

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**В.В. Солоха, Л.Й. Івченко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух**

## **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Національного університету «Запорізька політехніка»  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Запоріжжя  
2020

УДК 621.9.06 – 529 (075.8)

О-16

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Національного університету «Запорізька політехніка»  
(протокол № 75/20 від 10 червня 2020 року)*

Рецензенти:

**Кузнєцов Юрій Миколайович** – академік ГО "Національна АН вищої освіти України", доктор технічних наук, професор кафедри конструювання машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Залога Вільям Олександрович** – академік ГО "Національна АН вищої освіти України", доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування, металорізальних верстатів та інструментів, Сумський державний технічний університет.

**Кальченко Віталій Іванович** – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка».

Обладнання для новітніх технологій: навчальний посібник / В.В. Солоха, Л.Й. Івщенко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух. – Запоріжжя: ПАТ «Мотор Січ», 2020. – 210 с.

Розглядаються питання, пов'язані з металорізальними верстатами, які повинні мати високу гнучкість, надійність, продуктивність і точність роботи: багатоцільовими та багатокоординатними верстатами з ЧПК. Описані їх конструювання, особливості конструкцій окремих механізмів, систем керування та способи розробки керуючих програм.

Висвітлені питання модернізації застарілих моделей верстатів з ЧПК.

Посібник стане корисним для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів, викладачів і науковців та інженерно-технічних працівників машинобудівних підприємств.

УДК 621.9.06 – 529 (075.8)

ISBN 978-966-2906-93-6

© Солоха В.В., Івщенко Л.Й., Бойко І.А.,  
Коцюба В.Ю., Карнаух В.Л., 2020

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Список умовних скорочень .....  | 6  |
| Передмова .....   | 7  |
| Вступ.....  | 8  |
| РОЗДІЛ 1. Компонування та основні механізми і системи верстатів з ЧПК.....          | 10 |
| 1.1 Компонування верстата .....   | 10 |
| 1.1.1 Компонування верстатів для обробки корпусних та плоских деталей.....          | 10 |
| 1.1.2 Компонування токарних верстатів з ЧПК.....                                    | 12 |
| 1.2 Приводи верстатів з ЧПК.....  | 14 |
| 1.2.1 Виконавчі двигуни приводів верстатів.....                                     | 14 |
| 1.2.2 Приводи головного руху верстатів з ЧПК .....                                  | 17 |
| 1.2.3 Шпиндельні вузли багатоцільових верстатів з ЧПК.....                          | 19 |
| 1.2.3.1 Схеми шпиндельних вузлів на підшипниках кочення.....                        | 22 |
| 1.2.3.2 Особливості конструкції шпиндельних вузлів верстатів з ЧПК.....             | 23 |
| 1.2.4 Приводи подач багатоцільових верстатів .....                                  | 25 |
| 1.2.4.1 Приводи подач з ходовими гвинтами.....                                      | 26 |
| 1.2.4.2 Особливості конструкції кулькових гвинтових передач .....                   | 28 |
| 1.2.4.3 Вибір параметрів кулькового гвинта.....                                     | 28 |
| 1.2.5 Приводи кругових осей.....  | 30 |
| 1.2.6 Опори ходових гвинтів кулькових гвинтових передач.....                        | 31 |
| 1.2.7 Напрямні кочення багатоцільових верстатів .....                               | 32 |
| 1.3 Пристрої зберігання та заміни інструментів в багатоцільових верстатах.....      | 36 |
| 1.3.1 Закріплення інструментів в обертовому шпинделі .....                          | 36 |
| 1.3.2 Револьверні головки токарних верстатів з ЧПК та багатоцільових верстатів..... | 38 |
| 1.3.3 Пристрої автоматичної заміни інструменту в верстатах з ЧПК .....              | 44 |
| РОЗДІЛ 2. Конструкція багатоцільових верстатів та їх вузлів .....                   | 48 |
| 2.1 Багатоцільові верстати для обробки корпусних та складного профілю деталей ..... | 48 |
| 2.1.1 Вертикальний фрезерний верстат з ЧПК MCV 2418 .....                           | 48 |
| 2.1.2 Багатоцільовий п'яти координатний верстат Picomax ® 825 Versa. ....           | 49 |
| 2.1.2.1 Області застосування .....  | 50 |
| 2.1.2.2 Особливості конструкції.....  | 50 |
| 2.1.2.3 Автоматична зміна інструменту .....   | 51 |
| 2.1.2.4 Поворотно-круговий стіл.....  | 52 |
| 2.1.3 П'ятикоординатні фрезерні верстати Hermle C32, C42 .....                      | 53 |
| 2.1.4 П'ятикоординатний обробний центр серії Huron K2X Five .....                   | 55 |
| 2.1.5 П'ятикоординатний обробний центр серії Huron KX Large Series .....            | 57 |
| 2.1.5.1 Привід переміщення стола .....  | 58 |
| 2.1.5.2 Поворотна фрезерна головка.....   | 59 |
| 2.1.6 Верстат Liechti TURBOBLISK 1005 .....   | 61 |
| 2.1.7 Фрезерний верстат з ЧПК (багатоцільовий) LIECHTI Turbomill 1200g.....         | 64 |
| 2.1.7.1 Автоматична заміна інструмента.....   | 66 |
| 2.1.7.2 Вимірювальна система.....   | 66 |
| 2.1.7.3 Шпиндельна бабка обертання заготовки (ліва).....                            | 67 |
| 2.2 Токарні верстати з ЧПК та багатоцільові верстати .....                          | 68 |
| 2.2.1 Doosan Infracore Puma 2100/2600 .....   | 68 |
| 2.2.2 Багатоцільовий токарний верстат Puma MX2100ST .....                           | 71 |
| 2.2.3 Токарний верстат з ЧПК GOODWAY GA-3000 .....                                  | 74 |
| 2.2.4 Вертикальний токарний верстат з ЧПК Schiess - Vertimaster .....               | 76 |
| 2.2.4.1 Привід планшайби.....   | 76 |
| 2.2.4.2 Привід фрезерної головки .....  | 77 |
| 2.2.4.3 Інструментальні головки та адаптер.....                                     | 78 |
| 2.2.5 Вертикальний токарний верстат з ЧПК мод. SKIQ 16 C-M .....                    | 79 |
| 2.2.5.1 Привід обертання планшайби .....  | 81 |
| 2.2.5.2 Привід обертового інструмента .....   | 81 |
| 2.2.5.3 Інструментальні головки для обертового інструменту.....                     | 82 |

|   |     |
|---|-----|
| Контрольні питання до розділів 1 і 2.....   | 84  |
| Тести для перевірки знань .....   | 85  |
| РОЗДІЛ 3. Системи керування сучасними металорізальними верстатами.....  | 88  |
| 3.1 Основи числового програмного керування.....   | 88  |
| 3.1.1 Терміни і визначення .....  | 88  |
| 3.1.2 Класифікація систем з ЧПК.....  | 89  |
| 3.1.3 Функціональні складові систем з ЧПК.....  | 92  |
| 3.1.3.1 Формування траєкторії руху інструмента. Інтерполятор .....  | 93  |
| 3.1.4 Основні функції системи ЧПК .....   | 94  |
| 3.1.5 Способи розробки керуючих програм для сучасних верстатів з ЧПК.....                                     | 94  |
| 3.1.5.1 Ручне програмування.....  | 94  |
| 3.1.5.2 Основні етапи розробки керуючих програм в САМ-системах .....  | 96  |
| 3.2 Технологічне налагодження верстата з ЧПК.....   | 97  |
| 3.2.4 Налагодження різального інструменту .....   | 98  |
| 3.2.5 Встановлення нульової точки деталі .....  | 103 |
| 3.2.6 Встановлення деталі на пристосування. Запис керуючої програми. Оброблення і контроль першої деталі..... | 108 |
| 3.2.7 Коригування налаштувань різального інструменту.....   | 109 |
| 3.3 Основи керування верстатами з ЧПК.....  | 111 |
| 3.3.1 Пульт керування системи числового програмного керування Sinumerik 840D .....                            | 111 |
| 3.3.2 Режими роботи в області керування «Верстат» .....   | 113 |
| 3.3.3 Режим ручного керування JOG .....   | 115 |
| 3.3.4 Область параметрів .....  | 117 |
| 3.3.5 Область програмування .....   | 119 |
| 3.3.6 Область керування програмами .....  | 120 |
| 3.3.7 Область діагностування .....  | 121 |
| 3.4 Основи програмування верстатів з ЧПК .....  | 121 |
| 3.4.1 Системи координат верстатів з ЧПК .....   | 121 |
| 3.4.1.1 Система координат верстата .....  | 121 |
| 3.4.1.2 Нульова точка верстата і деталі .....   | 122 |
| 3.4.1.3 Нульова точка інструменту .....   | 122 |
| 3.4.2 Структура і запис керуючої програми.....  | 123 |
| 3.4.2.1 Код ISO 7-bit .....   | 123 |
| 3.4.2.2. Структура керуючої програми .....  | 123 |
| 3.4.2.3 Структура кадрів керуючої програми .....  | 124 |
| 3.4.2.4 Принцип розробки керуючих програм.....  | 125 |
| 3.4.2.5 Характеристики переміщень .....   | 126 |
| 3.4.2.6 Програмування траєкторії переміщення .....  | 128 |
| 3.4.2.7 Функції трансформації системи координат деталі.....   | 136 |
| 3.4.3 Програмування корекції на радіус інструмента .....  | 138 |
| 3.4.4 Використання підпрограм .....   | 139 |
| 3.4.5 Використання R- параметрів.....   | 140 |
| 3.4.6 Програмування циклів обробки .....  | 141 |
| 3.4.6.1 Цикл свердління CYCLE81 .....   | 141 |
| 3.4.6.2 Цикли завдання систем отворів .....   | 141 |
| Ряд отворів (HOLES1).....   | 141 |
| Матриця отворів (HOLES801).....   | 142 |
| Круговий ряд отворів (HOLES2) .....   | 142 |
| Контрольні питання до розділу 3.....  | 144 |
| Тести для перевірки знань .....   | 145 |
| Практичні завдання .....  | 148 |
| РОЗДІЛ 4. Модернізація верстатів з ЧПК.....   | 150 |
| 4.1 Загальні поняття та визначення.....   | 150 |
| 4.2 Підходи до модернізації верстата з ЧПК та типи робіт .....  | 151 |
| 4.3 Підготовка технічної документації на модернізацію обладнання .....  | 152 |
| 4.3.1 Техніко-економічне обґрунтування модернізації металорізальних верстатів.....                            | 153 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.1.1 Загальні вказівки до виконання ТЕО.....   | 153 |
| 4.3.2 Технічне завдання на модернізацію.....  | 158 |
| 4.3.3 Розподіл обов'язків по модернізації обладнання на підприємстві.....   | 160 |
| 4.4 Модернізація верстатів з ЧПК на підприємстві АТ «Мотор Січ» .....   | 161 |
| 4.4.1 Порядок проведення модернізації .....   | 161 |
| 4.4.1.1 Підготовка технічного завдання на необхідне обладнання для обробки деталі, яка планується до виготовлення.....      | 162 |
| 4.4.1.2 Підбір моделей застарілого обладнання .....   | 162 |
| 4.4.1.3 Дефектація і відновлювальний ремонт компонентів застарілого обладнання для використання в процесі модернізації..... | 165 |
| 4.4.1.4 Складання технічних вимог (ТВ) до систем модернізованого верстата .....   | 165 |
| 4.4.1.5 Підбір нових компонентів .....  | 166 |
| 4.4.1.6 Розробка та узгодження з замовником робочого проекту на модернізацію.....   | 166 |
| 4.4.1.7 Розробка конструкторської документації (КД) на модернізацію .....   | 167 |
| 4.4.1.8 Виготовлення нових вузлів і складання.....  | 168 |
| 4.4.1.9 Налагодження і контроль параметрів модернізованого обладнання.....  | 168 |
| Контрольні питання до розділу 4.....  | 174 |
| Тести для перевірки знань .....   | 175 |
| Додаток А. Перелік використаних спеціальних символів .....  | 178 |
| Додаток Б. Перелік підготовчих функцій.....   | 179 |
| Додаток В. Перелік допоміжних функцій .....   | 180 |
| Додаток Г. Приклади керуючих програм.....   | 181 |
| Додаток Д. Початкові дані.....  | 186 |
| Додаток Е. Порядок призначення коефіцієнтів Кавт, Кт, Кр.з., Кек, Квр, Кпр, Кточн .....                                     | 187 |
| Додаток Є. Перевірка норм точності .....  | 189 |
| Рекомендована література .....  | 207 |

## Список умовних скорочень

АЗІ – автоматична зміна інструмента;  
ВО – виконавчий орган;  
КГП – кульково-гвинтова передача;  
КД – конструкторська документація;  
КП – керуюча програма;  
МОР – мастильно-охолоджуюча рідина;  
НТД – нульова точка деталі;  
НТВ – нульова точка верстата;  
ОВФ – основні виробничі фонди;  
ОЦ – обробний центр;  
ПКВ – покупні комплектуючі вироби;  
ПЧ – перетворювач частоти;  
РІ – різальний інструмент;  
САПР – система автоматизованого проектування;  
СКВ – система координат верстата;  
ТВ – технічні вимоги;  
ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;  
ТЗ – технічне завдання;  
ТЕП – техніко-економічні показники;  
ЧПК – числове програмне керування.

## Передмова

В ринкових умовах важливого значення набуває випуск конкурентоспроможної продукції, що досягається високою якістю продукції, нижчою собівартістю її випуску, ніж у конкурентів. Досягнення цих показників значною мірою пов'язане з технологічним обладнанням, що використовується для випуску продукції. Технологічне обладнання, насамперед металорізальні верстати, повинні мати високу гнучкість, надійність, точність роботи. Даний навчальний посібник присвячений розгляду питань, пов'язаних з такими верстатами: верстатами з ЧПК та багатоцільовими.

У першому розділі навчального посібника розглядаються компонування верстатів з ЧПК та багатоцільових, елементи і механізми верстатів: приводи головного руху, подачі, встановлювальних рухів; шпindelні вузли та тягові пристрої верстатів і їх опори, напрямні лінійних рухів; оснащення для встановлення інструментів в шпindelі та револьверних головках; конструкції револьверних головок та магазинних накопичувачів інструментів.

У другому розділі розглядаються високопродуктивні багатокоординатні верстати з ЧПК для обробки корпусних деталей складного профілю та токарні верстати з ЧПК. Приділена увага верстатам для обробки специфічних деталей авіаційних двигунів.

Третій розділ посібника присвячений системам керування верстатами з ЧПК, вибору координатних осей, способам розробки керуючих програм, технологічного налагодження верстата, основам роботи з системою ЧПК Sinumerik 840D.

У четвертому розділі розглядаються питання модернізації наявних застарілих моделей верстатів з ЧПК до рівня сучасного обладнання. Приділено увагу техніко-економічному обґрунтуванню проведення модернізації. На прикладі діяльності АТ «Мотор-Січ» розглянута модернізація низки фрезерних з ЧПК і багатоцільових верстатів.

Особливу вдячність автори висловлюють доктору технічних наук, професору, Герою України, Голові правління АТ «Мотор Січ» Богуслаєву В.О. за постійну підтримку студентів, молодих фахівців, науковців України і надану можливість публікації цього навчального посібника, а також рецензентам за слушні поради, які були ураховані при підготовці посібника.

Автори висловлюють подяку заступнику головного конструктора експериментально-дослідницького управління Чивкунову А.В. за допомогу у підготовці рукопису, співробітникам міжнародного технічного центру АТ «Мотор Січ», зокрема Осовському О.В. за сприяння у підготовці матеріалу, а також доценту кафедри ТАД НУ «Запорізька політехніка» Сахнюк Н.В. за активну участь у корегуванні тексту та оформленні посібника.

## Вступ

Вступ людства в еру четвертої промислової революції (Industry 4.0) характеризується всебічною діджиталізацією промислового виробництва, яка проявляється у широкій автоматизації і роботизації виробничих процесів, необхідності обробки безпрецедентних обсягів інформації, використанні інтернету, штучного інтелекту, підвищенні екологічності виробництва, продуктивності праці тощо. Також цей процес потребує негайних і рішучих дій як з боку держави, так і з боку приватних промислових компаній на шляху створення нових, а також модернізації і адаптації існуючих підприємств і навіть цілих секторів економіки, освіти і науки до сучасних вимог, їх взаємної інтеграції, обміну досвідом і науково-технічними досягненнями.

Важливість впровадження і підтримки в Україні основних тенденцій Industry 4.0 пов'язана із викликами, які постають перед нашою країною на тлі її розгортання у світі, а також можливими негативними наслідками. Одним із таких викликів є можливе збільшення диференціації між бідними і багатими країнами, внаслідок трудової міграції, безробіття, високої конкуренції на світовому ринку товарів і послуг, що може призвести до поглиблення кризових явищ в промисловості і в подальшому закріпленню за Україною статусу аграрно-сировинної країни, що є неприпустимим, зважаючи на існуючий промисловий і кадровий потенціал.

Подальший стрімкий розвиток техніки і технологій призводитиме до необхідності забезпечення високого рівня підготовки інженерних кадрів, як основного фактору відродження України в статусі високорозвиненої індустріально-аграрної держави. Одним із базових секторів машинобудування, без розвитку якого неможливо забезпечити сталий розвиток промисловості, є верстатобудування.

Прискорення розвитку науки, техніки і технологій веде до появи нових матеріалів, машин та їх компонентів. В авіаційній, космічній, енергетичній техніці та інших сферах виробництва знаходять широке використання нові матеріали, що характеризуються високими показниками міцності, тепло та жаростійкості. До деталей та елементів таких машин висувають високі вимоги по точності розмірів та форми, та надійності.

В умовах сучасного виробництва, коли зміна об'єктів виробництва відбувається швидко, використовуються гнучкі технологічні процеси, що дозволяють швидко, з мінімальними витратами, переходити на виготовлення інших деталей. Такі технології потребують в свою чергу використання технологічного обладнання універсального, гнучкого, з високим ступенем автоматизації, яке б в умовах серійного виробництва забезпечувало продуктивність наближену до умов масового виробництва. Цим вимогам найбільшою мірою відповідають верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), які дають можливість переходити на обробку інших, нових деталей з малими витратами часу і коштів. Системи ЧПК забезпечують керування процесом обробки за декількома осями (від 2 до 6), допоміжними механізмами та пристроями верстата, що дозволяє виконувати різні види обробки, різними інструментами для обробки заготовок деталей з різних боків, без переустановленням їх на інші верстати.

Враховуючи високу вартість сучасних верстатів з ЧПК для їх окупності необхідно, щоб верстати забезпечували високу продуктивність обробки та мали високу надійність. Не врахування будь-якого з цих факторів може звести нанівець ефект від використання верстатів з ЧПК.

Висока продуктивність обробки досягається високими швидкостями різання і подачі з високою потужністю, скороченням часу на допоміжні переходи, поєднання різних операцій в часі, як робочих так і допоміжних, скорочення часу на підготовку обробки деталей. Тому в сучасних верстатах з ЧПК мають застосовуватися механізми, вузли і агрегати, які відповідають цим умовам.

