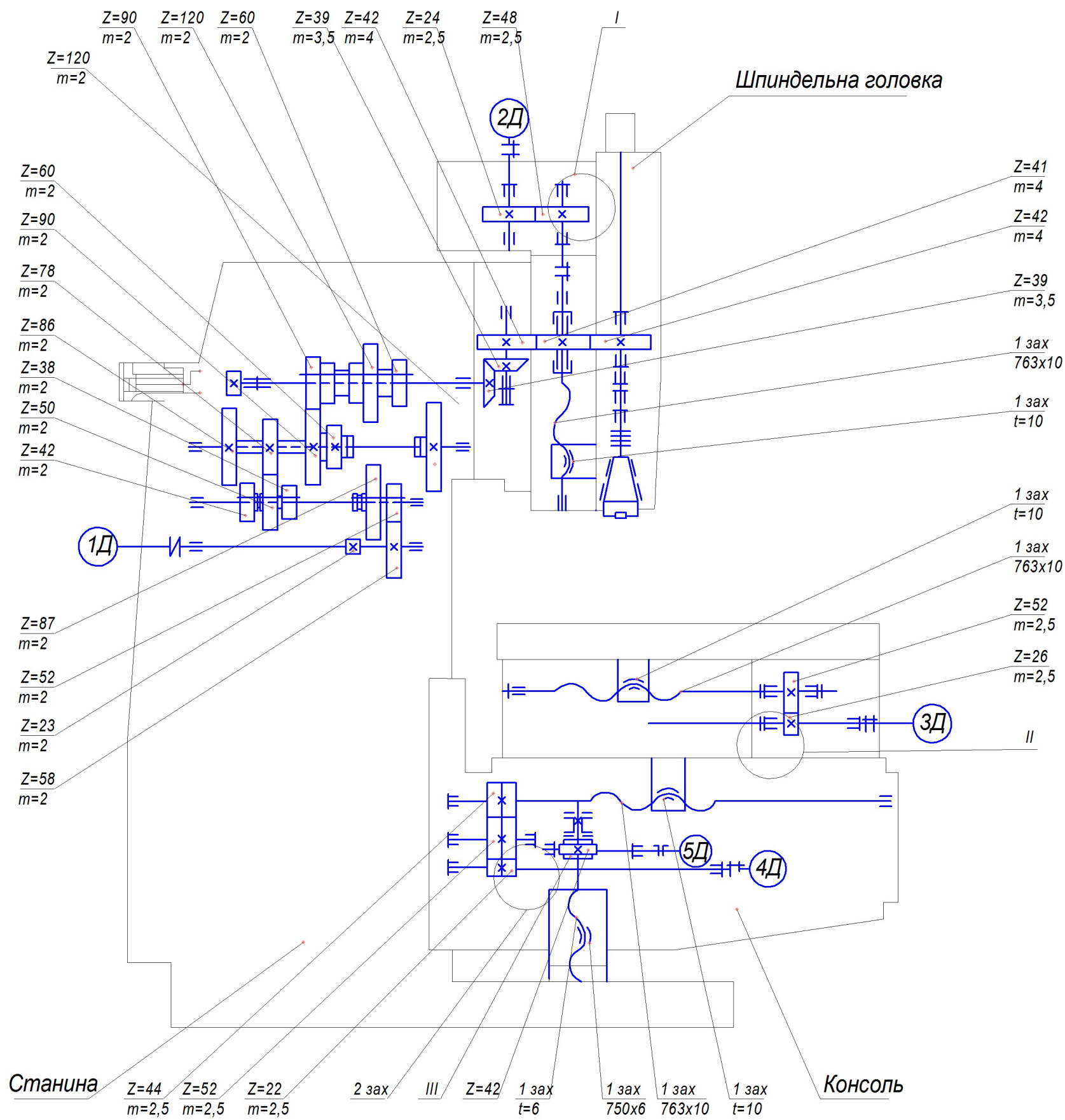
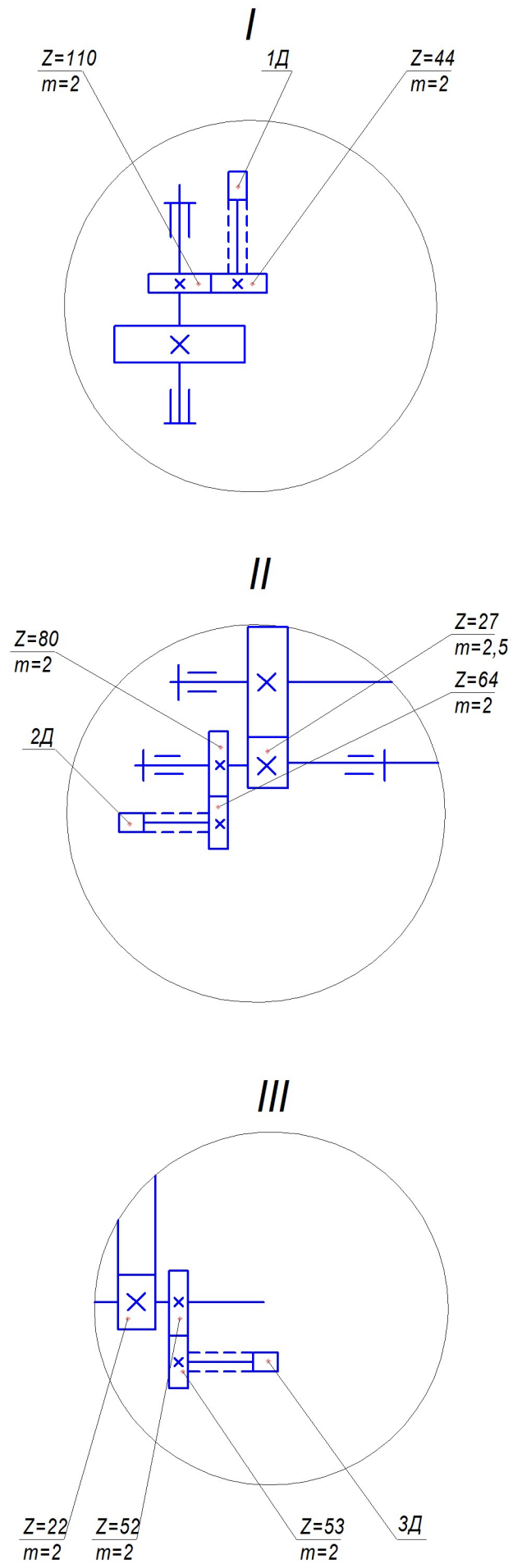
15. Офіційний сайт Heidenhain [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.heidenhain.ru/fileadmin/pdb/media/img/350457-R3_Lieferuebersicht_ru.pdf



