

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНСТИТУТ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему Обґрунтування шляхів забезпечення технологічної гнучкості верстатів
токарної групи та розробка засобів її реалізації _____

Виконав (-ла): студент (-ка) _____ ІІ курсу , групи МВ – 11 мп

_____ Вегерук Роман Віталійович

_____ (прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник _____ канд. техн. наук, доцент, Вербі І. І.

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

_____ (підпис)

Консультант з розділу _____

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

_____ (підпис)

Рецензент:

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

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2022

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка
Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів, роботів і машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій

ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

_____ Вегеруку Роману Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Обґрунтування шляхів забезпечення технологічної гнучкості
верстатів токарної групи та розробка засобів її реалізації.

науковий керівник дисертації: ВЕРБА Ірина Іванівна, канд. техн. наук,
доцент

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

затверджені наказом по університету від “04” листопада 2022 року № 4055-

с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження верстати токарної групи на прикладі напівавтомату
мод. 1П756ДФЗ.

4. Вихідні дані Технічні характеристики та опис конструкції верстату мод 1П756ДФЗ

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Вступ з обґрунтуванням мети і актуальності. Аналіз технічних характеристик і вивчення конструкції базового верстату мод. 1П756ДФЗ. Інформаційно-аналітичне дослідження шляхів розширення технологічних можливостей верстатів токарної групи та порівняльний огляд сучасного стану і перспектив розвитку конструкцій цих верстатів на основі аналізу продукції провідних фірм. Обґрунтування конкретних пропозицій. Вибір типу та параметрів регульованого приводу головного руху та його кінематичний розрахунок. Обґрунтування компоновки шпиндельного вузла. Порівняльний аналіз револьверних головок з обертовим інструментом та вибір конструктивного модуля, придатного для встановлення на базовому верстаті. Обґрунтування вибору шарикової гвинтової передачі приводу поздовжньої подачі. Висновки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу. Шпиндельний вузол верстату (модернізована конструкція) та його кінематична схема. Револьверна головка. Робочі креслення деталей, які зазнали зміни (за потребою). Плакати: Шляхи забезпечення технологічної гнучкості верстатів, конструктивні та технологічні зміни внаслідок модернізації верстата 1П756ДФЗ, габаритні розміри та вигляд спрощеної 3-D моделі нової револьверної головки.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів проекту

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

9. Дата видачі завдання: 01.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опис та технічні характеристики базового верстату та аналогів	Вересень 2022 р.	
2	Інформаційне дослідження по розширенню технологічних можливостей базового верстата	Вересень 2022 р.	
3	Пошук, аналіз та підбір револьверної головки та приводних інструментів із різцетримачами до неї	Жовтень 2022 р.	
4	Розрахунок та вибір шарико-гвинтової пари та електродвигуна до неї.	Жовтень-листопад 2022 р.	
5	Розрахунок та вибір привода головного руху	Листопад 2022 р.	
6	Модернізація шпиндельного вузла	Грудень 2022 р.	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____

Анотація

Дана магістерська дисертація присвячена обґрунтуванню шляхів забезпечення технологічної гнучкості верстатів токарної групи.

Технологічна гнучкість токарного верстата 1П756ДФЗ відбувається шляхом: зміни компоновки шпиндельного вузла, встановлення регульованого привода головного руху, заміни револьверної головки із широкими технологічними можливостями, зменшенні кінематичного ланцюга та як наслідок, зміни деяких деталей.

Робота налічує 117 сторінок, 69 рисунків, 24 таблиць, 33 інформаційних джерел в записці, 2 креслення формату А3 та 4 плаката.

Annotation

This master's thesis is devoted to the substantiation of ways to ensure the technological flexibility of lathe group machines.

The technological flexibility of the 1P756DF3 lathe occurs by: changing the layout of the spindle unit, installing an adjustable main motion drive, replacing the turret head with wide technological capabilities, reducing the kinematic chain and, as a result, changing some parts.

The work consists of 117 pages, 69 figures, 24 tables, 33 information sources in the note, 2 drawings of A3 format and 4 posters.

Зміст

Вступ	8
1. Опис та технічні характеристики базового верстата	11
2. Огляд технічних характеристик та конструкцій токарних верстатів з ЧПК	
2.1 Опис аналогів верстата	16
2.2 Сучасний стан розвитку конструкцій верстатів із ЧПК	24
2.3. Опис сучасного стану систем ЧПК	26
3. Інформаційно-аналітичне дослідження шляхів розширення технологічних можливостей верстатів токарної групи	35
4. Сучасний інструментальні системи для ЧПК	
4.1. Сучасні інструментальні системи автоматизованого обладнання для ЧПК	42
4.2 Приводні інструментальні головки для токарних та фрезерних верстатів	45
5. Огляд кріплень приводних інструментів і вибір револьверної головки	
5.1 Огляд кріплення приводних інструментальних систем VDI та BTM та вибір кріплення приводного інструменту	59
5.2 Порівняння та вибір нової револьверної головки для верстата 1П756ДФЗ	65
5.3 Різцетримачі та приводні блоки для револьверної головки ТВМА 120	78
6. Вибір шарико-гвинтової передачі та привода ходового	
6.1 Розрахунок та вибір шарико-гвинтової передачі	84
6.2 Розрахунок приводу ходового гвинта	90
7. Вибір електродвигуна головного привода та частотного перетворювача до нього	95
8. Обґрунтування компоновки опор шпиндельного вузла	105
9. Розрахунок ремінної передачі	107
Висновок	115
Література	116

Вступ

Актуальність теми. Основним завданням раціональної експлуатації верстатного устаткування є тривала і безвідмовна робота, можливість обробки деталей із заданою продуктивністю і точністю при забезпеченні мінімальної собівартості виробів. Високотехнологічні універсальні ЧПУ машини відрізняються міцністю, зносостійкістю, надійністю. Їх використовують у дрібносерійному і серійному виробництві, а також у домашніх майстернях і для хобі.

Завдяки автоматичі для управління обладнанням не потрібен кваліфікований фахівець, адже завдання оператора полягає в установці заготовки та інструмента і запуску програми. Система з ЧПУ забезпечує високу продуктивність і може тривалий час виконувати роботу в автономному режимі без втручання людини.

За принципом дії і компоновкою, автоматизоване і кероване механічним способом обладнання, мало чим відрізняються. Ці багато функціональні машини здатні виконувати широкий спектр завдань. Нові універсальні агрегати для поліпшення точних характеристик можуть комплектуватися системами цифрової індикації з монітором, які дозволяють забезпечити наочність і виключити операції розмітки. Однак у разі необхідності забезпечення максимальної точності і повторюваності деталей, зменшення величини припуску, автоматичного режиму роботи машин з ЧПУ робить їх використання більш пріоритетним.

Серед переваг обладнання з ЧПК слід відмітити:

- 1) зменшення впливу оператора на технологічний процес;
- 2) автоматичне регулювання напрямку, шляху руху і швидкості;
- 3) відсутність необхідності в розмічальних операціях;
- 4) простота обробки і перестроювання на інший тип деталей;
- 5) швидкодія;
- 6) висока якість продукції та стабільності їх розмірів;

7) ефективність використання для виконання багатьох різних операцій;

8) можливість планувати виробництво завдяки регламентованості часу однієї операції і прогнозування термінів виконання всієї роботи.

Однак за всіх своїх переваг верстати з ЧПК минулих років виробництва можуть не задовольняти вимоги сучасного виробництва.

Однією з вимог сучасного виробництва є гнучкість (здатність до переналадження на обробку різних деталей та здійснення обробки в інших умовах) та універсальність (технологічний діапазон використання). Ця вимога набуває все більшого значення й актуальності. Сьогодні спостерігається тенденція поступового витіснення ГАВС (гнучких автоматичних верстатних систем) багатоцільовими верстатами з ЧПК.

Мета роботи – обґрунтування шляхів забезпечення технологічної гнучкості верстатів токарної групи та розробка засобів її реалізації

Мета може бути досягнута розв'язуванням наступних задач:

- Аналіз сучасного стану й перспектив розвитку конструкцій верстатів токарних та багатоцільових з можливістю токарної обробки, порівняльна оцінка їхніх технічних характеристик
- Визначення вузлів верстата, які можуть бути поліпшені або змінені, що дасть можливість досягти широких технологічних можливостей за високої продуктивності. Зокрема, розгляд можливостей використання модульних вузлів.
- Встановленням раціональних характеристик і конструктивних параметрів приводів головного руху та подач. (Наприклад двигуни головного приводу із частотними перетворювачами серії AIC ($P=11\ldots30$ кВт., $n = 750-3000$ об/хв.), 1PH7 ($P=12\ldots41$ кВт., $n=500-6500$ об/хв.), сучасні ходові гвинти діаметром від 20 до 50 мм., та кроком від 2 до 50 мм., двигуни приводу подач серії AIPC ($P=0,45\ldots20$ кВт., $n=680-2800$ об/хв.)
- Розгляд можливостей розширення переліку технологічних операцій, які можуть бути реалізовані на токарних верстатах, зокрема можливість

використання обертових інструментів, наприклад, встановленням додаткових мотор-шпинделів з можливістю лінійних та кутових переміщень чи револьверних головок з обертовим інструментом.

- Огляд типів різальних інструментів, які можуть бути використані.
- Орієнтація на високопродуктивне (високошвидкісне) різання

Розв'язок задачі ускладнюється тим, що токарні верстати з ЧПК зазвичай не належать до обладнання з відкритою реконфігурацією, тобто не всі конструктивні зміни можуть бути реалізовані.

Об'єкт дослідження – технологічна гнучкість верстатів токарної групи та засоби її підвищення.

Предмет дослідження – верстати токарної групи на прикладі напівавтомату мод. 1П756ДФЗ._

Головна мета даної роботи це забезпечення технологічної гнучкості верстата моделі 1П756ДФЗ. Тобто провести модернізацію верстата, після якої можна виготовляти та обробляти максимально можливу номенклатуру деталей та заготовок різними новими способами, які до цього не були можливими. Забезпечуючи при цьому більшу продуктивність, точність позиціонування елементів верстата (і виходячи із цього якіснішу поверхню деталі), жорсткішу несучу систему та інші характеристики.

1. Опис та технічні характеристики базового верстата

Виробником токарного верстата з ЧПУ 1П756ДФЗ є Рязанський верстатобудівний завод (РВЗ), який засновано в 1949 року.

Токарний патронний станок із ЧПУ моделі 1П756ДФЗ і його модифікації (1П756ДФЗ.21 та 1П756ДФЗ.98) призначені для обробки коротких тіл обертання із ступінчастим і криволінійним профілем в умовах малосерійного і серійного виробництва. На верстаті можна проводити зовнішнє точіння, розточування, свердління, нарізання нарізці по програмі. Регулювання в широкому діапазоні частот обертання шпинделя і подача дозволяє проводити обробку виробів як із звичайних чорних і кольорових металів, так і легованих сталей. Станок призначений для вмонтування в роботоризовані комплекси типу РРТК-ЗД31 і гнучкі автоматизовані участки типу АСВР.

Параметри:	1П756ДФЗ
Тип верстата	Напівавтомат токарний патронний (або центровий)
Найбільший діаметр заготовки, мм. Прутка штучної	63 (500 – над супортом)
Найбільша довжина оброблювальної заготовки, мм.	320
Клас точності (ГОСТ 8-82)	П
Частота обертів головного шпинделя, хв. ⁻¹	8...1600
Число ступенів автоматизованого переключання шпинделя, шт.	Безступінчасте
Найбільші розміри різця, мм.: Висота Ширина Діаметр державки	32 25 -
Величина переміщення, мм:	

Поперечного (вісь X)	480
Повздовжнього (вісь Z)	720
Дискретність переміщення по осям, мм.:	
X	0,001
Z	0,001
Подача, мм/хв (мм/об):	
Поперечна	1...2000
Повздовжня	-
Швидкість установочного переміщення по осям, м/хв:	
X	10
Z	10
Число інструментів на супорті, шт.	12
Найбільший крутний момент на шпинделі, Н·м	3150
Найбільше зусилля подачі по осям, Н:	
Z	20000
X	-
Число електродвигунів, шт.	11
Загальна потужність електродвигунів, кВт.	48, 5
Номінальна потужність електродвигуна, кВт.:	
• головного руху	39
• повздовжньої подачі	3,2
• поперечної подачі	3,8
Крутний момент електродвигуна, Н·м	100

Частота обертів електродвигуна, хв. ⁻¹ :	
Головного руху	1180
повздовжньої подачі	1200
поперечної подачі	1200
Пристрій ЧПУ	«Електроніка НЦ-80 31»
Число управляючих координат, шт.	2
Число координат, управляючих одночасно, шт.	2
Габаритні розміри станка, мм.:	
l x b x h	3400x2050x2600
Маса, т.	9, 0

Табл. 1. Технічні характеристики верстата 1П756ДФ3.

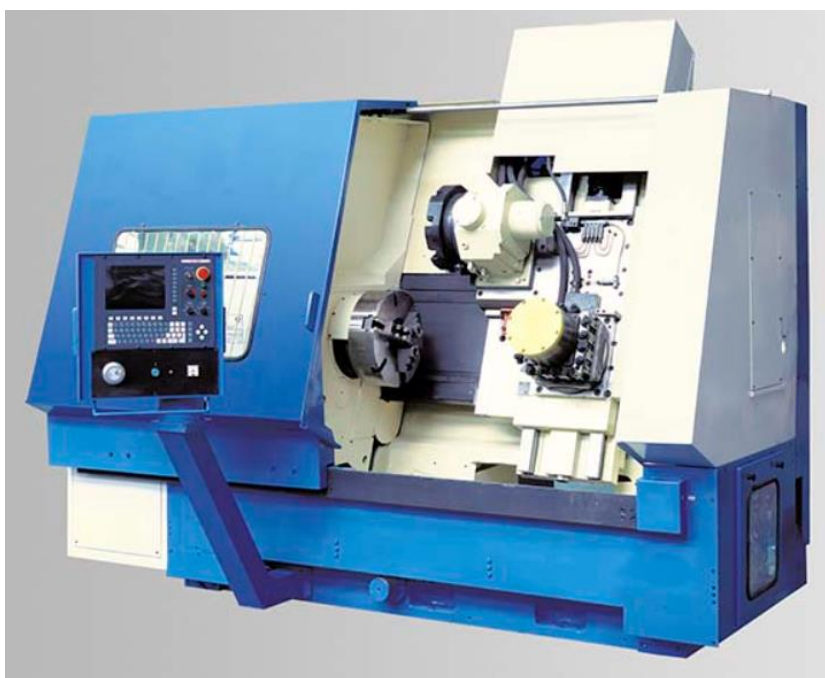


Рис. 1. Верстат 1П756ДФ3.

Принцип роботи та особливості конструкції верстата 1П756ДФ3

Токарний напівавтомат 1П756ДФ3 (Рис.1) оснащений системою програмного керування – Bosch CNC System 5. Напівавтомат 1П756ДФ3 високомеханізований, зручний в управлінні, має достатню жорсткість,

вібростійкість і високу точність. Для отримання високої точності обробки у шпиндельній опорі застосовується дуплексний кульковий підшипник. Кількість зубчастих коліс у шпиндельній бабці зменшено та підвищено їх точність, збільшено точність напрямних станини та супорта.

Привід головного руху здійснюється від електродвигуна постійного струму. Переміщення супорта здійснюється від високомоментного електродвигуна постійного струму із вбудованим датчиком зворотного зв'язку. Підвищення точності зубчастих коліс та скорочення їхньої кількості зменшило вібрації та теплові деформації шпинделя. Введення замість зубчастих передач ремінних на швидкісному діапазоні 1:1 та на датчику нарізки нарізці дозволило зменшити шум від роботи напівавтомата. На напівавтоматі встановлено дві револьверні голівки. Обидві головки встановлені на одному повзуні і знаходяться одна від одної на відстані, достатній для обробки деталей відповідно до настанови напівавтомата:

1. Дискова восьми позиційна головка з віссю, паралельній осі шпинделя.
2. Чотиригранна головка з віссю перпендикулярній осі шпинделя.

Головка восьми позиційна призначена для закріплення ріжучого інструменту при зовнішньому точінні.

Чотиригранна головка призначена для закріплення ріжучого інструменту при внутрішній обробці (розточування, свердління та ін.) і дозволяє встановлювати на кожен грань один або два блоки з інструментом.

Розташування дзеркала напрямних станини в похилій площині забезпечує вільний схід і видалення стружки із зони обробки та вільний доступ до оброблюваної деталі.

Накладні сталеві загартовані напрямні поздовжнього та поперечного переміщень у поєднанні з опорами кочення та антифрикційними накладками гарантують тривале збереження точності напівавтомата.

Регулювання частоти обертання шпинделя та подачі дозволяє проводити обробку виробів як із звичайних чорних та кольорових металів, так і із легованих сталей.

У напівавтомат можна вбудовувати вітчизняні та іноземні комплектуючі вироби: систему ЧПУ, головний привід, подачу приводу, револьверну головку, транспортер стружки та ін. Передбачена можливість стикування напівавтомата із роботами різних видів. Напівавтомат може застосовуватись у комплексі з роботами, у складі автоматичних ділянок та ліній. Компонування напівавтомата, розміщення на ньому електрошаф та електрообладнання, включаючи пристрій ЧПУ, зосередження всіх органів управління на одному рухомому пульті управління забезпечують значне скорочення виробничої площі, що займає напівавтомат, а також зручність управління ним.

Привід головного руху складається з шпіндельної бабки та двигуна постійного струму. Шпіндельний вузол має жорстку конструкцію та високу вібростійкість. Приводи поздовжньої та поперечної подач виконані із застосуванням високомоментних електродвигунів, що дозволяє обробляти деталі на інтенсивних режимах різання.

Зміна інструменту на напівавтомат здійснюється автоматично за допомогою двох револьверних головок. Підведення охолодження до зони різання проводиться через інструментальні блоки.

Стружка видаляється транспортером, що висувається на задній бік напівавтомата.

Клас точності напівавтомата «П» згідно з ГОСТ 8-77.

Шорсткість поверхонь Ra 2,5 мкм. за ГОСТ 2789-73.

Розробник - Рязанське спеціальне конструкторське бюро верстатобудування.

Модифікації токарного верстата 1П756

- 1П756ДФЗ – модель верстата 1979 року. Система ЧПУ Bosch CNC System 5.
- 1П756ВДФЗ – модель верстата високої точності 1979 року. Система ЧПУ Альфа 2М.

- 1П756ВДФ311 – модель верстата високої точності 1979 року. Система ЧПУ MC2101.01 (НЦ-80).
- 1П756ДФ311 - система ЧПУ 2С85
- 1П756ДФ321 – система ЧПУ Електроніка НЦ-31. Приводи болгарські.
- 1П756ДФ398 - система ЧПУ Sinumerik 7Т
- 1П756Ф4 – модель верстата 1986 року. система ЧПУ Електроніка НЦ-80-31

2.Огляд технічних характеристик та конструкцій токарних верстатів з ЧПК

2.1Опис аналогів верстата

1П732РФ3 верстат токарний патронно-центровий з ЧПУ напівавтомат:



Рис. 2. Верстат 1П732РФ3

Напівавтомат 1П732РФ3 (Рис.2) призначений для токарної обробки в патроні деталей діаметром до 400 мм з великою кількістю технологічних переходів в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.

Система числового програмного управління забезпечує автоматичне управління виконавчими органами за трьома координатами: незалежним поперечним переміщенням різцевої та револьверної головок та їх спільним

переміщенням у поздовжньому напрямку. Револьверна головка вміщає до 12 інструментів.

Верстат 1П732РФЗ може проводити чорнову та чистову обробку в центрах циліндричних, конічних і фасонних поверхонь, жолобників, канавок, підрізування торців, свердління та розточування центральних отворів, нарізування зовнішніх та внутрішніх різьблень та інші токарні роботи, які можуть бути виконані з високим ступенем точності чистотою оброблюваних поверхонь (до 6-го класу).

Переміщення головок з робочою та прискореною подачею здійснюється від крокового двигуна з гідро підсилювачем через шарико-гвинтову пару.

Привід шпинделя рухається через автоматичну коробку швидкостей типу АКС-5, що забезпечує перемикання дев'яти швидкостей шпинделя в автоматичному циклі.

Гідростанція розташована поряд із напівавтоматом для зменшення його теплових деформацій.

У литій основі напівавтомата розміщено резервуар для охолоджуючої рідини та шнековий транспортер для видалення стружки.

Змащення вузлів напівавтомата повністю автоматизоване. Для мастила механізмів головного руху використана циркуляційна система мастила від окремої станції. Змащення супорта здійснюється дозаторним методом.

Пристрій числового програмного управління типу Н55-1 забезпечує отримання заданих розмірів і конфігурації виробу, що обробляється, а також виконання необхідних технологічних команд: вибір частоти обертання шпинделя і подачі головок; увімкнення прискореного переміщення, зміна інструменту; включення охолодження та ін.

Програма записується на стандартну восьми доріжкову стрічку в коді за ГОСТ 13057-67 та рекомендаціями ISO.

Напівавтомат може працювати в режимі попереднього набору координат. В цьому випадку на пульті управління вручну задаються величини переміщення головок, подач, частоти обертання шпинделя і т.д.

1740РФ3 Верстат токарний патронно-центровий з ЧПУ напівавтомат:

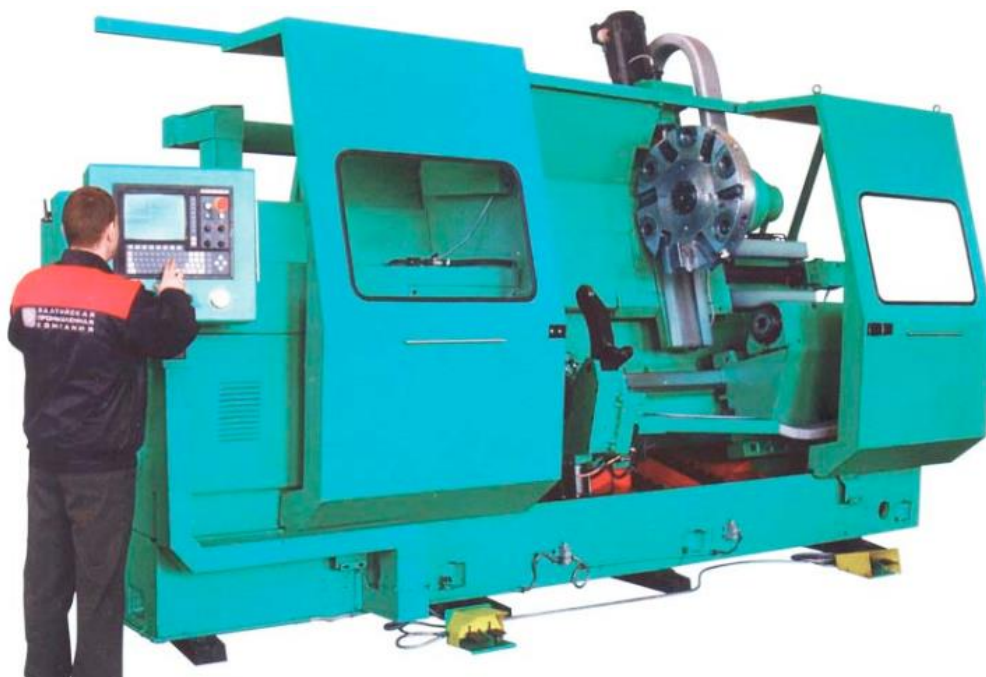


Рис. 3. Верстат 1740РФ3

Верстат 1740РФ3 - напівавтомат призначений для обробки деталей у патроні чи центрах.

Верстат токарний патронний з ЧПУ 1740РФ3 (Рис. 3) призначений для токарної обробки за програмою циліндричних, торцевих, конічних, ступінчастих та криволінійних поверхонь деталей з чорних та кольорових металів та сплавів, а також для свердління та розточування центральних отворів, нарізування зовнішніх та внутрішніх різьб. Верстат 1740РФ3 призначений для обробки деталей у патроні зі ступінчастим та криволінійним профілями в умовах дрібносерійного та серійного виробництва.

Головний привід оснащений електродвигуном постійного струму. Висока жорсткість напівавтомата, велика потужність головного приводу і висока частота обертання шпинделя дозволяють широко використовувати металокерамічний, так і твердосплавний інструмент.

Нерухома шпиндельна бабка з горизонтальним шпинделем встановлена на станині з похилими напрямними, якими переміщається хрестовий супорт з револьверною головкою.

Шпиндель отримує обертання від регульованого електродвигуна М1 через чотириступінчасту коробку діапазонів.

Пристрій ЧПУ СНС-Н-645 забезпечує автоматичне управління виконавчими органами напівавтомата по двох координатах і безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя в чотирьох діапазонах, що автоматично перемикаються.

Привід подачі по координатах Х і Z здійснюється від високомоментних електродвигунів постійного струму з датчиками зворотного зв'язку та високоточних кулькових пар, що дозволяє досягти високої точності та чистоти обробки.

Перемикання частот обертання шпинделя у всьому діапазоні швидкостей повністю автоматизовано і здійснюється від команд пристрою числового програмного управління.

Напівавтомат забезпечений 12-позиційною інструментальною головкою, яка має на планшайбі базові отвори під кріплення різцедержавок з циліндричним хвостовиком та забезпечує автоматичну зміну інструменту в циклі обробки.

Для обробки нежорстких деталей верстат оснащений автоматичним люнетом з двома швидкозмінними головками з діапазоном діаметрів, що затискаються 40÷160 або 120÷250 мм.

Задня бабка і кронштейн люнета переміщуються супортом за допомогою пристрою захоплення, це дозволяє проводити зовнішню обробку деталей типу валу в центрах, а потім, затиснувши правий кінець деталі люнетом і відвівши задню бабку, можна виконувати розточувальні роботи за одну установку деталі.

Похиле компонування напівавтомата забезпечує зручний доступ до інструментів, полегшує встановлення оброблюваного виробу та створює хороші умови для сходу та прибирання стружки.

Система охолодження ріжучого інструменту забезпечує подачу рідини, що охолоджує, до кожного інструменту. Для видалення стружки верстат має шнековий транспортер. Вихід стружки – ззаду верстата.

Масило шпиндельної бабки циркуляційне і здійснюється за допомогою спеціальної станції.

Змащування направляючих станини та супорта автоматичне та здійснюється від окремої станції за допомогою дозаторів.

Напівавтомат може вбудовуватись в автоматичні лінії.

1716ПФ3 Верстат токарний патронно-центровий з ЧПУ:



Рис. 4. Верстат 1716ПФ3

Токарний верстат з ЧПУ 1716ПФ3 (Рис.4) призначений для високопродуктивної обробки деталей типу тіл обертання з конструкційних сталей, чавуну, кольорових та легких сплавів та інших матеріалів. Застосовується у серійному виробництві.

Напівавтомат 1716ПФ3 може випускатися в різних виконаннях, що позначаються буквено-цифровими індексами, що додаються до позначення моделі напівавтомата.

При комплектації різними пристроями ЧПУ до позначення додаються індекси С1, С2 і т.д. Залежно від діапазону частот обертання шпинделя надаються індекси 01, 02 і т.д.

При постачанні напівавтомата 1716ПФЗ зі спеціальними налагодженнями до позначення додаються індекс з номером налагодження Н011, Н012 і т.д.

Станина токарного верстата 1716ПФЗ являє собою замкнуту динамічно жорстку конструкцію, що має велику міцність на згин і кручення. Загартовані до високої твердості чавунні напрямні забезпечують тривале збереження геометричної точності.

Похиłe розташування станини за віссю центрів забезпечує вільний схід стружки і доступ в зону різання.

Велика потужність та швидкодія приводів подачі та головного руху, висока частота обертання шпинделя у поєднанні з жорсткою конструкцією верстата забезпечують високопродуктивну обробку з використанням сучасних різальних матеріалів.

Поперечні напрямні, поздовжні направляючі каретки, поверхні клинів і планок облицьовані антифрикційним матеріалом, що забезпечує в поєднанні з їх імпульсним мастилом високу плавність і стабільність переміщень супорта.

Автоматизація всіх допоміжних переміщень на верстаті (прибирання стружки, управління затискачем заготовки, переміщенням пінолі, переміщенням та закріпленням на станині задньої бабки, переміщенням огороження) створює передумови для повної автоматизації циклу обробки у разі застосування промислового робота як засіб завантаження-розвантаження.

Шпиндель напівавтомата в залежності від виконання базується на підшипниках високої точності (роликових конічних або кулькових радіально-упорних типу «дуплекс» та «триплекс») це дозволяє отримати високу точність форми відпрацьованих деталей.

Напівавтомат 1716ПФЗ має 12-позиційну інструментальну головку з диском для швидкозмінних блоків токарного інструменту. Налаштування блоків можливе на пристрої.

Передбачено можливість автоматичного видалення стружки за допомогою стрічкового транспортера.

Зона різання закрита огорожею каркасного типу, що виключає проникнення стружки і МОР за огорожу.

Компонування напівавтомата допускає стикування з будь-якими типами робіт.

Електроустаткування напівавтомата розташоване у навісній шафі, встановленій на підставці, що надає верстату мобільності та економить виробничу площу.

	1П732РФ3	1740РФ3	1716ПФ3
Найбільший діаметр встановленого виробу над станиною, мм.	630	630	320
Найбільший діаметр оброблюваного виробу, мм.	400	400	160
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм.	300	1400	750, 1000
Найбільший розміри різця, мм.	32x32	32x32	25x25
Клас точності ГОСТ 8-82	Н	П	П
Кінець шпинделя шпиндельної	1-11М	I-ПМ	6К (ГОСТ 12595-85)

бабки по ГОСТ 12595-72			
Конус в шпинделі шпиндельної бабки СТ СЕВ 147-75	Метричний 100	М 100 АТ7	В24
Кількість інструментів у револьверній головці, шт.	12	12...16	12
К-ть частот обертів шпинделя	18 або 21	4	Безступінчасте
Частота обертів шпинделя, об/хв.	12,5; 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250.	16...1600	6...3000
Найбільший робочий хід супорта повздовжній/ поперечний, мм.	860/365	385/1440	760/230
Робоча подача супорта повздовжня/ поперечна, мм/хв.	0,1...1200/ 0,1...1200	0,01...10000	20...5000/ 10...2500

Швидкість переміщення супорта в повздовжньому/ поперечному напрямах, мм/хв.	4800/2400	1000/ 1000	10 000/5000
Найбільший допустимий момент на шпинделі, Н · м	5200	5200	6300
Загальні габарити, мм.	5675x2320x2800	4930x2310x 3050	3600x1690x2300
Загальна маса, кг.	11 660	11 600	4000

Табл. 2. Порівняння верстатів – сучасників базового верстата

Висновок. Провів огляд верстатів – аналогів, що є сучасниками базового верстата, в них не виявив суттєвих відмінностей у технічних характеристиках та конструктивних рішеннях. Хоча можна відзначити, що них з'явилося безступінчасте регулювання головного руху, яке реалізовано і у базовому верстаті. Певне підвищення швидкості обертання складно пояснити якимись причинами, окрім змінювання габаритних розмірів оброблюваної деталі.