В приводах головного руху таких верстатів використовують регульовані електродвигуни змінного струму: асинхронні та синхронні та, значно рідше, двигуни постійного струму з мінімальною кількістю передач на шпindel. Найчастіше це пасові поліклінові або зубчасті передачі, що передають рух з електродвигуна безпосередньо на шпindel. В токарних верстатах з ЧПК для збільшення діапазону регулювання частот обертання шпинделя в режимі постійної потужності можуть використовуватися планетарні двоступеневі редуктори, що встановлюються на вал електродвигуна, з якого рух на шпindel передається пасовою передачею.

В верстатах з ЧПК з високими частотами обертання шпинделя використовуються мотор-шпинделі, в яких ротор електродвигуна напресовується безпосередньо на шпindel, а статор встановлюється в корпусі шпиндельної бабки. В таких конструкціях обов'язково повинно застосовуватися охолодження шпиндельної бабки.

В опорах високошвидкісних шпиндельних вузлів використовуються спеціальні підшипники, які забезпечують високу жорсткість і швидкохідність. Широке застосування отримали гібридні підшипники, тіла кочення яких виконуються керамічними.

В приводах подач верстатів з ЧПК використовуються регульовані електродвигуни, які безпосередньо з'єднуються з ходовим гвинтом кулькової гвинтової передачі. Такі передачі забезпечують високу



швидкохідність та точність позиціювання виконавчого органу, що досягається шляхом усунення зазорів в передачі за рахунок створення попереднього натягу. З застосуванням кулькових гвинтових передач в приводах верстатів швидкості прискорених переміщень сягнули 30 — 35 м/хв. Для одержання більш високих швидкостей в приводах подач верстатів можуть використовуватися лінійні електродвигуни, які забезпечують швидкості руху 60 — 100 м/хв. та високі прискорення.

Вдосконалення тягових пристроїв приводів подач має іти паралельно з вдосконаленням напрямних (опор) прямолінійного та кругового руху верстатів. Використання традиційних напрямних ковзання з граничним чи змішаним тертям не відповідає вимогам швидкохідності і надійності. Тому основним типом напрямних прямолінійного та й кругового руху в верстатах з ЧПК є напрямні кочення, кулькові чи роликові, різних типів і конструкцій. Разом з тим, з метою поліпшення динамічних властивостей верстатів, доволі часто використовуються напрямні вдосконалених конструкцій, так звані коробчасті напрямні (box way) з покриттям робочих граней полімерними матеріалами з низьким коефіцієнтом тертя. Такі напрямні дають можливість працювати на високих швидкостях руху, але мають кращі демпфуючі властивості, ніж напрямні кочення.

Застосування на верстатах з ЧПК пристроїв автоматичної заміни інструменту з накопичувачами інструментів дозволяє виконувати обробку заготовки з однієї установки з різних боків різними видами інструментів, що підвищує точність обробки за рахунок незмінності встановлювальних баз, скорочує допоміжний час, пов'язаний з переустановленням деталей, зменшує потребу в технологічному обладнанні.

В даному навчальному посібнику розглядаються характерні системи і механізми багатокординатних верстатів з ЧПК, аналізується робота таких верстатів, наведено системи їх керування та висвітлені питання, пов'язані з модернізацією металообробного обладнання задля підняття його технічних і експлуатаційних характеристик до сучасного рівня.

## РОЗДІЛ 1. Компонування та основні механізми і системи верстатів з ЧПК

### 1.1 Компонування верстата

Компонування верстата визначає розташування основних елементів і вузлів несучої системи верстата та можливість їх відносних рухів.

Вибір компонування верстата визначається великою кількістю факторів, зокрема:

- видом обробки та формотворними рухами, які мають забезпечуватися в верстаті;
- габаритами, масою та формою оброблюваних заготовок, що визначає навантаження на опори (напрявні) та несучі елементи конструкції;
- потребою в різальному інструменті, що визначає тип та розміщення накопичувача інструментів;
- інтенсивністю процесу обробки та пов'язаною з цим необхідністю видалення об'ємів стружки;
- можливістю владнання верстата в автоматизовані виробничі системи тощо.

Верстати, за розміщенням осі шпинделя, бувають з горизонтальним компонуванням та з вертикальним.

В залежності від розміщення нерухомих елементів несучої системи верстата будують з горизонтальними станинами (токарні, шліфувальні та деякі інші), вертикальними станинами чи стояками та порталними станинами.

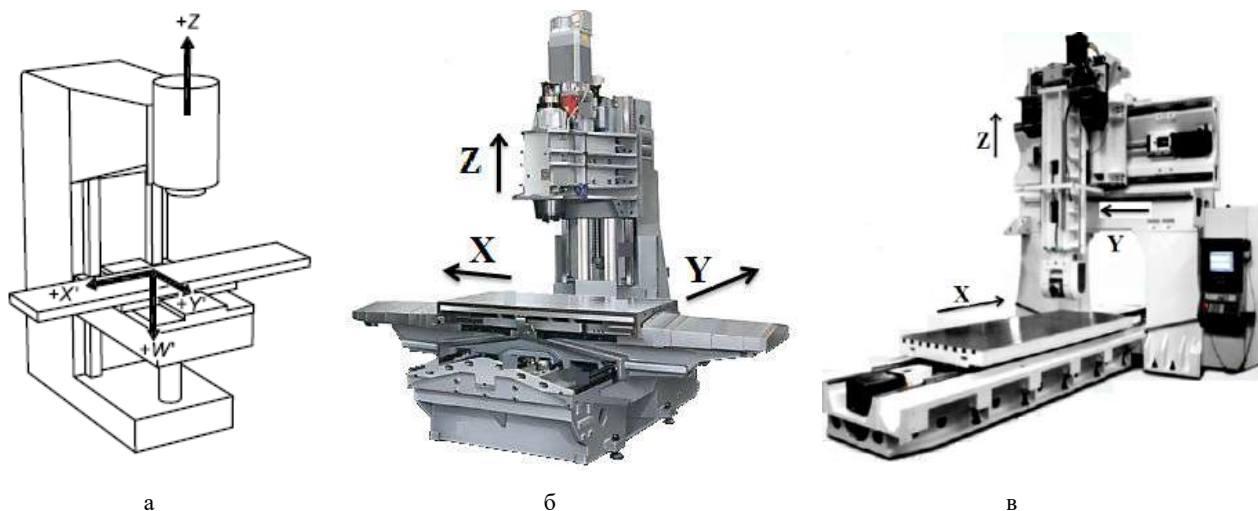


Рисунок 1.1 – Компонування фрезерних верстатів з ЧПК

#### 1.1.1 Компонування верстатів для обробки корпусних та плоских деталей

У компонуваннях верстатів з ЧПК: свердлильних, розточувальних, фрезерних то що, як і в компонуваннях універсальних верстатів з ручним керуванням, використовується такий принцип: чим більша маса оброблюваної заготовки тим менше вона має ступенів рухомості.

Так в консольно-фрезерних верстатах (рис.1.1, а), ширина стола яких, як правило, не перевищує 400 мм, заготовка, встановлена на столі, переміщується за трьома осями: двома горизонтальними X та Y і вертикальною віссю Z (W). В безконсольних фрезерних верстатах (рис.1.1, б), які мають більший розмір стола і призначені для обробки більших за розмірами та масою деталей, стіл, з закріпленою на ньому заготовкою, переміщується лише в горизонтальній площині (осі X та Y), а в вертикальній площині (вісь Z) переміщується шпиндельна головка з інструментом. Крупні заготовки обробляються на верстатах порталного компонування (подовжньо-фрезерних), в яких стіл з заготовкою переміщується лише в подовжньому напрямку (вісь X), решту переміщень виконує інструмент: вертикальний рух повзуна зі шпинделем (вісь Z) та горизонтальний рух каретки шпинделя напрямними портала (вісь Y).

Для обробки деталей складної форми застосовують верстати, в яких крім лінійних переміщень можуть виконуватися обертові рухи за однією, двома, інколи трьома осями.

На рисунку 1.2, а наведено горизонтальний верстат з ЧПК з 4 осями. Обертובה вісь B забезпечує можливість обробки деталі, розміщеної на поворотному столі, з різних боків без переустановлення. Для обробки деталей складного профілю, що мають поверхні довільно розміщені в просторі, доцільно використовувати верстати з двома обертовими осями, рис. 1.2, б. Стіл такого верстата обертається відносно вертикальної осі (вісь C) та здійснює поворот відносно горизонтальної осі (вісь A). Для обробки великогабаритних деталей складного профілю застосування верстатів з обертовими столами недоцільне через велику масу деталей, тому обробка поверхонь складного профілю виконується з застосуванням

оберткових інструментальних (фрезерних) головок (рис. 1.1, в), які можуть мати одну – дві обертові осі. Застосування таких головок дає можливість виконувати обробку не лише горизонтальних поверхонь, але і вертикальних чи нахилених під різними кутами поверхонь.

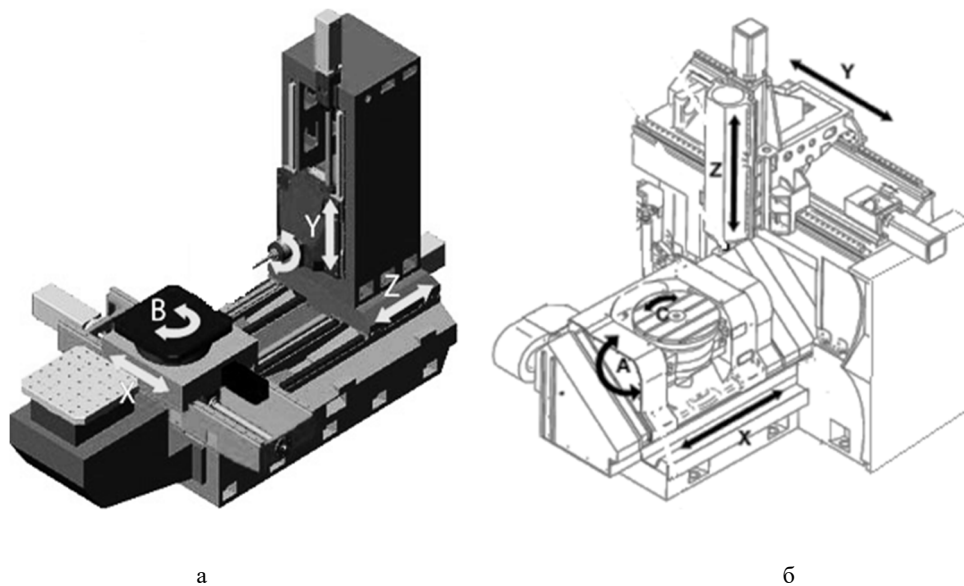


Рисунок 1.2 – Компонування фрезерних верстатів з ЧПК з обертовими осями

Подібно до фрезерних верстатів у верстатах розточувального типу ступінь рухливості деталі залежить від її розмірів. На розточувальних верстатах малих розмірів (рис. 1.3, а) заготовка здійснює рух за двома – трьома осями, наприклад двома лінійними, пересування стола в подовжньому (вісь W) та поперечному (вісь X) напрямках і однією обертовою (вісь B), обертання стола навколо вертикальної осі. Інші рухи: пересування шпindelної головки в вертикальній площині (вісь Y) та рух розточувального шпindelю (вісь Z), виконує інструмент. В верстатах середніх розмірів (рис. 1.3, б), на яких обробляються більші за розмірами і масою заготовки, деталь, установлена на столі, здійснює рух лише за однією лінійною віссю X та однією обертовою віссю B. Всі ж інші рухи, такі як рух розточувального шпindelю W та стояка з шпindelною головкою Z в горизонтальній площині та вертикальне переміщення шпindelної головки напрямними стояка Y, виконуються інструментом. На важких розточувальних верстатах (рис. 1.3, в) заготовка в процесі обробки залишається нерухомою, а всі виконавчі рухи здійснює інструмент. Колона разом зі шпindelним бабкою рухається напрямними основи верстата. Шпindelна бабка переміщується вертикальними напрямними колони та здійснює поперечне переміщення. В цьому ж напрямку рухається висувний шпindel. Шпindelна головка забезпечує можливість повороту за двома осями, що дозволяє виконувати обробку поверхонь розмінених під кутом до базових поверхонь. На таких верстатах можуть виконуватися різні види обробки: розточування отворів, фрезерні роботи, обробка отворів свердлами, зенкерами, розгортками тощо.

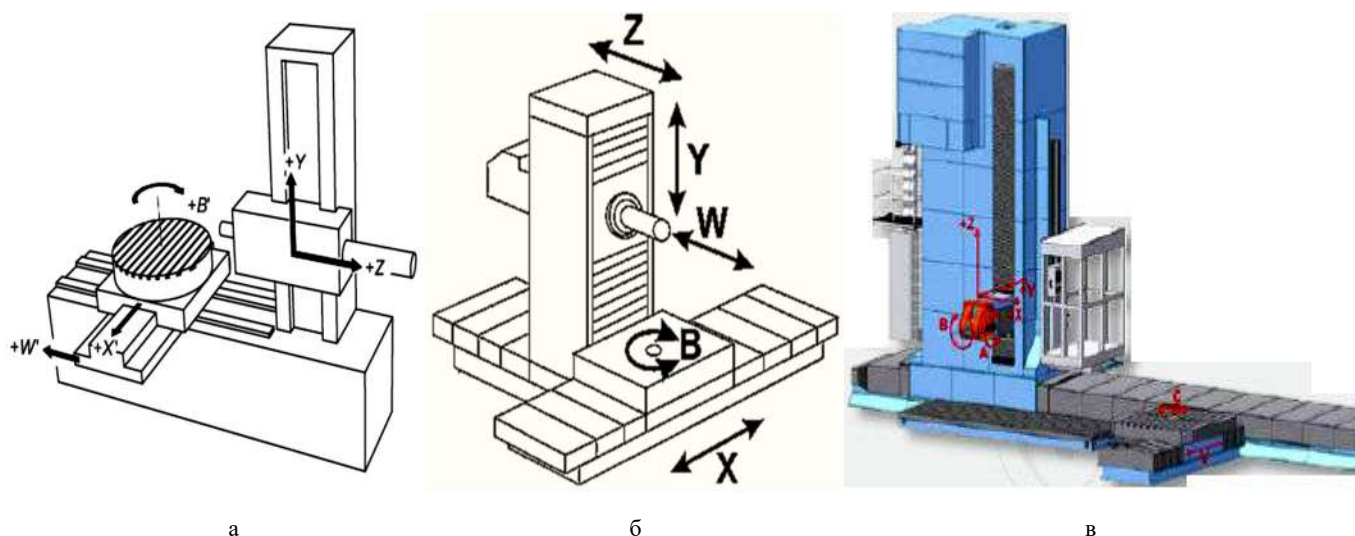


Рисунок 1.3 – Компонування розточувальних верстатів з ЧПК

### 1.1.2 Компонування токарних верстатів з ЧПК

Токарні верстати з ЧПК, як і верстати інших типів, виконуються з горизонтальним (вісь шпинделя горизонтальна) та вертикальним (вісь шпинделя вертикальна) компонованням.

В верстатах з горизонтальною станиною (рис. 1.4, а) відведення стружки з зони різання здійснюється через отвори між стінками станини. Стружка може попадати на напрямні поступального руху, спричиняючи підвищений знос напрямних. Внаслідок того, що станина має незамкнений профіль поперечного перетину, жорсткість її на згин та крутіння знижена, що, в свою чергу, обмежує можливості використання верстатів, побудованих за такою схемою, для роботи зі значними зусиллями різання та швидкостями. Використання компоновань верстатів з похилими станинами (рис. 1.4, б), нахиленими від вертикалі до задньої частини верстата під тим чи іншим кутом (від  $15^\circ$  до  $60^\circ$ ), поліпшує умови видалення стружки, за рахунок можливості використання несучих деталей замкненого профілю підвищує статичну та динамічну жорсткість, покращує доступ оператора до інструмента і заготовки. Такі компоновання знаходять широке застосування в сучасних токарних верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах. Розробники прагнуть проектувати несучі системи таким чином, щоб найбільшою мірою використовувати модульний принцип побудови верстата.

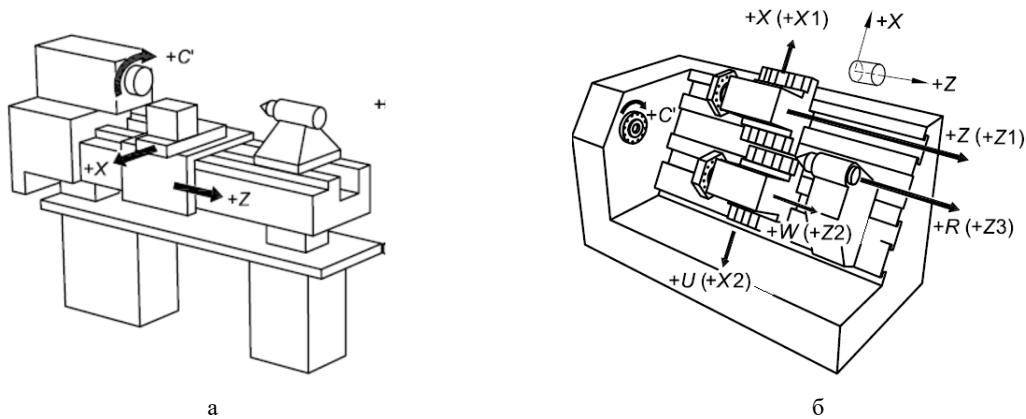


Рисунок 1.4 – Компонувки горизонтальних токарних верстатів

В верстатах з горизонтальною станиною інструмент може встановлюватися або в поворотному різцетримачі (револьверній головці) на 6 – 8 позицій, або використовуватися лінійне налагодження інструмента. Для обробки достатньо довгих та нежорстких деталей справа на станині встановлюється задня бабка.



Рисунок 1.5 – Компонування токарних верстатів з похилою станиною.