Загальні технічні характеристики верстата ГФ2171		
№	Характеристика	Значення
1	Габаритні розміри верстата, мм	3660x4170x3150
2	Граничні розміри заготовки, мм	850x250x380
3	Число керованих координат	3
4	Граничні відстані від торця шпинделя до столу, мм	250..500
5	Відстань від осі шпинделя до вертикальних напрямних станини, мм	500
6	Розміри робочого стола, мм	1600x400
7	Точність позиціонування по осям, мм	0,015
8	Швидке переміщення по осям, мм/хв	7000
9	Робоча подача, мм/хв	3..6000
10	Діапазон швидкостей шпинделя, об/хв	50..2500
11	Число інструментів, шт	12
12	Час зміни інструменту, с	20

					МВ-9105мп.МД100.000.000.00 3В		
					Вертикально-фрезерний верстат		
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Розроб.		Коноваленко			В		1
Перев.		Ковальов В.А			Загальний вигляд		
Т.контр.					Арк. 1	Аркуше 2	
Н.контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського,		
Затв.		Ковальов В.А			ММІ,КМ,зр. МВ-91мп		

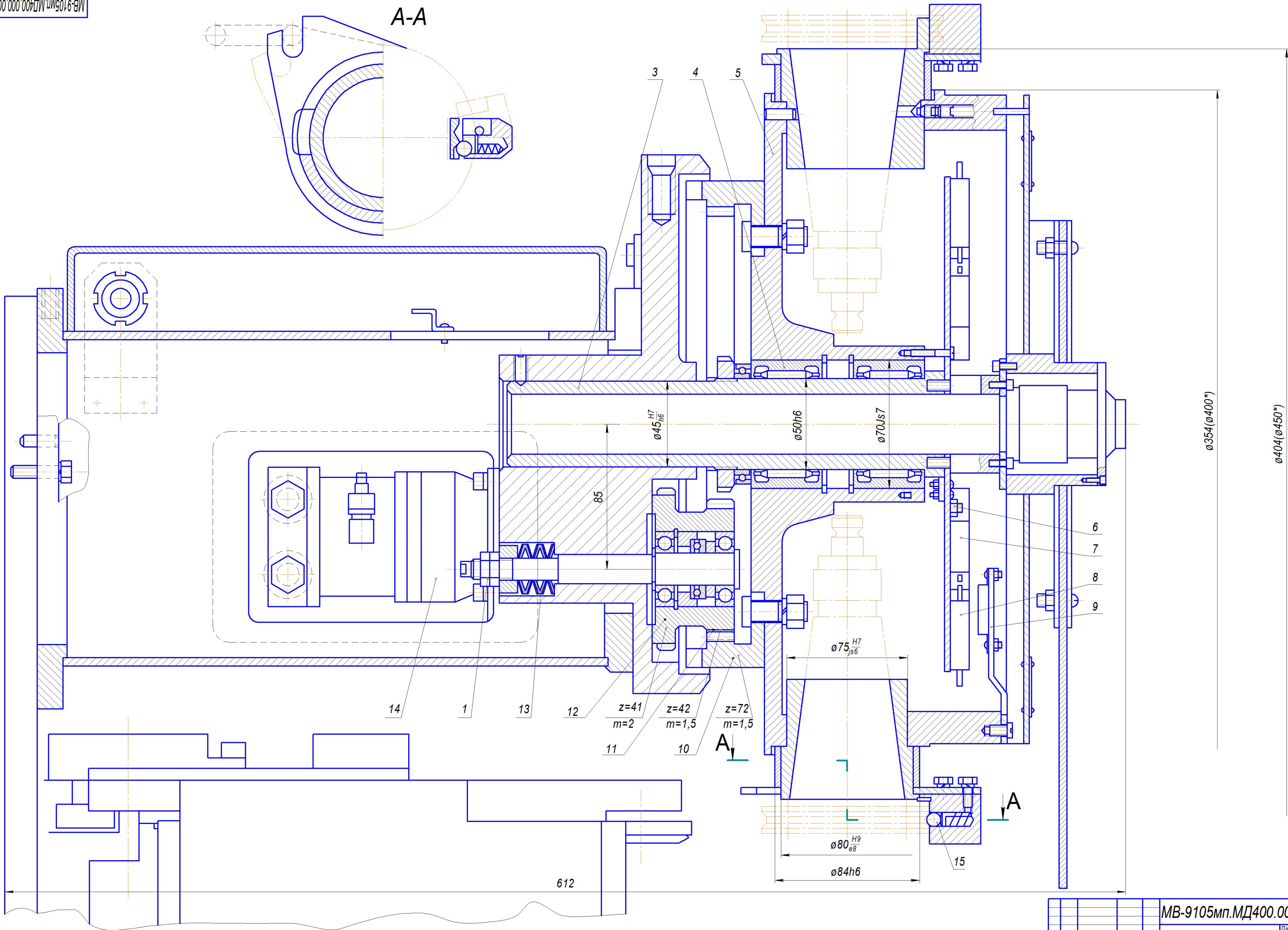




МВ-9105мп.МД200.000.000.00 КЗ				Вертикально-фрезерний верстат мод. ГФ2171			Літера	Маса	Масштаб
Зм. Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Схема кінематична принципова			В		1
Розроб.	Конюваленко						Арк.	Аркуше	
Перев.	Ковальов В.А.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ, КМ, гр. МВ-91мп		
Н. контр.							Копіював		
Затв.	Ковальов В.А.						Формат А1		