2.2 Сучасний стан розвитку конструкцій верстатів із ЧПК.

Сучасні верстати з ЧПУ представляють ефективне автоматизоване устаткування, яке характеризується високими технічними і економічними показниками, дозволяють вирішувати низку важливих соціальних завдань. До основних переваг впровадження верстатів з ЧПУ в порівнянні з виробництвом, де використовують універсальні верстати з ручним управлінням, відносять:

- скорочення основного та допоміжного терміну циклу виготовлення деталей;
- зменшення часу переналагодження для виготовлення різноманітних деталей;
- підвищення точності обробки та виготовлення деталей;
- скорочення циклу підготовки до виробництва нових виробів і термінів їх постачання;
- зменшення кількості бракованих виробів по вині працівника;
- можливість використання менш кваліфікованого персоналу та скорочення потреби у висококваліфікованому персоналу;
- зменшення витрат на використання спеціальних пристосувань;
- концентрація операцій, як наслідок економія коштів.

Оскільки в найближчій перспективі обслуговування верстатів з ЧПУ пов'язано з безперервною роботою, то звісно зростають вимоги до їх надійності. Сучасні верстати з ЧПУ дуже різноманітні і складаються з великої кількості взаємодіючих механізмів, апаратів, датчиків та іншого. У таких складних технічних системах у разі відсутності резервування відмова одного з елементів призводить до відмови або збою в роботі всього верстату, тобто є послідовною за вимогою надійності. Сучасні верстати з ЧПУ є традиційною мехатронною системою як сукупність механічних, електронних та інформаційних модулів. Інформацію про закони розподілення відмов різних складових мехатронних систем використовують при оцінці їх надійності та верстату в цілому. Найбільш проблемним для будь-якої мехатронної системи за надійністю є механічний модуль. Анонсовано, що цифрові технології стосовно верстатів з ЧПУ скорочують кількість механічних деталей на (25...30)%. Передусім це забезпечується кардинальними змінами в конструкціях приводів верстатів, системах управління та відбору робочих інструментів. Тому основою стійких інновацій щодо верстатів є застосування комп'ютеризованих систем управління як сукупність апаратних та програмних компонентів, що істотно змінило філософію автоматизації процесу обробки матеріалів.

2.3 Опис сучасного стану систем ЧПУ

Методи створення та структура керуючих програм

Сучасне обладнання дозволяє створювати програми для роботи верстатів із ЧПК декількома способами:

- **Написання програми вручну або в текстовому редакторі ПК.** Необхідний етап у підготовці спеціалістів для роботи на верстатах із ЧПК. Підходить також як основний спосіб програмування на виробництвах, де протягом багато часу випускають кілька простих деталей, не вдаючись до перебудови обладнання.
- **Складання та введення програми на стійці ЧПК.** Пульти управління більшості сучасних систем управління містять клавіатуру та дисплей, що дозволяє програмувати та переглядати віртуальну імітацію процесу обробки безпосередньо на робочому місці. Багато систем дозволяють проводити введення програм у «фоновому» режимі, коли верстат зайнятий обробкою заданої деталі.
- **Використання можливостей CAD – CAM систем комп'ютеризованого виробництва.** Спеціальне програмне забезпечення дозволяє створити тривимірну модель деталі, розрахувати та підготувати програму для її виробництва. А також віртуально "виготовити" потрібну деталь, використовуючи реальні дані про кінематику конкретного верстата. Цей метод дозволяє створювати керуючі програми швидко і точно, практично виключити помилки програмування і пов'язану з цим псування заготовок. Особливо висока ефективність даного способу під час створення управляючої програми виготовлення особливо складних деталей.

Структурно програма у G-кодах складається з кадрів. Так називають групи команд, які призначені для здійснення будь-якої завершеної дії. Кадри можуть бути і з однієї команди. Про закінчення кожного кадру повідомляє знак перекладу рядка (ПС/LF). Кожна програма починається з порожнього «кадра»,

який складається з їхнього знаку «%», а закінчується кодами M02 або M30, що позначають відповідно фініш програми або закінчення інформаційного блоку, що був у пам'яті.

Вказана структура та мова підготовки програм для обладнання з ЧПК закріплені у міжнародних стандартах RS 2740, ISO-6983-1.82, а також ГОСТ СРСР 20999-83. Вітчизняні профільні фахівці часто використовують позначення «ISO-7 біт», яке закріпилося за програмами в G-кодах ще з часів СРСР. Програмісти підприємств, які розробляють і виробляють верстати з ЧПК, під час підготовки програмного забезпечення повинні дотримуватися вимог світових стандартів.

Системи ЧПУ всесвітньо визнаних лідерів у цій галузі

Програмне забезпечення для цифрової керуючої системи **SINUMERIK**, (Рис. 5) яку випускає всесвітньо відома корпорація **SIEMENS AG**, також базується на G і M кодах, але містить деякі додаткові команди, не включені в стандарт. Сучасні повністю цифрові системи на базі платформи Sinumerik 840D використовуються на найвідповідальніших процесах металообробки, що вимагають високої точності та швидкодії.



Рис. 5. Стійка фірми Sinumerik

Багатоваріантність та гнучкість програмування в G та M кодах врахована творцями програмних станцій та передових систем ЧПУ фірми **HEIDENHAIN** (Рис. 6). Ця німецька компанія успішно працює у напрямку

модернізації застарілих верстатів NC за рахунок встановлення нових систем керування. Універсальні програмні станції від компанії Heidenhain дозволяють не лише створювати необхідні програми обробки на персональних комп'ютерах, а й тестувати програмне забезпечення, підготовлене за допомогою CAD-CAM систем.

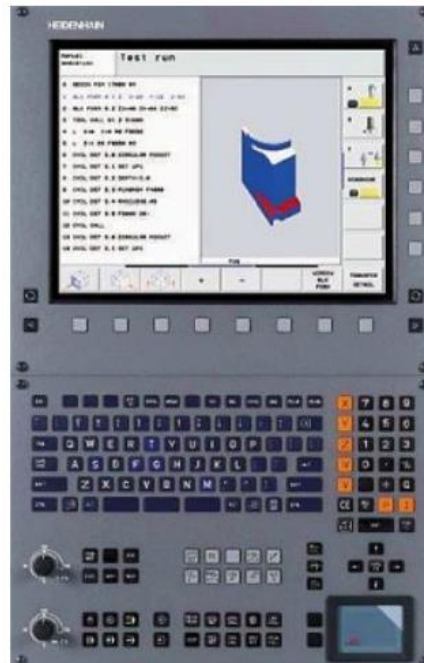


Рис. 6. Стійка фірми HEIDENHAIN

Системи управління, які виробляє японська компанія FANUC, відомі у всьому світі та використовуються на багатьох підприємствах (Рис.7). Дуже популярні стійки ЧПУ від **FANUKL TD** в Азії. Фахівці цієї корпорації одними з перших адаптували роботу своїх систем під програми в G і M кодах, і зуміли організувати роботу найскладніших систем у рамках стандарту програмування. Поширені стійки FANUK серії 0i розраховані на роботу з 6-8 керованими осями (одночасне керування – 4 осі). Стійки серій 30 і 35-і дозволяють проводити високоточну обробку на найвищих швидкостях, і є поки що недосяжним орієнтиром для багатьох конкурентів.



Рис. 7. Стійка фірми FANUKL TD

Успішно працює в країнах СНД іспанська компанія **FAGOR AUTOMATION** (Рис. 8). Її останні розробки, до яких належить ЧПУ FAGOR CNC 8070, повністю сумісні з персональним комп'ютером, мають феноменальні можливості та можуть керувати найскладнішими верстатами. Можливе управління по 28 осях, що інтерполуються (4 канали одночасно), може підтримувати по 4 шпинделі та інструментальних магазини. Творці системи забезпечують швидкісну обробку, нанометричну точність і високу чистоту обробки поверхні.



Рис. 8. Стійка фірми FAGOR AUTOMATION

Верстати з ЧПУ міцно увійшли в наше життя і стали незамінними помічниками людини виробничої діяльності. Причому всі необхідні деталі верстати під керуванням ЧПК обробляють швидко та якісно, з недосяжною раніше точністю, а при масовому виробництві – неймовірно низькою собівартістю. Подальший розвиток систем ЧПК йде шляхом об'єднання окремих верстатів у виробничі комплекси, здешевлення процесу підготовки виробництва та зниження вартості керуючих систем.

Системи ЧПК за своїм призначенням поділяють на позиційні, прямокутні, контурні та комбіновані.

У позиційних робочі органи автоматично встановлюються в позицію, визначену програмою управління, без обробки в процесі їх переміщення. Оскільки траєкторія обробки при переміщенні з однієї позиції на іншу не задається, час переміщення має бути мінімальним. Такі системи застосовують в основному при керуванні свердлильними та верстатами.

У прямокутних робочі органи переміщуються за програмою по черзі вздовж осей координат на задані відстані. У більшості верстатів застосовують прямокутні координати, тому вона носить назву прямокутної. Ці системи застосовують у фрезерних, токарних та шліфувальних верстатах.

У контурних системах для отримання необхідного контуру обробки, робочий орган автоматично переміщається довільною траєкторією зі швидкістю, заданою програмою управління. Ці системи також застосовують у токарних та фрезерних верстатах.

Для зручності розпізнавання систем програмного управління були прийняті позначення верстатів з ЧПК з додаванням наступних індексів: Ф1 – верстати, які мають цифрову індикацію положення робочих органів, а також ручне введення даних; Ф2 – верстати з прямокутними позиційними системами управління координат, Ф3 – верстати з контурними прямолінійними та криволінійними системами управління координат; Ф4 – змішані системи програмного управління.

Залежно від кількості потоків інформації, системи ЧПУ поділяються на незамкнені, замкнені та адаптивні.

Незамкнуті – характеризуються одним потоком інформації, спрямованим від блоку управління до виконавчого механізму. Вони відсутня інформація про фактичному становищі механізму, що знижує точність управління, верстатом.

Замкнуті – працюють за двома потоками інформації - задає та інформації зворотного зв'язку, що містить дані про фактичну швидкість переміщення вузлів, їх положення та інші відомості про перебіг процесу обробки.

Найбільш складною і точною системою числового управління верстатами є *адаптивна*, при якій процес обробки автоматично пристосовується до умов, що змінюються. Такі системи часто називають самоналаштуваними або самопристосовуваними. Вони так само, як і в замкнутих, використовують два потоки інформації плюс ще один потік про можливі зміни, що виникають у процесі обробки; до такої інформації відносяться знос інструменту, зміна сил різання, тертя і т.д.

Пристрій ЧПК складається з електронного блоку та електричного каналу зв'язку з механізмами керованого верстата. Воно має панель керування, з якою здійснюються вибір режиму керування, коригування та налагодження програми, контроль та інші операції. Пристрій пульта залежить від системи програмування. Відповідно до міжнародної класифікації системи ЧПК за рівнем своїх технічних можливостей поділяються на такі класи:

NC – має покадрове читання програмоносія протягом циклу обробки заготовки;

SNC – здійснює одноразове читання з програмоносія перед початком обробки партії однакових деталей;

CNC – з вбудованою міні-ЕОМ (зокрема і мікропроцесором);

DNC – прямо управляє групами верстатів від однієї ЕОМ;

HNC – має ручний набір даних з пульта управління.

Нині найбільш поширені верстати, оснащені системами ЧПК класів NC і SNC, вони мають обмежену кількість інформаційних каналів.

У групі NC після включення верстата читається перший та другий кадри

програми. Потім верстат починає виконувати команди першого кадру, а інформація другого залишається в пристрої. Після виконання команд першого кадру верстат виконує команди другого кадру, а третій кадр в цей момент зчитується і запам'ятовується і т. д. Недоліком такої системи є необхідність обробки кожної заготовки читати всі кадри програми, що в умовах частих збоїв при зчитуванні зможе привести до браку продукції.

Пристрій SNC відрізняється від попереднього збільшенням обсягу пам'яті. У ній прочитуються та запам'ятовуються всі кадри програми та інформація зчитується лише один раз перед обробкою партії заготовок. Пристрої числового управління класів CNC, DNC і HNC з вбудованими міні-і мікро ЕОМ мають великі можливості, зокрема в них поєднуються функції управління верстатом і вирішення завдань підготовки керуючих програм; вони можуть змінювати і коригувати не тільки керуючі програми на виробі, а й програми функціонування самих систем з урахуванням особливостей даного верстата. У ЧПУ класу HNC з ручним введенням програм в електронну пам'ять програма легко та швидко набирається за допомогою клавіш на пульті. У такій системі відсутній ряд блоків, наприклад, вступний пристрій передачі даних з перфострічки та ін., що знижує її вартість у порівнянні з системами класу CNC в 2-3 рази. Дуже важливим є факт приймально-здавальних випробувань нових або модернізованих верстатів з ЧПК. Як правило, обмежуються обробкою тестової деталі, проте такі випробування не завжди дають правильне уявлення про повторюваність розмірів деталей, що обробляються, і точності. Крім того, необхідно перевірити правильність роботи функцій, що відповідають за виведення інформації про несправності в процесі експлуатації.

Компанія **HEIDENHAIN** розробила нове покоління систем ЧПУ, для якого було створено нову платформу та нову операційну систему, названу *NC-Kernel*. На цій основі нині актуальні кілька систем управління.

По-перше, компактна система ЧПУ *TNC 320*. Вона має можливість управління фрезерними, свердлильними або розточувальними верстатами з аналоговими приводами подач і шпинделем. Кількість керованих осей - до 5. Модель

покликана зайняти сегменти модернізації універсальних верстатів та обробки простих деталей з маленькою партійністю, де великі верстати складними системами ЧПУ нерентабельні. Верстат, обладнаний такою системою, може використовуватися і в ручному режимі з керуванням переміщеннями координатами за допомогою електронних маховичків. Модель характеризується новим інтерфейсом управління HSCI (HEIDENHAIN Serial Controller Interface), який має подібні до інтерфейсу Ethernet комунікаційні можливості.

Токарний варіант ЧПУ на базі NC-Kernel має назву *MANUALPlus 4110*. Система дозволяє управляти двома координатами і шпинделем, а також можна активізувати вісь C і приводний інструмент. Для спрощення програмування увімкнено новий режим Smart Turn, призначений для більш «дружного» програмування, навіть в умовах майстерні.

Корпорація **Fanuc** створила високорівневу систему серії 30, орієнтовану на підвищену продуктивність Системи цієї серії призначені для п'яти координатної обробки. На відміну від попередніх серій 16, 18, 21, використовували процесори Intel, що забезпечували низьке енергоспоживання та високу надійність. В 30 серії використовується RISK процесор компанії IBM, тобто, процесор зі скороченим набором команд, за рахунок чого підвищується продуктивність процесора. В 15 серії використовувався процесор серії G фірми Motorola. Система використовувала джерело на 200 В і виділяла багато тепла, з цієї та інших причин 15 серія не отримала поширення, однак програмне та апаратне забезпечення 15 та 16 серій використано в 30 серії. Внаслідок ЧПУ 30 серії повинні обробляти більше координат та процесів, наприклад, система може керувати 32 сервоприводами та 8 шпинделями. За деякими твердженнями, ці системи можуть проводити розрахунки для інтерполяції з нанометричною точністю.

Компанія **Siemens** для систем керування **Sinumerik** щоб підвищити ефективність роботи використовує вдосконалені пакети програм ShopMill, ShopTurn, SinuTrain. Програма SinuTrain дає можливість вивчати систему

управління ЧПК та налагоджувати програми обробки деталей на ПК. Програма може використовуватись і для навчання, і на виробництві.

Система 8070 компанії **Fagor** орієнтована, насамперед, на управління високошвидкісною обробкою. Однією з особливостей цієї системи є максимальна синхронізація сервоприводів верстата для забезпечення максимальної точності, особливо важливої при великій кількості обертів інструменту або деталі. Велика роль у досягненні необхідних характеристик належить інтерфейсу SERCOS. Він дозволяє керувати 28 осями та 4 шпинделями. При цьому система дозволяє об'єднувати до 4-х верстатів у виробничі вузли або керувати 4-ма верстатами.

Компанія **Bosch Rexroth** випустила нову версію системи ЧПК *IdraMotion MTX* з урахуванням процесора Intel. Система двоканальна, причому традиційно по одному каналу можна керувати фрезеруванням, по іншому точінням, в цій системі по одному каналу відбувається рух інформації за технологією обробки, по іншому інформація з управління. Система включає компактну версію, стандартну та високопродуктивну. Передбачається багатокоординатна обробка системою – 64 – 144 координат. На думку розробників система може бути застосована в сегменті газополум'яного та газострумінного різання, де традиційно було обмеження через типи використовуваних контролерів. У ній реалізовано ключову функцію, необхідну для застосування в технологіях розкрою – *retrace*. При переміщенні заданої траєкторії різання у разі виникнення будь-якої проблеми, наприклад, припинення подачі абразиву у водонапірний струмінь або припинення подачі газу, утворюється необроблена ділянка. Якщо траєкторія руху робочого органу складна, то повторити рух у зворотному порядку звичайним способом практично неможливо. Функція *Retrace* дозволяє просто пересунути джойстик або натиснути кнопку повернення, і ЧПУ відпрацює повернення назад, поки оператор не вирішить, що досягнуто місце, де перервався процес обробки, та перезапустить машину.

Модель *C64* корпорації **Mitsubishi** реалізує нетрадиційний підхід. Система призначена для контурної обробки, використовується для роботи на

фрезерному та токарному обладнанні і максимально здатна керувати 14-ма осями та двома шпинделями, система багатоканальна (від 2 до 7 каналів у різних виконаннях). При цьому не використовується операційна система Windows та реалізовано спрощений інтерфейс оператора, що виключає велику кількість інформації на екрані. Введення та редагування програм відбувається у кодах ISO.

3. Інформаційно-аналітичне дослідження шляхів розширення технологічних можливостей верстатів токарної групи

Висока вартість сучасного металорізального обладнання визначає необхідність підвищення продуктивності обробки деталей.

Технологічні можливості токарного верстата визначаються:

- робочим простором верстата, який визначає не лише габарити заготовок, які можуть бути встановлені, а й розміри інструментів та додаткових пристосувань для їхнього використання;
- потужністю приводу (визначає максимальний переріз стружки, що її знімаємо за один перехід);
- діапазоном робочих швидкостей (визначає номенклатуру оброблюваних матеріалів);
- кількістю робочих рухів інструментів, що можуть виконуватись одночасно;
- типами інструментів, що можуть використовуватись, можливостями їхнього встановлення та функціональними рухами;
- точністю обробки, яка досягається;
- можливістю повної обробки заготовки за один установ (передбачає виконання не лише токарних операцій) обробку різних деталей та в інших умовах.

Вимоги до технологічної гнучкості обладнання зростають через зменшення партій оброблюваних деталей. Вони превалюють навіть над

вимогами до продуктивності. Максимальна гнучкість відповідає умовам повної автоматизації виробництва, тобто „безлюдної“ технології. Забезпечити адаптацію до змінювання умов обробки дозволяє принцип модульної будови верстатів з набору уніфікованих вузлів та систем. Цей принцип використовують для створення конкретних багатоцільових верстатів, але може застосовуватись і для модернізації обладнання.

Шляхи підвищення гнучкості токарного обладнання з ЧПК наступні:

- блочно-модульний принцип конструювання, зокрема використання мехатронних модулів, які характеризуються відсутністю проміжних передач і та поєднанням робочого органу з програмнокерованим електродвигуном., або на їхній базі. Це дозволяє враховувати зміни умов виробництва;
- застосування інструментальних магазинів, роль яких відіграють револьверні головки різного типу й розташування, зокрема з обертовим інструментом;
- використання мікропроцесорного керування у регульованих електроприводах
- гібридні компоновки, наприклад, поєднання з верстатом паралельної кінематики

Названі шляхи стосуються конструктивної реалізації верстатів.

Але треба згадати також

- розширення діапазону регулювання швидкостей різання та подачі, що дозволить ефективно оброблювати ширший перелік матеріалів та використовувати сучасні інструменти, які потребують високих швидкостей для експлуатації;
- стосовно приводів подач слід відзначити доцільність реалізації невеликих подач для підвищення якості обробки, що вимагає розробки відповідних регульованих електроприводів та певного конструктивного виконання лінійних систем та тягових механізмів.

Стосовно технологічних процесів, які здійснюються з використанням системи ЧПК слід зазначити як позитивні фактори наступне:

- інтеграція операцій, тобто послідовне виконання переходів, які відповідають різним технологічним процесам, за одну установку деталі (повний цикл обробки) але це може спричинити падіння продуктивності
- концентрація технологічних переходів, яка реалізується шляхом використання комбінованих інструментів, багатошпиндельних головок, а також багаторізцевих тримачів.

Комбінований осьовий інструмент призначений як для одночасної обробки отворів ступінчастої форми, так і для послідовної обробки наскрізних отворів із суміщенням кількох переходів. Його застосування забезпечує найбільшу співвісність та необхідну точність розмірів між поверхнями.

Прикладом концентрації технологічних переходів на токарних верстатах є можливість використання багато різевого тримача (Рис.9) запропонованого д.т.н., проф. **Карпусем В.Є.** та студентами **Івановом В.О., Котлярем О.В., Івановом М.С.** із Національного технічного університету «ХПІ». Такий різцетримач дозволяє підвищити продуктивність обробки за рахунок одночасного формоутворення кількох поверхонь заготовки і скорочення часу на встановлення та налагодження різальних інструментів. Багато різцевий тримач являє собою допоміжний інструмент, що призначений для встановлення і закріплення в одній позиції револьверної головки кількох різців. Виконання багато різевої обробки на токарних верстатах з ЧПК, оснащених револьверними інструментальними головками, істотно підвищує продуктивність, а також точність форми поверхонь деталі. Багато різцевий тримач дозволяє проводити одночасну обробку кількох поверхонь деталі у поздовжньому або поперечному напрямках.

Підвищити продуктивність обробки отворів, шляхом концентрації технологічних переходів, дозволяє запропонована командою багатошпиндельна головка. Вона дозволяє зменшити основний час обробки, а також скоротити витрати допоміжного часу на холості переміщення.

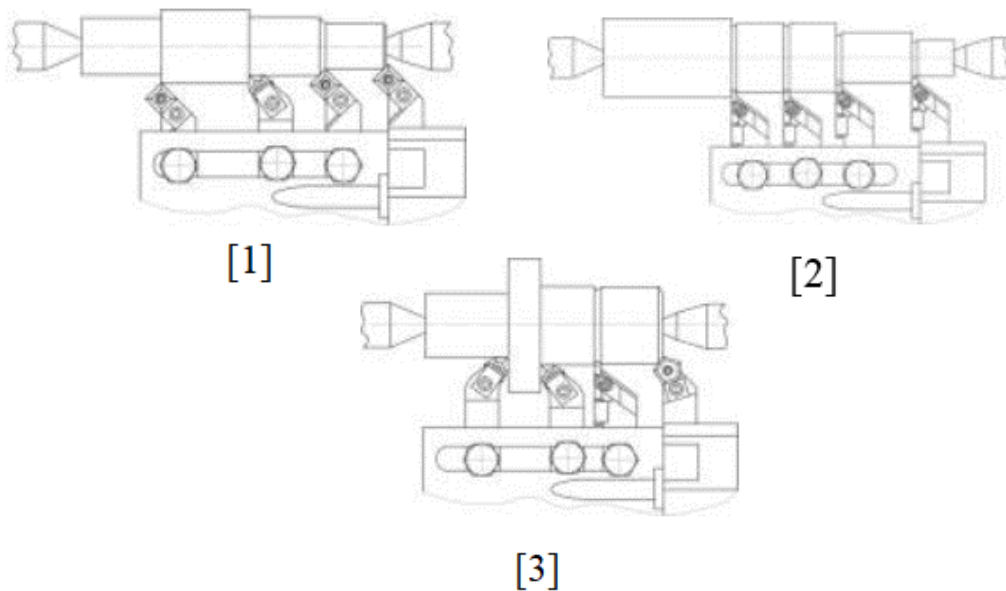


Рис. 9. Технологічні схеми налагодження багато різцевого тримача

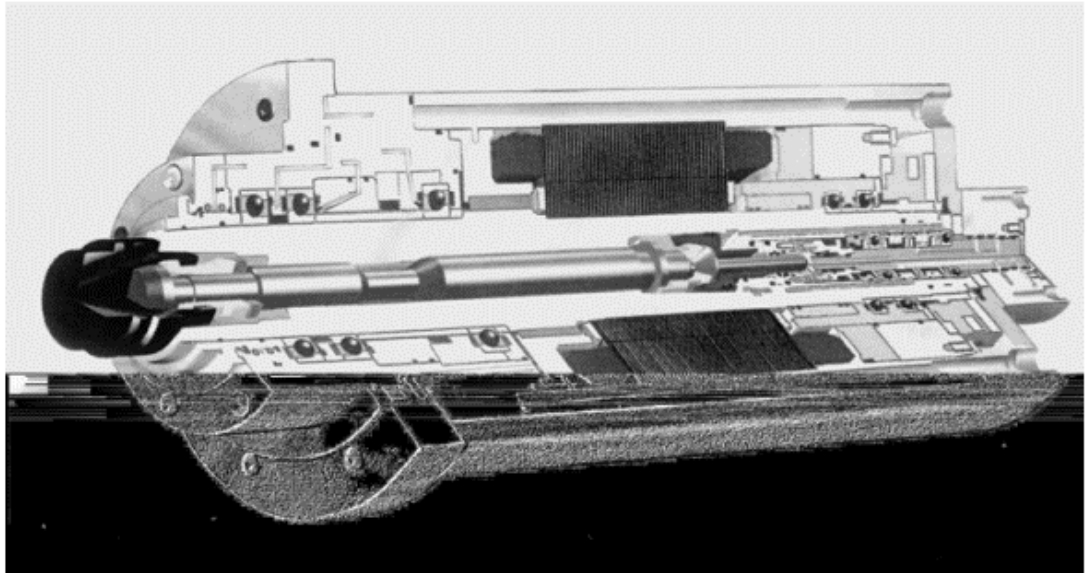
Компонування верстатних пристроїв з елементів системи УЗПП виконується за агрегатно-модульним принципом побудови і забезпечує автоматизоване переналагодження установочних і затискних елементів у межах заданих технічних характеристик. Функціональні можливості системи УЗПП дозволяють рекомендувати її для установки заготовок на верстатах з ЧПК в умовах багатомоделного виробництва.

У сучасному верстатобудуванні спостерігається тенденція масового комплектування металообробного устаткування електрошпинделями, які є конструкційною модифікацією асинхронних або синхронних електродвигунів. Різновидом цього виду двигунів є інструментальні електрошпинделі, які розглядають як один із компонентів системи інструментального забезпечення.

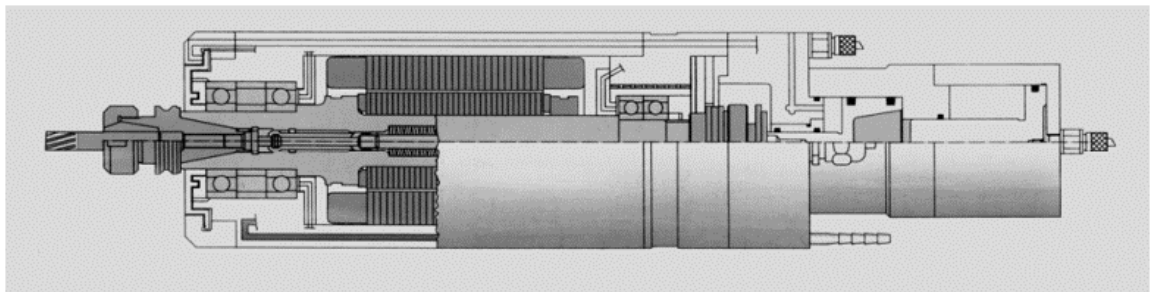
Інтегральна будова шпинделя з електродвигуном має низку позитивних властивостей, найголовнішими з яких є відсутність механічних передач для передавання обертового моменту і зміни частоти обертання шпинделя; усунення радіального навантаження шпинделя механічною передачею. Це істотно зменшує габарити верстата за найширшого діапазону

регулювання швидкості без зниження обертового моменту й істотно підвищує точність обробних деталей. В інструментальних електрошпинделях передбачено механізм автоматичного закріплення інструментів, подавання в зону різання МОР, ззовні або через осьовий канал, очищення інструментального гнізда стисненим повітрям під час заміни інструмента.

На рис. 10 а, показано інструментальний електрошпиндель потужністю 32 кВт фірми CyTecZylindertechnik. Його максимальний обертовий момент становить 400 Нм, номінальна частота обертання - 1000 хв^{-1} . На рис. 10 б, показано інструментальний електрошпиндель мод. HF 250 фірми IBAG потужністю 60/75 кВт з максимальною частотою обертання 8000 хв^{-1} , який має механізм закріплення стандартних інструментальних оправок ISO або НСК. .



а



б

Рис. 10. Електрошпиндель фірми CyTecZylindertechnik (а) та IBAG (б)

При пошкодженні інструменту в технологічній системі верстата миттєво зростає вібрація, на що система ЧПК реагує відключенням головного приводу шпинделя та відведенням інструменту від деталі. Несвоєчасне реагування на автоколивання часто призводить до пошкодження інструменту, обробної деталі або ж елементів та вузлів верстата. Значний рівень вібрацій може свідчити не тільки про збурення в процесі різання, але також про порушення умов роботи відповідних механізмів обладнання. Для мінімізації особливо небезпечних автоколивань, джерелом яких може бути, наприклад, дуже мала подача, а також для вимірювання сили різання шпиндель оснащують системою контролю за вібраціями.

У верстатах, які мають системи адаптивного керування, у випадку автоматичного поділу припуску подача може зменшуватись тільки до мінімально допустимої величини, коли не виникають автоколивання. Після досягнення критичної мінімальної подачі система автоматичного поділу припуску поступово виводить інструмент із зони різання, зменшуючи глибину різання, аж до моменту, коли сила різання зменшиться до значення, меншого за критичну величину.

Як висновок, можна сказати, що наведені у цій роботі відомості лише частково охоплюють досягнення у створенні сучасних інструментальних систем та лише ті з них, які використовуються у найпоширеніших типах верстатів і набули якнайширшого застосування. Загалом, як свідчать результати експлуатації, впровадження в промислове виробництво, машинобудування та приладобудування широкої гами сучасних верстатів з ЧПК, передусім багатоцільового призначення та автоматизованих комплексів і систем, споряджених сучасними уніфікованими комплексами технологічного спорядження та інструментальних систем з орієнтацією на гнучке виробництво, багатократно підвищує ефективність виробництва та якість продукції.