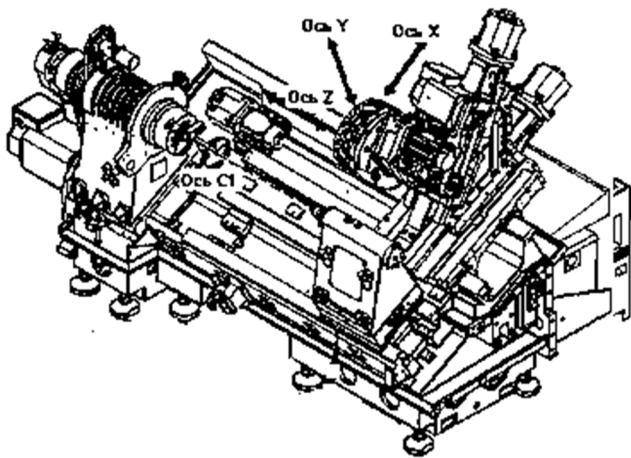
Верстати з похилим компонованням (рис. 1.5) будують з використанням різної кількості завершених самостійних модулів: шпиндельних вузлів, револьверних головок, задніх бабок, приводів лінійних переміщень за осями. Як базова модель може використовуватися верстат, що має шпиндельну бабку з пасовим приводом від електродвигуна та револьверну головку, яка переміщується за двома осями X і Z. Револьверна головка, як правило, має 12 позицій для встановлення інструмента. На таких верстатах можна обробляти циліндричні, конічні та торцеві зовнішні та внутрішні поверхні, вісь яких співпадає з віссю обертання шпинделя, оскільки головний обертальний рух виконує заготовка. Для обробки отворів,

розміщених на торці деталі, але зміщених відносно осі шпинделя, та отворів на периферії деталі на супорті встановлюється револьверна головка з приводним інструментом, в цьому разі можна крім зазначених операцій виконувати і операції фрезерування. Обробка довгих нежорстких деталей потребує встановлення задньої бабки. Для ускладнених умов обробки на верстаті може встановлюватися друга револьверна головка (рис. 1.5, б), що розміщується на нижніх напрямних станини. В деяких верстатах кількість револьверних головок доходить до чотирьох. В разі розширення кількості інструментів, що встановлені на верстаті, доцільним стає обробка деталі з протилежного кінця, для чого на верстаті замість задньої бабки встановлюється додатковий шпindel (проти шпиндель), що будується на базі владнаного електродвигуна. Додатковий шпindel може використовуватися для підтримання довгих деталей, тобто виконувати функції задньої бабки, а також для перезакріплювання деталей та обробки з заднього кінці. Основний шпindel в такому випадку також може будуватися на базі владнаного електродвигуна. Обробка на такому верстаті може вестися з закріпленням заготовок в основному шпинделі та після обробки з одного боку заготовки перезакріплюються в допоміжний синхронний шпindel для обробки з протилежного боку. В деяких верстатах можлива одночасна обробка заготовок в основному та допоміжному шпинделях інструментом з різних різцевих головок.

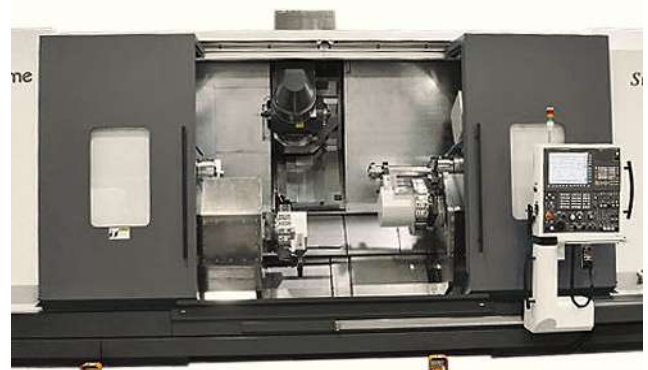
Установлення на супорті, що здійснює рух за віссю X додаткової рухомої каретки (рис. 1.6, а) забезпечує пересування інструмента за віссю Y, що ще більше розширює технологічні можливості верстата, особливо для виконання фрезерних робіт.

Деякі виробники будують верстати (рис. 1.6, б), в яких на верхньому супорті, що має переміщення за осями X, Y та Z, установлюють інструментальний шпindel з автоматичною заміною інструмента з інструментального магазину, а на нижньому, що рухається за осями X, та Z установлюється револьверна головка.

Для обробки заготовок деталей, що мають малу в порівнянні з діаметром довжину, таких як фланці, кришки, зубчасті колеса тощо можуть використовуватися токарні верстати вертикального компонування. Характерною особливістю таких верстатів є вертикальне розміщення шпинделя, на якому закріплюється заготовка. Шпindel може мати верхнє (рис. 1.7, а) та нижнє (рис. 1.7, б, 1.7, в) розміщення.



а



б

Рисунок 1.6 – Компонування токарного верстата з переміщенням за віссю Y.

Верстати з верхнім розміщенням шпинделя призначені для обробки деталей середніх розмірів, в них забезпечується легке видалення стружки та охолоджуючої рідини. Таке компонування забезпечує простоту автоматизації заміни заготовок та владнання в гнучкі автоматизовані виробництва.

У верстатах з нижнім розміщенням шпинделя, на шпинделі закріплюється планшайба для встановлення заготовок. Такі верстати призначені для обробки заготовок великого діаметра та відносно невеликої довжини. Вони можуть буди одностояковими та двостояковими, інструменти на них встановлюються на вертикальних та бічних супортах (рис. 1.7, б) або в повзуні з автоматичною заміною інструмента (рис. 1.7, в). В останніх верстатах в повзуні може розміщуватися обертовий привід, що дозволяє використовувати фрезерні та розточувальні головки для виконання операцій фрезерування, свердління, розточування поверхонь, що не лежать на осі обертання шпинделя планшайби. Для обробки поверхонь довільно розташованих в просторі можуть використовуватися поворотні головки.

Розглянуті компонування є найбільш поширеними для побудови верстатів з ЧПК, але вони не вичерпують всі можливі варіанти побудови верстатів.

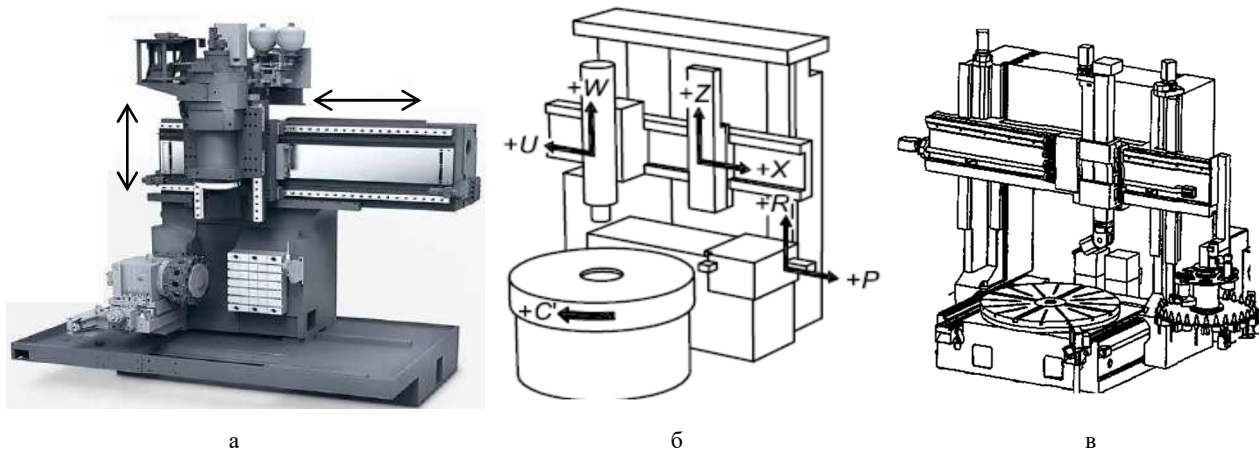


Рисунок 1.7 – Компонування вертикальних токарних верстатів

## 1.2 Приводи верстатів з ЧПК

### 1.2.1 Виконавчі двигуни приводів верстатів

Приводи верстатів забезпечують всі виконавчі рухи верстатів. В залежності від створюваного виконавчого руху приводи поділяють на приводи головного руху, приводи подачі, приводи встановлювальних рухів, приводи допоміжних рухів. Кожен вид приводу характеризується швидкістю руху, діапазоном швидкостей, який він забезпечує, можливістю і дискретністю регулювання швидкості, точністю переміщення, що забезпечується приводом, характером руху виконавчого органу, видом, характером і величиною навантаження на виконавчий орган і елементи приводу. Для створення виконавчих рухів у верстатах з ЧПК використовуються електричні, гідравлічні та пневматичні приводи.

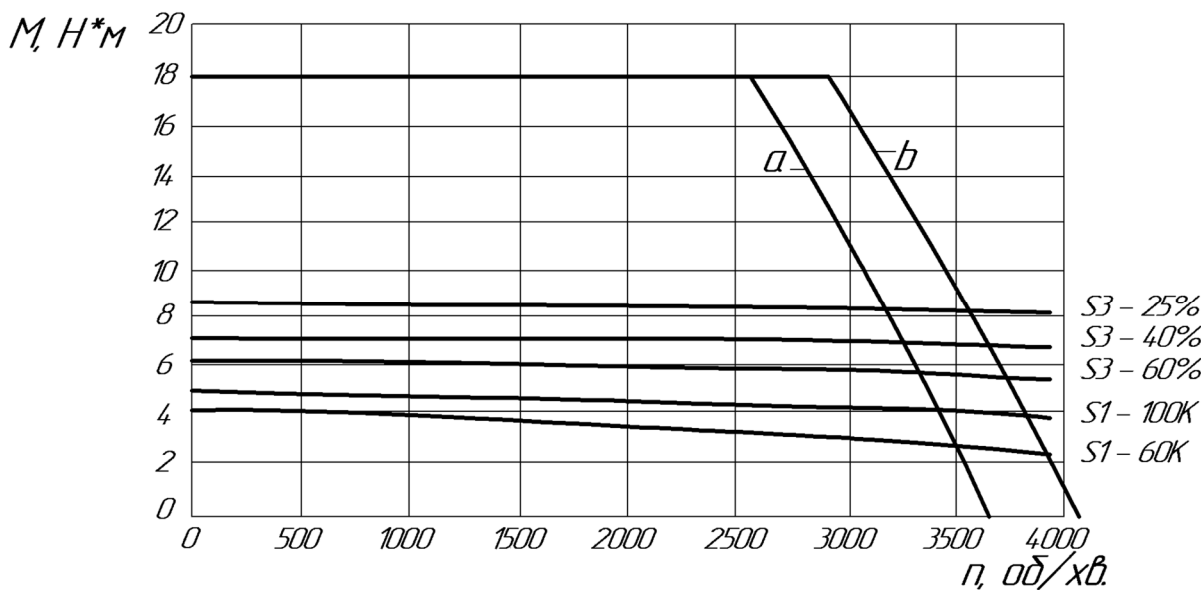


Рисунок 1.8 – Типова швидкісна характеристика синхронного електродвигуна зі збудженням постійними магнітами з рідкоземельного магнітного матеріалу, які використовуються в приводах подач верстатів з ЧПК (електродвигун 1FT6044-AF71). (а, б лінії максимального моменту, зумовлені системою перетворювач/двигун)

В верстатобудуванні, особливо будуванні верстатів з ЧПК, переважне використання мають двигуни змінного струму (синхронні і асинхронні) і цифрові перетворювачі (інвертори) з векторним керуванням. Цифрові приводи з двигунами змінного струму витіснили аналогові приводи з двигунами постійного струму, але між ними збереглася принципова подібність. На зміну приводу координатних рухів з високомоментним двигуном постійного струму прийшов привід з **синхронним двигуном** зі збудженням від постійних магнітів, який має подібну швидкісну характеристику (рис. 1.8), та здатний забезпечувати багаторазове перевищення моменту (піковий момент). Величина пікового моменту - одна з основних характеристик приводу осі, що забезпечує динамічні властивості приводу. Безколекторні синхронні двигуни більш надійні і довговічні, ніж

колекторні. Робота синхронних двигунів характеризується постійністю моменту навантаження в широких межах діапазона регулювання частоти обертання.

**Асинхронний двигун**, що замінив в приводі головного руху (рух шпинделя) двигун постійного струму з незалежним збудженням, забезпечує, як і його попередник, роботу в двозонному режимі (постійний момент - постійна потужність) з необхідними силовими характеристиками для широкого діапазону частот обертання. Але за рахунок відсутності щіткового пристрою та колектора виграє в надійності, довговічності, зручності обслуговування.

Електродвигун приводу головного руху повинен забезпечувати високу частоту обертання та відносно невелике, але тривале перевантаження по потужності (наприклад, 150% в режимі S6). Типова швидкісна характеристика асинхронного електродвигуна

наведена на рис. 1.10.

Сучасний частотно-регульований електропривод складається з асинхронного або синхронного електричного двигуна (М) і перетворювача частоти (ПЧ) (рис. 1.9).

Електричний двигун перетворює електричну енергію в механічну і приводить в рух виконавчий орган (ВО) технологічного механізму.

Перетворювач частоти управляє

електричним двигуном і являє собою електронний статичний пристрій. На виході перетворювача формується електрична напруга зі змінними амплітудою і частотою.

Назва «частотно-регульований електропривод» обумовлена тим, що регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється зміною частоти напруги живлення, що подається на двигун від перетворювача частоти.

Регулювання швидкості асинхронного двигуна зміною частоти напруги, що підводиться до статора можливе як у бік зниження швидкості, так й у бік збільшення швидкості вище номінальної. При регулюванні частоти вниз від номінальної (рис. 1.10) можна вибрати такий закон частотного керування (співвідношення між частотою й амплітудою напруги живлення, що підводиться до статора асинхронного двигуна), що магнітний потік машини буде підтримуватися незмінним. У цьому випадку максимальний момент двигуна зберігається незмінним, і в такий спосіб забезпечується сталість перевантажувальної здатності у всьому діапазоні регулювання при незмінному моменті навантаження. При регулюванні частоти понад номінальну, що можливо в перетворювачів частоти із проміжним контуром постійного струму, має місце режим зниження магнітного потоку двигуна зі збереженням сталої потужності, оскільки амплітуда напруги залишається незмінною на рівні її номінального значення.

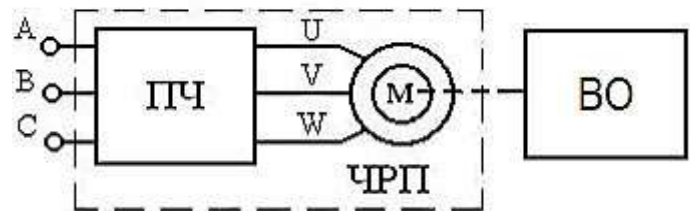


Рисунок 1.9 – Схема взаємодії двигуна та перетворювача частоти

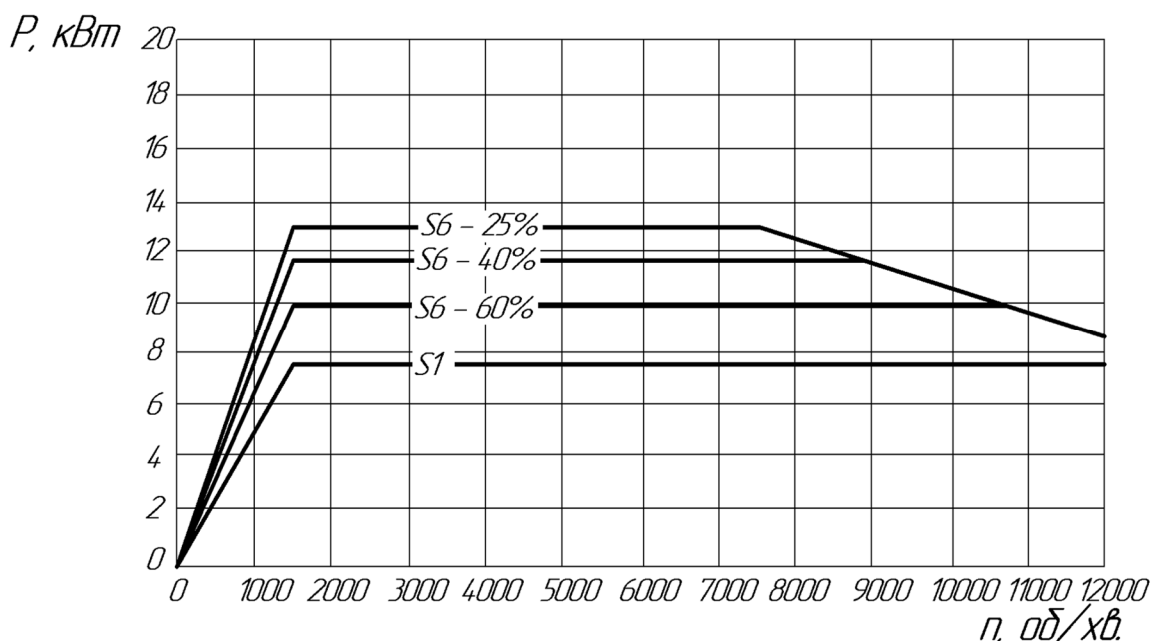


Рисунок 1.10 – Типова швидкісна характеристика асинхронного електродвигуна, що використовується в приводах головного руху верстатів з ЧПК

Векторне керування дозволяє істотно збільшити діапазон керування, точність регулювання, підвищити швидкодію електроприводу. Цей метод забезпечує безпосереднє керування обертання двигуна.

Обертовий момент визначається струмом статора, який створює збудливе магнітне поле. Для безпосереднього керування моментом необхідно змінювати крім амплітуди і фази статорного струму, тобто вектор струму. Цим і обумовлений термін «векторне керування».

Для керування вектором струму, а, отже, положенням магнітного потоку статора щодо обертового ротора потрібно знати точне положення ротора в будь-який момент часу. Завдання вирішується або за допомогою виносного датчика положення ротора, або визначенням положення ротора шляхом обчислень за іншими параметрами двигуна. В якості цих параметрів використовуються струми і напруги статорних обмоток. В приводах сучасних верстатів з ЧПК використовується перший спосіб, тобто в конструкцію електродвигуна вбудовується датчик положення ротора. Цей датчик часто використовується як датчик обертової осі С, що спрощує систему керування верстатом.

Векторне керування з датчиком зворотного зв'язку за швидкістю забезпечує діапазон регулювання до 1:1000 і вище, точність регулювання за швидкістю - соті частки відсотка, точність за моментом - одиниці відсотків.

У синхронному частотно-регульованому приводі застосовуються ті самі методи керування, що і в асинхронному.

**Моментні двигуни**

Для виконання ділильних, установлювальних, допоміжних та інших видів рухів в верстатах з ЧПК використовуються моментні електродвигуни.

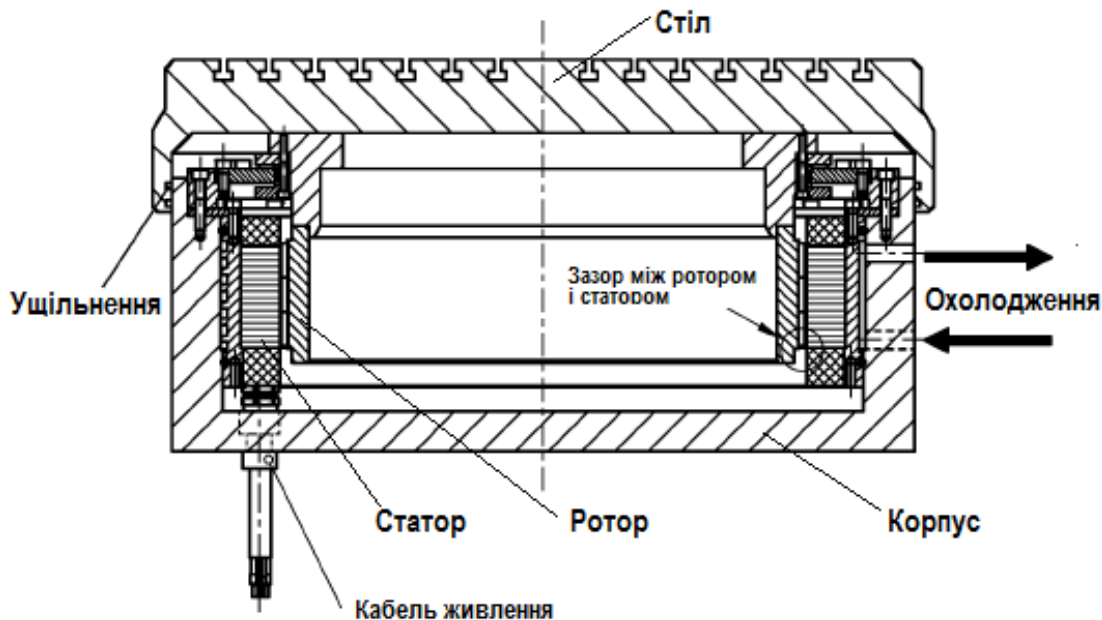


Рисунок 1.11 – Приклад використання моментного електродвигуна

Вбудовані моментні електродвигуни (рис. 1.11) - це трифазні синхронні електродвигуни з ротором у вигляді короткого порожнистого валу, з великою кількістю полюсів збудження постійними магнітами і водяним охолодженням двигуна через водяний радіатор. Для повного модуля привода додатково необхідні підшипник і датчик кутових переміщень.