МВ-9105мп.МД400.000.000.00 СК

A-A



ø354(ø400*)

ø404(ø450*)

612

				МВ-9105мп.МД400.000.000.00 СК				
Зм. Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літера		Маса	Масштаб	
Розроб.	Коваленко			В			1	
Перев.	Ковальов В.А			Арк.		Аркуші		
Т.контр.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ММІ,КМ,зр. МВ-91мп				
Н.контр.								
Затв.	Ковальов В.А							

Копіював

Формат А1

Лист № 0001. Підпис. і дата. Зам. Лист. № 0001. Лист. і дата.

Аналіз поворотних столів для обробки 5-ти координат:



Інструментальне забезпечення: Фрези:



Оправки:



Оцінка жорсткості шпиндельного вузла з використанням модулю аналізу напружень Autodesk Inventor

вертикально-фрезерного верстата с ЧПК ГФ2171

Схема навантаження

Відповідає типовому режиму обробки – чорнове фрезерування площини заготовки зі Сталі 45 торцевою фрезою $D = 52$ мм, $z = 4$; режими різання: ширина фрезерування $B = 25$ мм; глибина фрезерування $t = 5$ мм, швидкість різання $v = 312$ м/хв, подача на оберт $S = 0,4$ мм/об, частота обертання шпинделя $n = 1910$ об/хв.

Сили різання, прикладені до зуба фрези:

$$F_z = 750 \text{ Н}; F_y = 375 \text{ Н}; F_x = 225 \text{ Н}; (F_\Sigma = 868 \text{ Н}).$$

Крутний момент, прикладений до ділянки шпинделя, де знаходяться шліци

$$M_{кр} = 39 \text{ Нм}.$$



Рис.1. Деталізована модель шпинделя

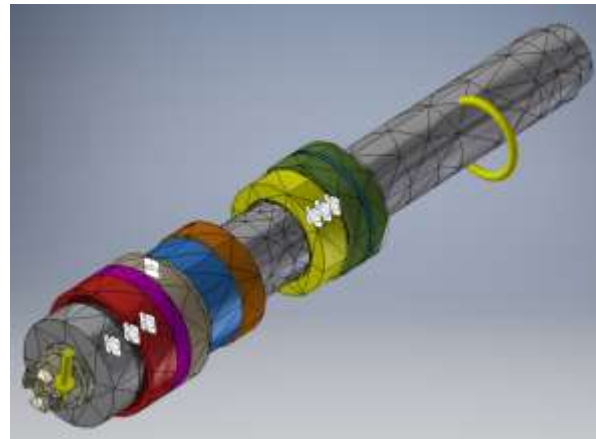


Рис.2. Розрахункова модель шпиндельного вузла

Як результат, розраховані значення жорсткості пружної системи:

$$\delta_\Sigma = \frac{F_\Sigma}{\Delta_\Sigma} = \frac{0,86 \text{ кН}}{5,250 \text{ мкм}} = 0,1653 \frac{\text{кН}}{\text{мкм}};$$
$$\delta_z = \frac{F_z}{\Delta_z} = \frac{0,750 \text{ кН}}{4,904 \text{ мкм}} = 0,1529 \frac{\text{кН}}{\text{мкм}};$$
$$\delta_y = \frac{F_y}{\Delta_y} = \frac{0,375 \text{ кН}}{1,717 \text{ мкм}} = 0,218 \frac{\text{кН}}{\text{мкм}}.$$