Для прикладу можемо порівняти базовий 1П756ДФЗ та сучасний верстат аналог DAEWOO - PUMA 350:

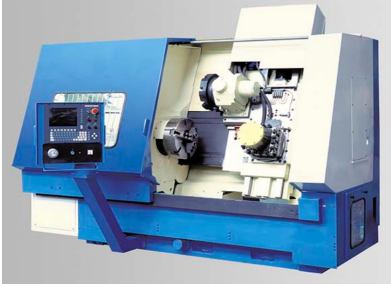
Фото		
	1П756ДФ3	DAEWOO - PUMA 350
Найбільший діаметр обробки заготовки	500 мм.	700 мм.
Діаметр отвору шпинделя	63 мм.	91 мм.
Макс. швидкість обертання шпинделя	1600 об/хв.	3500 об/хв.
Потужність двигуна	39 кВт.	26 кВт.
К-сть інструментів на диску	8 шт.	12 шт.
Вага	9 т.	8,2 т.

Табл. 3. Порівняння технічних характеристик базового 1П756ДФ3 та сучасного DAEWOO - PUMA 350 верстата

Висновок. Вивчення технічних характеристик та конструкції базового токарного верстату 1П756ДФ3 дозволяє обрати наступні напрямки збільшення його технологічної гнучкості:

1. Розширити діапазон частот обертання приводу головного руху за рахунок підвищення максимальної частоти обертання до 3000-4000 об/хв. (за результатами аналізу сучасних верстатів)
2. Обрати тип та характеристики електродвигуна приводу головного руху змінного струму на заміну двигуна постійного струму, який використано у базовому верстаті.
3. Обрати частотний перетворювач для двигуна приводу головного руху.
4. Виконати кінематичний розрахунок привода головного руху.
5. Обґрунтувати компоновку опор шпиндельного вузла.
6. Обрати покупну шарикову гвинтову передачу (обґрунтувати)
7. Розрахувати привод подачі.
8. Виконати порівняльний аналіз револьверних головок та обрати придатну для верстату 1П756ДФЗ з точки зору характеристик та можливості встановлення.

4.Сучасні інструментальні системи для ЧПК

4.1 Сучасні інструментальні системи автоматизованого обладнання для ЧПК

Наприкінці 90-х років минулого століття у машинобудуванні та приладобудуванні окреслилися нові напрямки і тенденції автоматизації виробництва. У 1970-1990-х роках домінуючим в автоматизації було використання гнучких автоматизованих виробничих систем різного організаційного рівня - від ГАЛ (гнучка автоматизована лінія) до ГАЗ (гнучкий автоматизований завод). Створення комплексних ГВС передбачає вирішення складних наукових та організаційно-технічних проблем із розроблення та впровадження взаємопов'язаних автоматизованих підсистем ГВС: наукових досліджень, дизайну виробів, технологічної підготовки виробництва, роботизованих технологічних комплексів і модулів, систем транспортування і складування, інструментального забезпечення, календарного планування та оперативного керування, контролю якості

продукції тощо. Успішне вирішення цих проблем належало до прерогативи крупних фірм, оскільки передбачало значні капіталовкладення, проте результатами функціонування і експлуатації ГАВС було істотне скорочення термінів освоєння нових видів продукції, багатократне зменшення поточних виробничих витрат, підвищення якості продукції та її технічного рівня. Усе це сприяло монополізації ринку, витісненню дрібних фірм-виробників і концентрації капіталів. Проте успіхи і досягнення фундаментальних і прикладних наук на зламі XX - XXI ст. змінили цю тенденцію. Проведення провідними світовими фірмами-виробниками широкомасштабних експериментальних і теоретичних науково-дослідних робіт, досягнення мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки (стрімке зростання ємностей магнітних і оптичних носіїв інформації, можливості перетворення величезних масивів інформації у режимі реального часу, розроблення нових поколінь надпотужних і швидкодіючих комп'ютерів та мереж, впровадження у виробництво інформаційних технологій, числового та графічного моделювання процесів і їх оптимізація), впровадження прогресивних матеріалоозаощадних і енергоощадних технологій, створили передумови для над швидкого прогресу техніки і технології, сприяли становленню на ринку машинобудівної і приладобудівної продукції невеликих фірм, здатних легше адаптуватися до швидкозмінних умов ринку при зменшенні інвестицій у нову техніку та технічне переоснащення виробництва.

У широкій гамі сучасних високодинамічних верстатів з ЧПК реалізовано принцип високошвидкісного різання "High speed cutting / High speed machining" (HSC/HSM), який ґрунтується на економічній доцільності та репрезентує концепцію ощадного виробництва. Ця тенденція забезпечена, зокрема, впровадженням сучасних інструментальних систем та систем уніфікованого технологічного спорядження для верстатів з ЧПК з орієнтацією на індивідуальний керований привід окремих інструментів, а також творення систем подачі у зону різання мастильно-охолоджувальних середовищ (МОС) під тиском до 450 МПа.

Основні зміни у підходах до автоматизації виробництва XXI ст. показано в табл. 1.

XX століття		XXI століття
<i>Високі технології</i>		<i>Матеріалоощадне та енергоощадне виробництво</i>
<i>Повна автоматизація</i>		<i>Адаптування до вимог автоматизації</i>
<i>Організація із орієнтацією на техніку</i>		<i>Автономна організація з орієнтацією на персонал</i>
<i>Керована робота</i>		<i>Колективна робота</i>
<i>Кваліфікований персонал</i>		<i>Працівники високої кваліфікації широкого профілю</i>

Табл. 4. Зміна концепції автоматизації виробництва у XXI ст.

Аналіз основних тенденцій та напрямків розвитку інструментальних систем. Розвиток інструментальних систем найвідоміших фірм-виробників, зокрема, шведських фірм KNUTH I Sandvik (системи Coromant Capto, CoroGrip, Varilock та HSK), італійської фірми “DIPLOMATIC”, німецьких фірм WEIPERT Werkzeugmaschinen, WilhelmFette GmbH, Guhring, японських фірм NIKKEN NC TOOLING SYSTEM, Yamazaki здійснюються у таких напрямках:

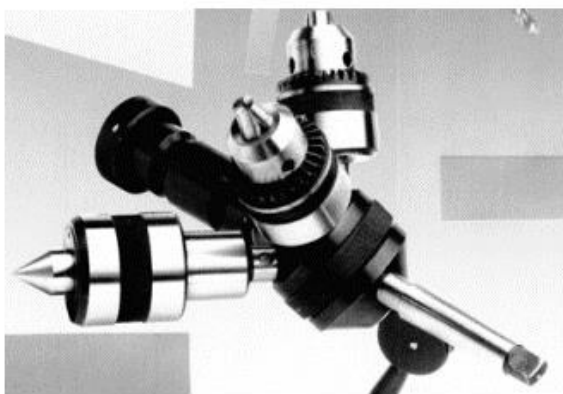
- створення нових і удосконалення відомих систем автоматичної та ручної заміни інструментів
- удосконалення конструкції інструментальних магазинів;
- розроблення систем точного позиціонування інструментів у робочому просторі верстата, створення систем активного

контролю стану інструментів під час роботи та виявлення ушкоджень;

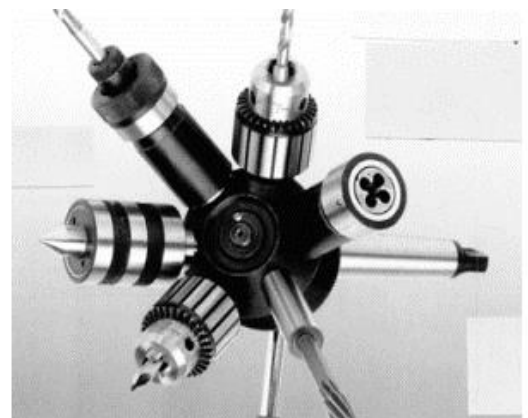
- розроблення ефективних систем кодування інструментів і введення інформації про них у пам'ять процесорних блоків;
- удосконалення процесів транспортування інструментів і спорядження та збереження їх на складах ;
- уніфікування та стандартизація посадкових гнізд, інструментальних блоків і окремих елементів.

4.2 Приводні інструментальні головки для токарних верстатів.

Для розширення технологічних можливостей токарних верстатів із задньою бабкою фірма KNUTH пропонує застосування спрощених 4-х або 6-ти позиційних револьверних головок, встановлюваних в піноль задньої бабки за допомогою конуса Морзе, споряджених індивідуальним приводом (рис. 11). Це дає змогу істотно зменшити кількість інструментів для операцій центрування, свердління, розвертання, нарізання нарізі під час оброблення зовнішніх поверхонь деталі інструментами, встановленими на супорті токарного верстата.



а



б

Рис.11. Позиційні головки із індивідуальними приводами, встановлені в піноль задньої бабки (а) та (б) .

Оскільки на токарних верстатах, навіть керованих системами ЧПК, переважно обробляють деталі з невеликою кількістю обробних поверхонь за декілька переходів, проблема автоматичної заміни інструментів не виникає

надто часто, хоча автозамінювачі розроблено також і для цих верстатів. Вирішення проблеми інструментального забезпечення цих верстатів найчастіше зводиться до спрощених способів попереднього ручного встановлювання і настроювання інструментів та їх періодичної заміни в револьверних головках або у швидкозмінних різцетримачах, при цьому допоміжний час заміни інструментів не є вирішальним чинником тривалості циклу оброблення і не впливає істотно на собівартість деталей. Аналогічна ситуація виникає у процесі оброблення малої кількості поверхонь на багатоцільових токарно-фрезерних або фрезерних верстатах, коли вистачає робочих шпинделів інструментальної револьверної головки, або ж це питання вирішують застосуванням спрощеної системи автоматичної заміни декількох інструментів, вміщених в інструментальному, найчастіше дисковому або барабанному магазині із малою кількістю гнізд (до декількох десятків).

8-12-позиційні револьверні інструментальні головки ТМУ-16 родини SM широко застосовують у токарних верстатах з ЧПК із нахиленою поверхнею станини (рис. 12), в яких відсутній традиційний супорт, а задня бабка має піноль з приводом від гідроциліндра, керованого системою ЧПК. Ця головка має привід від серводвигуна, механізм позиціювання інструментів, привід індивідуальних головок для обертових інструментів - свердел, фрез, окремий привід механізму подачі на осі Y. Системи ЧПК револьверних головок легко адаптуються до ЧПК верстатів або інших машин і узгоджені з більшістю серійних систем ЧПК. Такі конструктивні рішення широко використовують: японська фірма Mazak, у її токарних верстатах з ЧПК родини Quik Turn I Super Quik Turn; південнокорейська фірма DAEWOO (токарні верстати з ЧПК родини Puma), німецькі фірми Marta (родина верстатів TM і STM), Weiler (родина верстатів DZ), KNUTH (родина верстатів Starship), Deckel Macho (родина верстатів CTX Linear, NEF, GMX); польські виробники «Науково-конструкційний центр верстатів» (родина верстатів Venus); чеські виробники (родина верстатів TCH).

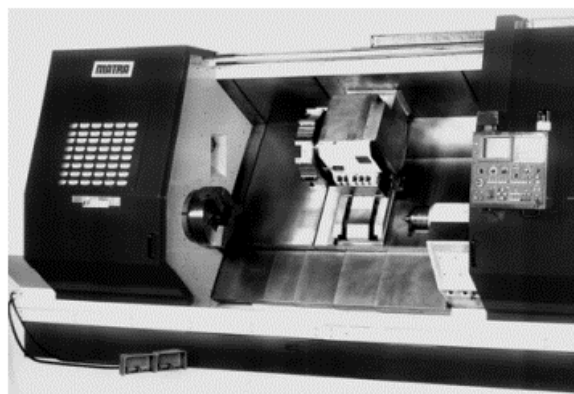
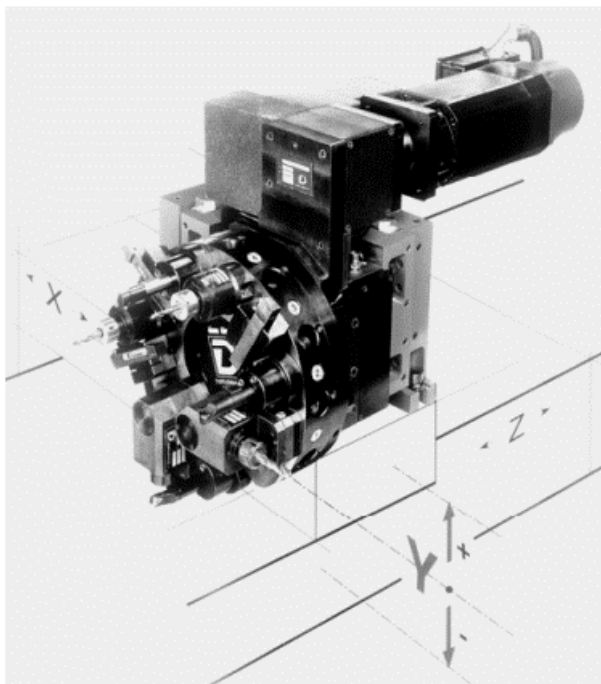
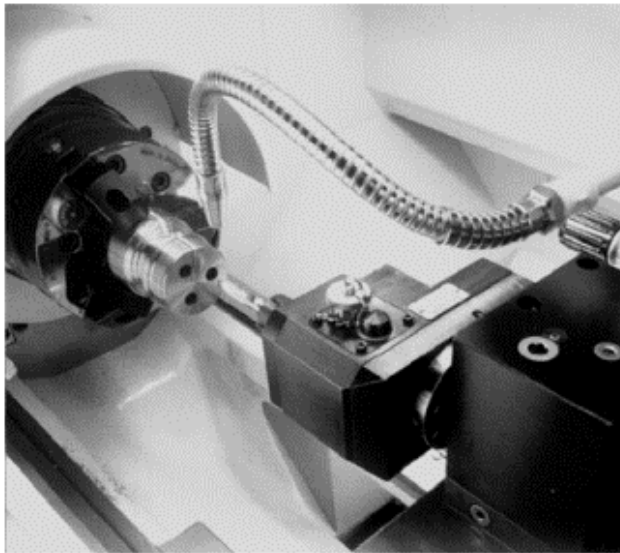


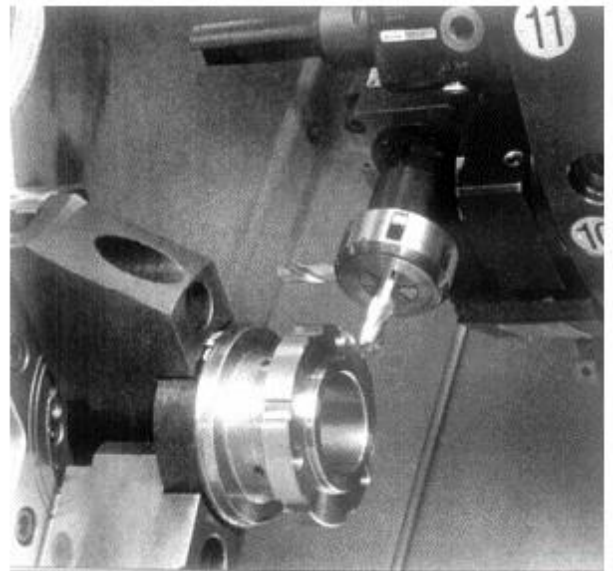
Рис. 12. Загальний вигляд револьверної головки до верстата із ЧПК із нахиленою станиною.

На рис. 13 показано свердління нецентрових отворів за допомогою привідної осьової (а) і кутової (б) інструментальних головок; кутова інструментальна головка (в), свердло для глибокого свердління із системою подавання МОР під високим тиском на робочій позиції верстата (г).

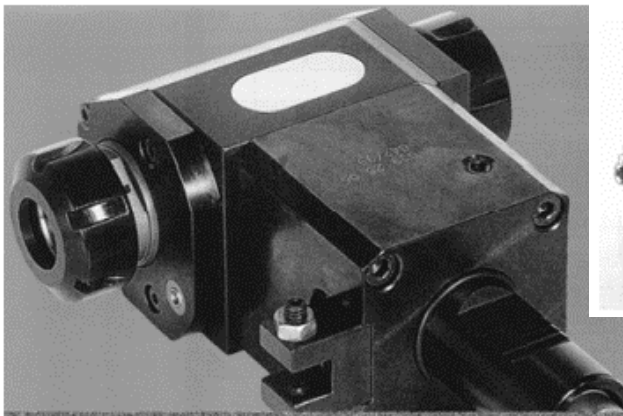
Особливість головок з кутовим з'єднанням стрижня головки із радіальною частиною, на відміну від прямокутної конструкції цього вузла, забезпечується якісніший контакт цих елементів і значно вища жорсткість усієї системи. Таку конструкцію двосторонніх розточувальних оправок використовують також інші виробники технологічного спорядження.



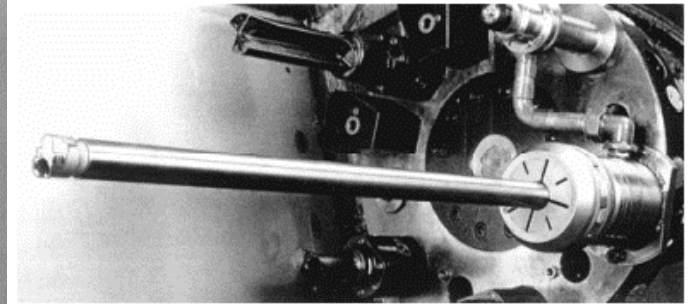
а



б



в



г

Рис.13. Свердління нецентрових отворів на верстаті із ЧПК

У виробництві дуже часто зустрічаються різні складні за конструкцією деталі, в яких зустрічаються різні поверхні, розташовані під певними кутами, внутрішні порожнини, кармани пази, шліци і т.д., обробка яких найчастіше найбільш доцільна від однієї бази, з одної установки або на одному верстаті, без зайвих додаткових переустановлень на інше обладнання. Для вирішення таких завдань доцільно застосування різних приводних інструментів, які суттєво розширюють функціональні можливості багатьох токарних та фрезерних верстатів та інших агрегатних верстатів.

Приводні блоки - це додатковий інструмент, що розширює можливості

верстата з ЧПУ. Механізм їх роботи наступний: на шпиндель верстата кріпиться револьверна головка (револьверний диск, поворотний барабан), в якому за допомогою спеціальних блоків закріплюється кілька різних інструментів для фрезерних верстатів або заготовок для токарні верстатів. Після закінчення обробки одним інструментом, револьверна головка зсувається, задіюючи інший інструмент. Для обертання інструментів у револьверній головці необхідний механізм, що їх приводить в рух, – привід. Звідси і назва блоків, що виконують це завдання, — приводні блоки. На відміну від інструментальних блоків приводні блоки мають спеціальний хвостовик, що передає крутний момент від шпинделя інструменту або заготовці.

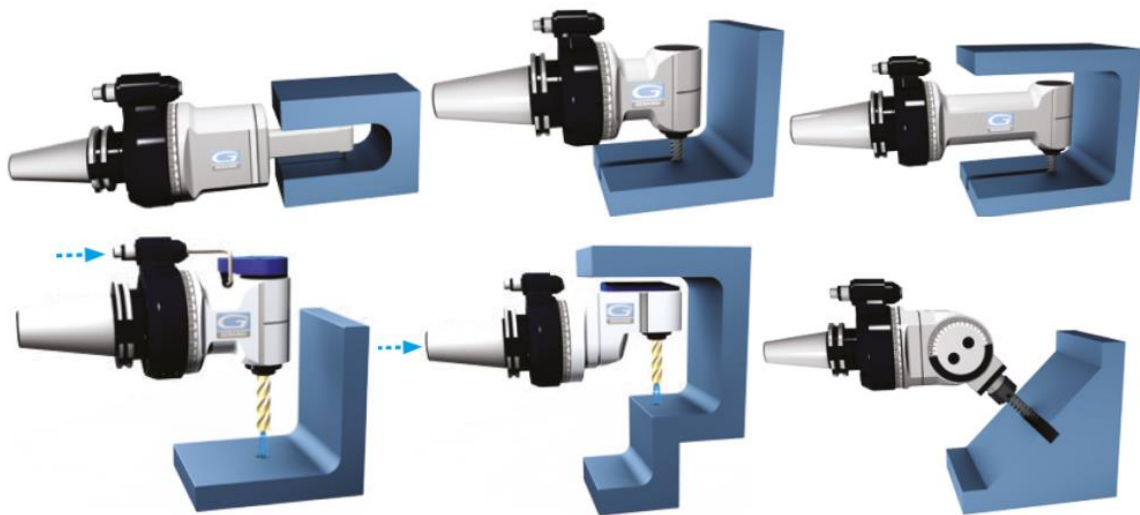


Рис. 14. Приклади застосування приводних блоків

Сучасні головки випускаються в широкому асортименті для вирішення різноманітних завдань. Конструкції головок різноманітні, починаючи від простих конструкцій, до модульних, швидкопереналаджуваних та різних складних спеціалізованих рішень під конкретні завдання.

Приводні блоки для токарних верстатів ще більш різноманітні за призначенням - це звичайні осьові, кутові приводні блоки, багатошпиндельні блоки, поворотні, різні модульні конструкції, зубонарізні блоки, довбальні, блоки лазерного різання, шліфування і т.д. — по суті, вони значною мірою розширюють функціональні можливості токарного верстата з ЧПУ, виключають необхідність застосування додаткового обладнання, скорочують

час виготовлення деталі тощо.

Поворотна приводна оправка з цифровим дисплеєм.

До стандартного поворотної приводної оправки додано енкодер і цифровий дисплей для індикації кута (рис. 15). Операція виставлення кута значно спрощується, скорочується час регулювання. Тепер немає необхідності перевірки та корекції кута у верстаті за допомогою індикатора, вся операція виконується поза верстатом за допомогою дисплея, на якому відображається виставлений кут.

Основні характеристики оправки:

- Скорочення часу налаштування кута;
- Налаштування кута поза верстатом;
- Допуск $+0,05^\circ$.



Рис. 15. Поворотна приводна оправка із цифровим дисплеєм ідентифікації кута.

MT-DCY Digitally Connected Y-Axis (Рис. 16) (Електронна вісь Y) - революційний пристрій, що дозволяє виконувати свердління, фрезерування та різьбонарізання поза центром на верстатах, що не мають осі Y або при обмеженому ході по осі. MT-DCY дозволяє виконувати зсув по осі Y в межах $+25$ мм. за допомогою незалежного пристрою, що встановлюється безпосередньо в револьверну головку, що займає одне місце і не вимагає складних підключень до верстата. Вся електроніка, яка потрібна для позиціонування, знаходиться на самій оправці та передає дані через двосторонній протокол Bluetooth. Жорсткість обробки забезпечується пневматичним затискним пристосуванням, пристрій дозволяє

використовувати всю потужність верстата завдяки передаточному відношенню 1:1 до приводу револьвера.

Основні характеристики електронної осі Y MT-DCY Digitally Connected Y-Axis:

- забезпечує / подовжує хід по осі Y на верстаті;
- Дозволяє виконувати свердління, фрезерування та різьбонарізання поза центром;
- Хід осі Y: +/- 25мм.;
- Присутній зажим осі для максимальної жорсткості;
- Бездротовий двосторонній зв'язок з ЧПУ.

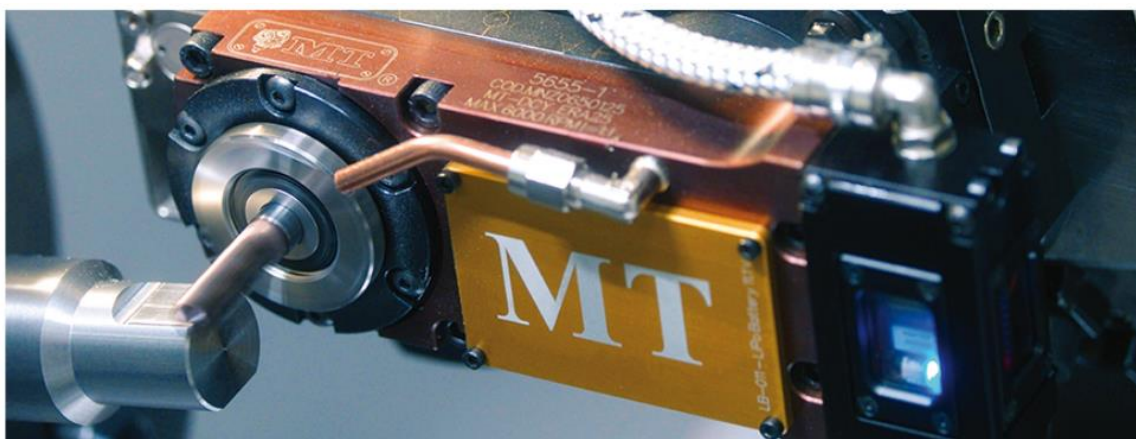


Рис. 16. Приводний блок MT-DCY Digitally Connected Y-Axis

Нова технологія **MT-DCY Digitally Connected Machining** (Рис.17) розроблена відповідно до вимог концепції Промисловість 4.0 дозволяє збирати і передавати на верстат в реальному часі параметри, одержувані під час обробки. Інформація, отримана від приводного блоку з системою MT-DCY, може використовуватися для відстеження поломки інструменту, своєчасної заміни зношеного інструменту, автоматичного налаштування параметрів обробки та аналізу умов роботи верстата. Прогресивна система контролю за обробкою, дуже чутлива та встановлена безпосередньо на приводному інструменті, в безпосередній близькості від деталі, вона може побачити навіть невеликі відхилення. Інструмент, необхідний для великосерійного виробництва з високим ступенем автоматизації, оскільки дозволяє знизити кількість браку та оптимізувати параметри обробки.

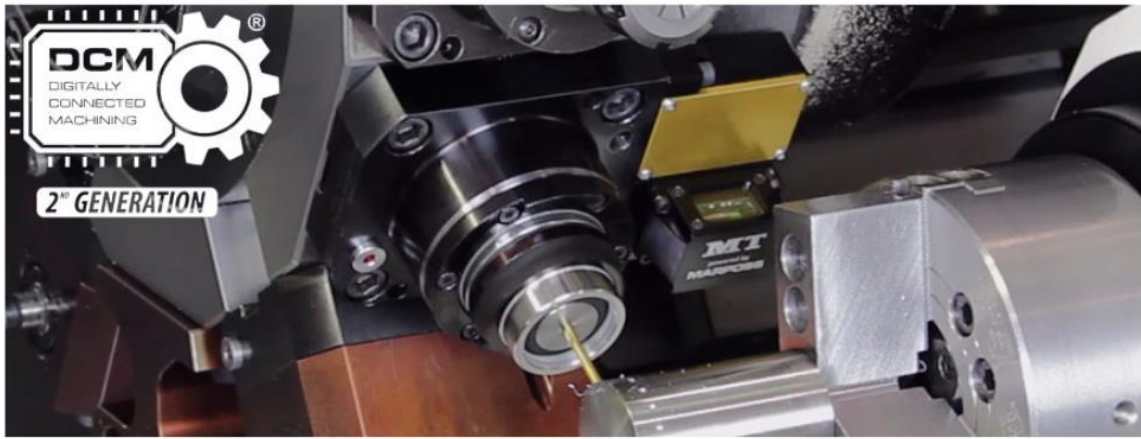


Рис. 17. Приводний блок MT-DCY Digitally Connected Machining

Привідний блок із вбудованим **мотор-шпинделем X11** (Рис. 18) - результат інноваційних розробок, який є постійним двигуном, що характеризує діяльність компанії «М.Т.» і підтверджує її лідерство на ринку. Ще раз компанія першою на ринку пропонує унікальний продукт, що дозволяє виконувати на токарному верстаті обробки, раніше можливі тільки на спеціальному устаткуванні.

Даний пристрій може бути встановлений у приводну револьверну головку звичайного токарного верстата з ЧПУ, дозволяючи виконувати шліфування, маркування, гравірування, свердління отворів на високій швидкості без необхідності встановлювати складні додаткові з'єднання та підключення.

Приводний блок з мотор-шпинделем X11 працює за рахунок обертання інструментального приводу револьверної головки, що вже є на верстаті, генерує електроенергію, трансформує її та подає на вбудований мотор-шпиндель, дозволяючи йому розвивати швидкість обертання до 60000 об/хв. Керуюча електроніка дозволяє підвищувати швидкість обертання на вході до 11 раз, що дозволяє виконувати різні обробки на високій швидкості.

Пристрій займає всього одне місце в револьверній головці та оснащується мотор-шпинделем з діаметром 42мм. Передбачено також ефективну систему охолодження мотор-шпинделя, яка використовує стандартну систему подачі MOP револьверної головки. Крім того, на верстатах, які не мають у стандарті вбудовану систему подачі надлишкового стиснутого повітря, компанія МТ передбачила можливість оснащення блоку

незалежною системою продувки, що гарантує належну ізоляцію мотор-шпинделя від зовнішніх забруднень. Цей пристрій поставляється готовим до встановлення та не вимагає прокладання шлангів та кабелів для підключення до верстата.

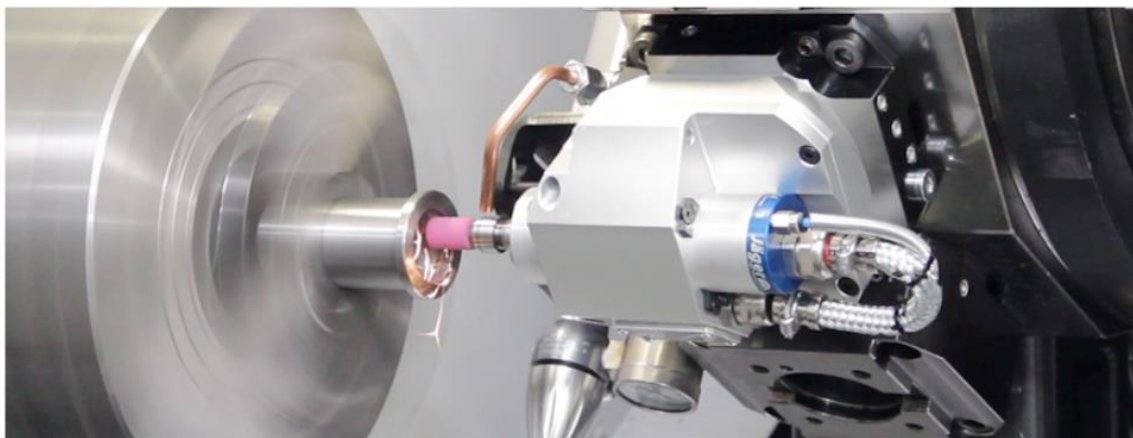


Рис. 18. Мотор-шпиндель X11

Оправка для черв'ячних фрез М.Т. S.r.l. (Рис. 19) дозволяє обробляти зуб безпосередньо на токарному верстаті, скорочуючи простой на налагодження двох різних машин: токарного та зубофрезерного верстатів. Можна виконувати циліндричні шестірні з прямими або спіральними зубами, а також конічні шестірні із прямими зубами. Приводна зубофрезерна головка МТ. може мати передаточне відношення 1:1 або 2:1, дозволяючи обробляти різний зуб навіть при обмеженій потужності інструменту, що обертається.