Моментні електродвигуни характеризуються великими діаметральними розмірами в порівнянні з осьовими. Статор електродвигуна закріплюється, передбаченими для цього отворами, до нерухомого корпусу, а ротор – до елемента, наприклад стола, якому забезпечується обертовий рух.

Вбудовані моментні електродвигуни можуть використовуватися як прямий привід для такого обладнання:

- агрегатні верстати, поворотні столи, осі гойдання;
- кругові осі (вісь А, В, С для 5-ти осьових обробних верстатів);
- револьверний блок і барабанний блок для одно-і багатошпindelних верстатів;
- динамічні магазини інструменту;
- токарний шпindel у фрезерних верстатах.

Швидкісна характеристика моментних електродвигунів (рис. 1.12) подібна до характеристики синхронних двигунів. Вони забезпечують високі моменти з мінімальною пульсацією. Вбудовані моментні електродвигуни, особливо для середніх і великих моментів, мають знижену номінальну частоту.



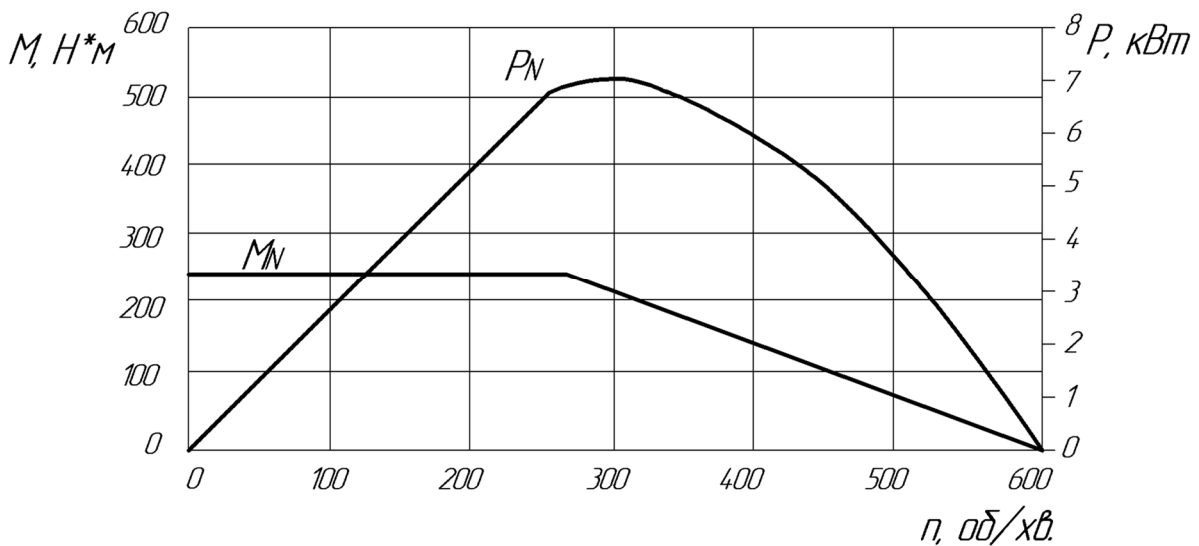


Рисунок 1.12 - Швидкісна характеристика моментного електродвигуна MST210E-0027-F\_

### 1.2.2 Приводи головного руху верстатів з ЧПК

Головний рух в верстатах – це найчастіше обертальний рух інструмента або заготовки, інколи – поступальний рух, наприклад в стругальних чи довбальних верстатах. В приводах головного руху верстатів з ЧПК використовуються електроприводи, які включають в себе систему живлення електродвигуна, сам електродвигун, механічну систему та виконавчий орган, найчастіше у вигляді шпинделя. Основним типом приводного електродвигуна в верстатах з ЧПК є асинхронні електродвигуни, рідше використовуються синхронні електродвигуни та електродвигуни постійного струму.

Конструкція приводу верстата визначається в залежності від швидкісного режиму шпинделя, потужності різання, частоти перемикання режимів, можливості використання шпинделя як обертової осі.

Найбільш поширеними в сучасних верстатах з ЧПК є такі конструкції приводів:

- з електродвигуном розміщеним на основі верстата, планетарним редуктором та пасовою передачею на шпиндель;
- з електродвигуном розміщеним на основі верстата та пасовою передачею на шпиндель;
- з електродвигуном вбудованим в конструкцію шпиндельного вузла співвісно шпинделю (з мотор-шпинделем).

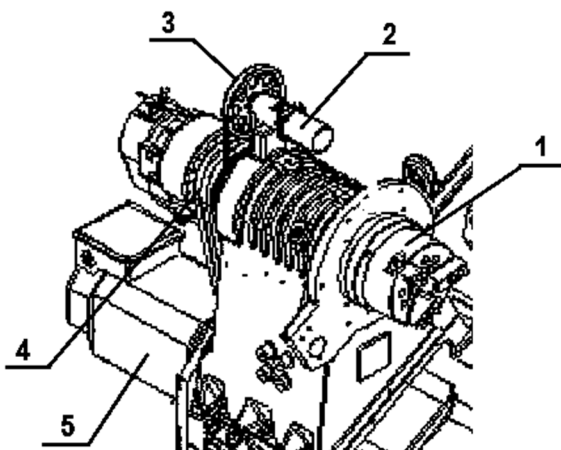


Рисунок 1.13 – Шпиндельний вузол з датчиком осі С

Перший варіант приводу застосовується переважно в конструкції токарних, рідше фрезерних верстатів для обробки деталей широкої номенклатури, на яких поєднують чистову обробку деталей з попередньою обробкою зі значними перетинами зрізів, коли частота обертання може бути не висока, а споживана потужність значна. Використання в приводі двоступінчастого планетарного редуктора, що забезпечує передавальні відношення 1:1 та 1:4, дає можливість розширити діапазон регулювання приводу в режимі постійної потужності в бік низьких частот до чотирьох разів і, як наслідок, можливість обробки заготовок з повною потужністю.

Варіант приводу лише з пасовою передачею використовується в верстатах для високопродуктивної обробки, а конструкція з вбудованим електродвигуном в шпиндельний вузол застосовується в верстатах для швидкісного різання. В останньому варіанті необхідно

обов'язково передбачати охолодження корпусу шпиндельного вузла охолоджуючою рідиною.

В разі потреби забезпечення керування за обертовою віссю С, в конструкції приводу головного руху з пасовою передачею 4 (рис. 1.13), на шпинделі 1 встановлюється датчик кутових положень 2 (рис. 1.13). Оберти від шпинделя 1 до датчика передаються найчастіше зубчастою пасовою передачею 3. В конструкції приводу з вбудованим електродвигуном (мотор-шпинделем) функції датчика осі С виконує датчик, що контролює положення ротора електродвигуна.

Діаграми потужності та крутного моменту для приводів з планетарним редуктором та пасовою передачею на прикладі вертикального обробного центру MCFV 1260 компанія TAJMAC-ZPS наведено на рис. 1.14. Для приводу з вбудованим електродвигуном діаграма подібна до діаграми наведеної на рис. 1.10.

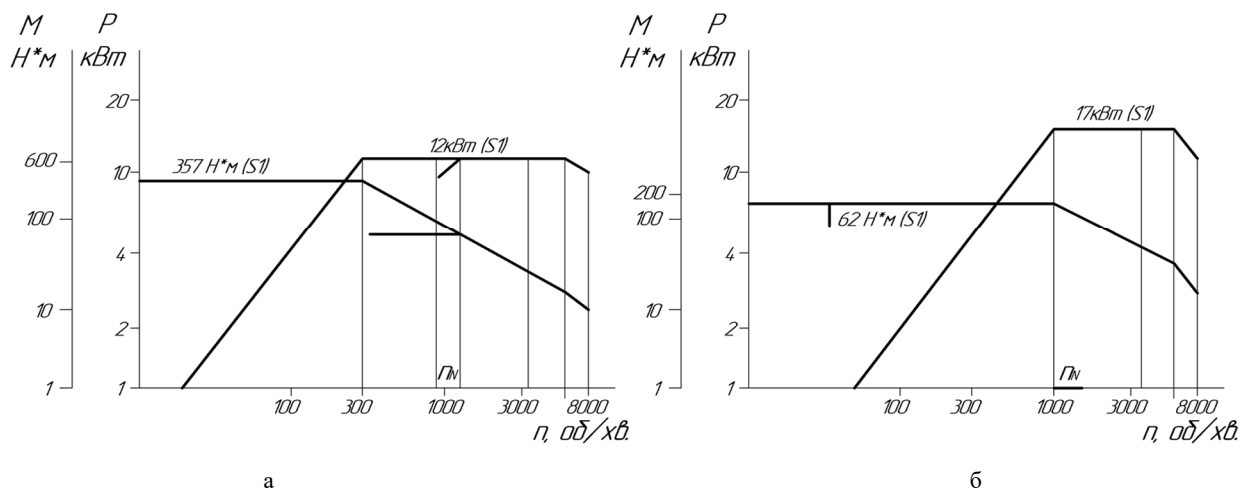


Рисунок 1.14 – Діаграми потужності та моменту для різних варіантів приводу: а – привід з планетарним редуктором та пасовою передачею; б – привід з пасовою передачею

**Планетарні редуктори** (рис. 1.15) для приводу шпинделя передбачають можливість встановлення його безпосередньо на вал електродвигуна 1 з центруванням по фланцю двигуна. З вала електродвигуна обертання передається на вал 2 редуктора, який має зовнішній та внутрішній зубчасті вінці. Муфта 3 важелем 4 може перемикатися в ліве або праве положення. В лівому положенні зовнішній зубчастий вінць муфти входить в зачеплення з внутрішнім вінцем, закріпленим нерухомо на корпусі редуктора. Обертання від вала електродвигуна буде передаватися через вал 2 і центральне зубчасте колесо 10. Сателітні колеса 6, закріплені на водилі 7, обкочуються по нерухомому зубчастому колесу 5 з внутрішнім зачепленням 11 та передають обертання на вихідний вал редуктора 8, на якому закріплюється шків 9 пасової передачі. Передавальне відношення редуктора за такого вмикання дорівнює 1:4. Замиканням муфти вправо, зовнішній

вінець зубчастого колеса 5 з'єднується з зовнішнім вінцем валу 2 і обертання передаються безпосередньо з вала 2 на вихідний вал редуктора 8 з передавальним відношенням 1:1. Пермикання муфти здійснюється соленоїдом за командами від системи керування верстатом.

### Потужність приводу головного руху

Потужність двигуна приводу головного руху витрачається на виконання корисної роботи та на подолання різноманітних опорів.

$$P_{ед} = P_k + P_o = P_k + P_{xx} + P_n,$$

де  $P_k$  – корисна потужність сил різання;  $P_o$  – потужність сил тертя;  $P_{xx}$  – потужність втрат холостого ходу;  $P_n$  – додаткові втрати потужності зумовлені прикладенням навантаження.

Корисна потужність в приводі головного руху визначається тангенціальною складовою сили різання та швидкістю різання.

$$P_k = \frac{F_z \cdot V}{1000 \cdot 60}, \text{ кВт,}$$

де -  $F_z$  тангенціальна складова сили різання, Н;

$V$  – швидкість різання, м/хв.

Вибираючи потужність електродвигуна приводу головного руху без використання редуктора слід враховувати особливості регулювання електродвигуна (див. рис. 1.9). Повна потужність зберігається лише в діапазоні частот від номінальної до максимальної. Зі зниженням частоти нижче номінальної потужність двигуна падає. Тому в верстатах, приводи головного руху яких не мають редукторів, потужність електродвигуна береться більшою, ніж в верстатах з редуктором (див. рис. 1.14).

Втрати холостого ходу в приводі головного руху залежать від досконалості мащення і частоти обертання, і зі збільшенням частоти суттєво зростають. Для сучасних верстатів з ЧПК, багатоцільових верстатів це особливо важливо, оскільки вони працюють на високих частотах. В верстатах, оснащених мотор-шпинделями, основними вузлами, в яких відбувається тертя є підшипники кочення шпиндельних опор. В приводах з пасовими передачами та з планетарними редукторами і пасовими передачами втрати на тертя спостерігаються в пасовій передачі, опорах редуктора, а при роботі планетарного редуктора з передачею 1/4 і в зубчастому зачепленні редуктора.

Потужність втрат холостого ходу визначається за формулою

$$P_{xx} = M_{xx} \cdot n \cdot \pi / 30, \text{ кВт}$$

де  $M_{xx}$  – момент тертя холостого ходу, Нм;  $n$  – частота обертання хв.<sup>-1</sup>.

Момент втрат холостого ходу підшипника кочення визначається за виразом

$$M_{xx} = 10^{-7} f_0 (n\nu)^{2/3} (d_m)^3,$$

де  $f_0$  – коефіцієнт, що залежить від виду мащення та конструкції підшипника;

$\nu$  – кінематична в'язкість мастила на робочій температурі, мм<sup>2</sup>/с;

$d_m$  – середній діаметр підшипника.

В приводах зі ступінчастим регулюванням і комбінованих приводах, що мають багатовалову коробку швидкостей, потужність втрат холостого ходу можна визначати за емпіричною формулою:

$$P_{xx} = \frac{d}{10^6} \left( \sum n + k_1 \frac{d_0}{d} n_0 \right) k_2, \text{ кВт}$$

де  $d$  – середній діаметр шийок під підшипники всіх проміжних валів коробки швидкостей, мм;

$d_0$  – діаметр шийок шпинделя, мм;

$\sum n$  – сума частот обертання всіх проміжних валів, хв.<sup>-1</sup>;

$n_0$  – частота обертання шпинделя, хв.<sup>-1</sup>;

$k_1 = 1,5 \dots 2$  – коефіцієнт, що враховує підвищені втрати в шпиндельному вузлі за рахунок попереднього натягу;

$k_2 = 3 \dots 5$  – коефіцієнт, що залежить від досконалості мастильної системи.

Додаткові втрати потужності з'являються з прикладенням навантаження, за рахунок збільшення тертя в опорах та передачах.

Потужність двигуна приводу головного руху можна визначити скориставшись значеннями коефіцієнту корисної дії приводу.

$$P = \frac{P_k}{\eta}$$

В разі передачі руху через низку кінематичних елементів з тертям, коефіцієнт корисної дії визначається як добуток коефіцієнтів корисної дії окремих елементів.

Даною формулою можна користуватися для вибору потужності двигуна, що працює в сталому режимі S1. Для інших режимів роботи потужність вибирається з врахуванням циклу навантаження.

### 1.2.3 Шпиндельні вузли багатоцільових верстатів з ЧПК

Характерною особливістю шпиндельних вузлів багатоцільових верстатів є високі частоти обертання шпинделя. Для верстатів токарної групи середніх розмірів частоти обертання шпинделя знаходяться в межах 3500 – 5000 хв.<sup>-1</sup>, в залежності від діаметра обробки. Для верстатів, призначених для виконання фрезерних робіт, частоти обертання шпинделя досягають 10000 – 20000 хв.<sup>-1</sup> і вище. В таких умовах надзвичайно важливе значення мають високі динамічні властивості, жорсткість всього шпиндельного вузла і його складових, точність обертання шпинделя, швидкохідність шпиндельних підшипників, надійність роботи.

В багатоцільових верстатах суттєво зросли вимоги до частоти власних коливань шпинделя в порівнянні з традиційними верстатами, що зумовлено зростанням частоти обертання шпинделя, яке тягне за собою зростання частот збурень в процесі роботи верстата.

Точність обертання шпинделя залежить від точності виготовлення та складання шпиндельного вузла, а також від точності обертання підшипників, що встановлюються в шпиндельних опорах. В опорах шпиндельних вузлів, з метою забезпечення мінімального радіального та осьового биття шпинделя, використовуються тільки високоточні підшипники не нижче 5 класу точності.

Жорсткість шпиндельного вузла визначається жорсткістю власне шпинделя та жорсткістю опор. Збільшення жорсткості шпинделя досягається за рахунок зміни його геометричних параметрів: збільшення моменту інерції поперечного перетину, зменшення вильоту переднього кінця, оптимізації міжопорної відстані. Ці ж фактори позитивно впливатимуть і на динаміку шпинделя. Жорсткість опор шпинделя визначається типом підшипників, що встановлюються в опорі, та розмірами підшипника. З метою забезпечення необхідної жорсткості в шпиндельних підшипниках створюється попередній натяг, тобто до підшипників попередньо прикладається навантаження. Застосування попереднього натягу забезпечує зростання жорсткості; підвищує точність обертання за рахунок зниження радіального биття шпинделя; знижує тертя, особливо в кульковому підшипнику, за рахунок усунення вертіння кульки навколо своєї осі на високих швидкостях обертання; знижує рівень шуму від вібрацій.

Способи та величина прикладеного навантаження визначаються типом та розмірами підшипника і умовами його роботи.

В прецизійних роликівих радіальних підшипниках з циліндричними роликами, однорядних і дворядних, попередній натяг створюється осьовим зсувом внутрішнього кільця підшипника по конічній поверхні шийки шпинделя (рис. 1.16). Величина осьового зсуву  $V_a$  може бути визначена за виразом

$$V_a = \frac{e \cdot c}{1000}$$

де  $e$  - коефіцієнт, що залежить від співвідношення діаметра отвору вала і діаметра підшипника;  
 $c$  - вимірний радіальний зазор в контрольній точці плюс необхідний попередній натяг, мкм.

В радіально-упорних підшипниках, як в кулькових, так і в роликівих з конічними роликами, попередній натяг створюється зсувом внутрішніх кілець підшипника відносно зовнішніх (рис. 1.17) на величину  $a_{10}$ ,  $a_{20}$  під дією попередньо прикладеного навантаження  $F_v$ . Такий зсув може відбуватися за рахунок конструктивних елементів самого підшипника або за рахунок встановлення дистанційних кілець різної довжини між внутрішніми та зовнішніми кільцями підшипників. В разі застосування такого способу створення попереднього натягу експлуатаційний натяг може зростати в порівнянні з монтажним за рахунок тепловиділення в підшипнику і нерівномірного нагріву підшипникових кілець. Внутрішнє кільце нагрівається сильніше ніж зовнішнє, що веде до зростання монтажного натягу.