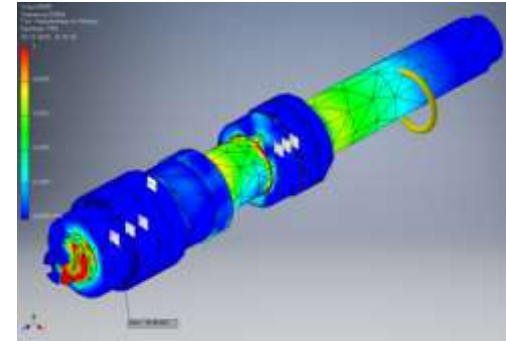


Рис.3. Розподіл напружень на передньому кінці шпинделя

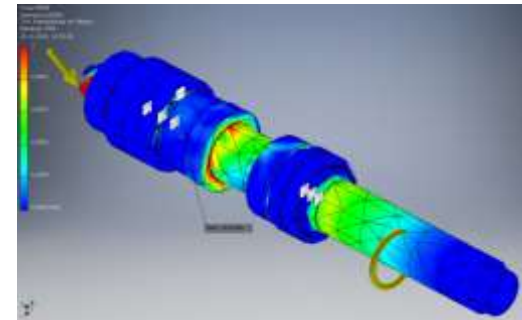


Рис. 4. Розподіл напружень на задньому кінці шпинделя

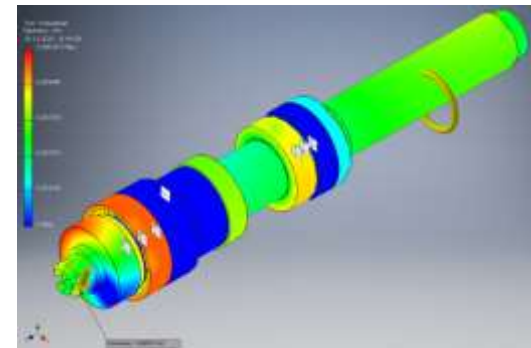
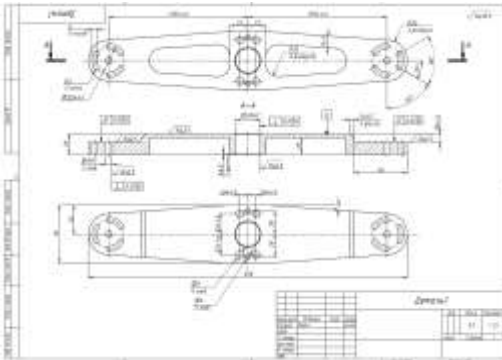


Рис.5. Зміщення точок переднього кінця шпинделя

Обробка деталі з використанням програмного забезпечення фірми HEIDENHAIN:



0 BEGIN PGM DIPLOM MM (Початок програми)

1 BLK FORM 0.1 Z X-200 Y-40 Z-28 (Призначення розмірів заготовки)

2 BLK FORM 0.2 X+200 Y+40 Z+0

3 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3

4 TOOL CALL "MILL_D30_ROUGH" Z S500 F150 (Вибір інструменту-фрези кінцева Ø30)

5 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3 (Відвід інструменту на безпечну відстань, включення обертання шпинделя)