Оправка для черв'ячних фрез МТ. може регулюватися під кутом, дозволяючи виготовляти косозубі колеса. Міцність та жорсткість виробу забезпечують відмінну якість чистової обробки поверхні у поєднанні з високими параметрами різання. Черв'ячна фреза легко змінюється, що дозволяє скоротити час переналагодження.

Характеристики оправки для черв'ячних фрез М.Т. S.r.l.:
Оправка для зубофрезерування М.Т. пропонується для широкого ряду верстатів і може бути п'яти розмірів:

- Маленький: підходить для черв'ячних фрез діаметром до 40 мм. і довжиною до 43 мм.
- Стандартний: підходить для черв'ячних фрез діаметром до 50 мм. і довжиною до 50 мм.

- Середній: підходить для черв'ячних фрез діаметром до 80 мм. і довжиною до 80 мм.
- Важкий: підходить для черв'ячних фрез діаметром до 90 мм. і довжиною до 90 мм.
- Максимальний: підходить для черв'ячних фрез діаметром до 100 мм. і довжиною до 100 мм.

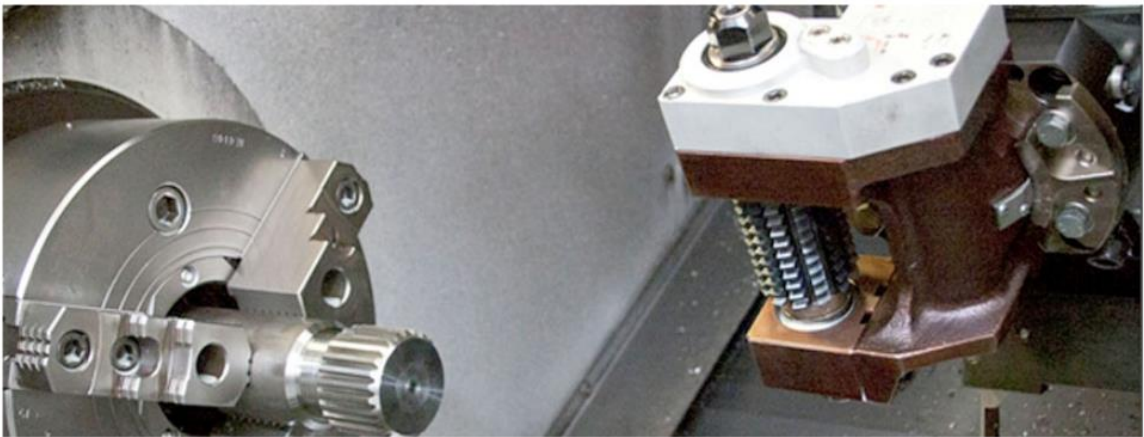


Рис. 19. Оправка для черв'ячних фрез М.Т. S.r.l.

Технологія силового зубонарізання дозволяє виконати внутрішнє та зовнішнє зубонарізання за найкоротший час. Зовнішнє та внутрішнє зубонарізання можливе з прямими або спіральними зубцями. Крім цього виконання зубонарізання проходить поблизу заплічників без небезпеки зіткнень.

Переваги цієї технології виняткові. До сьогоднішніх днів така технологія була застосована тільки на профільних зубофрезерних верстатах, що виробляються чотирма компаніями в усьому світі та з високою вартістю. Після трьох років вивчення та розвитку, компанія М.Т. надала таку технологію для стандартних верстатів з ЧПУ та віссю, завдяки спеціальному блоку. Блок силового зубонарізання (Рис. 20) для верстата дозволяє завдяки регулюванню нахилу зіставлення з поперечними кутами цієї технології, які зазвичай бувають між 15 і 40 градусами. Крім цього блок оснащений системою швидкого кріплення MTSK, розробленої М.Т., для більш точної та швидкої заміни зуборізального інструменту.



Рис. 20. Блок силового зубонарізування



Рис. 21. Блоки для зубонарізування та приклади виготовлених виробів.

Пристрій для лазерного різання на верстаті з револьвером (Рис. 22) включає всі елементи необхідні для обробки: джерело та лазерну головку, додатковий блок для керування сигналами від та до ЧПУ, пристрій для автоматичного виймання головки яка монтується в револьвер, електроклапани та газ для процесу.

Потужність лазерного променя контролюється постійним або перервним режимом для того, щоб була можливість різання матеріалу із великою товщиною.

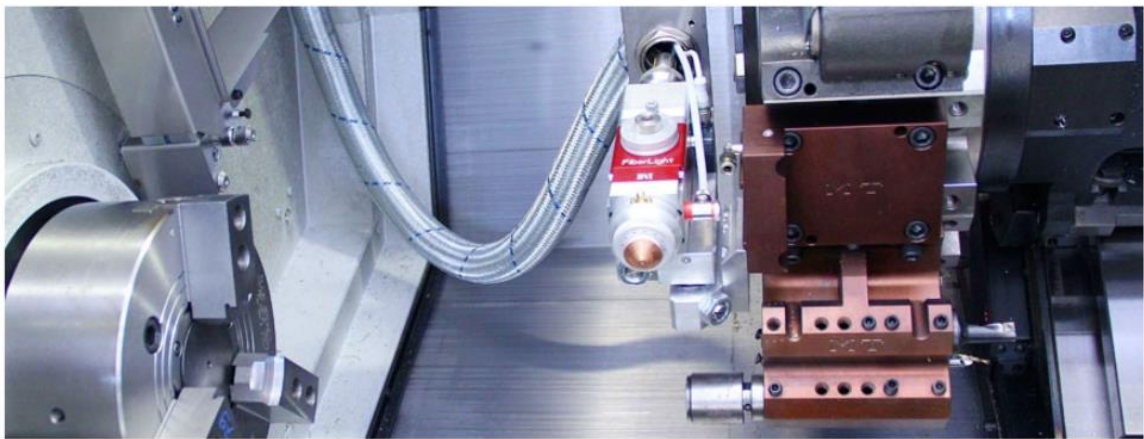


Рис. 22. Пристрій для лазерного різання на верстаті з револьвером

Високоточна обробка на токарному верстаті вимагає постійного контролю у процесі обробки, виконання якого досі було ускладнено через наявність пилу, стружки і МОР, що впливали на точність вимірювання і призводили до поломки вимірювального щупа. Компанія М.Т. створила **MT-TPS Touch Probe Shield** (Рис. 23), пристрій для захисту вимірювальних інструментів, що дозволяє уникнути вище сказаних проблем. Захист відкривається за рахунок стисненого повітря, яке, подається під тиском, також очищує вимірювальний щуп, таким чином, MT-TPS Touch Probe Shield забезпечує максимальну точність вимірювання в процесі обробки, з повторюваністю нижче мікрона.

Основні характеристики MT-TPS Touch Probe Shield:

- Захист щупа від металевої стружки, пилу та МОР;
- Відкриття захисту за допомогою стисненого повітря;
- Очищення щупа потоком стисненого повітря;
- Точний вимір як в осьовому, так і в радіальному напрямку.

Для верстатів, які не оснащені системою подачі стисненого повітря на евольверній головці, М.Т.. розробила двоходовий пневморозподільник, що встановлюється на револьвері, що дозволяє підключити MT-TPS Touch Probe Shield. Цей же пристрій можна використовувати для подачі стисненого повітря для мотор-шпинделя X-11, що застосовується для шліфування, маркування, гравіювання та свердління на високих швидкостях з високою точністю, виключаючи вібрацію, що забезпечується одним пристроєм, що

встановлюється безпосередньо в револьверну головку токарного верстата, що займає одне місце і не вимагає складні підключення.

Одночасне застосування MT-TPS і X-11 дозволяє використовувати традиційний токарний верстат для виконання внутрішнього шліфування з високою точністю.

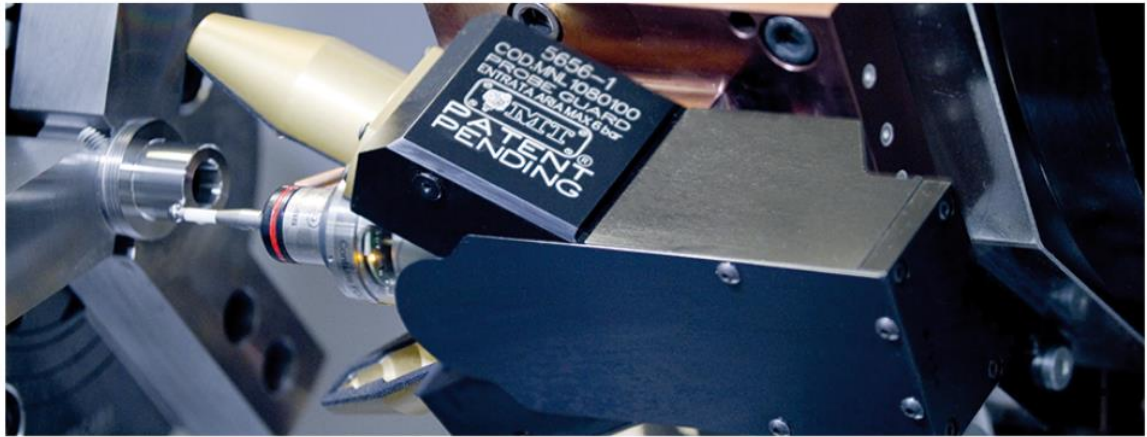


Рис. 23. Пристрій для захисту вимірювальних інструментів - MT-TPS Touch Probe Shield

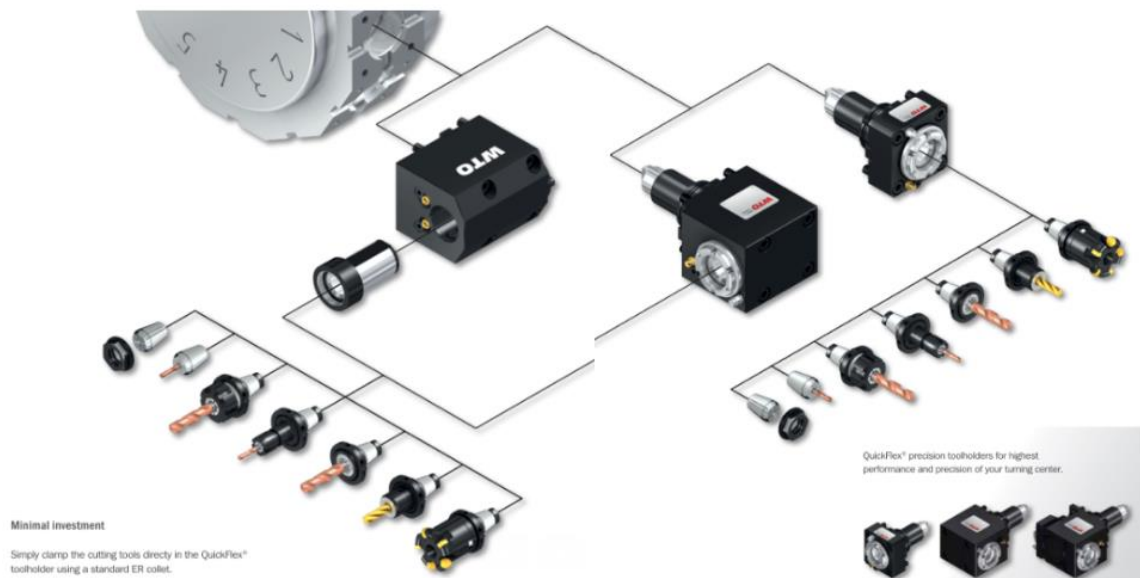


Рис. 24. Різноманітні насадки на інструментальні головки

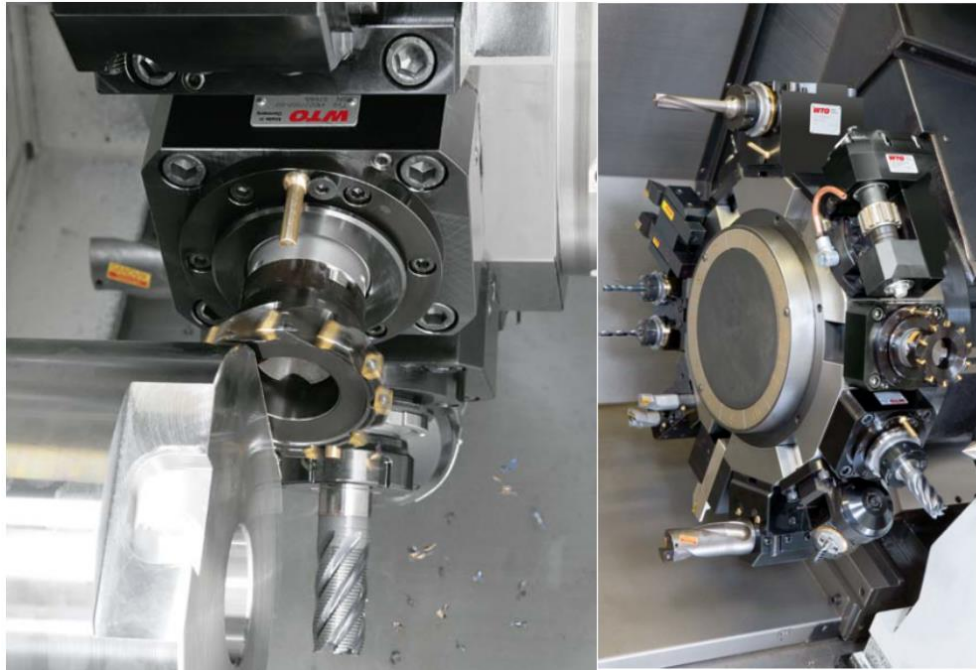


Рис. 25. Привідні інструментальні блоки на револьвері.

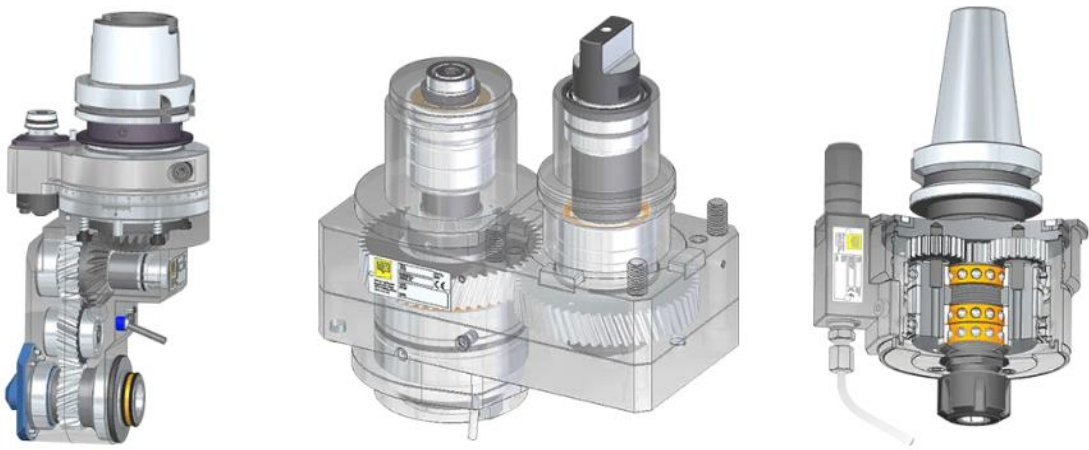


Рис. 26. Приклади конструкцій приводних інструментальних головок.

Висновок. Провели опис змін у підходах до автоматизації сучасного виробництва. Провели опис різноманіття сучасних приводних блоків, проілюстровали їхній загальний вигляд, характеристики та конструкцію.

5.Огляд кріплень приводних інструментів і вибір револьверної головки

5.1 Огляд кріплення приводних інструментальних систем VDI та BTM та вибір кріплення приводного інструменту.

Незалежно від виробника верстата, в основному є два популярні методи встановлення різцетримачів на токарно-фрезерний верстат: VDI або BTM (Рис. 27). Деякі виробники (наприклад, Hurco) навіть пропонують машини з обома конфігураціями револьверної головки як опцію. Проте виробники зазвичай вибирають тільки одну із двох систем залежно від конкретного ринку збуту.

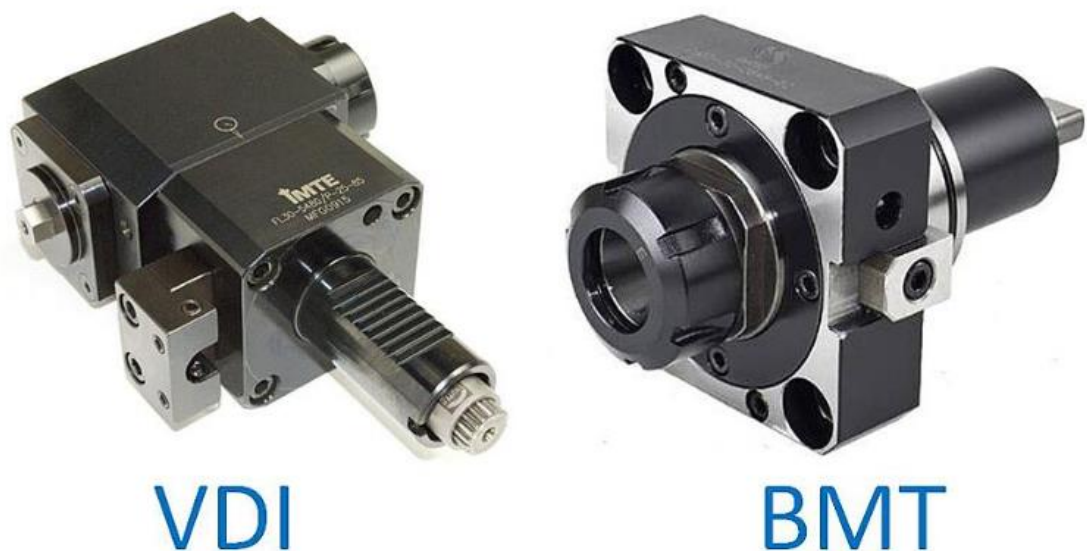


Рис. 27. Системи VDI та BTM

Такий тип отримав найбільшу популярність серед бюджетних верстатів. Аббревіатура VDI позначає також тримачів та хвостовиків інструментів. Тримачі **VDI** (або Verein Deutscher Ingenieure, що приблизно перекладається як «Товариство німецьких інженерів») мають зубчастий вал, який вставляється в отвір на лицевій стороні револьверної головки. Інструментальні блоки VDI мають зубчастий вал (Рис. 28), що вставляється в отвір на лицевій стороні револьверної головки. Інструмент закріплюється завдяки частині, що з'єднується з зубцями, які розміщені всередині револьверної головки.

Шестигранним ключем затягується стопорний гвинт, розташований на лицевій стороні револьверної головки, за рахунок цього, механізм прикладає затискне зусилля, яке надійно утримує інструмент на місці. Тримач утримується від прокручування штифтом, який розташований на посадковій поверхні револьверної головки. Однією з параметрів системи VDI є необхідність вказувати прямолінійність державок при їх встановленні. Через свою конструкцію та через ймовірність того, що інструмент буде обертатися в неправильному положенні, при встановленні, більшість систем VDI оснащені циферблатним механізмом (Рис. 29), що допомагає оператору при встановленні тримача на машину. Цей крок забезпечує додатковий рівень точності.

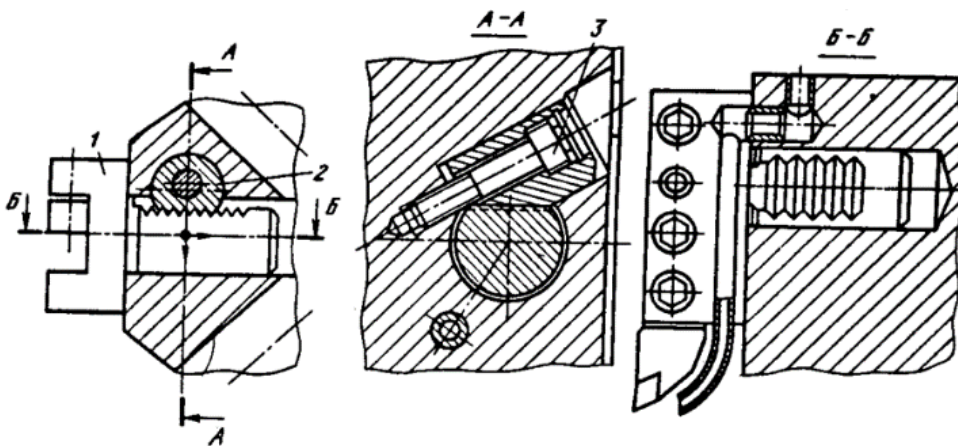


Рис. 28. Схема закріплення приводних блоків системи VDI

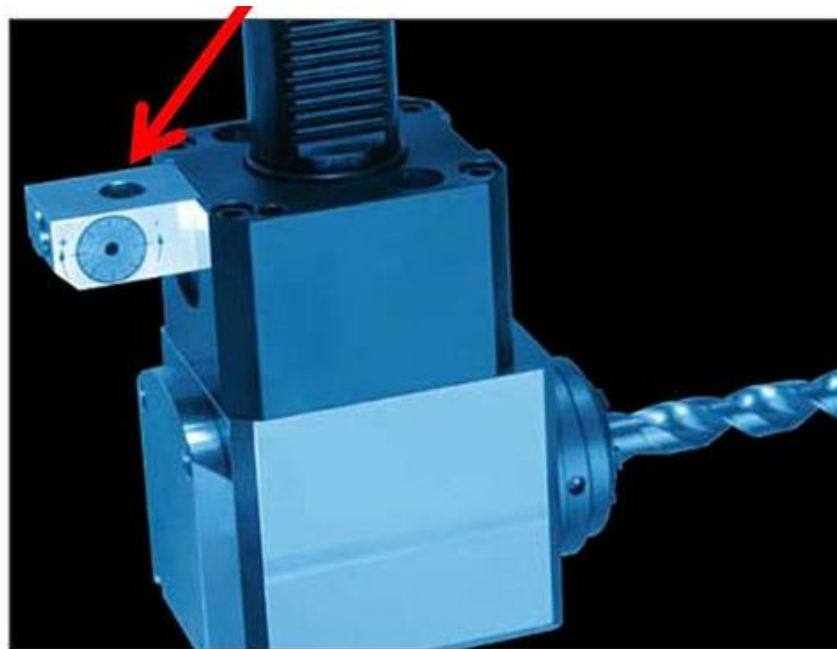


Рис. 29. Циферблатний механізм у системі VDI

На відміну від револьверних головок ВМТ, власники приводних блоків системи VDI можуть бути встановлені або на зовнішньому колі револьверної головки або на лицевій стороні револьверної головки, залежно від конфігурації револьверної головки наявного верстата.

В альтернативній системі кріплення **ВМТ** оправка базується на круглий хвостовик більшого, ніж у стандарту VDI, діаметра та 2 призматичні шпонки. Затиск відбувається за рахунок чотирьох болтів (Рис. 30) з головкою під торцевий ключ, а також встановлюється і додатково фіксується за допомогою встановочних шпонок, що є на лицевій стороні револьверної головки.

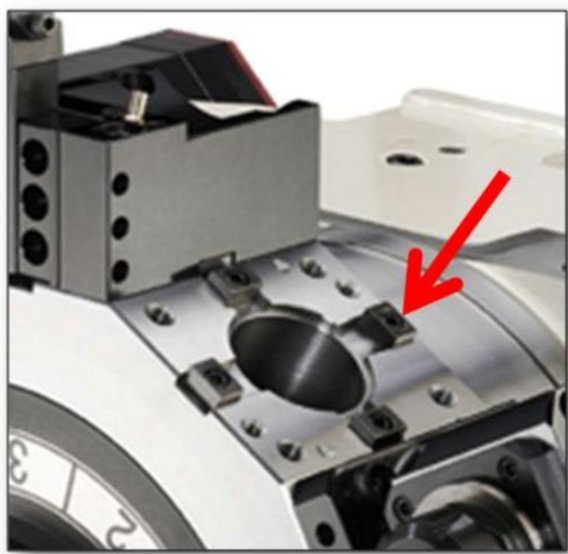


Рис. 30

Переваги системи VDI:

- Тільки один гвинт для затягування державки, він простий у встановленні і швидше налаштовується оператором.
- Менші фінансові витрати, ціна державки дешевша, ніж державка ВМТ.
- Оператор може регулювати прямолінійність та точність державки.

Переваги системи ВМТ:

- Більша жорсткість, використовується для обробки у важких умовах.

- Точність державки фіксована, оператору не потрібно регулювати прямолінійність.

Однією із особливостей приводних блоків VDI є різні типи зачеплення. Різні виробники револьверних головок використовують різні типи зачеплення. Вони не впливають на роботу приводного інструменту, але при виборі приводних блоків для верстата необхідно цей параметр враховувати. Наведемо деякі із них (Рис. 31) систем VDI та BTM:

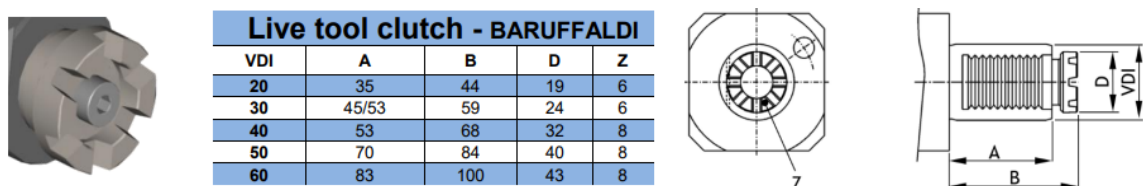


Рис.5 а. Хвостовик оправки фірми Baruffaldi.

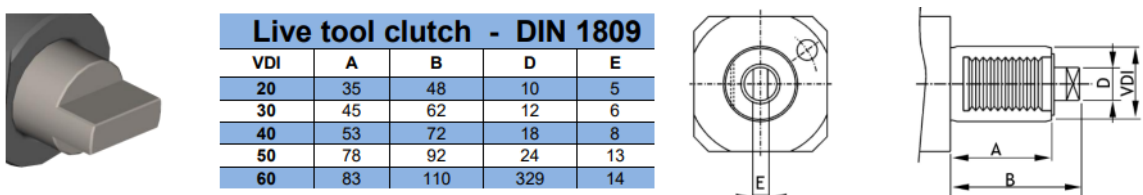


Рис. 31 б. Хвостовик оправки стандарту DIN 1809

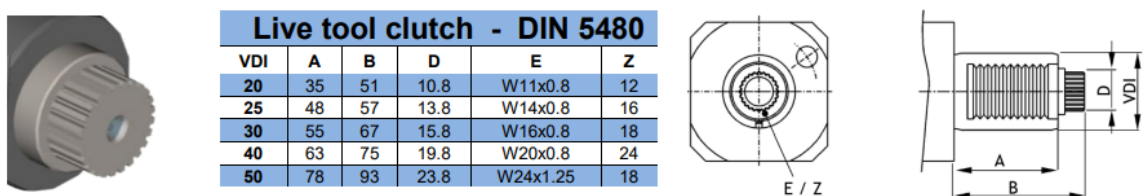


Рис.5 в. Хвостовик оправки стандарту DIN 5480

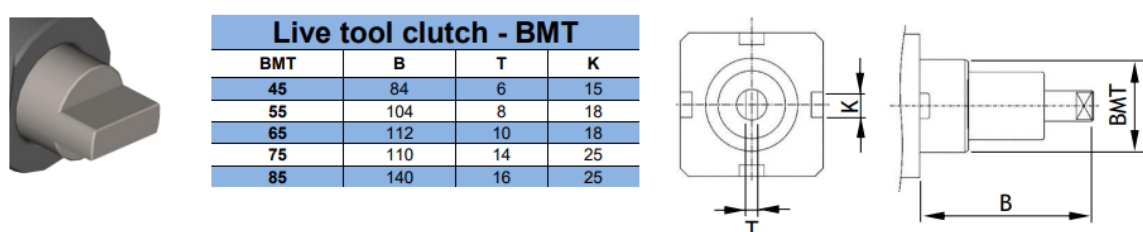


Рис. 32 г. Хвостовик оправки системи BTM.

Револьверна головка верстата з ЧПУ застосовується з вертикальною, горизонтальною та похилими осями обертання. Зміна інструменту здійснюється поворотом головки на потрібне число позицій та наступною фіксацією головки. Час зміни інструменту становить 0,13-4 секунд.

Револьверна головка, на відміну інших інструментальних магазинів, є безпосереднім робочим органом верстата, що сприймає сили різання. Тому вона повинна характеризуватись високою міцністю, жорсткістю та точністю позиціонування при повороті. Ріжучі інструменти для обробки внутрішніх та зовнішніх поверхонь не повинні заважати один одному. Заміна інструментів у головці повинна здійснюватися зручно та легко, до інструменту має бути вільний доступ.

Для швидшої заміни одного інструменту на інший використовуються уніфіковані кріплення. За своєю конструкцією револьверні головки можуть відрізнятися за кількістю інструментів та орієнтації кріплення. За кількістю інструменту бувають 6, 8, 12 і 16-ти позиційні револьверні головки.

Кількість інструменту безпосередньо впливає кількість операцій, які верстат здатний виконати за одну технологічну установку. Тому при виборі револьверної головки слід врахувати, яка максимальна кількість операцій виконуватиметься на цьому верстаті за одну установку. Найчастіше на верстатах встановлюють 12-ти позиційні головки. Наприклад, чорнову та чистову обробки токарним різцем краще виконувати різними інструментами, а відрізання та обробку канавок іноді можна виконати одним інструментом. Також револьверні головки відрізняються орієнтацією кріпленням інструменту. Існують головки із радіальним кріпленням приводного інструменту (Рис. 33):



Рис. 33. Револьверна головка із радіальним кріпленням інструменту

Такі головки, як правило, встановлюють на верстати з контршпинделем, оскільки така орієнтація дозволяє встановити відразу два інструмента в одну позицію - для головного шпинделя та для контршпинделя. За наявності осі Y на верстаті, можна встановити подвійний блок для різців, що дозволяє за рахунок зміщення по осі Y працювати іншим різцем. Недоліком такої револьверної головки є менший діаметр обробки при точінні зовнішнім різцем, через особливість конструкції, через що різець встановлюється ближче до центру обертання осі.