Попередній натяг може зберігати свою сталу величину в разі застосування підшипників наведених на рисунку 1.18, б. Це відбувається за рахунок пружин, встановлених в зовнішньому кільці підшипника.

Такий спосіб створення попереднього натягу оправданий на високих частотах обертання, оскільки натяг в опорі в таких умовах практично не змінюється, але зсуви в опорі будуть більшими ніж в опорах, в яких попередній натяг виконано способом, показаним на рис.1.17.

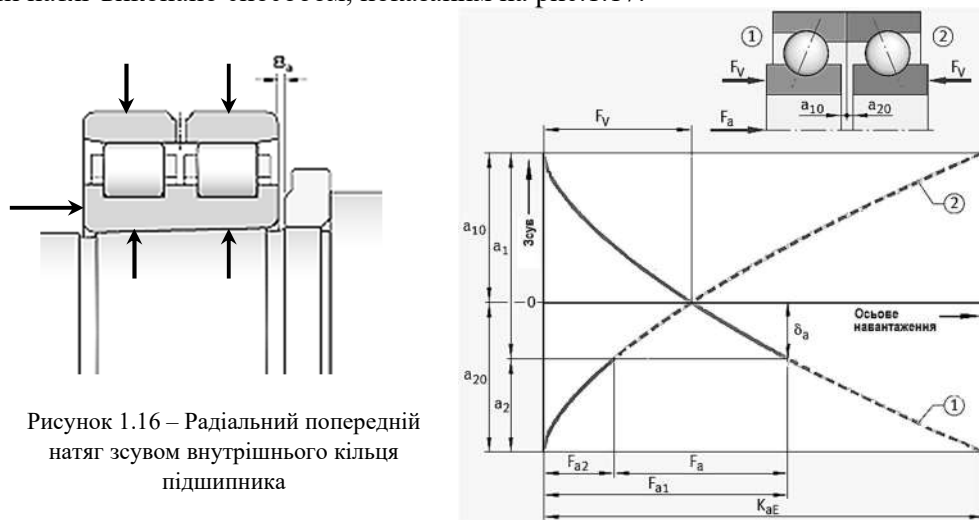


Рисунок 1.16 – Радіальний попередній натяг зсувом внутрішнього кільця підшипника

$F_v$  – сила попереднього натягу,  $F_a$  – осьова сила,  $F_{a1}$  – осьове навантаження на підшипник 1,  $a_1$  – зсув підшипника 1,  $a_{10}$  – початковий зсув підшипника 1,  $F_{a2}$  – осьове навантаження на підшипник 2,  $a_2$  – зсув підшипника 2,  $a_{20}$  – початковий зсув підшипника 2,  $K_{aE}$  – lift-off force, (розвантажуюча сила)  $\delta_a$  – осьовий зсув.

Рисунок 1.17 – Попередній натяг і розвантажуюча сила в підшипнику

В разі прикладення зовнішнього навантаження  $F_a$  до опори (рис.1.17) підшипник 1 буде додатково навантажуватися (сила  $F_{a1}$ ), а підшипник 2 буде розвантажуватися (сила  $F_{a2}$ ) і коли навантаження досягне значення  $K_{aE}$  підшипник 2 буде розвантажений повністю, а все навантаження сприйматиме підшипник 1.

Основні типи підшипників кочення, що використовуюються в шпиндельних вузлах багатопільових верстатів наведено на рис.1.18.

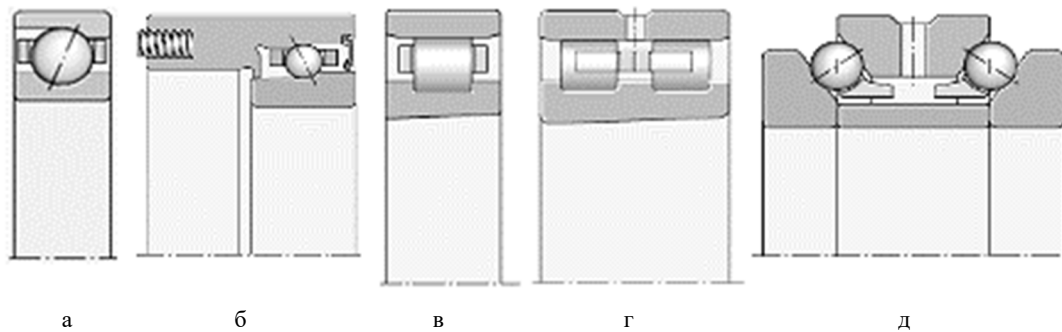


Рисунок 1.18 – Типи підшипників, що використовуються в шпиндельних вузлах металообробних верстатів

Радіально-упорні кулькові підшипники (рис. 1.18, а) можна віднести до універсальних, оскільки вони сприймають як радіальні, так і осьові навантаження. Такі підшипники можуть встановлюватися в передній та в задній опорах шпиндельного вузла. В опорі може бути встановлено від одного до трьох – чотирьох підшипників, в залежності від навантаження на опору та необхідної частоти обертання. Так два підшипники в опорі можуть встановлюватися за схемами “О” (рис. 1.19, а), “Х” (рис. 1.19, б) або за схемою “тандем” (рис. 1.19, в). Радіально-упорні підшипники забезпечують найвищі частоти обертання шпинделя. В радіально-упорних підшипниках наведених на рис. 1.18, б за допомогою пружин підтримується стала величина попереднього натягу протягом роботи.

Роликові одно- та дворядні підшипники з циліндричними роликами (рис. 1.18, в, г) забезпечують високу частоту обертання та високу радіальну жорсткість опори. Вони виконуються з циліндричним та конічним отвором на внутрішньому кільці. Наявність конічного отвору дає можливість регулювати зазор в підшипнику і створювати попередній натяг. Роликові підшипники сприймають лише радіальні навантаження і можуть встановлюватися в передній опорі разом з підшипником призначеним для сприйняття осьових сил, а в задній опорі - самостійно.

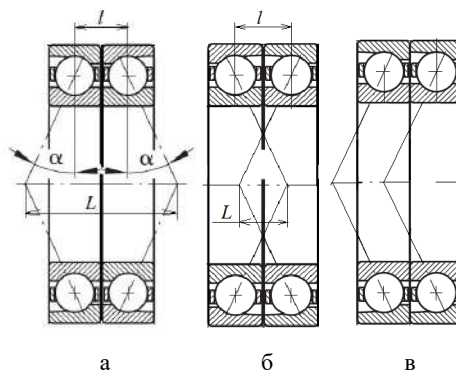


Рисунок 1.19 – Схеми встановлення радіально-упорних підшипників в одній опорі

Для сприйняття осьового навантаження в шпиндельних вузлах встановлених на роликових підшипниках з циліндричними роликами використовуються упорно-радіальні кулькові підшипники з кутом контакту  $60^\circ$  (рис. 1.18, д). Такі опори забезпечують високу радіальну та осьову жорсткість і несучу здатність. Для забезпечення більшої швидкохідності можуть використовуватися радіально-упорні підшипники з кутом контакту  $30^\circ$  та  $40^\circ$ , осьова жорсткість і несуча здатність таких опор буде нижчою.

### Гібридні підшипники

Підшипники кочення виготовлені з керамічного матеріалу – нітриду кремнію ( $Si_3N_4$ ), який складається з тонких подовжених зерен нітриду бета-кремнію в склоподібній матричній фазі, називаються керамічними. В металорізальних верстатах знаходять застосування підшипники, тіла кочення яких виготовляються з кераміки, а кільця – зі сталі, ці підшипники отримали назву гібридних.

Нітрид кремнію в порівнянні зі сталлю має більш високі значення твердості, модуля пружності, низьку густину, низький коефіцієнт теплового розширення.

Внаслідок низької густини тіл кочення з нітриду кремнію на них діють менші відцентрові сили, ніж на сталеві. Особливо це суттєво на високих частотах обертання підшипника, (враховуючи, що відцентрова сила пропорційна квадрату швидкості руху) коли на доріжках кочення виникають високі додаткові контактні напруження, які ведуть до зниження довговічності підшипника.

Важливою особливістю є також те, що в гібридних підшипниках на високих частотах обертання відхилення кута контакту буде меншим, що зменшує ковзання на площадках контакту в підшипнику.

Внаслідок цього гібридні підшипники допускають значно більші частоти обертання ніж сталеві (табл. 1.1). З керамічними тілами кочення випускаються кулькові радіально-упорні підшипники та роликові підшипники з циліндричними роликами.

Таблиця 1.1 – Порівняння частот обертання сталевих і гібридних підшипників компанії "Kooyo"

| Модель підшипника      | Діаметр отвору | Гранична частота обертання, об/хв |                 |
|------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|
|                        |                | Пластичне мащення                 | Рідинне мащення |
| HAR016 (сталевий)      | 80             | 7000                              | 9300            |
| 3NCHAR916C (гібридний) | 80             | 16000                             | 26000           |

### 1.2.3.1 Схеми шпindelних вузлів на підшипниках кочення

Типи підшипників, кількість підшипників в опорі та їх розташування вибирають в залежності від необхідної швидкохідності, величини і характеру прикладеного навантаження, точності обробки. Розглянемо декілька схем шпindelних вузлів на підшипниках кочення, що часто використовуються.

В шпindelному вузлу (рис. 1.20, а) в передні і задні опорах шпindelя установлені дворядні роликові підшипники, які сприймають радіальні навантаження. Осьові зусилля сприймає дворядний кульковий упорно-радіальний підшипник, встановлений в передній опорі шпindelя. Слід звернути увагу на те, що в сучасних верстатах з ЧПК, з метою зменшення впливу температурних деформацій шпindelя на точність

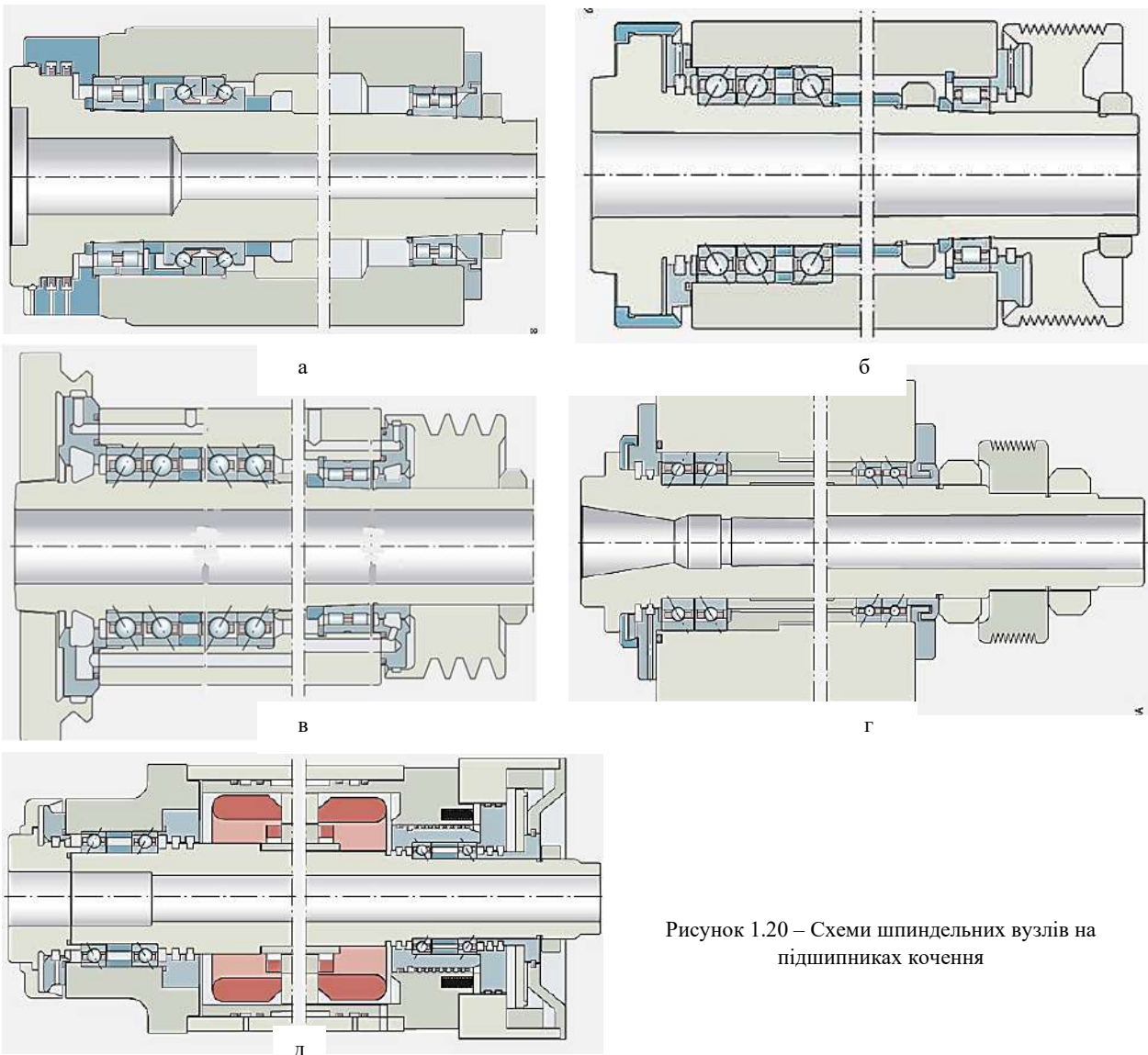


Рисунок 1.20 – Схеми шпindelних вузлів на підшипниках кочення

обробки, осьова фіксація шпинделя виконується в передній опорі. Така схема забезпечує високу жорсткість та несучу здатність як в радіальному, так і в осьовому напрямках. Використовуються такі схеми в токарних верстатах з ЧПК, обробних центрах (багатоцільових верстатах), фрезерних і розточувальних верстатах з ЧПК. В умовах пластичного мащення забезпечується параметр швидкохідності  $d_m \cdot n \leq 0,4 \cdot 10^6$ . Застосування замість дворядного упорно-радіального підшипника здвоєних кулькових підшипників з кутом контакту  $30^\circ$  чи  $40^\circ$  підвищує швидкохідність на 20% з відповідним зниженням осьової навантажувальної здатності.

Більш високу швидкохідність забезпечують шпиндельні вузли, виконані за схемою наведеною на рис. 1.20, б. В передній опорі встановлені три радіально-упорних підшипники, які сприймають радіальне і осьове навантаження. В задній опорі використаний однорядний роликовий підшипник. Жорсткість такого шпиндельного вузла буде нижчою ніж в попередній схемі. Швидкохідність в умовах пластичного мащення складає  $d_m \cdot n \leq 0,7 \cdot 10^6$ . Застосовується така схема в токарних верстатах з ЧПК.

В токарних верстатах з ЧПК, обробних центрах (багатоцільових верстатах), фрезерних верстатах з ЧПК може використовуватися схема в, рис. 1.20. Застосування радіально-упорних підшипників в передній опорі і дворядного роликопідшипника в задній забезпечує високий рівень жорсткості і високі показники швидкохідності: в умовах пластичного мащення  $d_m \cdot n \leq 0,65 \cdot 10^6$ , із застосуванням масло-повітряного мащення швидкохідність зростає до величини  $d_m \cdot n \leq 1,0 \cdot 10^6$ .

В разі підвищених вимог до швидкохідності шпиндельного вузла може використовуватися схема г, рис. 1.20. В опорах шпинделя встановлені дві пари радіально-упорних підшипників (по одній в кожній опорі), змонтованих по схемі "тандем". Швидкохідність такого шпиндельного вузла складає в умовах пластичного мащення  $d_m \cdot n \leq 0,85 \cdot 10^6$ , із застосуванням масло-повітряного мащення -  $d_m \cdot n \leq 1,1 \cdot 10^6$ . Під час регулювання попереднього натягу в такому вузлі необхідно враховувати теплове розширення шпинделя. Такі схеми знаходять застосування в розточувальних верстатах та обробних центрах (багатоцільових верстатах).

Високі частоти обертання шпинделя разом з забезпеченням високих динамічних властивостей можуть забезпечуватися конструкцією шпиндельного вузла з вбудованим електродвигуном (мотор-шпинделем) (рис. 1.20, д). Вони знаходять широке застосування в багатоцільових верстатах. Швидкохідність схеми д така сама, як і схеми г, оскільки тип і схема установки підшипників в обох схемах тотожні.

### 1.2.3.2 Особливості конструкції шпиндельних вузлів верстатів з ЧПК

В шпиндельних вузлах токарних верстатів з ЧПУ, в яких ведеться обробка з використанням осі С, часто виникає потреба загальмувати шпиндель в визначеному положенні. Для цього шпиндельні вузли оснащуються гальмівними пристроями, як показано на рисунку 1.21. Гальмівний пристрій включає в себе диск 9, закріплений через перехідник 8 на приводному шківі 4, встановленому на задньому кінці шпинделя 2. Два гідроциліндри гальма 11, закріплені за допомогою кронштейна на корпусі шпиндельної бабки 1, розміщуються симетрично з двох боків гальмового диска. Керування гідроциліндрами здійснюється від системи керування через гідропанель. Для контролю осі С використовується датчик положення 13, на який обертання передається від шпинделя зубчатою пасовою передачею зі шківів 5, закріпленого на приводному шківі шпинделя на шків 12 на валу датчика.

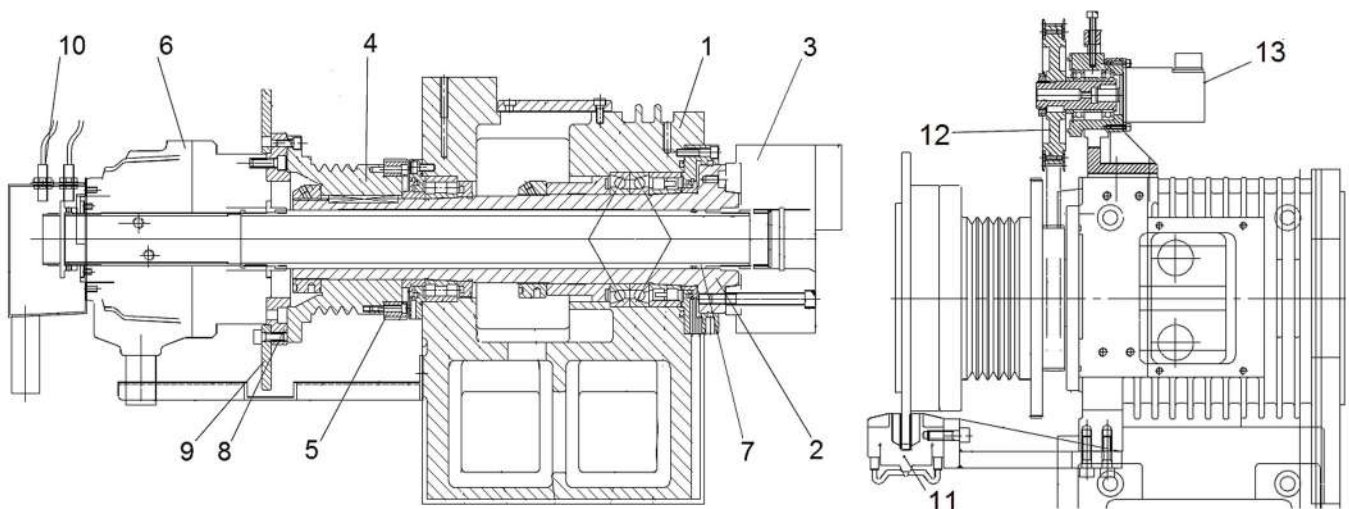


Рисунок 1.21 – Шпиндельний вузол токарного верстата з ЧПК

В конструкції шпиндельних вузлів токарних верстатів з ЧПУ передбачається механізоване закріплення заготовок в патроні. На шків або перехідник (адаптер), в конструкціях з мотор-шпинделем, закріплюється

гідроциліндр 6, який затискнутою трубою 7, з'єднується з привідним елементом патрона 3 і здійснює затиск чи розтискання кулачків патрона. Контроль за станом патрона здійснюється датчиками 10.