6 L X-220 Y-45 R0 FMAX

7 L Z+2 FMAX

8 L Z-30 FMAX

9 APPR LCT X-195 Y+0 R20 RL (Фрезерування по контуру)

10 CC X-170 Y+0

11 C X-170 Y+25 DR-

12 L X-20 Y+35 RL F AUTO

13 L X+20 Y+35 RL F AUTO

14 L X+170 Y+25 RL F AUTO

15 CC X+170 Y+0

16 C X+170 Y-25 DR- F AUTO

17 L X+20 Y-35 RL F AUTO

18 L X-20 Y-35 RL F AUTO

19 L X-170 Y-25 RL F AUTO

20 CT X-195 Y+0 FMAX

21 DEP LCT X-220 Y-45 R20 F AUTO

22 L Z+200 FMAX

23 L X+200 Y+200 R0 FMAX (Відвід інструменту на безпечну відстань на прискореній подачі)

24 CYCL DEF 233 FREZEROVAN.POVERKHN. ~ (Фрезерування верхньої площини)

25 L X-200 Y-30 R0 FMAX M99

26 TOOL CALL "MILL_D20_FINISH" Z S350 F100 (Вибір інструменту-фрези кінцева Ø20)

27 CYCL DEF 14.0 KONTUR (Цикл фрезерування лівого карману)

28 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA1

29 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~

30 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~

31 CYCL CALL

32 CYCL DEF 14.0 KONTUR (Цикл фрезерування правого карману)

33 CYCL DEF 14.1 METKA KONTURA2

34 CYCL DEF 20 DANNYJE KONTURA ~

35 CYCL DEF 22 CHERN.OBRABOTKA ~

36 CYCL CALL

37 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX (Відвід інструменту на безпечну відстань на прискореній подачі)

38 TOOL CALL "MILL_D6_ROUGH" Z S1600 F800 (Вибір інструменту-фрези кінцева Ø6)

39 CYCL DEF 254 KRUGOW.KANAWKA ~ (Цикл фрезерування кругових канавок)

40 L X-170 Y+0 R0 FMAX M99

41 CYCL DEF 254 KRUGOW.KANAWKA ~ (Цикл фрезерування кругових канавок)

42 L X+170 Y+0 R0 FMAX M99

43 TOOL CALL 245 Z S450 F135 (Вибір інструменту-свердло спіральне Ø29,8)

44 L X+0 Y+0 Z+3 FMAX

45 L Z-40 F AUTO

46 L Z+3 FMAX

47 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX (Відвід інструменту на безпечну відстань на прискореній подачі)

48 TOOL CALL 203 Z S1600 F800 (Вибір інструменту-свердло центрувальне Ø5)

49 CYCL DEF 240 ZENTRIROVANIE ~ (Цикл центрування)

50 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~ (Цикл задання розташування отворів по масиву)

51 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~ (Цикл задання розташування отворів по масиву)

52 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~ (Цикл задання розташування отворів по масиву)

53 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX (Відвід інструменту на безпечну відстань на прискореній подачі)

54 TOOL CALL 232 Z S1000 F100 (Вибір інструменту-свердло спіральне Ø6)

55 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~ (Цикл свердління)

56 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~ (Цикл задання розташування отворів по масиву)

57 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

58 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3

59 TOOL CALL 228 Z S1350 F100 (Вибір інструменту-свердло спіральне Ø9)

60 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~ (Цикл свердління)

61 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~ (Цикл задання розташування отворів по масиву)

62 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

63 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX (Відвід інструменту на безпечну відстань на прискореній подачі)

64 TOOL CALL 235 Z S1000 F100 (Вибір інструменту-свердло спіральне Ø7,8)

65 CYCL DEF 200 SWERLENIE ~ (Цикл свердління)

66 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~

67 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

68 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX

69 TOOL CALL 245 Z S500 F450 (Вибір інструменту-розвертка Ø30)

70 CYCL DEF 201 RAZWIORTYWANIE ~ (Цикл розвертання)

71 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

72 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M3 (Відвід інструменту на безпечну відстань на прискореній подачі)

73 TOOL CALL 231 Z S300 F240 (Вибір інструменту-розвертка Ø8)

74 CYCL DEF 201 RAZWIORTYWANIE ~ (Цикл розвертання)

75 CYCL DEF 221 RIADY IZ OTWIERSTIJ ~ (Цикл задання розташування отворів по масиву)

76 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

77 L X-170 Y+0 R0 FMAX M99

78 LBL 1 (Опис контуру лівого карману)

79 L X-22 Y-25.5 RR

80 L X-105 Y-15 R0

81 CR X-105 Y+15 R+15 DR-

82 L X-22 Y+25.5

83 LBL 0

84 LBL 2 (Опис контуру правого карману)

85 L X+22 Y-25.5 RL

86 L X+105 Y-15 R0

87 CR X+105 Y+15 R+15 DR+

88 L X+22 Y+25.5

89 LBL 0

90 L X+200 Y+200 Z+200 R0 FMAX M30 (Відвід інструменту на безпечну відстань, виключення обертання шпинделя)

91 END PGM DIPLOM MM (Кінець програми)