Існують також револьверні головки із торцевим (осьовим) кріпленням інструменту (Рис. 34):

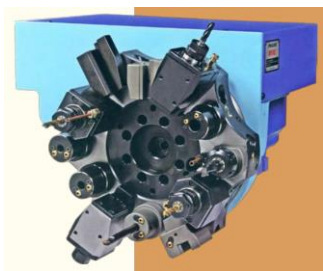


Рис. 34. Револьверна головка із торцевим (осьовим) кріпленням інструменту

Такий тип головок частіше зустрічається серед простих верстатів, без осі Y і без контршпинделя. У такому компонуванні доступний тільки тип кріплення VDI, або комбінований VDI + PN. Основна перевага такої головки - це компактність та зручність встановлення інструменту. Недолік – обмеження типу кріплення. Крім того, на таку головку не можна встановлювати багатопозиційні блоки для токарних різців, а при встановленні розточувальних різців, як правило, доводиться вкорочувати хвостовик інструменту, щоб зменшити виліт, оскільки блок має обмежену глибину фіксації.

5.2 Порівняння та вибір нової револьверної головки для верстата 1П756ДФЗ

Нова револьверна головка має мати торцеве розташування інструментів та невеликі розміри, щоб поміститися у визначеному просторі верстата. На ринку приводних головок знайдено дві моделі, які можуть бути встановлені замість штатної револьверної головки на верстат 1П756ДФЗ, це **Pragati DTT-63-12-240-0** та **Baruffaldi ТВМА 120**. Проведемо порівняння основних характеристик (Табл. 5) цих револьверних головок та визначимо підходящу.

Зображення		
Назва	DTT-63	ТВМА 120
Розмір тримача інструменту (Розмір VDI)	20	20, 30
Висота центра	63 мм.	63 мм.
Максимальна потужність	5 кВт	5 кВт
Максимальний крутний момент	15 Н·м	18 Н·м
Максимальна швидкість обертання інструменту	6000 об/хв	6000 об/хв
Характеристики електродвигуна: Крутний момент	9 Н·м	16 Н·м

Максимальна швидкість	6000 об/хв	6000 об/хв
Кількість інструментів	8, 12	8, 12, 16, 24

Табл. 5. Основні характеристики двох revolverних головок

Крім функції точіння дані головки мають можливість розширити свої можливості, а саме збільшення видів обробки (Табл. 6)

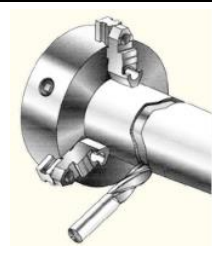
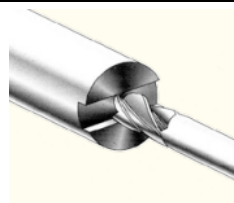
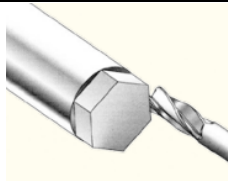
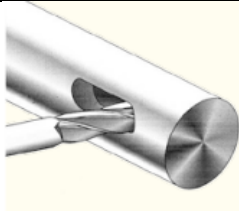
				
Фрезерування криволінійного паза	Нарізання торцевого паза	Свердління отворів та нарізання нарізці	Обробка багатокутників	Фрезерування шпоночної канавки

Табл. 6. Розширені види обробки revolverних головок

Також потрібно провести аналіз габаритів двох revolverних головок. Це потрібно для їх правильного встановлення та функціонування.

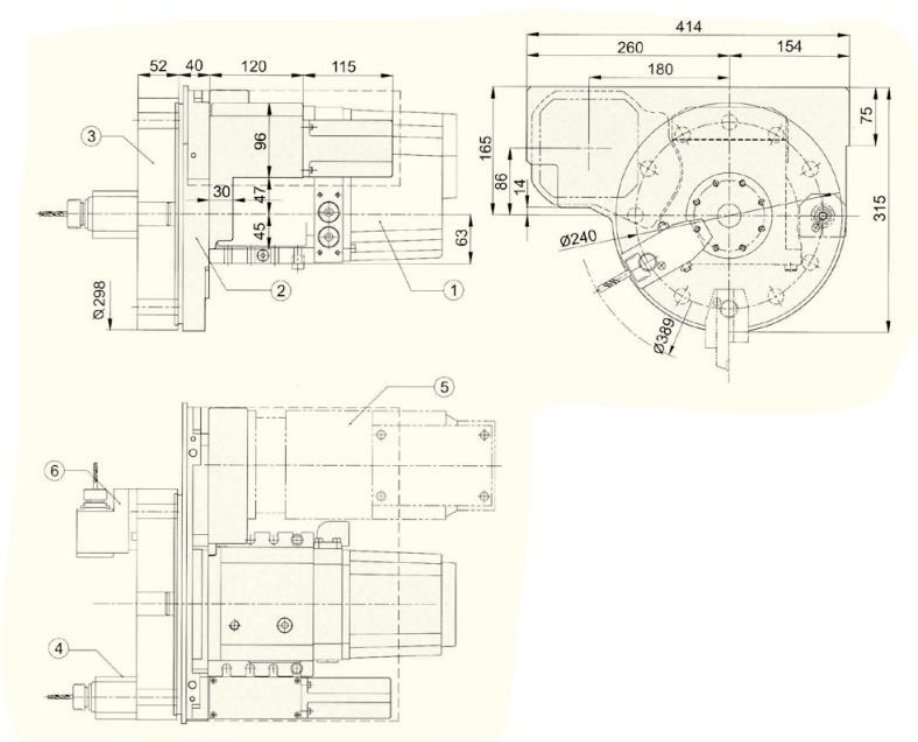


Рис. 35. Габаритні розміри DTT-63-12-240-0

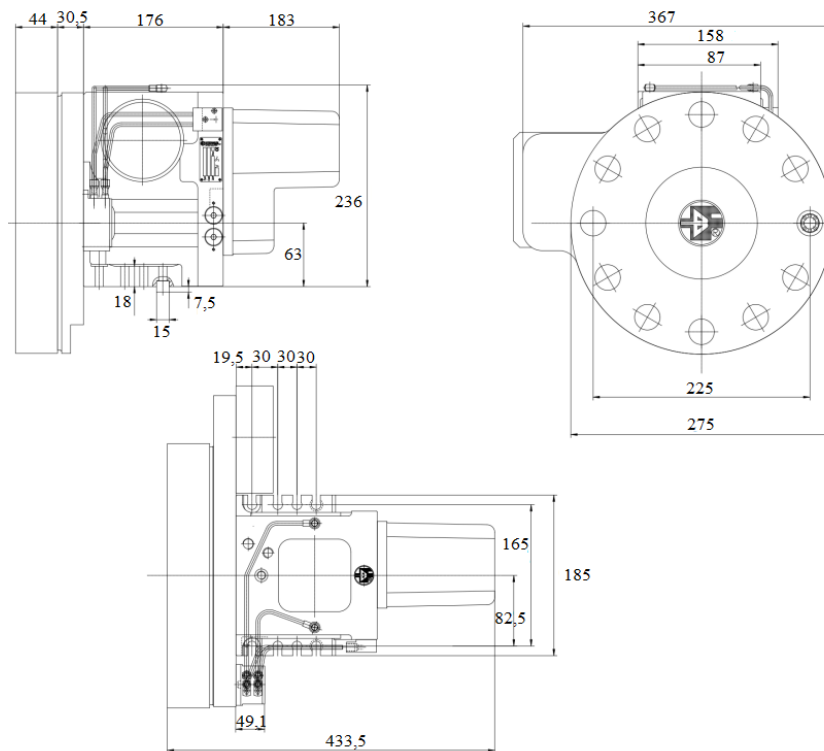


Рис. 36. Габаритні розміри TBMA 120

Проаналізувавши вище наведені характеристики та габаритні розміри двох револьверних головок, можна сказати, що швидкість приводного інструменту та можливі види обробки дані револьверні головки мають однакові, проте TBMA 120 більш потужніша та має можливість встановлення більшої кількості інструментів. Також TBMA 120 компактніша, тобто менша по габаритам (Рис. 35 та 36) ніж DTT-63-12-240-0. Розмір VDI, тобто посадочний діаметр хвостовика приводних блоків у TBMA 120 становить 30 мм., що є більш поширеним ніж 20 мм., як в DTT-63-12-240-0, це дозволить підібрати більш ширший асортимент інструментів і відповідно збільшити гнучкість обробки. Підсумовуючі проаналізовані параметри двох продуктів, обираємо револьверну головку TBMA 120.

Вибираємо револьверну головку з приводним інструментом італійської фірми **Baruffaldi**, моделі **TBMA 120**. Тепер більш детально можна описати її характеристики (табл. 8):

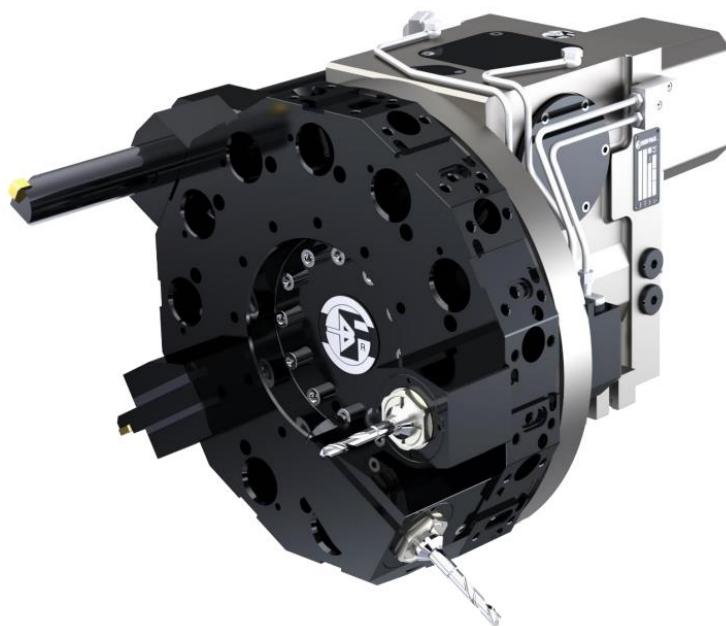


Рис. 37. Зображення револьверної головки серії TBMA

Висота центру револьверної головки		63 мм.
Кількість інструментів		8, 12, 16, 24
Момент інерції		0,15-1,8 кг/м ²
Тангенціальний момент		1100 Н·м
Максимальний крутний момент при натисканні		1200 Н·м
Максимальний крутний момент при підйомі		700 Н·м
Максимальний крутний момент небалансування		10 Н·м
Точність позиціонування		± 4°
Точність повторюваності		± 1,6°
Час позиціонування	30°	0,13-0,24 с.
	45°	0,17-0,28 с.
	180°	0,34-0,5 с.
Час розблокування + блокування		0,5 с.
Пневматичний тиск блокування		5 ± 1 бар
Гідравлічний тиск блокування		30 ± 3 бар

Максимальний тиск охолоджувальної рідини для ТВМА	20 бар
Максимальний тиск охолоджуючої рідини (спеціальна версія)	70 бар
Максимальний тиск охолоджуючої рідини (із пристроєм охолодження)	120 бар
Ступінь захисту	65 IP
Діапазон температури навколишнього середовища (револьверна головка)	0-45 °C
Вага головки без інструментального диска	90 кг.
Розмір VDI	20, 30
Максимальна швидкість приводного інструменту	6000 об/хв
Максимальна швидкість робочого інструменту (примусове змащення)*	10 000 об/хв
Максимальний вхідний крутний момент	18 Н·м
Максимальний номінальний крутний момент двигуна (S1)	16 Н·м
Максимальна номінальна потужність	5 кВт
Приводна система інструментів	Baruffaldi

Табл. 7. Характеристики Baruffaldi TBMA 120

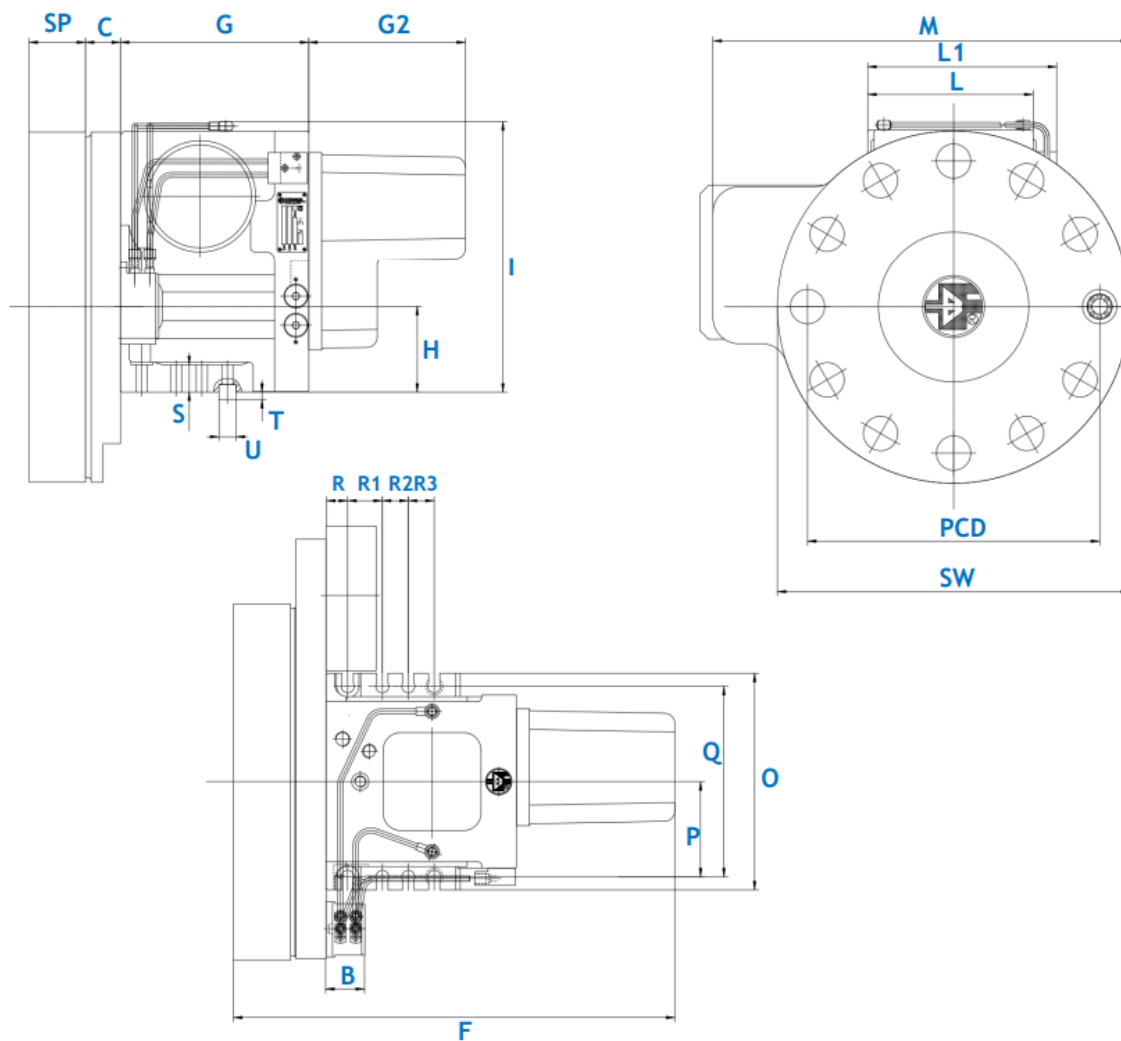


Рис. 38. Проекційний вигляд револьверної головки серії ТВМА

H	63
VDI	20, 30
PCD	225
SW	275
SP	44
В (Гідравліка)	49,1
В (Пневматика)	45,6
F	433,5
C	30,5
G	176
G2	183
I	236

L	158
L1	87
M	367
O	185
P	82,5
Q	165
R	19,5
R1	30
R2	30
R3	30
S	18
T	7,5
U	15

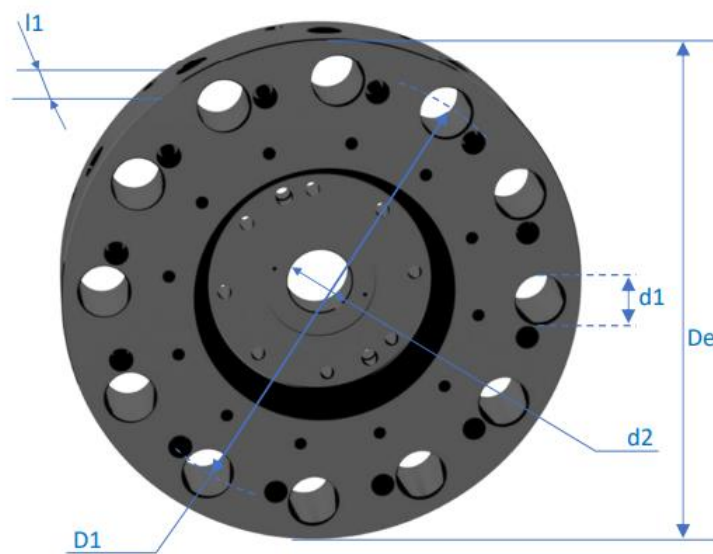


Рис. 39. Зображення інструментального диска із габаритами

VDI ($d1$)	30
PCD ($D1$)	225
Кількість інструментів	12
Тип головки	120
De	275
$d2$	30

Вибір конфігурації положення двигуна

Із трьох стандартних положень двигуна (з права, зліва, зверху), представлених у каталозі (Рис. 40), вибираємо положення зліва. Це унеможливить зіткнення двигуна із заготовкою та дозволить підходити револьверній головці ближче до заготовки.



Рис. 40. Варіанти розміщення двигуна

Опис роботи приводного інструменту

Привідний інструментальний двигун (М), (Рис. 41) приводить в рух тримач інструменту (U) за допомогою коробки передач (І) і передньої муфти (в нашому випадку типу Baruffaldi) (Н). Перед процедурою індексації диска муфта (Н) автоматично від'єднується від тримача інструменту (U) (вал стандарту ISO 10889), рухаючись назад за допомогою поршня (Р2). Під час замикання інструментальної головки навпроти, хід поршня (Р2) переміщує муфту (Н) вперед, яка також з'єднує тримач інструменту (U).

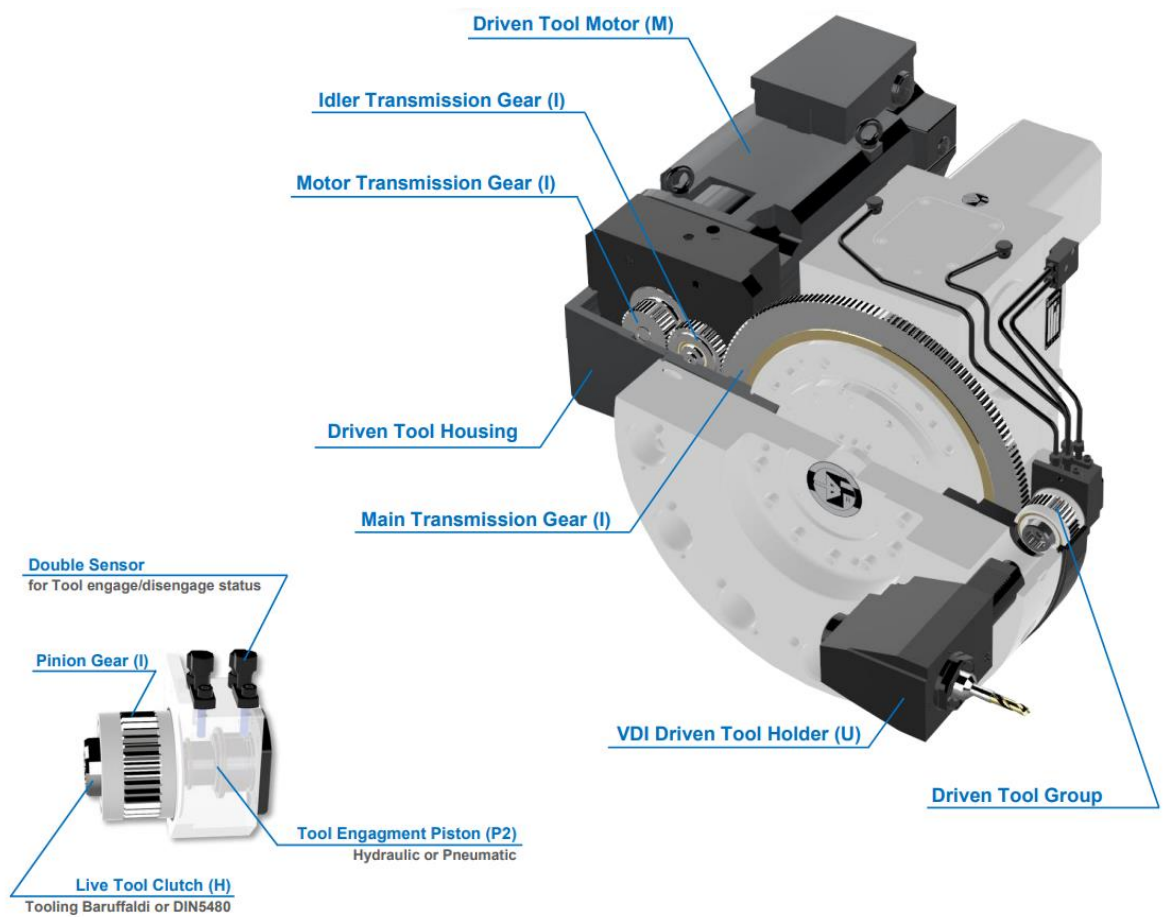


Рис.41. Схема роботи приводного інструменту

Вибір робочої позиції

Із двох стандартних позицій вибираємо позицію з права. Таким чином початок відліку інструментів буде починатися із цієї позиції, також це зручніше для орієнтування в інструментах.



Рис. 42. Стандартні варіанти робочих позицій

Вибір приводного інструментального двигуна

Для револьверної головки ТВМА 120 (Рис. 43) доступно три види двигуна, вибір якого потрібно узгодити із відділом продажу.

Постійний крутний момент (S1)	Розмір PCD (D)	Максимальний розмір мотору, S (квадратна форма)	Індикація двигуна приводного інструменту
16	225	143	Fanuc Alpha 1.5
			Fanuc ais 8/12
			Siemens 1FT7 072

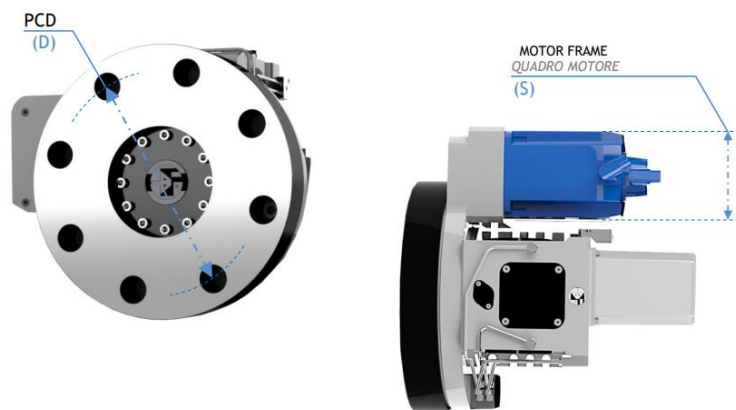


Рис. 43. Габарити двигуна

Вибір муфти веденого інструменту

В каталозі представлені три типи муфт (Рис. 44) для приводних блоків: стандартні Baruffaldi, та два стандарта під замовлення DIN5480 і DIN5482. Для обраної револьверної головки підходить тільки стандарт Baruffaldi із розміром VDI 30.

VDI	A	B	D	Z
30	45/53	59	24	6

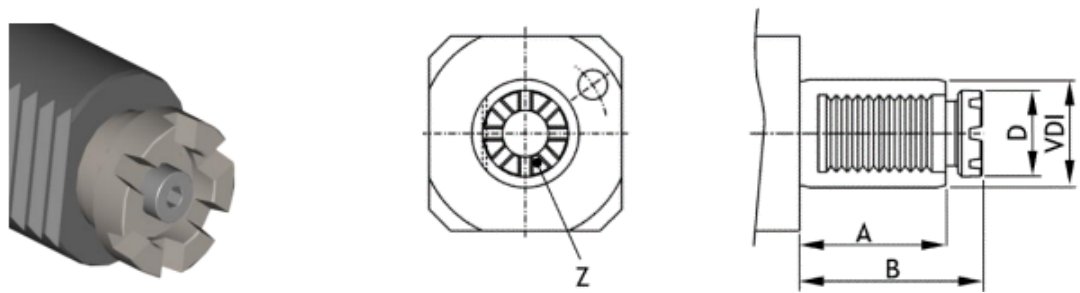


Рис. 44. Муфта стандарту Baruffaldi

Робочий цикл приводного інструментального блоку (зі стандартним змащенням)

При роботі інструментів під напругою зі стандартною головкою ТВМА (без масляного охолодження) потрібно враховувати діаграму «крутний момент/швидкість» та опорну схему «робочий час» (10 хв.), які показані нижче (Рис. 45 б), щоб налаштувати робочі параметри.

Чим більша швидкість, тим менше залишається дозволеного робочого часу. Після оцінки параметра k як співвідношення між фактичною швидкістю та максимальною швидкістю, час роботи можна отримати з діаграми, яка показана нижче (Рис. 15 а). Ліва крива відповідає нижній механічній навантаженості, а права крива відповідає вищому механічному навантаженню - рекомендоване середнє значення.

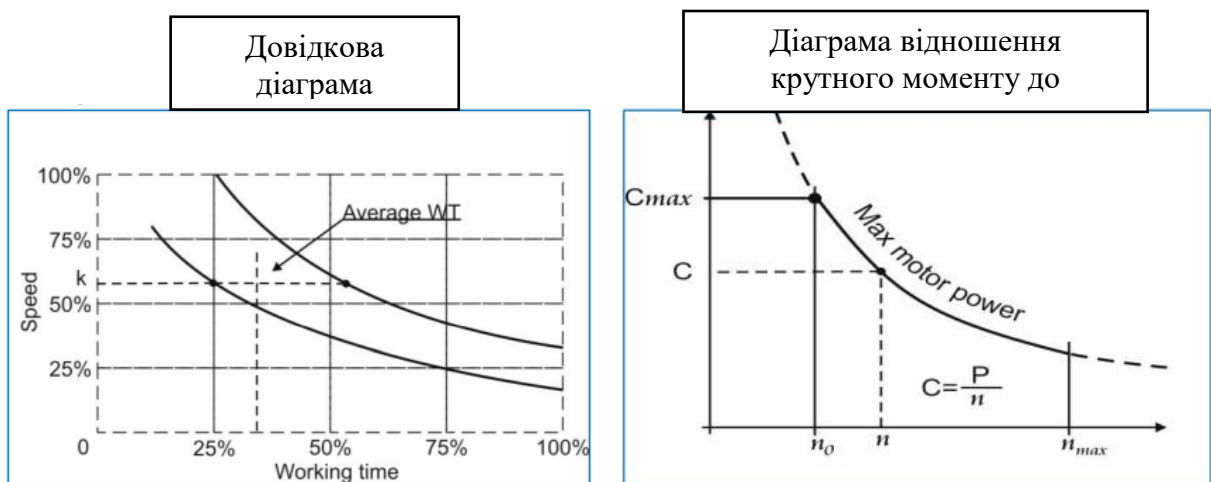


Рис. 45. Діаграми робочого часу «а» та відношення крутного моменту до швидкості «б»

Вибір типу блокування

Вибираючи між доступними системами блокування – гідравлічною та пневматичною, обираємо першу. Це пов'язано із меншими габаритами

системи та меншим шумом. Наведемо схему підключення гідравлічного з'єднання на Рис. 46.

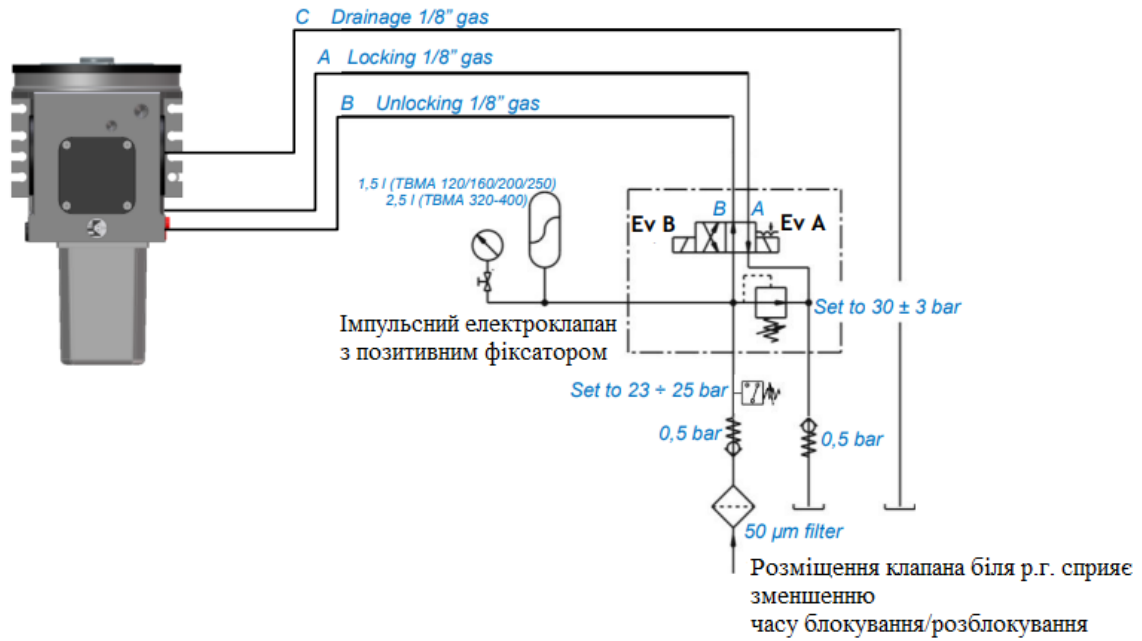


Рис. 46. Схема гідравлічного під'єднання

Типорозмір р.г.	120
Номінальний тиск	30±3 бар
Необхідний об'єм оливи для блокування/розблокування	22,6 см ³
Швидкість потоку	6 л/хв.
Фільтрування	50 мкм.
В'язкість масла	32-36 мм ² /с

Розробка підставки для револьверної головки

Висота центра базової револьверної головки становить 185 мм. Тому для правильного функціонування, в новій головці повинна висота центру бути такою ж. Нова револьверна головка має висоту центру 63 мм., тобто не вистачає 122 мм. висоти, тому було прийнято рішення зробити своєрідну підставку під нову револьверну головку висотою 122 мм. Враховуючи габарити та кріплення револьверної головки ТВМА 120, розроблено 3-D модель (Рис. 47) та креслення (Рис. 48) підставки.