Корпус шпиндельної бабки в конструкціях з приводом від пасової передачі виконується з великою кількістю ребер, що сприяє інтенсивному тепловідведенню від шпиндельного вузла.

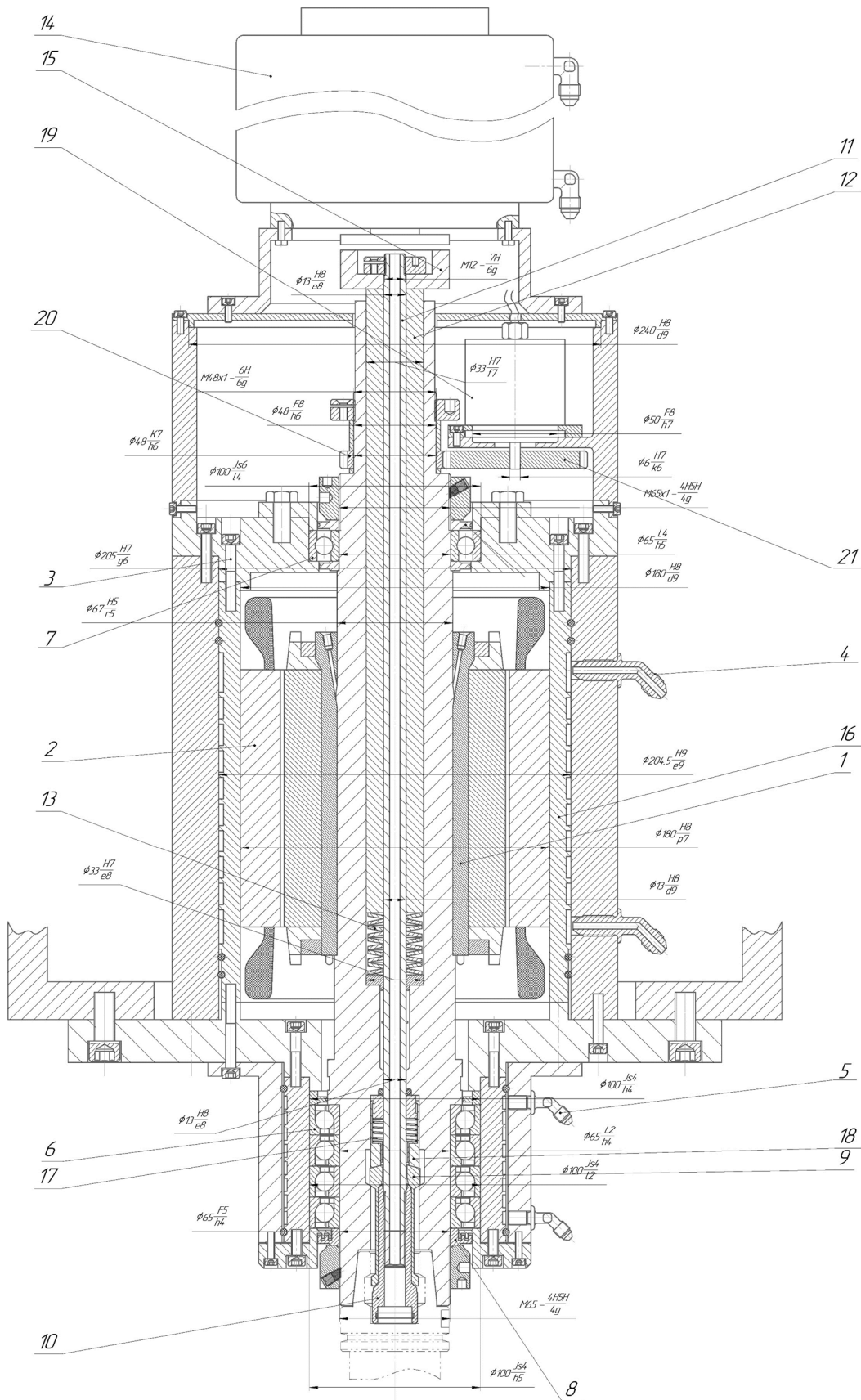


Рисунок 1.22 – Шпиндельний вузол багатощільового верстата



Шпиндельні вузли для високошвидкісних фрезерних та багатоцільових верстатів часто виконуються з вбудованим електродвигуном (мотор-шпинделем) (рис. 1.22).

Ротор електродвигуна з гільзою 1 напесується на шпиндель, для чого ротор з гільзою нагрівають до  $140^{\circ}\div 150^{\circ}\text{C}$  при температурі шпинделя  $10^{\circ}\div 20^{\circ}\text{C}$  або шпиндель охолоджують до  $-160^{\circ}\div -190^{\circ}\text{C}$  при температурі шпинделя  $20^{\circ}\div 30^{\circ}\text{C}$ . Статор електродвигуна 2 з кожухом охолодження 16 закріплюється гвинтами 3 в корпусі шпиндельного вузла.

Через штуцери 4 забезпечується подача та відведення рідини для охолодження статора електродвигуна. Для зниження температури передньої опори шпинделя через штуцери 5 здійснюється підведення та відведення рідини охолодження до корпусу передньої опори.

Шпиндель встановлений на чотири радіально-упорні підшипники 6 в передній опорі і один підшипник 7 в задній опорі. Підшипники передньої опори встановлені з попереднім натягом. Нерівномірний розподіл підшипників зумовлений діючими навантаженнями на шпиндель. З використанням мотор-шпинделя на шпиндель не діють навантаження від елементів, що передають на нього момент. В результаті шпиндель піддається тільки навантаженню від сил різання.

Для захисту підшипників передньої опори використовуються лабіринтні ущільнення 8. Закріплюються підшипники на шпинделі гайкою.

Інструмент в шпинделі закріплюється за допомогою інструментальних оправок HSK, які забезпечують можливість роботи на високих частотах обертання шпинделя. Оправка базується по конусу і торцю, що забезпечує високу жорсткість сполучення.

Закріплення оправки в шпинделя здійснюється цангою 9, пелюстки якої, під дією конічної втулки 10, розходяться і захоплюють інструментальну оправку. Рух втулки здійснюється від тяги 11, до верхнього кінця якої, через гільзу 12, прикладається зусилля від пакету тарілчастих пружин 13. Розтискання інструментальної оправки виконується від пневмоциліндра 14. Шток пневмоциліндра переміщується вниз і через упорне кільце 15 діє на гільзу 12 та тягу 11. Гільза стискає пакет тарілчастих пружин, чим знімає навантаження з тяги, яка, під час подальшого руху вниз, переміщує конічну втулку 10, розкриваючи цангу. Пружина 17 через перехідну втулку 18 забезпечує стабільне положення цанги в отворі шпинделя.

Контроль положення ротора електродвигуна (шпинделя) для забезпечення можливості регулювання частоти обертання шпинделя виконується датчиком положення (енкодером) 19, на який рух від шпинделя передається зубчастими колесами 20 і 21.

#### 1.2.4 Приводи подач багатоцільових верстатів

Приводи подач багатоцільових верстатів повинні забезпечувати рух виконавчого органу верстата з робочою подачею, що регулюється в широких межах, координатні прискорені переміщення з високою швидкістю, високу точність виконавчих рухів, жорсткість приводу та динамічні характеристики.

Привід подачі багатоцільового верстата (рис. 1.23) складається з електродвигуна змінного струму 1, найчастіше синхронного з постійними магнітами, який через безазорну муфту 5 з'єднаний з ходовим гвинтом 2 тягового пристрою, найчастіше передачі гвинт – гайка кочення. Такі приводи забезпечують швидкість прискорених переміщень 30 – 50 м/хв. Для одержання вищих швидкостей руху в приводі подачі можуть застосовуватися синхронні лінійні електродвигуни зі збудженням постійними магнітами, за допомогою яких можна розвивати швидкість руху робочого органу до 100 м/хв. і більше. Так лінійні електродвигуни Siemens 1FN1 здатні працювати в діапазоні швидкостей 65 ... 214 м/хв. Двигуни (рис. 1.24) складаються з первинної та вторинної частини з рідкоземельними магнітами. Первинна частина має фіксовані розміри та кріпиться до рухомого вузла, вторинна частина складається з окремих елементів

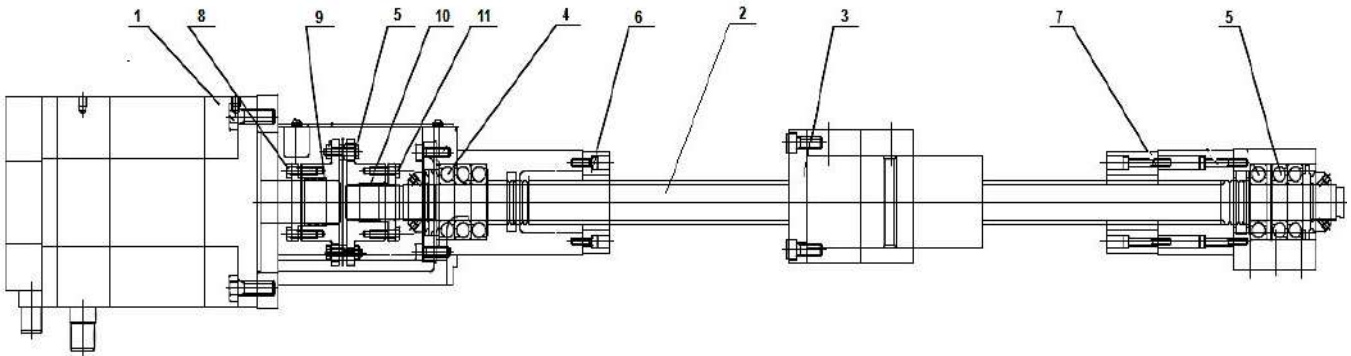


Рисунок 1.23 – Привід подачі багатоцільового верстата



Рисунок 1.24 – Лінійний електродвигун.

(сегментів) відповідно до бажаної довжиною переміщення і розміщується на нерухомому вузлу. Істотною перевагою лінійних вбудованих приводів є практична відсутність ефектів пружності, зазору і тертя, а також власних вібрацій в передачі, наслідком чого є висока динаміка і точність.

#### 1.2.4.1 Приводи подач з ходовими гвинтами

Тяговим пристроєм в приводах подач багатоцільових верстатів, що забезпечують прямолінійний рух виконавчого органу є кулькова гвинтова передача.

Основними перевагами, що зумовлюють широке використання приводів з гвинтовими передачами кочення, в порівнянні з іншими видами тягових пристроїв, зокрема гвинтовими передачами ковзання, є:

- малий опір тертя в передачі;
- відсутність зазорів в передачі гвинт – гайка кочення та можливість створення попереднього натягу, що підвищує точність руху робочого органу;
- високий коефіцієнт корисної дії, який доходить до 0,95 – 0,98, тоді як для гвинтових передач ковзання він не перевищує 0,5;
- високі швидкості руху.

До недоліків гвинтової передачі кочення варто віднести:

- високу вартість передачі (особливо зі шліфованими гвинтами);
- складність конструкції гайки.

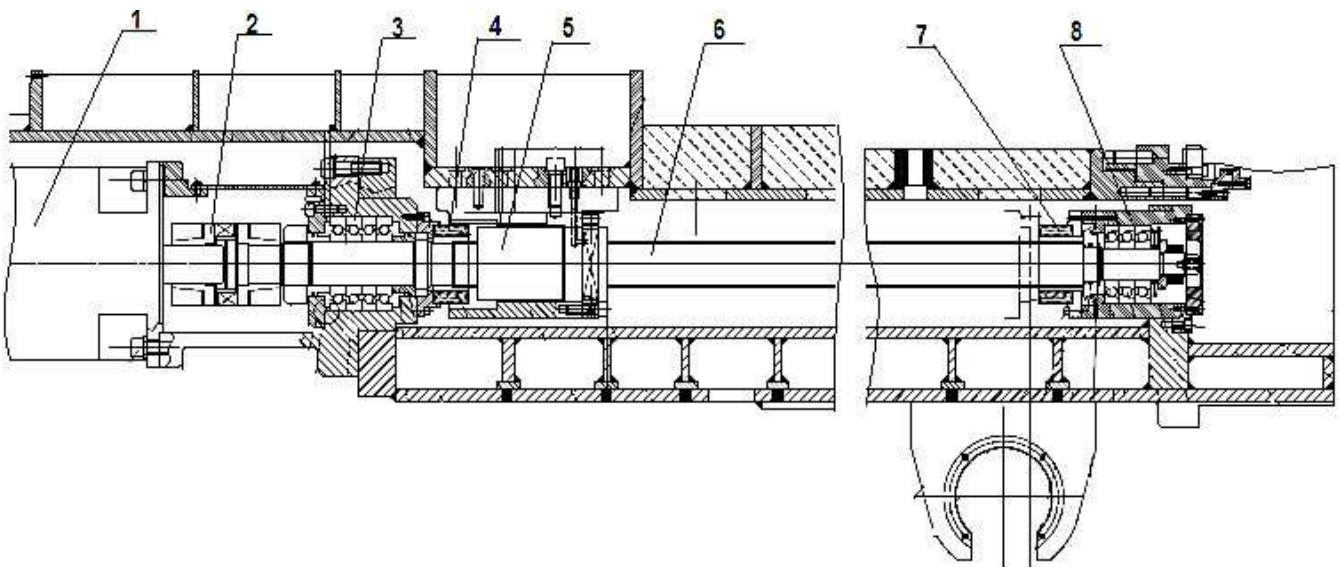


Рисунок 1.25 – Конструкція приводу з кульковою гвинтовою передачею

Конструктивно кульковий гвинтовий привід багатоцільового верстата рис. 1.25 складається з приводного електродвигуна 1, який через беззазорну муфту 2 з високою крутильною жорсткістю передає рух на гвинт 6 кулькової передачі. Корпус гайки 5 закріплений на виконавчому органі верстата, що здійснює поступальний рух. На корпусі передньої опори 3 та задньої опори 8 закріплені демпфуючі упори 4 та 7 відповідно. В залежності від призначення гвинтової передачі, прикладеного навантаження, вимог до швидкохідності можливі декілька варіантів встановлення ходового гвинта в опорах:

- передня опора сприймає радіальне та осьове навантаження, а задній кінець гвинта вільний (рис. 1.26);
- передня опора сприймає радіальне та осьове навантаження, а задня опора тільки радіальне (рис. 1.27, а);
- передня і задня опори сприймають радіальне та осьове навантаження (рис. 1.27, б).

Схема встановлення гвинта в опорах впливає на подовжню стійкість (вигин) кулькового ходового гвинта та критичну частоту обертання ходового гвинта. Варіант встановлення ходового гвинта з вільним

кінцем забезпечує найменшу подовжню стійкість та критичну частоту обертання. Найвищі показники цих параметрів забезпечуються в разі осової та радіальної фіксації обох опор ходового гвинта. Встановлення ходового гвинта з плаваючою задньою опорою має нижчі показники подовжньої сталості та критичну частоту обертання, але конструктивно простіше. Підшипники 1 задньої опори (рис. 1.27, а) можуть вільно рухатися в осьовому напрямку в корпусі опори 3 внаслідок нагріву та температурних деформацій гвинта 8. Усунення зазору та створення попереднього натягу в опорі здійснюється гайкою 5 через шайбу 4 та тарілчасті пружини 2. Використання пружин забезпечує підтримання сталої величини попереднього натягу в підшипниках опори. Лабіринтні ущільнення 7 захищають підшипники опори від попадання в них забруднення з навколишнього середовища.