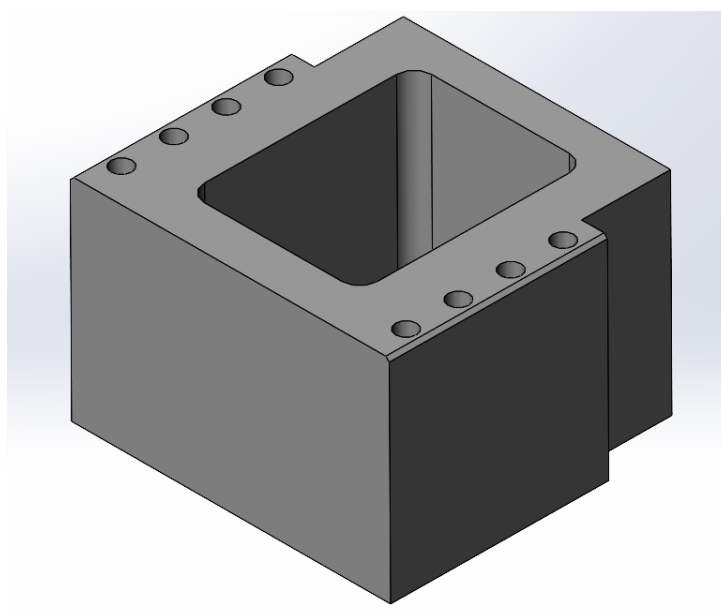


Рис. 47. 3-D модель розробленої підставки

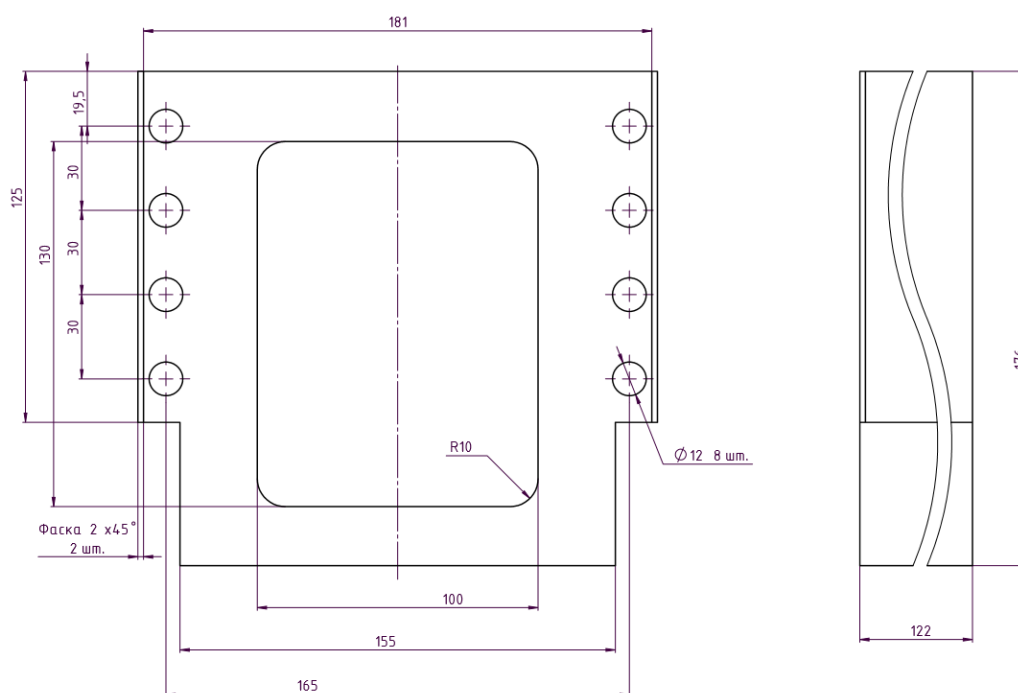


Рис. 48. Креслення розробленої підставки

5.3 Різцетримачі та приводні блоки для револьверної головки ТВМА 120

Для револьверної головки ТВМА 120 підходить велика кількість інструментальних блоків. Але через обмежений простір можна виділити із них декілька. Це суттєво не впливає на функціональність верстата, адже він виконує як основну функцію точіння, так і розширені функції одними і тими ж блоками – свердління та фрезерування.

Наведемо приклади різцетримачів, патронів для осьового інструменту та приводних блоків, які підходять для револьверної головки ТВМА 120, нище:

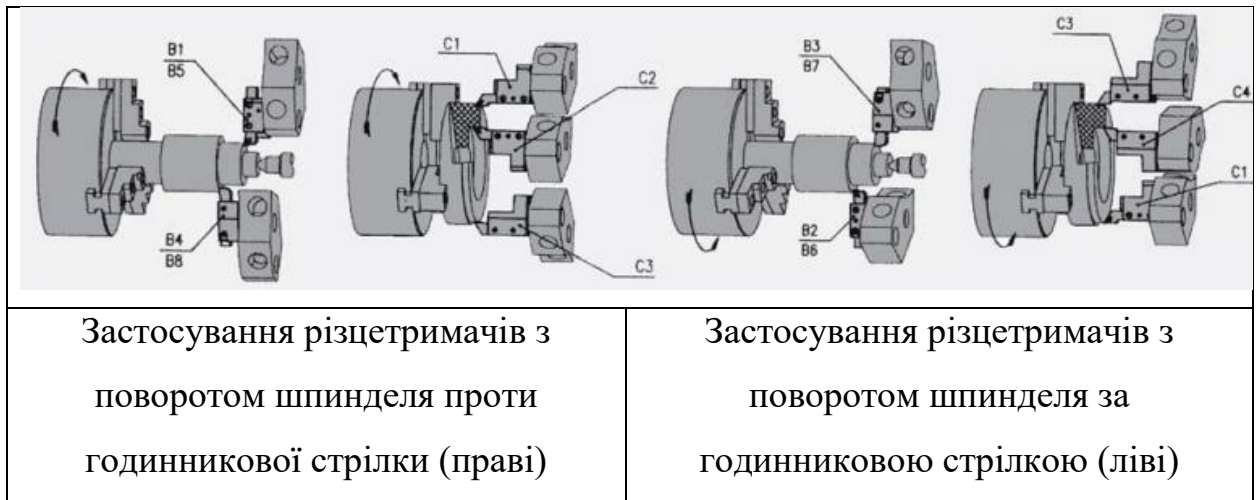


Табл. 9. Види різцетримачів

Креслення (Рис. 49) циліндричної частини різцетримачів DIN 69880 (DIN ISO 10889-1) VDI 30 (наведено креслення тільки для типорозміру VDI 30)

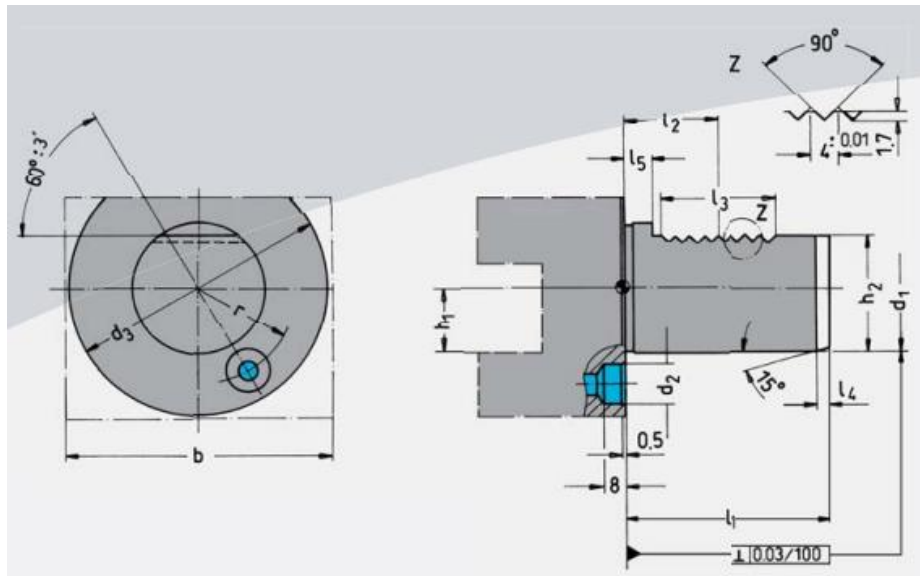


Рис. 49. Креслення для VDI 30

d_1	b	$h_1 \max$	d_2	d_3	$h_2 \pm 0,1$	r $\pm 0,02$	$l_1 \max$	l_2 $\pm 0,05$	$l_3 \max$	$l_4 \max$	l_5
30	70	20	14	68	27	25	55	29,7	40	2	7

Для нашого верстата підходить правий тип різця (Табл. 9, В1).
Радіальний різцетримач форми В1 (Рис. 50), правий, короткий, В1 – $30 \times 20 \times 40$:

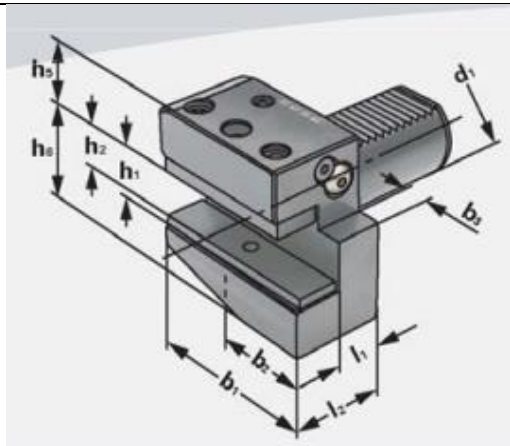
									
d_1	h_1	h_2	l_2	l_1	b_1	b_2	b_3	h_5	h_6
30	20	16	40	22	70	35	10	28	28

Рис. 50. Різцетримач радіальний В1 – $30 \times 20 \times 40$

Осьовий різцетримач форми С1 правий (Рис. 52):

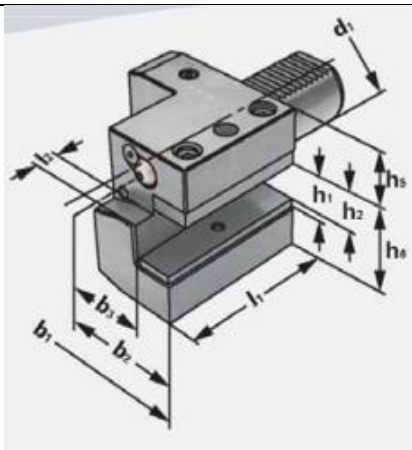
									
d_1	h_1	h_2	b_1	b_2	b_3	l_1	l_2	h_5	h_6
30	20	16	70	35	17	70	10	28	38

Рис. 51. Різцетримач радіальний С1 – 30×20

Патрон свердлильний CNC з подачею охолоджуючої рідини через розпилювальні форсунки (Рис. 52):

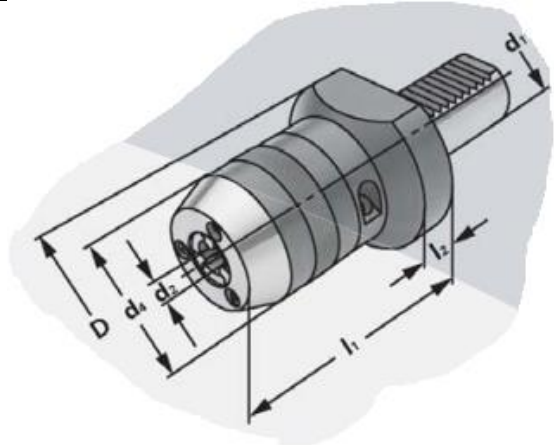
					
d_1	Діаметральний діапазон інструменту, d_2	d_4	D	l_1	l_2
30	1-13	50	68	87	22
30	3-16	55	68	93	22

Рис. 52. Патрон свердлильний CNC

Швидкозмінні різьбонарізні патрони без компенсації довжини при стисненні та розширенні. Патрон для нарізання різьб мітчиком (Рис. 53):

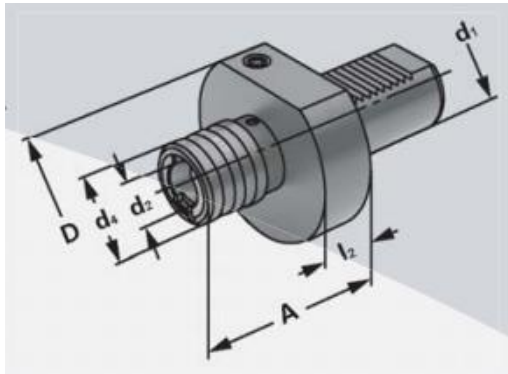
						
d_1	Діапазон нарізання різьб	Розмір	D	A	d_4	d_2
30	M3-M14	1	68	87	34	19
30	M5-M22	2	68	93	50	31

Рис. 53. Патрон для нарізання різьб мітчиком

Приводні блоки

Для свердління та фрезерування підійде приводний блок фірми Baruffaldi моделі MRR30:

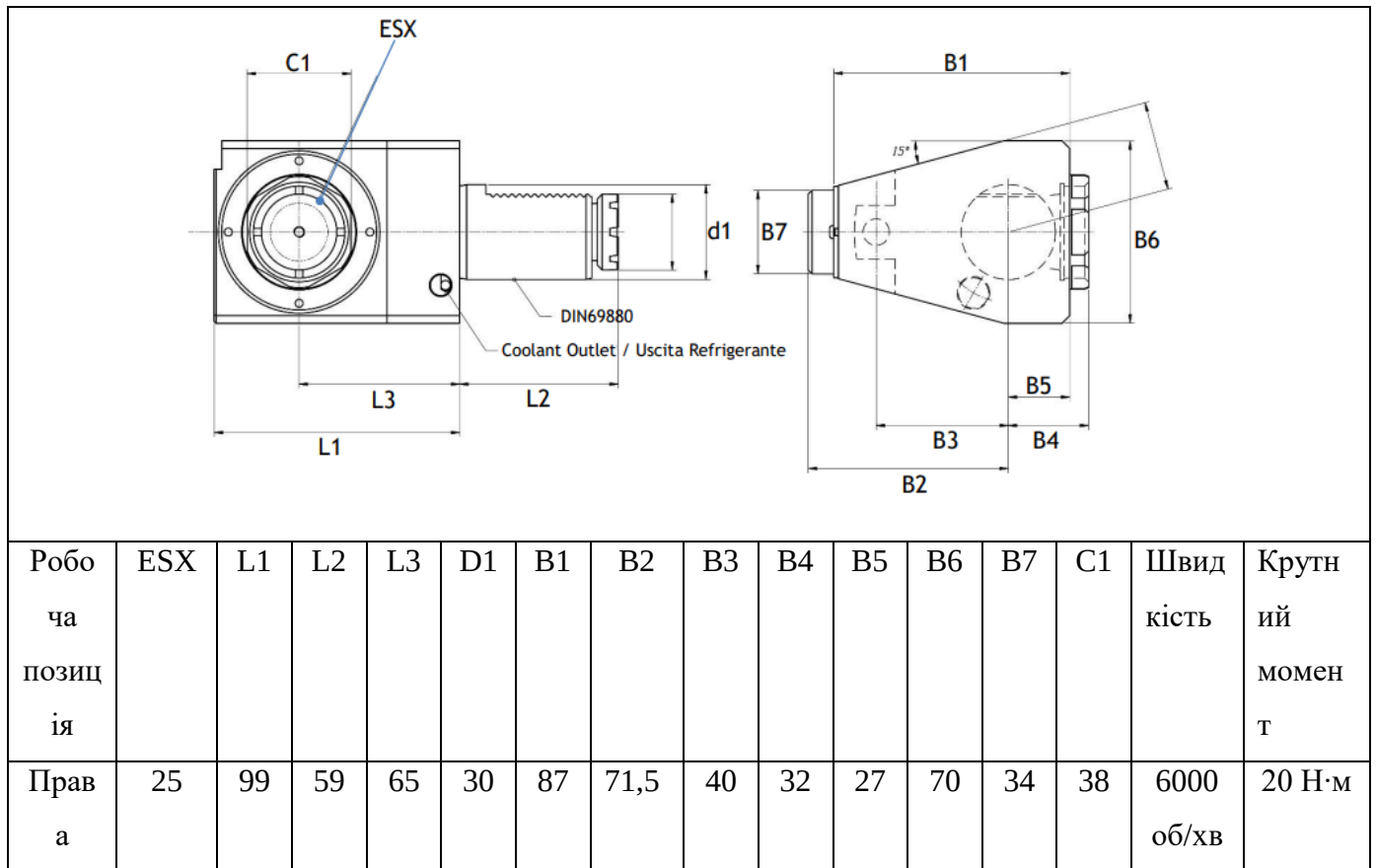


Рис. 54. Кресления приводного блока MRR30

Приводний блок із подачею МОР, фірми SMW Autoblock моделі LT-S VDI30 ER25-F H62 BA:

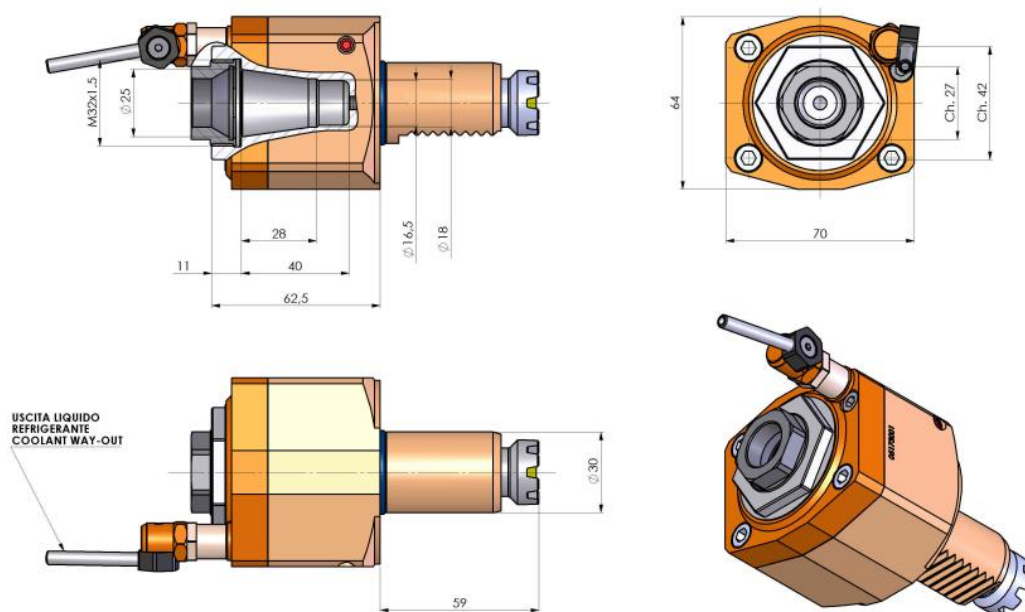


Рис. 55. Приводный блок LT-S VDI30 ER25-F H62 BA

Максимальна швидкість обертання	Максимальний крутний момент	Редукція	Висота, h
6000 об /хв	30 Н·м	1:1	62,5 мм.

Приводний блок фірми Algra моделі RRPPA30321SB (Рис. 56) із хвостовиком Baruffaldi, VDI 30:

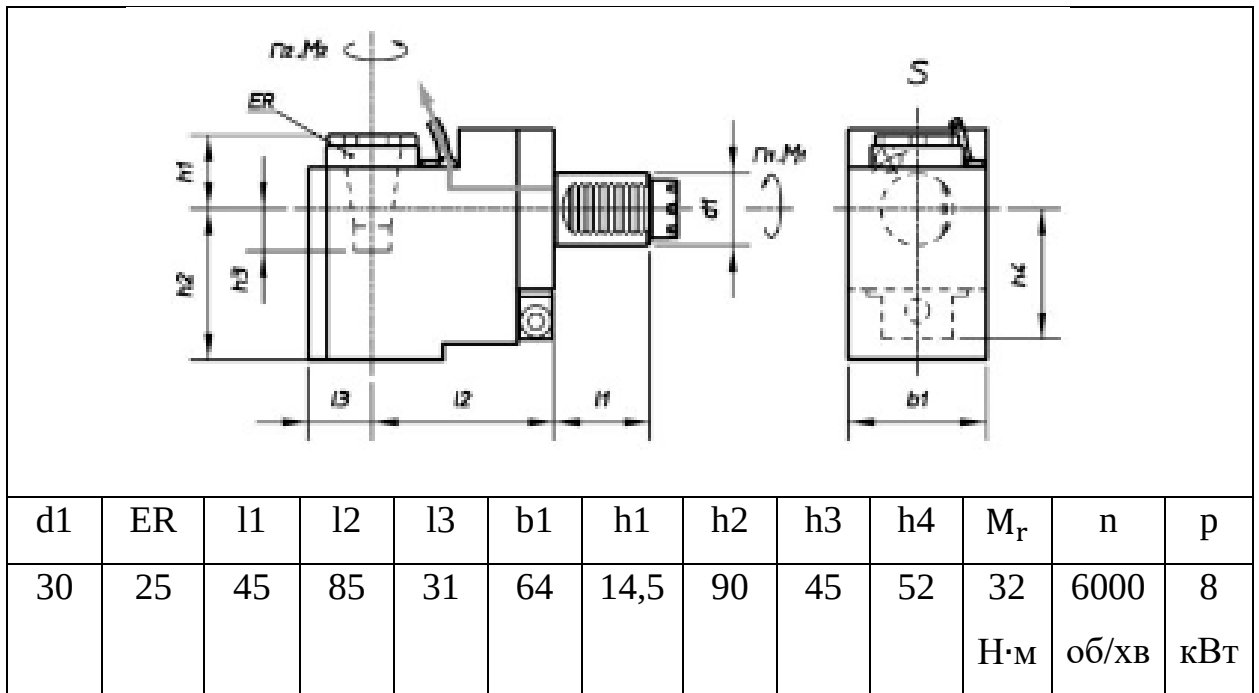
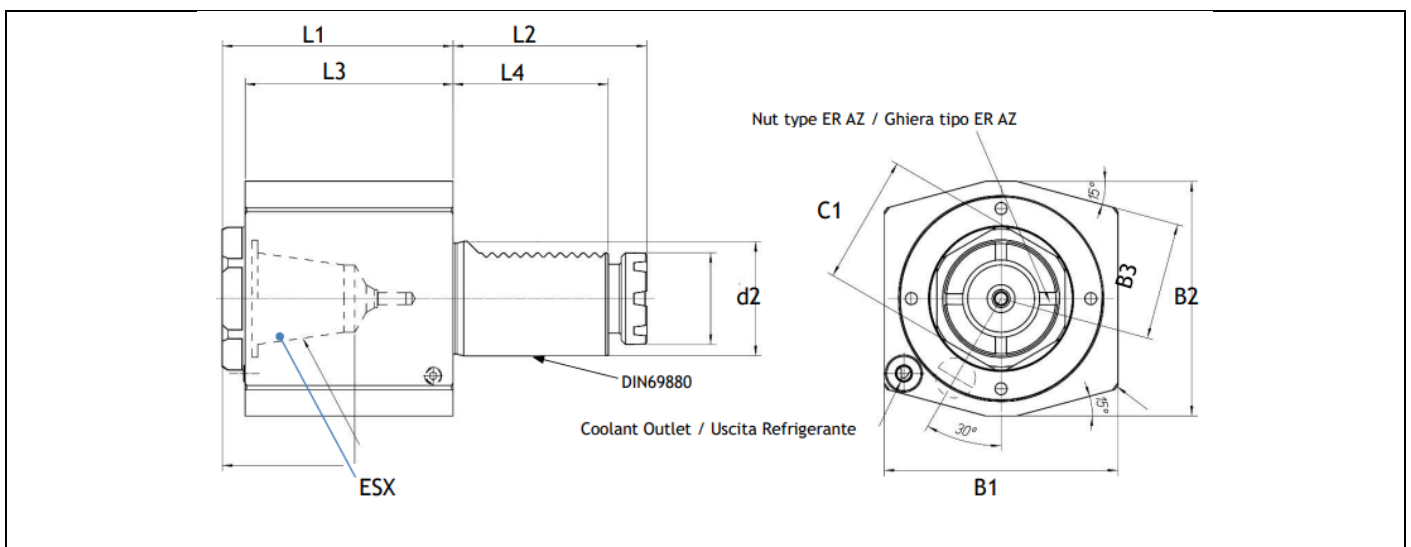


Рис. 56. Приводний блок RRPPA30321SB

Приводний блок фірми Baruffaldi, модель MRA 30 із подачею МОР (Рис. 57):



Робоча позиція	ESX	L1	L2	L3	L4	d1	B1	B2	B3	C1	Швидкість	Крутний момент
Права	25	72	59	67	45	30	70	66	33	38	6000 об/хв	20 Н·м

Рис. 57. Креслення приводного блока MRA30

Висновок. За сукупністю параметрів було обрано револьверну головку Baruffaldi TBMA 120, розроблено необхідну підставку для неї та обрано декілька одиниць різцетримачів, патрони і приводні блоки.

6.Вибір шарико-гвинтової пари та приводу ходового гвинта

6.1 Розрахунок та вибір шарико-гвинтової передачі (за методикою розрахунку, яка наведена в каталозі фірми ТНК).

Вибір точності кута підйому нарізці і нахилу нарізці

Вибір точності кута підйому нарізці

$\frac{+/-0,15}{500} = \frac{+/-0,09}{300}$; Похибка довжини повинна бути $\frac{+/-0,09}{300}$ або точніше.

Виберемо клас С7 із каталога (катана)

Вибір осьового зазору

Щоб задовільнити люфт в 0,15 мм., треба вибрати із зазором в 0,15 і менше.

Гвинт діаметром 32 мм. або менше і клас точності С7.

Вибір ходового гвинта.

Вихідні вимоги до довжини ходового гвинта

Довжина гайки 130 мм. Довжина кінця вала 100 мм. Якщо довжина ходу становить 420 мм., то довжина валу визначається: $420+230 = 650$ мм.

Отже довжина ходового гвинта становить 650 мм.

Вибір кроку нарізці

Якщо частота обертання приводного електродвигуна становить 3000 об/хв. І максимальна швидкість 1 м/с.(60 м/хв) , то крок ШГП розраховується :

$$\frac{0,8 \cdot 1000 \cdot 60}{3000} = 16$$

Для відповідності значенню подачі в 0,02 мм/імпульс потрібно для кроку нарізці 20 мм. прийняти 1000 імп./об.

Вибір діаметра ходового гвинта

Із таблиці каталога ТНК потрібно вибрати ходовий гвинт із кроком 16 мм. і більше. Виходячи із даного навантаження та потрібного кроку нарізці, підійде гвинт діаметром 50 мм. та кроком 16 мм. (див. табл. 8)

Наружный диаметр ходового винта	Шаг резьбы															
	1	2	4	5	6	8	10	12	16	20	24	25	30	32	36	40
6	●															
8	●															
10	●				○											
12	●				○											
14		●	●													
15							●		●		●					
16				●				●								
18						●										
20				●			●			●					●	
25				●			●				●				●	
28					●											
30															●	
32							●						●			
36							●		●	●				●		
40							●								●	●
45								●								
50									●						●	●

●: Стандартная продукция
 ○: Полустандартная продукция

Табл. 8.

Аналіз допустимого осевого навантаження

Розрахунок максимального осевого навантаження

Опір тертю поверхні направляючої	$f = 15 \text{ Н}$
Маса револьверної головки	$m_1 = 100 \text{ кг.}$
Маса приводних інструментальних блоків	$m_2 = 94 \text{ кг.}$
Коефіцієнт тертя поверхні направляючої	$\mu = 0,003$
Максимальна швидкість	$V_{max} = 1 \text{ м/с}$
Прискорення вільного падіння	$g = 9,807 \text{ м/с}^2$
Час прискорення	$t_1 = 0,15 \text{ с.}$

Відповідні величини розраховуються наступним чином:

Прискорення:

$$a = \frac{V_{max}}{t_1} = \frac{1}{0,15} = 6,67 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

При поступальному прискоренні:

$$F_{a_1} = \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 0,003 \cdot (100 + 94) \cdot 9,807 + 15 + (100 + 94) \cdot 6,67 = 1315 \text{ Н}$$

При рівномірному руху вперед:

$$F_{a_2} = \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + f = 0,003 \cdot (100 + 94) \cdot 9,807 + 15 = 21 \text{ Н}$$

При гальмуванні (руху вперед):

$$F_{a_3} = \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g + f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 0,003 \cdot (100 + 94) \cdot 9,807 + 15 - (100 + 94) \cdot 6,67 = -1273 \text{ Н}$$

При прискоренні (руху назад):

$$F_{a_4} = -\mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g - f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = -0,003 \cdot (100 + 94) \cdot 9,807 - 15 - (100 + 94) \cdot 6,67 = -1315 \text{ Н}$$

При рівномірному руху назад:

$$F_{a_5} = -\mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g - f = -0,003 \cdot (100 + 94) \cdot 9,807 - 15 = -21 \text{ Н}$$

При гальмуванні (руху назад):

$$F_{a_6} = -\mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g - f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = -0,003 \cdot (100 + 94) \cdot 9,807 - 15 + (100 + 94) \cdot 6,67 = 1273 \text{ Н}$$

Максимальне осьове навантаження яке діє на ШГП дорівнює:

$$F_{a_{max}} = F_{a_1} = 1315 \text{ Н}$$

Критичне навантаження на ходовий гвинт:

Коефіцієнт враховуючий спосіб встановлення: $\eta_2 = 20$ (фіксована опора-фіксована опора)

Відстань між двома монтажними поверхнями: $l_a = 420 \text{ мм}$.

Діаметр нарізці ходового гвинта по впадинам: 42,9 мм.

$$P_1 = \eta \cdot \frac{d_1^4}{l_a^2} \cdot 10^4 = 20 \cdot \frac{42,9^4}{420^2} \cdot 10^4 \approx 3840 \text{ кН}$$

Допустиме навантаження на розтяг-стиск:

$$P_2 = 116 \cdot d_1^2 = 116 \cdot 43,5^2 = 219501 \text{ Н}$$

Критичне навантаження та навантаження на розтяг-стиск більші ніж максимальне осьове навантаження, отже передача надійна.

Аналіз допустимої частоти обертання

Максимальна частота обертання:

Діаметр 50 мм., крок 16 мм.

Макс. швидкість $V_{max} = 0.8$ м/с

Крок нарізці $P_h = 16$ мм.

$$N_{max} = \frac{V_{max} \cdot 60 \cdot 10^3}{P_h} = \frac{0,8 \cdot 60 \cdot 10^3}{16} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$$

Допустима частота обертання, що визначається небезпечною швидкістю ходового гвинта:

Коефіцієнт у відповідності із методом установки: $\lambda_2 = 15,1$

Відстань між монтажними поверхнями: $l_b = 700$ мм.

$$N_1 = \lambda_2 \cdot \frac{d_1}{l_b^2} \cdot 10^7 = 15,1 \cdot \frac{42,9}{420^2} \cdot 10^7 = 36\,723 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$$

Допустима частота обертання, що визначається значенням DN:

Міжцентрова відстань для шариків: $D = 52,7$ мм.

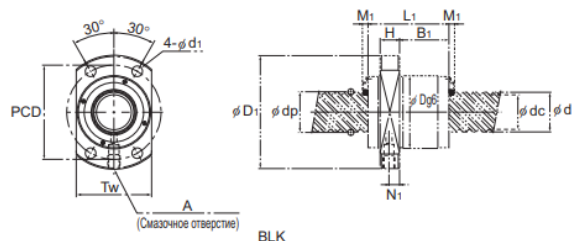
$$N_2 = \frac{7000}{D} = \frac{7000}{52,7} = 132,8 \text{ об/хв.}$$

Вибір гайки

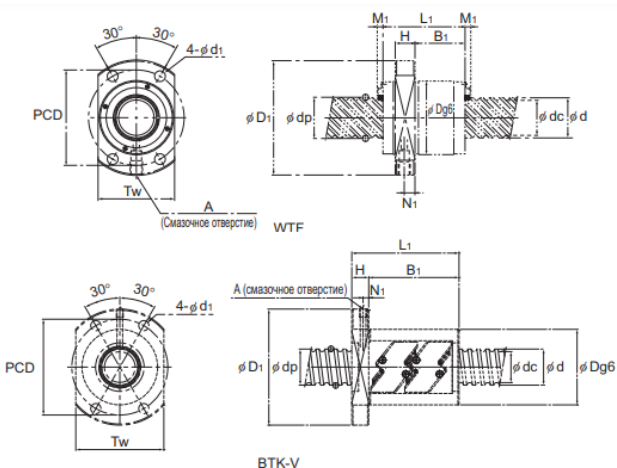
Вибір номера моделі гайки

Із каталога фірми ТНК вибираємо модель гайки. Для зовнішнього діаметра 50 мм. та кроку нарізці 16 мм. відповідає модель ВТК 5016V-5,3 (Рис. 58).

($C_a = 93,8$ кН $C_{a,a} = 315,2$ кН)



Наружный диаметр ходового винта d	Шаг резьбы Ph	Номер модели	Межцентровое расстояние для шариков dp	Диаметр резьбы по впадинам dc	Число нагружаемых заходов резьбы Ряды X витки	Грузоподъемность		Жесткость К	Наружный диаметр	
						Ca	Ca		D	D1
32	10	BTK 3210V-2.6	33,75	27,2	1×2,65	19,8	53,8	250	67	103
		BTK 3210V-5.3	33,75	27,2	2×2,65	36	107,5	490	67	103
	32	BLK 3232-3.6	33,25	28,3	2×1,8	17,3	53,9	330	58	92
		BLK 3232-7.2	33,25	28,3	4×1,8	31,3	107,8	650	58	92
36	10	BTK 3610V-2.6	37	30,5	1×2,65	20,8	59,8	270	70	110
		BTK 3610V-5.3	37	30,5	2×2,65	37,8	118,7	530	70	110
	20	BLK 3620-5.6	37,75	31,2	2×2,8	39,8	121,7	570	70	110
		BLK 3624-5.6	38	30,7	2×2,8	46,2	137,4	590	75	115
	24	BLK 3636-3.6	37,4	31,7	2×1,8	22,4	70,5	370	66	106
		BLK 3636-7.2	37,4	31,7	4×1,8	40,6	141,1	730	66	106
40	10	BTK 4010V-5.3	41,75	35,2	2×2,65	40,3	134,9	590	76	116
	40	BLK 4040-3.6	41,75	35,2	2×1,8	28,1	89,8	420	73	114
		BLK 4040-7.2	41,75	35,2	4×1,8	51,1	179,6	810	73	114
	80	WTF 4080-2	41,75	35,2	4×0,65	19,8	54,5	320	73	114
45	12	BTK 4512V-5.3	46,5	39,2	2×2,65	49,5	169	650	82	128
		BLK 5050-3.6	52,2	44,1	2×1,8	42,1	140,4	510	90	135
	50	BLK 5050-7.2	52,2	44,1	4×1,8	76,3	280,7	1000	90	135
		WTF 50100-2	52,2	44,1	4×0,65	29,6	85,2	390	90	135
50	100	WTF 50100-3	52,2	44,1	2×1,65	36,3	108,1	500	90	135



Размеры гайки										
Габаритная длина	L1	H	B1	PCD	d1	Tw	Смазочное отверстие		Уплотнение	Осевой зазор
							N1	A		
68	15	53	85	9	78	5	M6	—	0,14	500, 1000, 2000, 2500
98	15	83	85	9	78	5	M6	—	0,14	1000, 1500, 2000, 3000
70	15	45	74	9	68	7,5	M6	3,8	0,14	1000, 1500, 2000, 2500
70	15	45	74	9	68	7,5	M6	3,8	0,14	1000, 1500, 2000, 2500
70	17	53	90	11	82	7	M6	—	0,17	500, 1000, 2000, 2500, 3000
100	17	83	90	11	82	7	M6	—	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
78	17	45	90	11	80	8,5	M6	5	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
94	18	59	94	11	86	9	M6	5	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
77	17	50	85	11	76	8,5	M6	5	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
77	17	50	85	11	76	8,5	M6	5	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
100	17	83	96	11	88	7	M6	—	0,17	1000, 1500, 2000, 3000, 3500
85	17	56,5	93	11	84	8,5	M6	5,4	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
85	17	56,5	93	11	84	8,5	M6	5,4	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
79	17	50,5	93	11	74	8,5	M6	5,4	0,17	1000, 1500, 2000, 3000
159	17	130,5	93	11	74	8,5	M6	5,4	0,17	1000, 1500, 2000, 3000, 3500
118	20	98	104	14	94	8	M6	—	0,17	1000, 1500, 2000, 3000, 3500
145	25	120	132	18	104	12,5	PT 1/8	—	0,2	1000, 1500, 2000, 3000, 3500
106	20	72	112	14	104	10	M6	5,4	0,2	1000, 1500, 2000, 3000
106	20	72	112	14	104	10	M6	5,4	0,2	1000, 1500, 2000, 3000
98	20	64	112	14	92	10	M6	5,4	0,2	1000, 1500, 2000, 3000
198	20	164	112	14	92	10	M6	5,4	0,2	1000, 1500, 2000, 3000

Един. измер.: мм

Рис. 58. Каталог моделей гайок фирмы ТНК

За величину статичного запасу міцності (f_s) візьмемо значення 2,5 із таблиці каталога.

$$\frac{C_{a a}}{f_s} = \frac{315,2}{2,5} = 126,08 \text{ кН} = 126\,080 \text{ Н}$$

Отримане значення допустимої осевого навантаження більше осевого навантаження 1315 Н, відповідно, модель буде працювати нормально.

Розрахунок пройденої відстані

Макс. швидкість $V_{max} = 0,8 \text{ м/с}$

Час прискорення $t_1 = 0,15 \text{ с}$

Час гальмування $t_3 = 0,15 \text{ с}$

Пройдена відстань при прискоренні:

$$l_{1,4} = \frac{V_{max} \cdot t_1}{2} \cdot 10^3 = \frac{0,8 \cdot 0,15}{2} \cdot 10^3 = 60 \text{ мм.}$$

Пройдений шлях при рівномірному руху:

$$l_{2,5} = l_s - \frac{V_{max} \cdot t_1 + V_{max} \cdot t_3}{2} \cdot 10^3 = 420 - \frac{0,8 \cdot 0,15 + 0,8 \cdot 0,15}{2} \cdot 10^3 = 300 \text{ мм.}$$

Пройдений шлях при гальмуванні:

$$l_{3,6} = \frac{V_{max} \cdot t_2}{2} \cdot 10^3 = \frac{0,8 \cdot 0,15}{2} \cdot 10^3 = 60 \text{ мм.}$$

На основі вказаних вище умов, в таблиці нижче, показаний зв'язок між прикладеним осевим навантаженням і пройденою відстанню:

Рух	Прикладене осеве навантаження $Fa_N(\text{Н})$	Пройдена відстань $l_n (\text{мм.})$
№1: При поступальному руху	1315	60
№2: При рівномірному руху (направлення вперед)	21	300
№3: При поступальному гальмуванні	- 1273	60

№4: При прискоренні (зворотній напрям)	-1315	60
№5: При рівномірному руху (зворотній напрямок)	-21	300
№6: При гальмуванні (зворотній напрям)	1273	60

6.2 Розрахунок приводу ходового гвинта

Умови:

Маса приводних інструментів	$m_1 = 94$ кг
Маса механізму що підводить	$m_2 = 100$ кг
Сила опору різанню	$F_1 = 3000$ Н
Сила тертя в напрямних	$F_2 = 75$ Н
Швидкість подачі	$v_1 = 13$ м/хв
Швидкість зворотнього ходу	$v_2 = 40$ м/хв
Відстань	$s = 505$ мм.

Дані ходового гвинта:

Крок ходового гвинта	$P = 16$ мм
Довжина ходового гвинта	$l = 650$ мм.
Діаметр ходового гвинта	$d = 50$ мм.
Густина сталі	$\rho = 7850$ кг/м ³
ККД	$\eta = 35\%$

Частота обертання ходового гвинта:

$$n_1 = \frac{v_1}{P} = \frac{13 \text{ (м/хв)}}{16 \text{ (мм.)}} = \frac{0,217 \cdot 60 \cdot 10^3}{16} = 814 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_2 = \frac{v_2}{P} = \frac{40 \text{ (м/хв)}}{16 \text{ (мм.)}} = \frac{0,667 \cdot 60 \cdot 10^3}{16} = 2501 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Можна використовувати 2-во полюсний двигун без редуктора.

Статична потужність:

Процес різання. Статична потужність при різанні на низькій частоті обертання:

$$P_{S1A} = \frac{F_1 \cdot v_1}{\eta} = \frac{3000 \cdot 0.217}{0.35} = 1860 \text{ Вт.}$$

Сила тертя у 4-му полюсному режимі:

$$P_{S1B} = \frac{F_2 \cdot v_1}{\eta} = \frac{75 \cdot 0.217}{0.35} = 47 \text{ Вт.}$$

Сила тертя у 2-во полюсному режимі:

$$P_{S2} = \frac{F_2 \cdot v_2}{\eta} = \frac{75 \cdot 0.667}{0.35} = 143 \text{ Вт.}$$

На даному етапі розрахунку вибирається двигун, номінальна потужність якого вище статичної.

Вибраний двигун: **AIRC 80 B2**

Потужність при S3, ПВ 40%	2,5 кВт
Частота обертів, n	2800 об/хв
Коефіцієнт потужності cos φ	0,86
Напруга, U	220/380 В
Сила струму номінальна (для напруги 220/380 В), I_н	10/5,8А
ККД	76%
Критичне ковзання	40%
Допустима кількість ввімкнень, Z₀	19500/3000

Співвідношення пускового моменту до номінального, $M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$	2,1
Співвідношення максимального моменту до номінального, $M_{\text{max}}/M_{\text{н}}$	2,2
Співвідношення пускового струму до номінального, $I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	6,5
Момент інерції, J	0,0018 кг/м ²
Максимальний допустимий рівень звукової потужності, L_w	72 Дб
Маса, m	15 кг
Режим роботи	S3, ГОСТ183-74

Табл. 9. Характеристики АІРС 80 В2

Час прямого ходу:

$$t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{0,5}{0,217} = 2,3 \text{ с.}$$

Час зворотного ходу:

$$t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{0,5}{0,667} = 0,75 \text{ с.}$$

Момент навантаження M_L :

$$M_{L2} = \frac{F_2 \cdot P}{2\pi \cdot 1000} = \frac{75 \cdot 16}{2\pi \cdot 1000} = 0,19 \text{ Нм.}$$

Динамічний момент M_H :

Низька частота обертання:

$$M_{H1} = \frac{0,625 \cdot 9550}{750} \cdot 1,6 = 12,7 \text{ Нм.}$$

Висока частота обертання:

$$M_{H2} = \frac{2,5 \cdot 9550}{2800} \cdot 2,2 = 21,3 \text{ Нм.}$$

Розрахунковий коефіцієнт k_p :

Низька частота обертів:

$$\frac{P_{S1B}}{P_n} = \frac{0,047 \text{ кВт}}{0,625 \text{ кВт}} = 0,075; \text{ ПВ} = 42\%; k_{p1} = 0,9$$

Висока частота обертів:

$$\frac{P_{S2}}{P_n} = \frac{0,143 \text{ кВт}}{2,5 \text{ кВт}} = 0,057; \text{ ПВ} = 42\%; k_{p1} = 0,9$$

Зовнішній момент інерції

Для механізму/заготовки, що підводиться:

$$J_{X1} = 91,2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n}\right)^2 = 91,2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot \left(\frac{v_1}{n_1}\right)^2 = 91,2 \cdot (100 + 94) \cdot \left(\frac{0,217}{750}\right)^2 = 14,8 \cdot 10^{-4} \text{ (кгм}^2\text{)}$$

Зовнішній момент інерції J_{X2} ходового гвинта:

Для спрощення розрахунку ходовий гвинт розглядається як суцільний циліндр, який обертається навколо своєї повздовжньої осі.

Для ходового гвинта:

$$J_{X2} = \frac{1}{2} \cdot m_s \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot 6,5 \cdot 0,025^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ (кгм}^2\text{)}$$

Радіус ходового гвинта:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ мм.} = 0,025 \text{ м.}$$

Маса ходового гвинта:

$$m_s = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot p = \pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,42 \cdot 7850 = 6,5 \text{ кг.}$$

Допустима кількість ввімкнень в годину

Нижча частота обертів:

$$Z_{P1} = Z_{01} \cdot \frac{1 - \frac{M_{L2}}{M_{H1} \cdot \eta}}{J_M + \frac{J_{X1} + J_{X2}}{\eta}} \cdot k_{P1} = 19500 \cdot \frac{1 - \frac{0,19}{12,7 \cdot 0,35}}{\left(18 + \frac{14,8 + 20}{0,35}\right) \cdot 10^{-4}} \cdot 0,9 = 2597 \frac{\text{вкл.}}{\text{год.}}$$

Вища частота обертів:

$$Z_{P2} = Z_{02} \cdot \frac{1 - \frac{M_{L2}}{M_{H2} \cdot \eta}}{J_M + \frac{J_{X1} + J_{X2}}{\eta}} \cdot k_{P2} = 3000 \cdot \frac{1 - \frac{0,19}{21,3 \cdot 0,35}}{\left(18 + \frac{14,8 + 20}{0,35}\right) \cdot 10^{-4}} \cdot 0,9 = 408 \frac{\text{вкл.}}{\text{год.}}$$

Допустима кількість ввімкнень в повному циклі роботи:

$$Z_P = \frac{Z_{P1} \cdot Z_{P2}}{Z_{P1} + Z_{P2}} = \frac{2597 \cdot 408}{2597 + 408} = 353 \frac{\text{вкл.}}{\text{год.}}$$

Допустима кількість ввімкнень в нормі.

Отже, остаточно обираємо двигун АІРС 80 В2.

Висновок. Враховуючи теоретичне навантаження на шарико-гвинтову передачу, провели її розрахунок та обрали гвинт 50x16 мм., та гайку до нього ВТК 5016V-5,3 фірми ТНК. Для приводу ходового гвинта, було розраховано необхідні параметри електродвигуна та обрано модель АІРС 80 В2.

7. Вибір електродвигуна головного привода та частотного перетворювача до нього

Виберемо електродвигун для головного шпинделя використовуючи формули режиму різання при точінні:

Визначимо потрібну потужність:

$$P_c = \frac{V_c \cdot a_p \cdot f_n \cdot k_s}{60 \cdot 10^3} = \frac{222 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 2850}{60 \cdot 10^3} = \frac{1\,518\,480}{60\,000} = 25,3 \text{ кВт.}$$

V_c – швидкість різання, м/хв

a_p - глибина різання, мм.

f_n – подача, мм/об.

k_s – сила необхідна для зняття стружки, Н/мм²

Оброблюваний матеріал	Границя міцності, Н/мм ²	Питома сила різання матеріалів Н/мм ²				
		0,1 (об./мм)	0,2 (об./мм)	0,3 (об./мм)	0,4 (об./мм)	0,6 (об./мм)
Мягка низьковуглицева сталь	520	3610	3100	2720	2500	2280
Середньовуглицева сталь	620	3080	2700	2570	2450	2300
Тверда сталь	720	4050	3600	3250	2950	2640
Інструментальна сталь	670	3040	2800	2630	2500	2400
Інструментальна сталь	770	3150	2850	2620	2450	2340
Хромомарганцева сталь	770	3830	3250	2900	2650	2400
Хромомарганцева сталь	630	4510	3900	3240	2900	2630
Хромомолібденова сталь	730	4500	3900	3400	3150	2850
Хромомолібденова сталь	600	3610	3200	2880	2700	2500
Нікельхромомолібденова сталь	900	3070	2650	2350	2200	1980

Табл. 10. Питома сила різання матеріалів

$$V_c = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v = \frac{420}{32^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,35^{0,2}} \cdot 0,95 = 222 \frac{\text{м}}{\text{хв.}}$$

K_v – коефіцієнт, який є добутком коефіцієнтів враховуючи вплив матеріала заготовки K_{mv} , (див. табл. 2-5) стану поверхні інструмента, K_{pv} (табл. 6), матеріала інструменту K_{iv} (табл.7).

T – середнє значення стійкості при одноінструментальній обробці - 30-60 хв. Значення коефіцієнта C_v та показників степенів, x , y , m приведені в табл. 8.

$$K_v = K_{mv} K_v K_{mv} K_{pv} K_{iv} = 1 \cdot 0,95 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,4 = 0,93$$

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула
Сталь	$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = K_r \left(\frac{750}{750}\right)^{1,75} = 1$

Табл. 11. Поправочний коефіцієнт K_{mv} , враховуючи вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріала на швидкість різання.

Оброблюваний матеріал	Коефіцієнт K_r для матеріала інструмента		Показники степеня n_v , при обробці					
			різцями		Свердлами, зенковками, розвертками.		фрезами	
	із швидкоріжучої сталі	із твердого сплаву	із швидкоріжучої сталі	із твердого сплаву	із швидкоріжучої сталі	із твердого сплаву	із швидкоріжучої сталі	із твердого сплаву
Сталь вуглицева ($C \leq 0,6\%$), σ_B , МПа								
<450	1	1	-1	1	-0.9	1	-0.9	1
450-550			1.75		-0.9		-0.9	
>550			1,75		0,9		0.9	

Табл. 12. Значення коефіцієнта K_r , і показників степеня n_v в формулі для розрахунку коеф. оброблюваності сталі K_{mv} , наведені в табл. 2.

Марка сталі або сплава	σ_B , МПа	Середнє значення коеф. K_v
30X13, 40X13	850 – 1100	1,3 – 0,9
12X13	600 – 1000	1,5 – 1,2
37X12H8Г8МФБ	700 – 1200	0,5 – 0,4
BT6, BT8	900 – 1200	0,35

Частина табл. 13. Поправочний коефіцієнт K_{mv} , враховуючи вплив фізико-механічних властивостей жаростійких і корозійно-стійких сталей і сплавів на швидкість різання

Мідні сплави	K_{mv}
Гетерогенні:	
HB > 140	0,7
HB 100 - 140	1
Мідь	8

Табл. 14. Поправочний коефіцієнт K_{mv} , враховуючи вплив фізико-механічних властивостей мідних і алюмінієвих сплавів на швидкість різання

Стан поверхності заготовки					
Без кірки	З кіркою				
	прокат	поковка	Стальні і чавунні відливки при кірці		Мідні та алюмінієві сплави
			нормальній	Сильно брудній	
1	0,9	0,8	0,8 – 0,85	0,5 – 0,6	0,9

Табл. 15. Поправочний коефіцієнт K_{pv} , враховуючи вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання

Оброблюваний матеріал	Значення коеф. в залежності від марки інструментального матеріала			
Сталь конструкційна	T5K12B 0,35	T5K10 0,65	T14K8 0,8	T15K6 1
Корозійно-стійкі і жароміцні сталі	BK8 1	T5K10 1,4	T15K6	P18 0,3

Табл. 16. Поправочний коефіцієнт K_{iv} , враховуючи вплив інструментального матеріала на швидкість різання

Вид обробки	Матеріал ріжучої частини різця	Характеристики подачі	Коефіцієнт і показники степеня			
			C_v	x	y	m
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	T15K6	s до 0,3	420	0,15	0,2	0,2
		s більше 0,3	350		0.35	
Теж саме, тільки з додатковими лезами	T15K6	$s \leq t$	292	0,3	0,15	0,18
		$s > t$		0,15	0,3	

Табл. 17. Значення коефіцієнта C_v і показників степеня в формулі швидкості різання при обробці різцями

Розрахунки показали, що потрібна потужність електродвигуна для шпинделя головного руху становить 25,3 кВт. Тепер виберемо, із каталога фірми SIEMENS, електродвигун який має найблищу більшу до розрахованої потужність. Вибираємо двигун із серії 1PH7, даний асинхронних двигун є регульованим, що розширює його технологічну гнучкість.

Заказной номер 1PH7	$P_{ном}$ [кВт]	$n_{ном}$ [об/мин.]	$n_{max}^{1)}$ [об/мин.]	$M_{ном}$ [Нм]	$I_{ном}$ [А]	Повыш. n_{max} [об/мин.]	I_0 А	$U_{ном}$ В	J [кг·м ²]
Высота оси вращения 132 мм									
1PH7131-□NF□□	11	1500	8000	70	24	10000	8,4	350	0,076
1PH7133-□ND□□	12,0	1000	8000	115	30	10000	12,7	336	0,076
1PH7133-□NF□□	15	1500	8000	95	34	10000	14,0	346	0,076
1PH7133-□NG□□	20,0	2000	8000	95	45	10000	17,4	350	0,076
1PH7135-□NF□□	18,5	1500	8000	118	42	10000	17,0	350	0,109
1PH7137-□ND□□	17,0	1000	8000	162	43	10000	18,5	322	0,109
1PH7137-□NF□□	22,0	1500	8000	140	57	10000	22,8	308	0,109
1PH7137-□NG□□	28,0	2000	8000	134	60	10000	21,4	350	0,109

Табл. 18. Технічні дані двигунів фірми SIEMENS серії 1PH7.

Із даного списку виберемо 1PH7137, із номінальною потужністю $P_{ном.} = 28$ кВт.

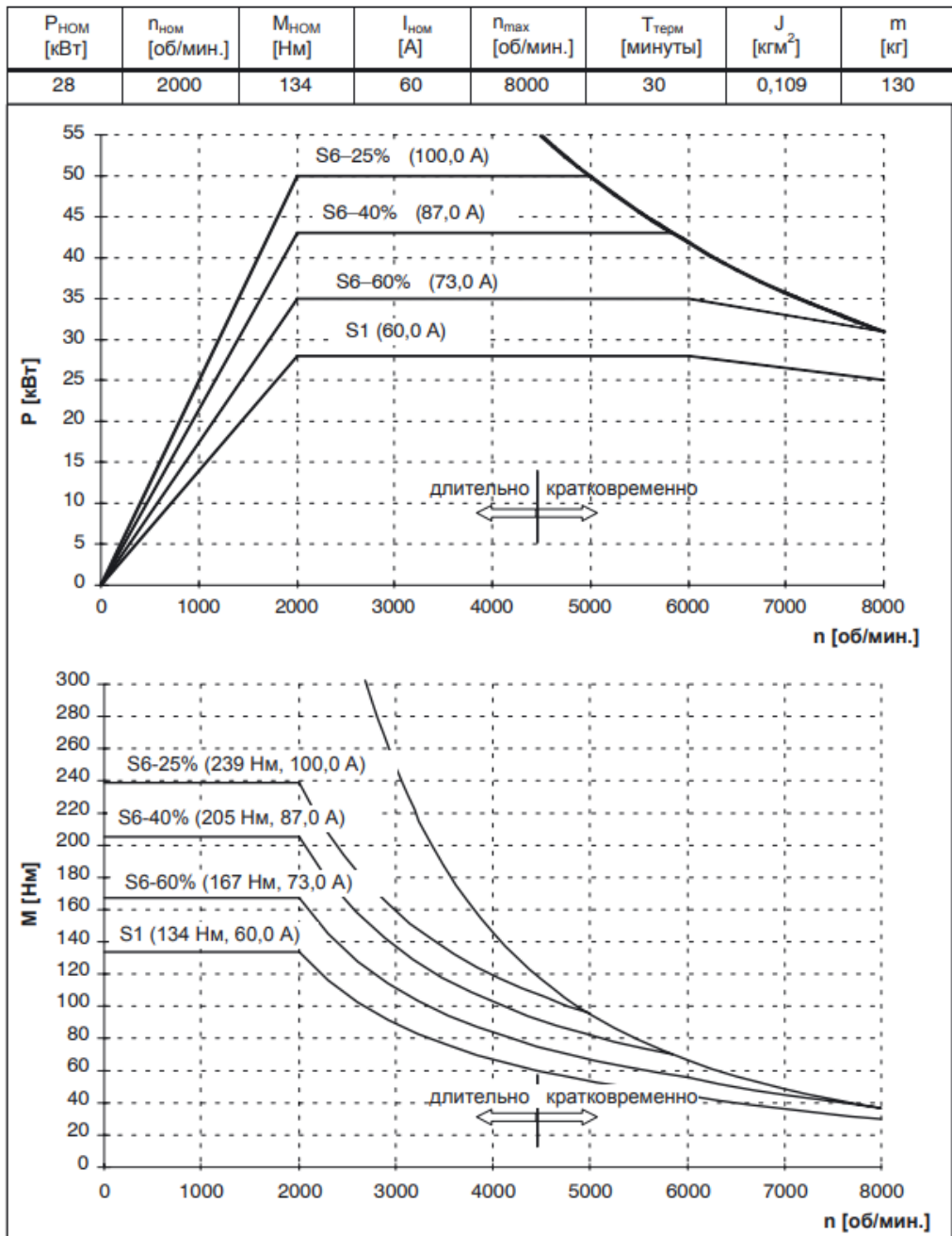


Рис. 59. Залежність потужності і крутного моменту від швидкості електродвигуна 1PH7137.

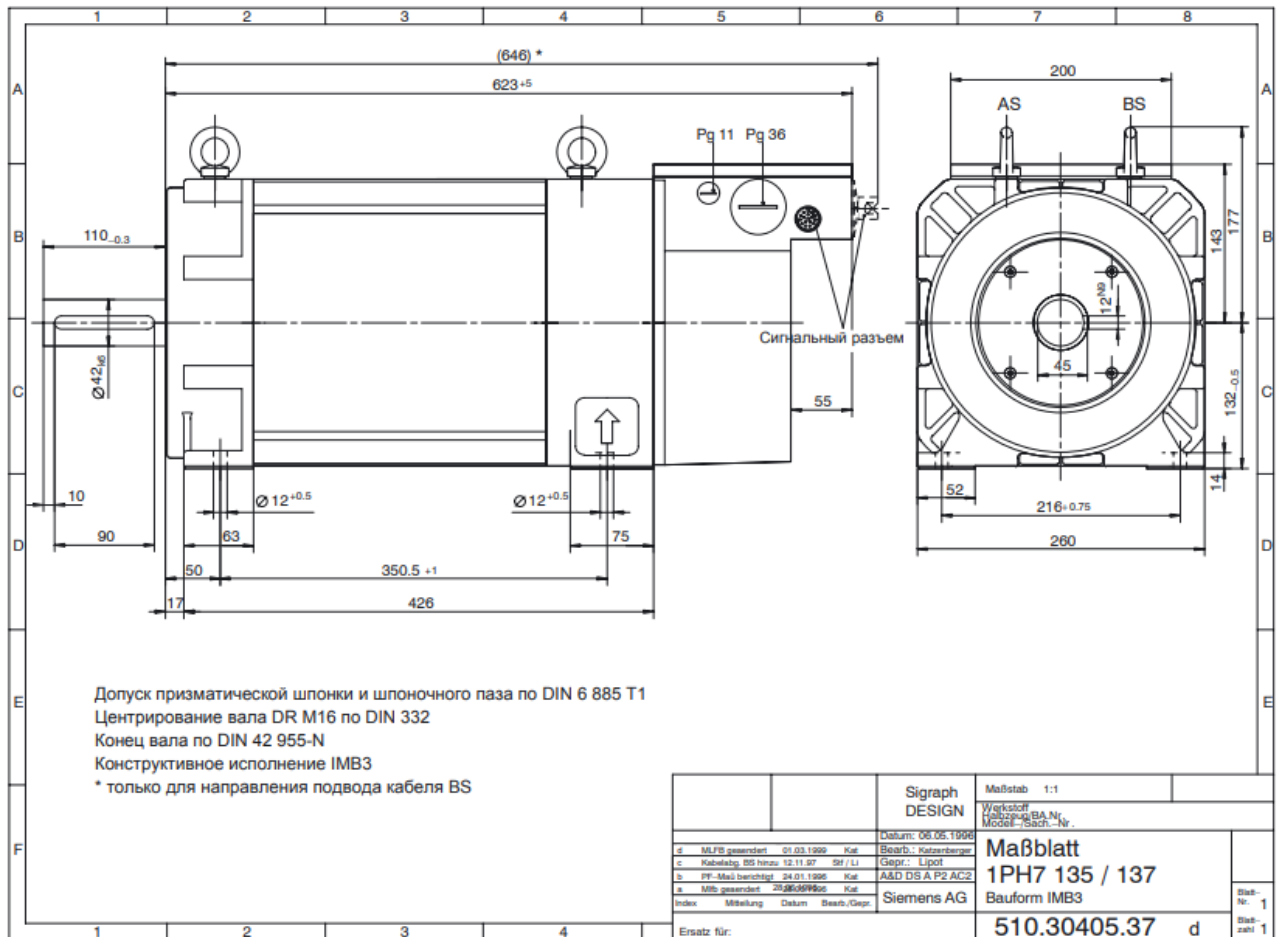


Рис. 60. Габаритні розміри електродвигуна 1PH7 137 із каталога

Тип двигателя 1PH7...	P _{НОМ}	P _{МАКС} 1)	M _{НОМ}	Модуль преобразователя в режиме согласно EN 60034-1				Модуль преобразователя в режиме согласно EN 60034-1				Модуль преобразователя в режиме согласно EN 60034-1			
				P _{НОМ}				I _{НОМ} [A]				[A]			
				S1	S6-60 %	S6-40 %	S6-25 %	S1	S6-60 %	S6-40 %	S6-25 %	S1	S6-60 %	S6-40 %	S6-25 %
131- NF	1500	8000	70	11	13,5	16,5	20	24	29	34	41	24/32/32	30/40/51	30/40/51	30/40/51
133- ND	1000		115	12	15	18,5	22	30	36	43	50	30/40/51	45/60/76	45/60/76	45/60/76
133- NF	1500		95	15	18,5	23	27	34	41	49	56	45/60/76	45/60/76	45/60/76	45/60/76
133- NG	2000		95	20	25	30	36	45	54	63	73	45/60/76	60/80/102	60/80/102	60/80/102
135- NF	1500		118	18,5	23	28	33	42	50	58	67	45/60/76	45/60/76	45/60/76	60/80/102
137- ND	1000		162	17	20,5	25	29	43	50	60	68	45/60/76	45/60/76	45/60/76	60/80/102
137- NF	1500		140	22	27,5	33	40	57	68	79	92	60/80/102	60/80/102	60/80/102	85/110/127
137- NG	2000		134	28	35	43	50	60	73	87	100	60/80/102	85/110/127	85/110/127	85/110/127

Рис. 61. Вибір перетворювача для 1PH7.