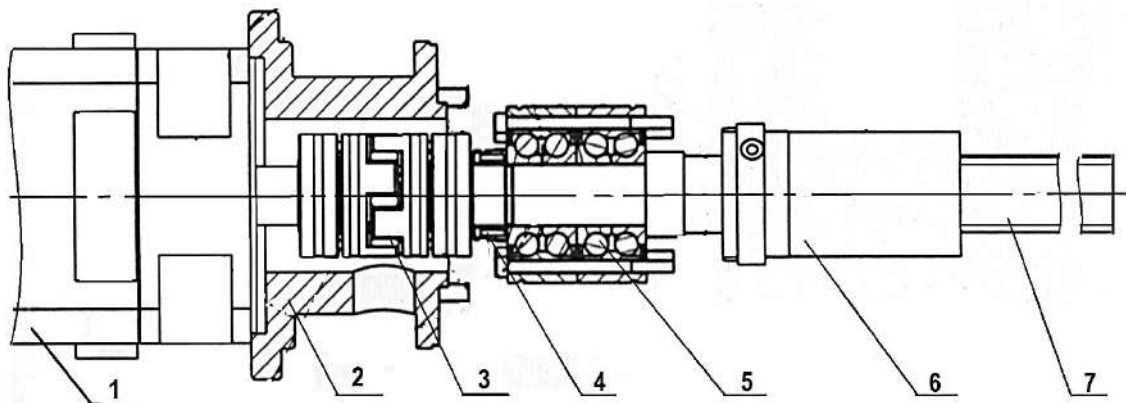


Рисунок 1.26 – Привід з вільним кінцем ходового гвинта

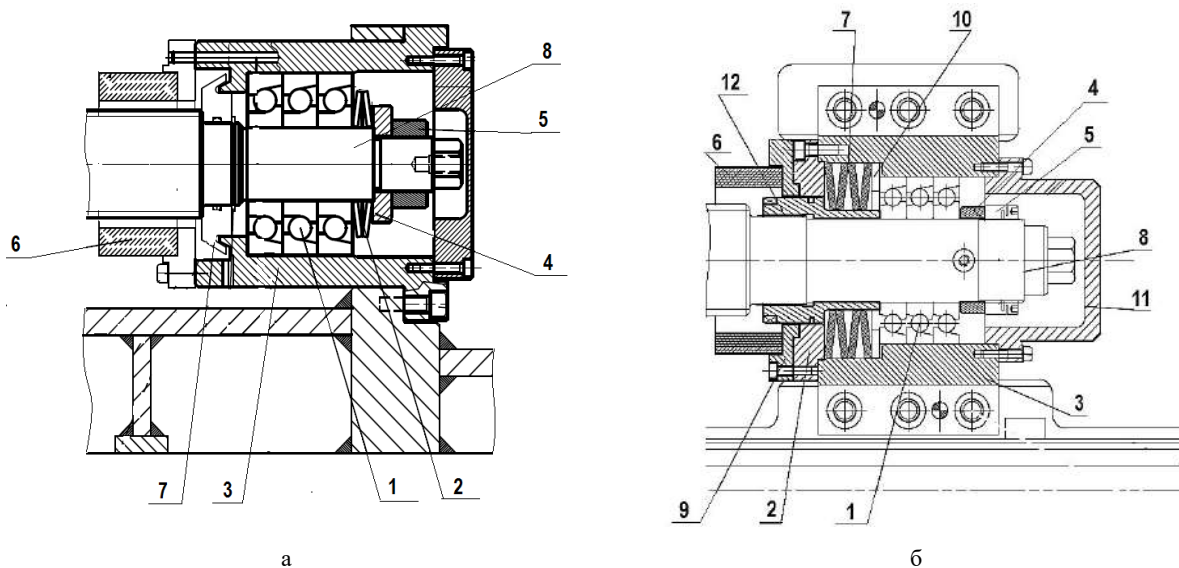


Рисунок 1.27 – Варіанти конструкції задніх опор ходового гвинта

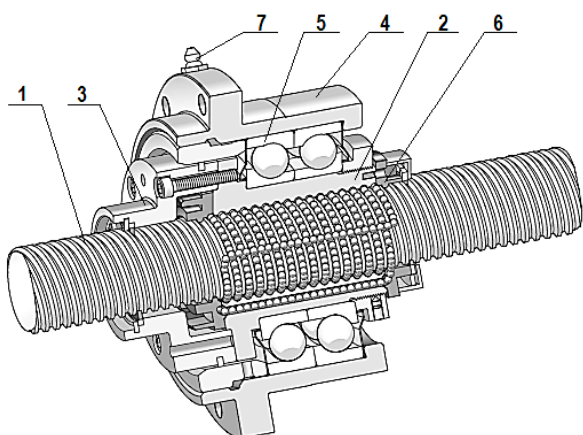


Рисунок 1.28 – Гвинтова передача з обертовою гайкою

В конструкції гвинтових передач з осовою фіксацією в обох опорах застосовується попереднє навантаження ходового гвинта. Гвинт в процесі монтажу піддається розтягу. Передня опора 3 (рис. 1.25) жорстко фіксується, а до зовнішнього кільця підшипників задньої опори 1 (рис. 1.27, б) прикладається навантаження кришкою 2 через пружини 7 та упорну шайбу 10. В процесі роботи внаслідок температурних деформацій гвинта внутрішні кільця підшипників зсуваються разом з цапфою гвинта, розкриваючи підшипники. Пружини ж, діючи на зовнішні кільця, вберігають підшипники від розкриття і забезпечують збереження попереднього натягу в підшипнику на визначеному рівні. Положення гайок 5 і 12 визначає величину попереднього навантаження на гвинт і підшипники.

Для зниження інерційних явищ при обертанні довгих гвинтів використовують конструкцію кулькових гвинтових передач з гайками, що обертаються. Довгий гвинт жорстко закріплюється на станині. Кулькова гайка (поз. 2, рис. 1.28) встановлюється на підшипниках 5 в корпусі 4 і обертається від електродвигуна пасовою передачею через фланець 3, з'єднаний з гайкою. Корпус гайки фланцем кріпиться до рухомого виконавчого органу. Кулькові гвинтові передачі з гайкою, що обертається випускають, як кроком від 5 до 12 мм, так і з великим кроком, який часто дорівнює діаметру гвинта.

### 1.2.4.2 Особливості конструкції кулькових гвинтових передач

Кулькова гвинтова передача складається з гвинта, гайки, комплексу кульок та каналу повернення, який забезпечує циркуляцію кульок. Канал повернення з'єднує перший та останній або проміжний витки гайки.

Кулькові гвинтові передачі виконуються без попереднього натягу та з попереднім натягом. В металорізальних верстатах використовуються передачі з попереднім натягом, що забезпечує високу точність робочих ходів і встановлювальних переміщень та високу жорсткість приводу. Попередній натяг в кульковій гвинтовій передачі – це попередньо прикладене навантаження між тілами кочення та профілями канавок гвинта та гайки. Можуть застосовуватися різні способи створення попереднього натягу: зміною відносного осьового розташування двох частин гайки за незмінного кутового; однією гайкою зі зміною кроку; однією гайкою з підбором діаметрів кульок.

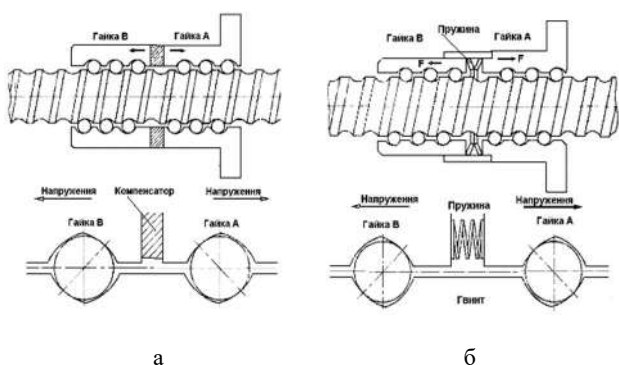


Рисунок 1.29 – Створення попереднього натягу в гвинтовій передачі за допомогою двох гайок

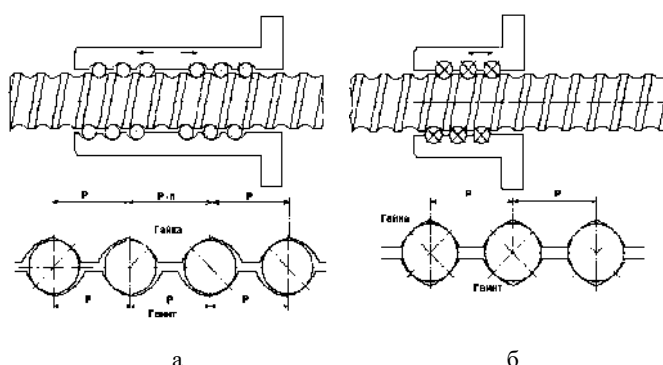


Рисунок 1.30 – Створення попереднього натягу в гвинтовій передачі за допомогою однієї гайки

В разі застосування двох гайок осьові габарити гайки будуть значно більшими, але така конструкція допускає регулювання натягу. Попередній натяг може створюватися введенням компенсатора (дистанційного кільця) визначеного розміру (рис. 1.29, а) або застосуванням пружин (рис. 1.29, б). Застосуванням двох гайок та компенсатора можна створювати попередній натяг значної величини, до 12% від допустимого динамічного навантаження. Така конструкція забезпечує високу жорсткість. Значний попередній натяг може зумовити зниження ресурсу передачі, тому величина попереднього натягу не повинна перевищувати 1/3 середнього робочого навантаження.

В конструкціях з однією гайкою попередній натяг створюється вибором оптимальних розмірів кульок (рис. 1.30, б). Таким способом можна створювати натяг, величина якого складає від 2% до 5% величини допустимого динамічного навантаження. Попередній натяг може також створюватися зміною кроку гайки  $P$  між двома каналами циркуляції на величину  $\delta$  та незмінного кроку на гвинті (рис. 1.30, а).

### 1.2.4.3 Вибір параметрів кулькового гвинта

Ходовий гвинт повинен вибиратися на основі статичної вантажопідйомності з граничного статичного навантаження, яке визначається як добуток максимального прикладеного осьового навантаження та коефіцієнта безпеки, що вибирається з досвіду попередньої роботи, умов плавності руху та рівня шуму.

Граничне статичне навантаження визначається такими факторами:

- подовжною стійкістю (вигином) кулькового ходового гвинта;
- деформаціями гвинта від напружень розтягу-стискання;
- місцевими деформаціями в точці контакту кульок.

Граничне осьове навантаження з погляду подовжньої сталості визначається за формулою

$$P = \alpha \cdot \frac{N \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = m \cdot \frac{d_2^4}{l^2} \cdot 10^4, \text{ Н}$$

де  $\alpha = 0,5$  коефіцієнт безпеки;

$E$  – модуль пружності ( $E=2,06 \cdot 10^5$  МПа);

$I$  – момент інерції перетину гвинта, мм<sup>4</sup> ( $I = \pi \cdot d^4 / 64$ );

$d_2$  – діаметр западини профілю ходового гвинта, мм;

$l$  – вільна довжина (довжина гвинта, що піддається розтягу – стисканню), мм;

$m, N$  – коефіцієнти, що залежать від способу встановлення та закріплення ходового гвинта (табл.1.2).

В ходових гвинтах з малою вільною довжиною подовжні коливання не виникають, але може бути необхідно перевірити напруження розтягу-стискання від навантаження, що діє в осьовому напрямку, яке визначається за формулою

$$P = \sigma \cdot A = 1,15 \cdot d_2^2 \cdot 10^2, \text{ Н}$$

де  $\sigma$  – допустиме напруження ( $\sigma = 147$  МПа);

$A$  – площа поперечного перетину ходового гвинта (по западині профілю).

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнтів  $m, N, f, \lambda$  в формулах розрахунків ходового гвинта

| Схема встановлення опор  |                          | $m$ , | $N$  | $f$  | $\lambda$ |
|--------------------------|--------------------------|-------|------|------|-----------|
| Передня опора            | Задня опора              |       |      |      |           |
| Осьова і радіальна опора | Осьова і радіальна опора | 19,9  | 4    | 21,9 | 4,73      |
| Осьова і радіальна опора | Радіальна опора          | 10,0  | 2    | 15,1 | 3,927     |
| Осьова і радіальна опора | Вільний кінець           | 1,2   | 0,25 | 3,4  | 1,875     |

Прикладання надмірно великих осьових навантажень зумовлює деформації кульок та пошкодження поверхонь кочення. Ці пошкодження не усуваються повністю до початкової форми після видалення навантаження. Граничні осьові навантаження, що лімітуються такими деформаціями визначаються за формулою

$$P_0 = \frac{C_{0a}}{f_s}, \text{ Н}$$

де  $C_{0a}$  – статична вантажопідйомність;

$f_s$  – коефіцієнт статично допустимого навантаження:  $f_s = 1-2$  в умовах нормальної роботи,  $f_s = 1,5-3$  в умовах роботи з ударами та вібраціями.

Швидкохідність передачі гвинт – гайка кочення визначається допустимою частотою обертання ходового гвинта, яка характеризується двома чинниками:

- критичною частотою обертання, яка обмежується резонансом вібрацій ходового гвинта;
- граничним значенням параметру  $dn$ , що спричиняє пошкодження елементів пристрою циркуляції кульок. Тут  $d$  – діаметр ходового гвинта, мм;  $n$  – частота обертання гвинта, хв.<sup>-1</sup>.

Критичну частоту визначають з узгодження частоти обертання ходового гвинта та його власної частоти коливань.

Виходячи з цього допустима частота обертання ходового гвинта визначається

$$n_k = \alpha \cdot \frac{60\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\rho \cdot A}} = f \frac{d_2}{l_k^2} \cdot 10^7, \text{ хв.}^{-1}$$

де  $\alpha$  – фактор безпеки ( $\alpha=0,8$ ),

$E$  – модуль пружності, ( $E=2,06 \cdot 10^5$  МПа);

$I$  – момент інерції площі поперечного перетину гвинта, мм<sup>4</sup> ( $I = \pi \cdot d^4 / 64$ );

$d_2$  – діаметр западини гвинта, мм;

$g$  – прискорення вільного падіння, мм/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – густина матеріалу гвинта, Н/мм<sup>3</sup>;

$A$  – площа поперечного перетину гвинта по діаметру западини профілю, мм<sup>2</sup>;

$l_k$  – вільна довжина гвинта, або відстань між двома підтримуючими опорами;

$f, \lambda$  – коефіцієнти, що визначаються з умов встановлення ходового гвинта, наведені в табл.1.2.

Допустима частота обертання ходового гвинта також обмежується значенням  $dn$ , яке характеризує колову швидкість кульки. Значення  $dn$  залежить від конструкції каналу повернення (циркуляції) кульок. Для катаних ходових гвинтів параметр  $dn \leq 5 \cdot 10^4$  мм·хв<sup>-1</sup>, для прецизійних шліфованих гвинтів та катаних гвинтів з великим кроком параметр  $dn \leq 7 \cdot 10^4$  мм·хв<sup>-1</sup>, для кулькових гвинтових передач, в яких кульки встановлюються в сепараторі параметр  $dn \leq (13 - 16) \cdot 10^4$  мм·хв<sup>-1</sup>.

Як витікає з формули та таблиці допустима частота обертання ходового гвинта залежить від геометричних параметрів гвинта: діаметра та його довжини та способу встановлення гвинта в опорах. Незважаючи на значний вплив довжини гвинта на частоту його обертання, в умовах визначених величин

переміщень робочого органу, змінювати її в бік зменшення не є можливим. Збільшення діаметра гвинта для підвищення частоти власних коливань тягне за собою зниження частоти обертання гвинта за параметром  $dn$ . Тому для одержання високих швидкостей руху виконавчого органу використовують встановлення ходового гвинта на дві фіксовані опори з попереднім розтягом гвинта та збільшують крок передачі.

Точність обробки на металорізальних верстатах значною мірою залежить від точності позиціонування приводів подач, в яких значну роль відіграють кулькові гвинтові передачі. Точність позиціонування кулькової гвинтової передачі визначається точністю кроку (допустимим відхиленням ходу), осьовим зазором в передачі, осьовою жорсткістю ходового гвинта та тепловими зсувами від нагріву гвинта.

Точність кроку визначається класом точності гвинтової передачі. Європейські виробники кулькових гвинтових передач користуються стандартом на класи точності ISO 3408 та DIN 65051. Стандарт ISO передбачає 5 класів точності КГП: 3 класи для прецизійних передач – IT1, IT3, IT5, та 2 класи для передач транспортної групи – T5 та T7.

### 1.2.5 Приводи кругових осей

В багатоцільових верстатах для складнопрофільної обробки керування переміщеннями робочих органів здійснюється за чотирма – п'ятьма осями, одна чи дві з яких є круговими. Крім робочих осей кругові приводи можуть застосовуватися для руху інструментального магазину, в конструкціях револьверних головок тощо.

Для здійснення кругового руху можуть використовуватися приводи з зубчастими передачами (рис. 1.31), черв'ячні приводи (рис. 1.32) та приводи з моментними електродвигунами (рис. 1.33).



Рисунок 1.31 – Поворотний привід з зубчастою передачею

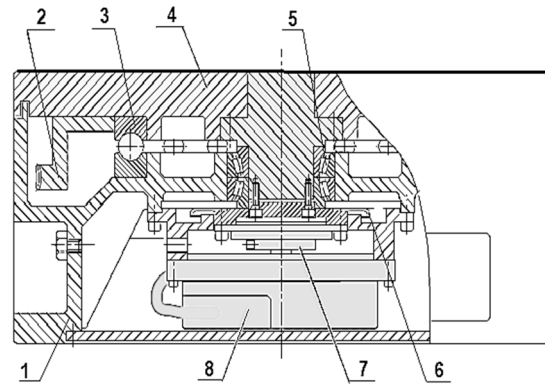


Рисунок 1.32 – Поворотний привід з черв'ячною передачею

Привід з черв'ячним редуктором (рис. 1.32) доцільно застосовувати для здійснення ділильних рухів, в разі виконання руху з невисокими швидкостями і великими моментами навантаження на виконавчому органі. Обертаний рух на планшайбу стола 4 передається черв'ячним колесом 2 від черв'яка (на рисунку не показаний), який з'єднаний безпосередньо з електродвигуном. Контроль положення поворотного стола здійснюється датчиком кутових переміщень 8, закріпленим на осі стола через муфту 7. Вісь стола базується в кінцічному радіально-упорному підшипнику 5, який сприймає в основному радіальні навантаження. Осьові навантаження сприймає кульковий упорний підшипник 3, що опирається на корпус 1.

В п'ятикоординатних верстатах Hermle обертання поворотного стола може здійснюватися від двох двигунів і зубчастих передач, встановлених справа і зліва від стола, що забезпечує мінімум скручування стола і високу точність обробки. Використання прямого приводу з моментним електродвигуном забезпечує високі швидкості обертального руху з високими динамічними характеристиками. В такому приводі між двигуном і виконавчим органом відсутні проміжні ланки, що сприяє підвищенню жорсткості приводу. Крім того часто зменшуються розміри конструкції вузла. Такому зменшенню сприяє застосування в конструкції вузла кругового руху спеціальних підшипникових опор.

Ротор електродвигуна 2 (рис. 1.33) кріпиться до поворотного стола 1, який опирається на роликівий упорно-радіальний підшипник 4 встановлений в корпусі вузла. Статор електродвигуна 3 з кожухом охолодження закріплюється в корпусі. Контроль положення стола і ротора виконується датчиком кутових переміщень 6. Утримання стола в фіксованому положенні забезпечується гідроциліндром 5.

Виконавчі органи обертального руху часто встановлюють на комбіновані роликівий підшипники (рис. 1.34, а), або на хрестово-роликівий підшипники (рис. 1.34, б). В порівнянні з традиційними опорами поворотних вузлів, як наприклад в приводі наведеному на рис. 1.32, такі опори мають значно менші розміри,

що дозволяє отримати більш компактну конструкцію поворотного вузла, вони сприймають осьові та радіальні сили і перекидальні моменти.