Для повноцінної роботи вибраного двигуна 1PH7 137, потрібен частотний перетворювач. Опишемо основні критерії вибору перетворювача частоти. Перетворювач частоти вибирають за такими основними критеріями:

1) Потужність. Найважливішим параметром електроприводу є його потужність. Це ключова умова пошуку підходящого інвертора. Саме тому перед тим, як обрати частотний перетворювач для електродвигуна, слід визначитися з навантажувальною здатністю обладнання.

Потужність частотного перетворювача має бути на 15% більшою,

ніж у електродвигуна.

Також варто враховувати особливості налаштування і перевантажувальну здатність перетворювача (величина перевантажень, їх тривалість і частота виникнення). Перевантажувальна здатність вказується в процентному співвідношенні від номінального струму. Якщо потрібні швидкий розгін / гальмування або великий пусковий момент, то вибирається ПЧ вище за стандартний на один щабель. У випадках «важкого» застосування, з високими пусковими навантаженнями, також припустимо, щоб потужність перетворювача була вище на один, рідше – на два щаблі.

2) Номінальний струм. Електропривод не працює в ідеальному режимі: завжди є ймовірність змін динамічних навантажень на валу або перевищення значень номінального струму. Тому, окрім потужності, при виборі перетворювача частоти звертають увагу на номінальний струм $I_{\text{дв.}}$ електродвигуна і перетворювача частоти $I_{\text{пч.}}$. *Робоче значення даного параметра ($I_{\text{пч.}}$) у перетворювача береться або з запасом щодо номінального струму двигуна, або однакове.* Це робиться для того, щоб убезпечити електропривод від можливих перевантажень в залежності від номінальної потужності регульованого електродвигуна. Тут в першу чергу необхідно керуватися величиною номінального струму, споживаного двигуном від перетворювача. Струм перетворювача повинен перевищувати номінальний струм електродвигуна, інакше він буде блокувати електропривод через помилки «перевищення струму».

3) Напруга живлення. Не менш важливим є і такий показник, як напруга живлення. Як правило, обладнання живиться від трифазної промислової електромережі напругою 380 В.

Також зустрічаються приводи, адаптовані для роботи від однофазної мережі 220/240 В. Крім того, на даний момент в каталогах виробників є модернізовані серії приводів, призначені для експлуатації в високовольтних мережах. Потужність такого обладнання вимірюється в мегаватах (МВт).

Значення напруги живлення для перетворювачів та електродвигуна має

бути однаковим.

Є рекомендація завжди обирати перетворювач з максимально широким діапазоном напруги (як вниз, так і ввверх) з огляду на те що у вітчизняних мережах можливі відхилення. Знижена напруга скоріш за все призведе до відключення частотного перетворювача, а от перевищення напруги може викликати вибух мережевих електролітичних конденсаторів та вихід приладу з ладу.

4) Діапазон регулювання. Верхня межа регулювання частоти важлива при використанні двигунів з високими номінальними робочими частотами (наприклад, для шліфувальних верстатів це 1000 Гц й більше). Вважається, що стандартний діапазон регулювання швидкості привода десь 1:10. Для більш широкого діапазону треба обирати лише векторне керування.

У разі, коли показники швидкості обертання електродвигуна не опускаються нижче 10% від номіналу, підбір перетворювача частоти не передбачає дотримання будь-яких спеціальних умов.

Підсумовуючи вище сказані рекомендації, можна подати у виразах:

$$P_{\text{пч.}} > P_{\text{дв.}}$$

$$I_{\text{пч.}} > I_{\text{дв.}}$$

$$U_{\text{пч.}} = U_{\text{дв.}}$$

Вибираючи перетворювач до електродвигуна, бажано обирати дану апаратуру однієї фірми, це дозволить збільшити взаємозамінність техніки та збільшить їх продуктивність. Таким чином, обираємо перетворювач, також фірми Siemens. Із каталога за вище перерахованими рекомендаціями вибираємо частотник моделі **MICROMASTER 430 6SE6430-2UD33-7EA0**.



Рис. 62. Частотні перетворювачі лінійки MICROMASTER 430

Основні технічні дані:

Напруга в мережі	3 AC, 380...480 В
Потужність	37 кВт.
Розрахунковий вхідний струм	91 А
Розрахунковий вихідний струм	75 А
Частота мережі	47...63 Гц.
Вихідна частота	0...650 Гц.
ККД	95 – 96 %
Типорозмір корпусу	Е
Габарити	650x275 x245 мм.
Вага	22 кг.

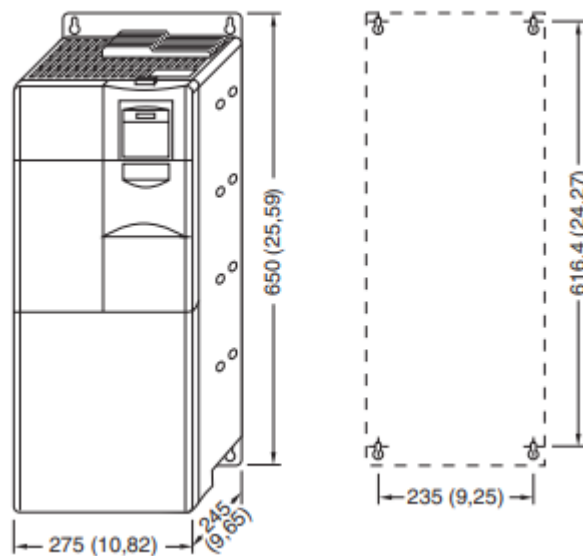


Рис. 63. Габаритні розміри MICROMASTER 430 6SE6430-2UD33-7EA0.

Спосіб встановлення: болти 4 x M8, шайби 4 x M8, гайки 4 x M8. Момент затягування 3 Nm. Для забезпечення вентиляції над і під перетворювачем має залишатися вільне місце 300 мм.

Висновок. На основі формул режиму різання розраховали потрібні параметри двигуна головного привода та обрали сучасний електродвигун фірми SIEMENS, моделі 1PH7 137. Також на основі параметрів верстата та вибраного раніше електродвигуна головного привода, обрали перетворювач частоти - MICROMASTER 430 6SE6430-2UD33-7EA0.

8. Обґрунтування компоновки опор шпиндельного вузла

Компонувальна схема шпиндельного вузла

Компонувальна схема шпиндельного вузла однозначно визначається типом опор та місцем розташування осьової опори. Підвищення вимог до шпиндельного вузла призвело до уніфікації їх конструкцій (практично зараз використовують 8-10 типових компоновок). Більшість шпиндельних вузлів верстатів створюють на базі типових компоновальних схем.

В даній роботі поставлено за мету підвищити швидкість обертання шпинделя. Для цього потрібно замінити компоновку підшипників на більш швидкісну. Це дозволить збільшити швидкість обертання із базових 1600 до близько 4000 об/хв. Із стандартних компоновок вибираємо (Табл.19):

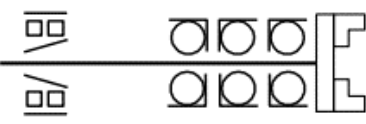
Схема опори	Діаметр передньої шийки шпинделя, мм.	$dn_{\max} \cdot 10^5$, мм/хв	Область використання
	30 – 120	4 – 6	Високошвидкісні легкі та середні токарні, фрезерувальні, фрезерувально-розточувальні та оздоблювально-розточувальні верстати

Табл. 19. Обрана стандартна компоновка шпиндельного вузла.

Також, для зменшення похибки в кінематичному вузлі модернізованого верстата, було прийняте рішення про максимальне скорочення кінематичного вузла, забезпечуючи при цьому його надійність і продуктивність. Вибір припав на з'єднання шпиндельного вузла на пряму до електродвигуна через пасову передачу (Рис. 64). Для отримання хорошої продуктивності обробки заготовки та необхідної частоти обертання, передаточне відношення між двигуном та шпиндельним вузлом повинне бути 1:1. Вид пасової передачі

обираємо клинопасовий, цей варіант є більш доступний, адже ремені до нього є у вільному продажі, та освоєний технологічний процес виготовлення шківів до них.

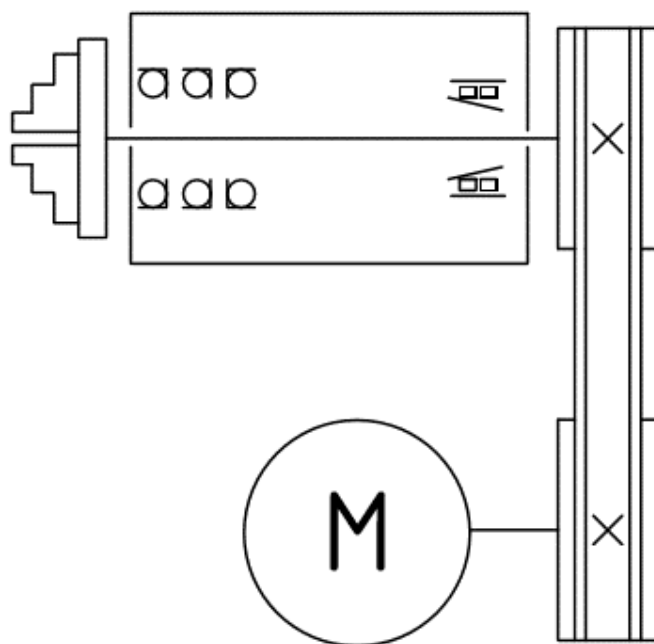


Рис. 64. Нова компоновка шпиндельного вузла.

9. Розрахунок ремінної передачі

Вихідні дані:

Вид передачі: клиноремінна.

Частота обертання ведучого шківів d_1 , становить $n_1 = 3000$ об/хв.

Частота обертання веденого шківів d_2 , становить $n_2 = 3000$ об/хв.

Потужність електродвигуна: $N_{\text{дв.}} = 28$ кВт.

Розрахунок моменту, який передається ремінною передачею:

Розраховуємо передаточний момент, Н·м:

$$T_1 = \frac{N_{\text{дв.}}}{\omega_1} \cdot 10^3,$$

Де, $N_{\text{дв.}}$ – потужність електродвигуна, ω_1 – колова швидкість, с^{-1} .

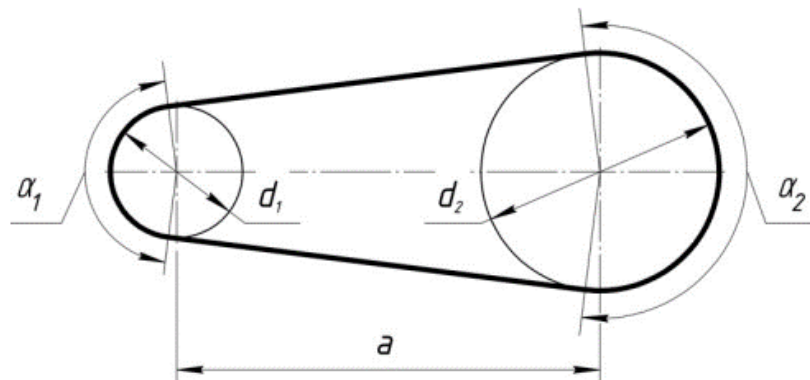


Рис. 65. Розрахункова схема ремінної передачі.

Колова швидкість, с^{-1} :

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.}}}{30} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}$$

Тоді:

$$T_1 = \frac{N_{\text{дв.}}}{\omega_1} \cdot 10^3 = \frac{28}{314} \cdot 10^3 = 89,2 \text{ кВт.}$$

Розрахунок перерізу ремня:

Визначаємо переріз ремня в залежності від моменту, що передається по таб.19.

Для цього попередньо обчислюємо розрахунковий передатний момент, Н·м:

$$T_{1p} = T_1 \cdot C_p$$

Де, T_1 – момент, що передається, Н·м; C_p – коеф. який враховує динамічність навантаження передачі в її режимі роботи (табл. 21). $C_p = 1,6$ – для важкого режиму роботи при тризмінній роботі передачі, електродвигун змінного струму загальнопромислового застосування.

Тоді:

$$T_{1p} = T_1 \cdot C_p = 89,2 \cdot 1,6 = 142,72 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для $T_{1p} = 142,72 \text{ Н} \cdot \text{м}$, по табл. 20 **приймаємо ремінь нормального перерізу В (Б).**

Позначення перерізу ремня	T_{1p} , Н·м	$d_{1 \min}$, мм.	К-сть ременів, z, шт.	Розміри, мм.			
				B_p	B	H_p	H
Нормальний переріз							
Z (О)	< 30	63	2...4	8,5	10	6	2,1
A	15...60	90	2...5	11	13	8	2,8
B (Б)	50...150	125	2...6	14	17	11	4
C (В)	120...600	200	2...7	19	22	14	4,8
D (Г)	450...2400	315	2...7	27	32	19	6,9
Вузькі перерізи							
УО	< 150	63	2...4	8,5	10	8	2
УА	90...400	90	2...4	11	13	10	2,8
УБ	300...2000	140	2...5	14	17	13	3,5
УВ	>1500	224	2...5	19	22	18	4,8

Табл. 20. Розміри і параметри поперечних перерізів клинових ременів.

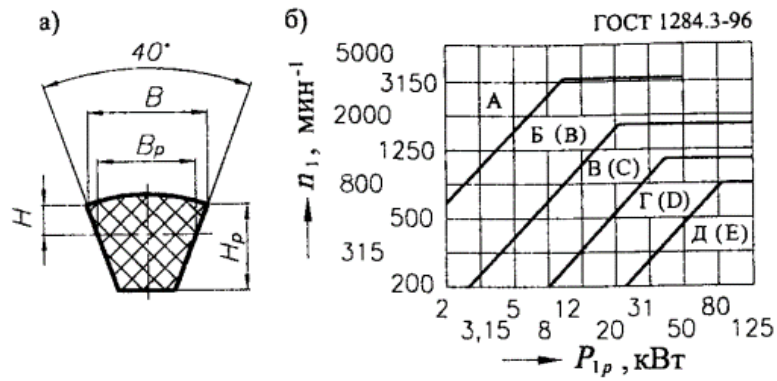


Рис. 66. Параметри поперечних перерізів (а), та діаграма їх вибору (б)
для клинових ременів нормального перерізу

Режим роботи	C_p при числі змін роботи передачі								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	I			II			III		
Легкий	1,0	1,1	1,4	1,1	1,2	1,5	1,2	1,4	1,6
Середній	1,0	1,2	1,5	1,2	1,4	1,6	1,3	1,5	1,7
Важкий	1,2	1,3	1,6	1,3	1,5	1,7	1,4	1,6	1,9
Дуже важкий	1,3	1,5	1,7	1,4	1,6	1,8	1,5	1,7	2,0

Табл. 21.

I – електродвигуни змінного струму, загальнопромислового призначення, електродвигуни постійного струму, шунтові, турбіни;

II – електродвигуни постійного струму компаундні, ДВЗ при $n \leq 600$ хв. $^{-1}$;

III – електродвигуни змінного струму із підвищеним пусковим моментом, електродвигуни постійного струму серієсні, ДВЗ при $n \geq 600$ хв. $^{-1}$.

Розрахунок діаметра веденого шківа

По табл. 22 приймаємо стандартний діаметр ведучого шківа $d_1 = 450$ мм.

Передаточне відношення, i ремінної передачі:

$$i = \frac{n_{II}}{n_I} = \frac{3000}{3000} = 1$$

... 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000 ...

Табл. 22. Розрахункові діаметри шківів d клинопасової передачі

Число ременів	2	3	4	5-6	Більше 6
C_k	0,8...0,85	0,7... 0,82	0,76...0,8	0,75...0,79	0,75

Табл. 23. Коефіцієнт, враховуючи число ременів C_k

Визначаємо мінімальний розрахунковий діаметр веденого шківa, мм:

$$d_2 = \frac{d_1 \cdot \eta}{i},$$

де η - коефіцієнт проковзування ($\eta=0,95$), i – передаточне відношення.

$$d'_2 = \frac{d_1 \cdot \eta}{i} = \frac{450 \cdot 0,95}{1} = 427,5 \text{ мм.}$$

Уточнюємо діаметр ведучого шківa за табл. 3. ($d_2 \leq d'_2$). Приймаємо $d_2 = 450$ мм.

Тоді дійсне передатне відношення проектованої передачі:

$$i = \frac{d_1}{d_2} \cdot \eta = \frac{450}{450} \cdot 0,95 = 0,95$$

Мінімальна міжосьова відстань, мм.:

$$a_{min} = 0,55(d_1 + d_2) + H_p$$

Розраховуємо:

$$a_{min} = 0,55(d_1 + d_2) + H_p = 0,55(450 + 450) + 11 = 506 \text{ мм.}$$

Повинна виконуватися умова $a > a_{min}$, збільшимо міжосьову відстань в 1,7 разів: $a = 1,7a_{min} = 1,7 \cdot 506 = 860,2$ мм.

Розрахункова довжина ремня:

$$L'_p = 2a + 0,5\pi(d_1 + d_2) + \frac{0,25(d_2 - d_1)^2}{a}$$

$$L'_p = 2 \cdot 860,2 + 0,5\pi(450 + 450) + \frac{0,25(450 - 450)^2}{860,2} = 3133,4 \text{ мм.}$$

Дійсна (стандартна) довжина ремня має бути більше або дорівнювати розрахунковій: $L_p \geq L'_p$. По рис. 67, вибираємо 3150 мм., звідси маємо коефіцієнт $C_L = 1,07$

L_p , мм	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2800	3150	3550	4000	4500	5000..
О	0,49	0,53	0,58	0,63	0,68	0,73	0,78	0,84	0,88	0,93	0,98	1,03	1,08	1,13	1,18	1,23	1,27						
А				0,71	0,74	0,77	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98	1,02	1,04	1,07	1,10	1,13	1,16	1,20	1,23		
Б								0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,93	0,95	0,98	1,00	1,02	1,05	1,07	1,10	1,13	1,15	1,17
В														0,85	0,87	0,90	0,92	0,94	0,97	0,99	1,01	1,04	1,06
Г																			0,89	0,91	0,93	0,95	0,97

Рис. 67. Довжина ременів L_p і значення коеф. C_L , враховуючи довжину ремня.

Розрахунок міжосьової відстані:

Після розрахунку стандартної довжини ремня L_p розраховуємо остаточно міжосьову відстань, мм. :

$$a = \frac{2L_p - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2L_p - \pi(d_2 - d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}}{8}$$

$$a = \frac{2 \cdot 3150 - \pi(450 + 450) + \sqrt{[2 \cdot 3150 - \pi(450 - 450)]^2 - 8(450 - 450)^2}}{8}$$

$$= 1221,75 \text{ мм.}$$

Число ременів пасової передачі:

$$z = \frac{P_1 C_p}{P_0 C_L C_a C_k}$$

Де, P_1 – потужність електродвигуна, кВт.

P_0 – потужність яка передається одним ремнем, кВт.

C_k – коефіцієнт, що враховує число ременів у передачі, табл. 23.

C_p – коефіцієнт враховуючи динамічність навантаження передачі і режим її роботи, табл. 21.

C_L – коефіцієнт довжини ремня, рис. 67.

C_a – коефіцієнт кута обхвату, табл. 24.

z – ціле число, табл. 20.

$$z = \frac{28 \cdot 1,6}{8,3 \cdot 1,07 \cdot 1 \cdot 0,8} = \frac{44,8}{7,1} = 6,3 \approx 6$$

Кут обхвату α , град.	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90

C_α	1,0	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,68
------------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Табл. 24. Коефіцієнт кута обхвату.

Конструювання шківів:

Шків який розташований на шпинделі повинен мати певні конструктивні особливості, через його місце розташування, кількості ременів та інше.

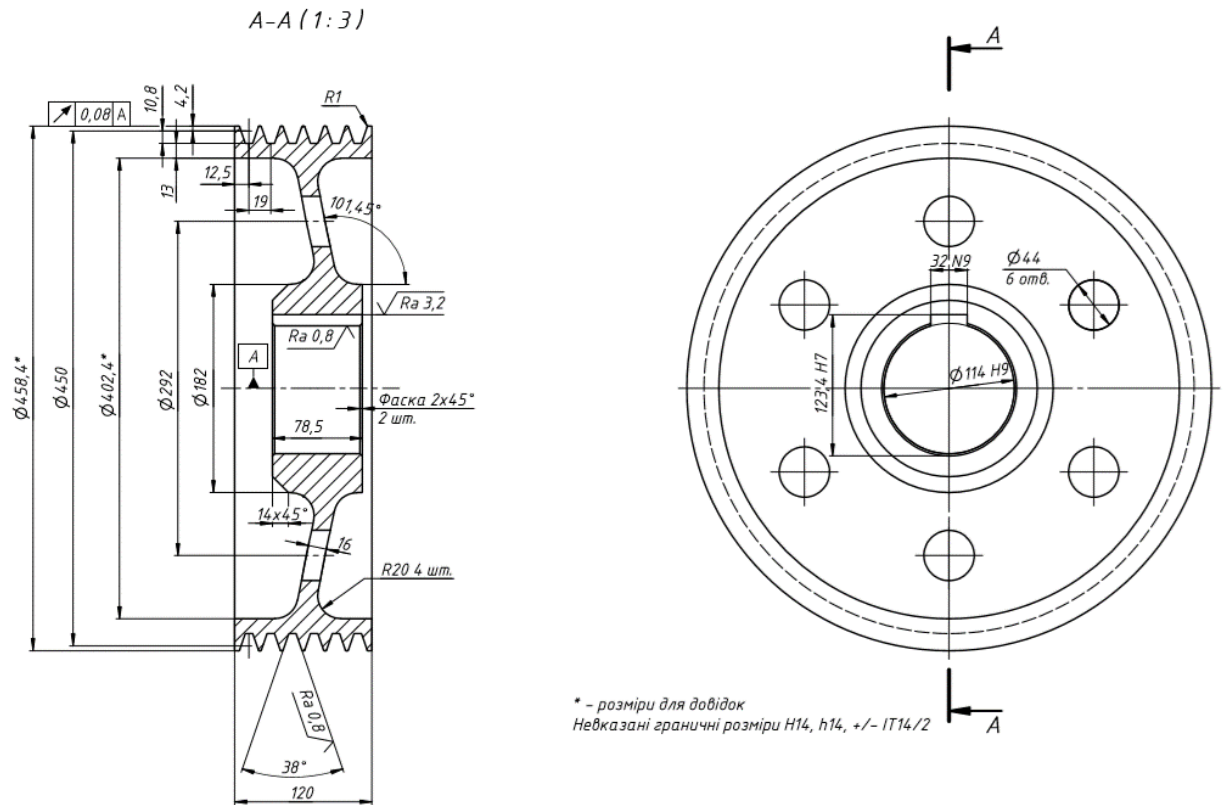


Рис. 68. Креслення веденого шківів

Параметри канавок шківів:

Переріз ременя	t	p	f	h	Значення кута φ , град.
					38
					Розрахунковий діаметр шківів, мм.
В (Б)	4,2	19	12,5	10,8	250...500

Визначимо деякі конструктивні елементи шківів:

Ширина шківів B , мм:	$B = (z-1) \cdot 19 + 2 \cdot 12,5 = 120$
Товщина ободу δ , мм.:	$\delta = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 10,8 \approx 13$
Товщина диска c , мм.:	$c = 1,2 \cdot \delta = 1,2 \cdot 13 \approx 16$
Діаметр маточини d_m , мм.:	$d_m = 1,6 \cdot d = 1,6 \cdot 114 \approx 182$
Діаметр отворів d_o у диску шківів, мм.:	$d_o = \frac{402,4 + 182}{5} \approx 44$
Діаметр D_o , на якому знаходяться отвори d_o , мм.:	$D_o = \frac{402,4 - 182}{2} \approx 292$

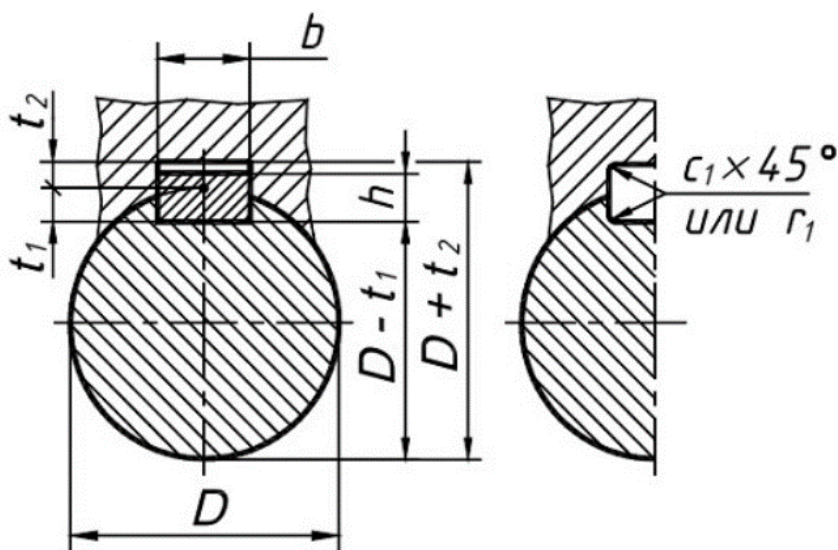


Рис. 69. Розміри шпоночного з'єднання

Діаметр вала, D, мм.	Розріз шпонки, b x h	Глибина паза		Радіус заокруглення	
		На валу, t_1	На втулці, t_2	Шпоночного паза, r_1	Шпонки, r
Від 110 до 130	32x18	11	7,4	0,4	0,6

Висновок. Провели розрахунок ремінної передачі. Отримали необхідні параметри до неї. Провели конструювання веденого шків.

Висновок.

Під час даної роботи було виконано ряд рішень по модернізації верстата:

- Розрахована та вибрана нова сучасна шарико-гвинтова передача фірми ТНК, Ø 50x16 мм., гайка моделі ВТК 5016V-5,3.
- Розрахований та вибраний електродвигун 1PH7 137 із частотним перетворювачем, MICROMASTER 430 6SE6430-2UD33-7EA0, що збільшило максимальну частоту обертання із базових 1600 об/хв. до близько 4000 об/хв.
- Замінена револьверна головка із приводним інструментом, це дозволяє проводити нові технологічні операції: свердління, нарізання нарізці, шліфування, фрезерування, та інші.
- Заміна компоновки шпиндельного вузла, що дозволяє отримати максимальну частоту в 4000-6000 об/хв.
- Змінена конструкція деяких деталей, як наслідок зміни компоновки шпиндельного вузла.
- Зменшений кінематичний ланцюг, що зменшує похибку.
- Проведено модернізацію шпиндельного вузла, змінено конструкцію деяких деталей та розроблені креслення шківів, та шпиндельного вузла.

Література

1. <https://mirstankov.com/uk/chim-verstat-z-chpu-vidriznyayetsya-vid-universalnogo/>
2. <https://cutt.ly/712c8UC>
3. http://stanki-katalog.ru/sprav_1p732rf3.htm
4. http://stanki-katalog.ru/sprav_1740rf3.htm
5. http://stanki-katalog.ru/sprav_1716pf3.htm
6. http://www.rusnauka.com/3_ANRR_2009/Tecnic/39974.doc.htm
7. <https://peskiadmin.ru/uk/cnc-systems-generations-of-cnc-systems.html>
8. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/17875/1/Diplom131_Desjak_Be_rezin.pdf
9. http://vlp.com.ua/files/14_58.pdf
10. <https://osnastik.ru/privodnoy-instrument/>
11. https://osnastka.pro/driven_tools
12. https://thk.ru/cataloguespdf/510-1RU_15_BallScrew.pdf
13. SEW eurodrive. Проектирование приводов. Издание 11/2001. Практика приводной техники 1053 3057/RU
14. <https://blog.hurco.com/blog/bid/332410/mill-turn-turret-shootout-vdi-vs-bmt>
15. <https://tigroteh.ru/blog/instrumentalnye-bloki-vdi-vs-bmt/>
16. <https://www.baruffaldi.it/wp-content/uploads/2018/09/Catalogo-TBMR-2018.pdf>
17. <https://stankoteka.ru/blog/kreplenie-instrumenta-revolvernoy-golovy/>
18. <https://mirprom.com/public/revolvernye-golovki-pragati.html>
19. <https://www.baruffaldi.it/cataloghi/catalogo%20TB-TBMA.pdf>
20. <https://www.baruffaldi.it/cataloghi/catalogo%20DISCS.pdf>
21. <https://grafker.hu/wp-content/uploads/2015/11/DIN-69880-ISO-10889-1-VDI.pdf>
22. <https://www.baruffaldi.it/cataloghi/catalogo%20VDI%20LIVE%20TOOLS%20BARUFFALDI.pdf>

23. [https://tigroteh.ru/pdf/smw-autoblok/SPUR%20MT%20TOEM%20\(VDI%2030\)%20-%20%D1%82%D0%B5%D1%85.pdf](https://tigroteh.ru/pdf/smw-autoblok/SPUR%20MT%20TOEM%20(VDI%2030)%20-%20%D1%82%D0%B5%D1%85.pdf)
24. <https://pdf.directindustry.com/pdf/algra/baruffaldi-coupling/51454-579889.html>
25. Siemens simodrive. Руководство по проектированию Выпуск 05/2004. Асинхронные двигатели привод главного шпинделя 1PH7 6SN1197-0AC65-0PP1.
26. Лекції Верба І.І.. «Регульовані електроприводи верстатів та роботів.»
27. Болотов М.А. «Рекомендации по назначению»
28. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 2/Под. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. – м.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.
29. Siemens. Каталог DA 51.2 • 2003/2004, MICROMASTER 410/420/430/440 – Новый шаг к совершенству Преобразователи частоты от 120 Вт до 250 кВт.
30. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24448/1/2017_shpindel_vuzly.pdf
31. http://mgmk.bntu.by/pages/project/project-mrs/raschet_remennoj_peredachi.pdf
32. Вибір електродвигуна, кінематичний та силовий розрахунок механічного приводу, розрахунок і конструювання передач гнучкою в'яззю: Метод. вказівки до викон. домашніх контрольних робіт з дисц. <<Деталі машин>> для студ. машинобудівних і механічних спеціальностей усіх форм навчання : Електронне навчальне видання / Уклад.: В.А. Стадник – К.: НТУУ <<КПІ>> 2012. 57с.
33. http://www.prombirga.ru/informaciya/novosti/razmery-shponok-i-shponochnyh-pazov-po-gost_328.html