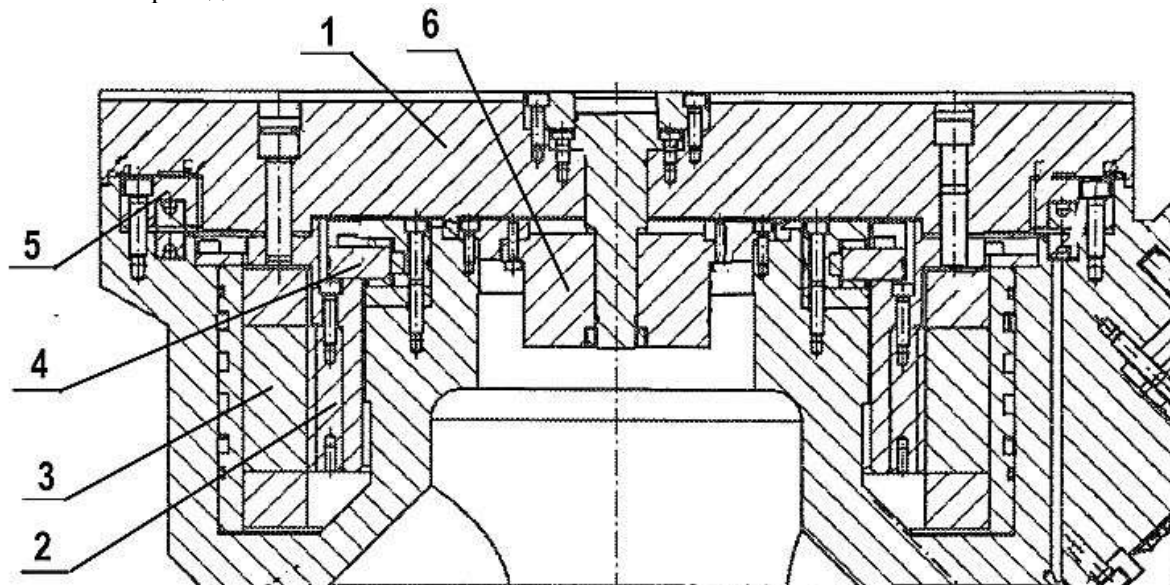


Рисунок 1.33 – Поворотний привід з моментним двигуном

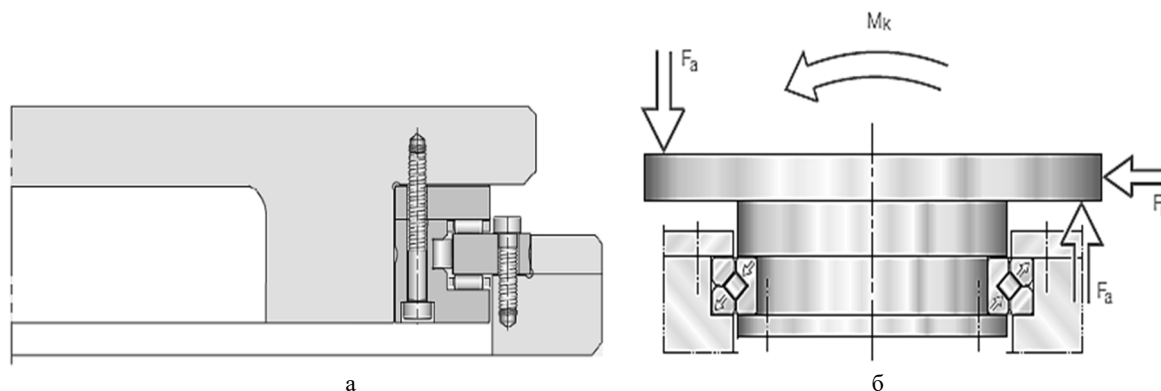


Рисунок 1.34 - Опори поворотних столів

Хрестово-роликові підшипники в порівнянні з комбінованими роликовими підшипниками мають значно менші розміри, швидкохідність таких підшипників майже в 2,5 рази вища, але вони мають значно меншу вантажопідйомність.

### 1.2.6 Опори ходових гвинтів кулькових гвинтових передач

Конструкція опори, тип та кількість підшипників в опорі визначається величиною та характером навантаження, що діють на ходовий гвинт, швидкістю руху, вимогами до точності та жорсткості передачі, схемою установалення ходового гвинта, обмеженнями до габаритних розмірів опори.

Основними типами підшипників, що застосовуються в опорах ходових гвинтів, є упорно-радіальні кулькові підшипники з кутом контакту  $60^\circ$  (інколи  $62^\circ$ ) та комбіновані ролико-голчасті підшипники, що сприймають осьове та радіальне навантаження.

Упорно-радіальні підшипники забезпечують більшу швидкохідність в порівнянні з комбінованими підшипниками, в умовах пластичного мащення швидкохідність таких підшипників у 2-2,5 рази вища. В залежності від діючого на опору навантаження кількість підшипників в опорі може бути від 2 до 4 за різних схем установки (рис. 1.35). Динамічна вантажопідйомність опори з декількома підшипниками, що сприймають навантаження в одному напрямку суттєво зростає. Так для опор наведених на рис. 1.35, б і 1.35, г, коли осьову силу сприймають 2 підшипники, динамічна вантажопідйомність зростає в 1,62 рази, а для опор, в яких осьове навантаження сприймають 3 підшипники (рис. 1.35, в, 1.35, д) – в 2,16 рази. Такі схеми часто застосовуються в конструкціях з попередньо розтягнутим ходовим гвинтом.

Схеми з симетричним розміщення підшипників в опорі (рис. 1.35, а, 1.35, г) застосовують для ходових гвинтів, встановлених за схемою з одним вільним кінцем, або з плаваючою опорою, коли знакозміне навантаження сприймається лише однією опорою.

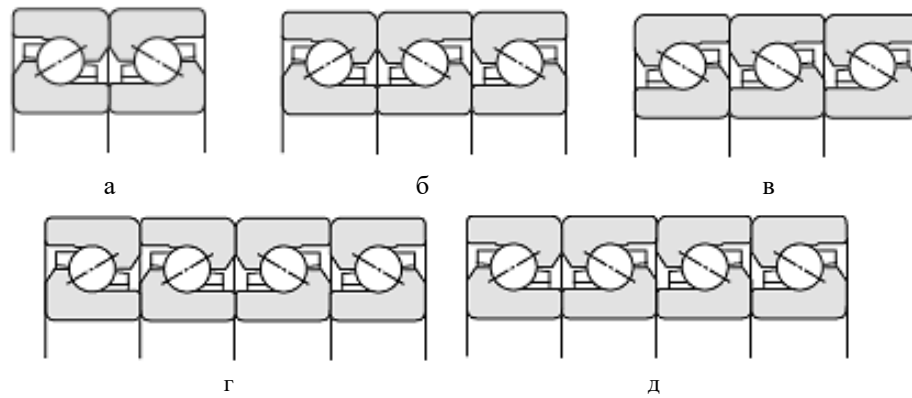


Рисунок 1.35 – Схеми опор ходового гвинта з упорно-радіальними підшипниками

Комбіновані роликові підшипники (рис. 1.36) забезпечують значно більшу навантажувальну здатність та осьову і радіальну жорсткість опори ніж кулькові упорно-радіальні підшипники, але мають нижчу швидкохідність. Такі підшипники доцільно використовувати в приводі подач верстатів з помірними швидкостями руху за осями і високими зусиллями.

Для спрощення монтажу підшипників в опорі випускаються підшипники з зовнішнім кільцем, виконаним з фланцем (рис. 1.36, б, 1.37, а) та підшипники встановлені в корпус (рис. 1.37, б). Використання таких конструкцій опор підвищує технологічність виготовлення приводу. В опорах наведених на рис. 1.37, б одночасно забезпечується і захист підшипників від забруднення.

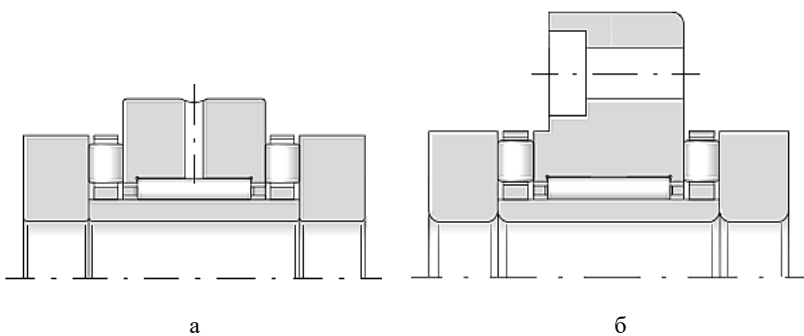


Рисунок 1.36 – Комбіновані роликові підшипники для кулькових ходових гвинтів

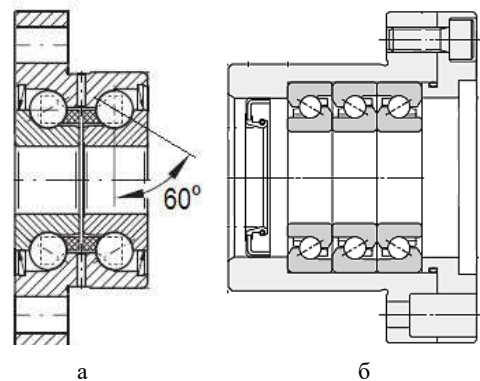


Рисунок 1.37 – Підшипникові опори ходових гвинтів

### 1.2.7 Напрямні кочення багатоцільових верстатів

Напрямні кочення знаходять широке застосування у верстатобудуванні для лінійного переміщення виконавчих органів верстатів. Їх використовують у верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах для переміщення супортів, столів, кареток, полозків; у шліфувальних верстатах для переміщення шліфувальних бабок; у координатно-розточувальних верстатах та у інших верстатах де потрібне поєднання переміщення робочого органу з високою точністю на малих швидкостях в процесі обробки та переміщення з високою швидкістю під час встановлювальних переміщень.

Напрямні кочення мають такі переваги:

- практична незалежність коефіцієнту тертя від швидкості переміщення робочого органу (відсутні стрибки);
- висока точність встановлювальних переміщень;
- малий коефіцієнт тертя;
- незначний знос тіл кочення та напрямних елементів;
- мале тепловиділення в приводі та малі габарити приводу для переміщення вузла напрямними;
- висока довговічність за точністю.

До недоліків напрямних кочення в порівнянні з напрямними ковзання відносяться: висока вартість та трудомісткість виготовлення, знижене демпфування вздовж напрямних за умов відсутності руху напрямними та в умовах руху з малими швидкостями, підвищена чутливість до забруднення.



В металообробних верстатах використовуються різні типи напрямних кочення. В багатоцільових верстатах середніх розмірів найбільш поширені напрямні рейкового типу (рис. 1.38, а). Рейки прямолінійного руху 1 закріплюються на несучому елементі верстата, а каретки 4 встановлюються на рухомому вузлу. Такі напрямні прості для монтажу та обслуговування. Тіла кочення в каретках таких напрямних циркулюють, тому вони придатні для руху на значну довжину. В залежності від режиму руху та навантаження в рейкових напрямних застосовують два види кареток: з використанням кульок як елементів кочення (рис. 1.38, б) і з використанням роликів (рис. 1.38, в). Найбільш широко використовують кулькові напрямні, які забезпечують високу швидкохідність та достатню несучу здатність. Роликові напрямні доцільно застосовувати у вузлах, які піддаються дії значних навантажень, особливо перекидальних моментів. Динамічна вантажопідйомність каретки роликової напрямної в 1,5 – 2 рази, а перекидальний момент, який сприймає каретка в 2,5 – 3 рази вище, ніж для каретки кулькової напрямної тих самих розмірів.

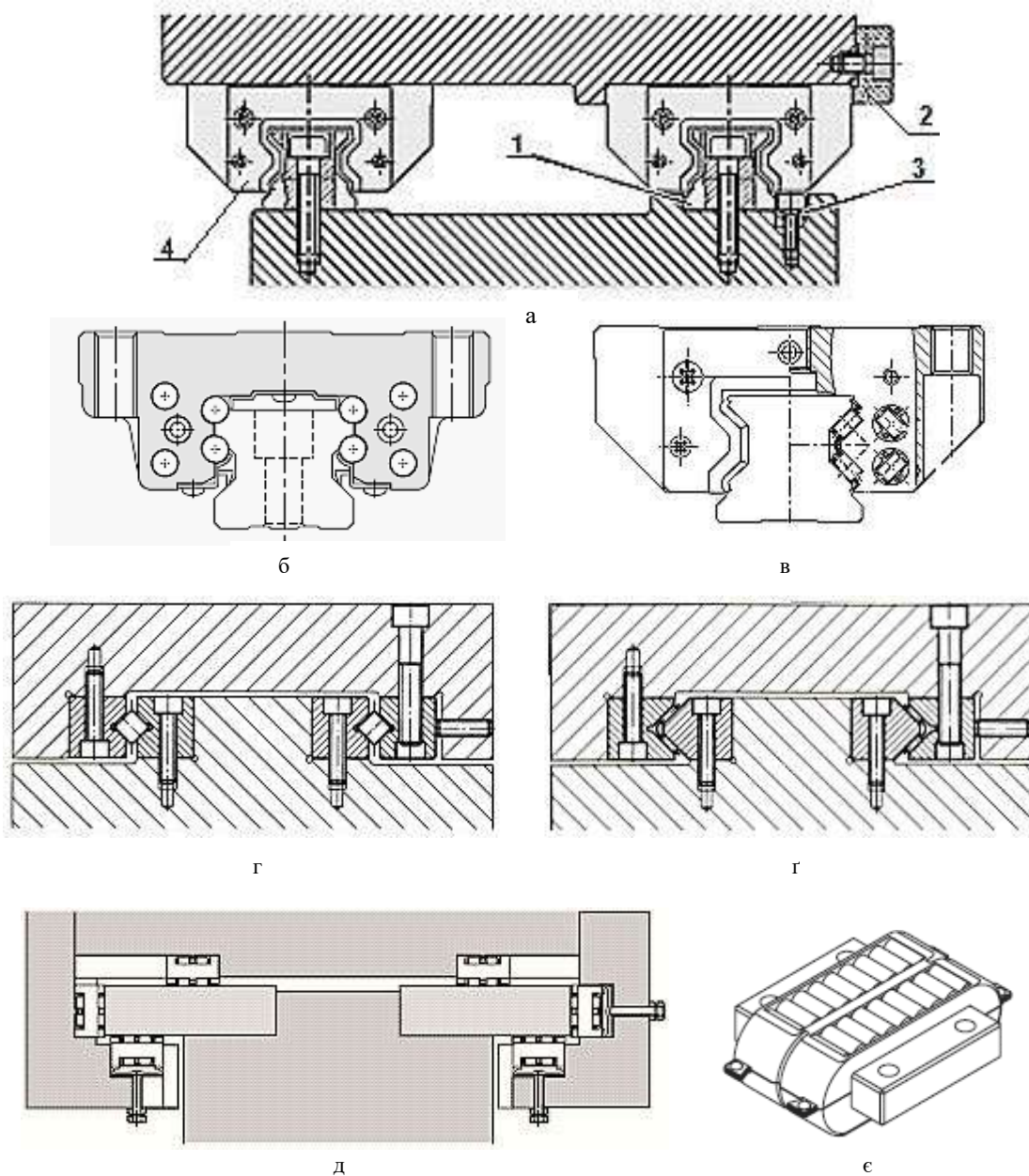


Рисунок 1.38 – Направні кочення металообробних верстатів

Хрестово-роликові та V – подібні роликові напрямні (рис. 1.38, г, 1.38, г) мають компактні розміри за висотою, здатні сприймати великі перекидальні моменти, але в разі відсутності циркуляції роликів можуть застосовуватися в вузлах з невеликою відстанню переміщення.

В важких верстатах для переміщення важких та важко навантажених вузлів використовуються роликові напрямні, показані на рис. 1.38, д. Вони оснащуються каретками з циркуляцією роликів (рис. 1.38,

є), можуть сприймати значні навантаження довільно спрямовані в просторі, особливо в площині основної напрямної.

Напрямні кочення можуть бути без попереднього натягу і з попереднім натягом. Напрямні кочення з попереднім натягом забезпечують відсутність зазорів у сполученні, високу жорсткість та дещо більші, ніж в напрямних без натягу, демпфуючі властивості. На реальних величинах попереднього натягу втрати на тертя в напрямних досить малі і точність встановлювальних переміщень так само висока, як і в напрямних без натягу.

Знос напрямних кочення відбувається внаслідок утоми елементів сполучення (напрямної та тіл кочення) та внаслідок тертя в елементах.

В процесі кочення лінійної опори під навантаженням, напрямна та тіла кочення (кульки чи ролики) перебувають під постійним циклічним напруженням. В наслідок утоми матеріалу відбувається втомне руйнування поверхонь – частки поверхонь відшаровуються.

Довговічність напрямної кочення (лінійної опори) визначається загальною відстанню переміщення від часу запуску до часу, коли на поверхні напрямної або елемента кочення з'являться перші пластівці відшарування. Довговічність опори може суттєво відрізнитися навіть тоді, коли вони виготовлені і експлуатуються в однакових умовах.

Ресурс лінійної опори, що рухається під навантаженням визначається через динамічну вантажопідйомність  $C$ . Динамічна вантажопідйомність за визначенням ISO, це навантаження стале за напрямком та величиною, за якого номінальний ресурс складає 100 км для групи однакових опор. Деякі виробники, зокрема компанія ТНК, для кулькових опор напрямних, використовують, з різних причин, вантажопідйомність з номінальним ресурсом 50 км. Динамічна вантажопідйомність опор кочення для ресурсу 50 км може бути перерахована таким чином

$$C_{50} = 1,23 \cdot C \text{ для роликових опор;}$$

$$C_{50} = 1,26 \cdot C \text{ для кулькових опор.}$$

Прикладене до опори навантаження може суттєво відрізнитися від розрахункового, оскільки не завжди вдається отримати достовірний розподіл навантаження на конкретну опору, особливо коли робота опор супроводжується вібраціями та ударами. Номінальний ресурс також залежить від твердості напрямної та температури опори.

Виходячи з цього довговічність для напрямних з ресурсом 50 км можна подати у вигляді

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot F_C} \right)^3 \cdot 50, \text{ км}$$

для роликових напрямних, враховуючи номінальний ресурс 100 км, у вигляді

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot F_C} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100, \text{ км}$$

де  $F_C$  - розрахункове навантаження, Н;

$C$  – динамічна вантажопідйомність, Н;

$f_H$  - коефіцієнт твердості, що враховує твердість доріжок та тіл кочення опори;

$f_T$  - температурний коефіцієнт, що враховує температуру опори. Якщо температура опори перевищує 100°C, довговічність опори знижується;

$f_C$  - контактний коефіцієнт, що враховує кількість опор, установлених на робочому органі;

$f_W$  – коефіцієнт навантаження, що враховує характер навантаження на опору: швидкість руху, вібрації, удари тощо.

Для забезпечення оптимальної вантажопідйомності та працездатності лінійних опор напрямна та тіла кочення (кульки чи ролики) повинні мати твердість поверхні еквівалентну HRC 58-64 на необхідній глибині. Якщо твердість елементів напрямної знижена то довговічність скорочується і допустимі навантаження знижуються, що повинно враховуватися введенням коефіцієнту  $f_H$ .

Коли кілька лінійних опор (кареток) використовуються в закритому контакті одночасно, то важко досягти одноманітного розподілу навантаження зумовленого моментом навантаження та точністю монтажу опор. Розсіювання навантаження на опорні блоки впливає на точність обробки та довговічність самих опор і повинно враховуватися введенням коефіцієнта  $f_C$ , значення якого змінюється від 1 для однієї опори до 0,6 для шести опор в закритому контакті.

Робота металорізальних верстатів супроводжується вібраціями та ударами, особливо в процесі високошвидкісної обробки та під час пусків і гальмування. Визначити величину та характер вібрацій надзвичайно важко, тому вплив швидкості та вібрацій повинен враховуватися в розрахунках динамічної

вантажопідйомності  $C$  введенням експериментально визначеного коефіцієнту  $f_w$ , значення якого може змінюватися від 1 для слабких вібрацій і низької швидкості руху до 3,5 для сильних вібрацій і високої швидкості.

### Попередній натяг в напрямних кочення

Попередній натяг – це навантаження попередньо прикладене до елементів кочення для усунення зазору в системі напрямних кочення з метою підвищення жорсткості. Лінійні опори кочення можуть бути без попереднього натягу та з попереднім натягом. В залежності від величини накладеного навантаження попередній натяг може бути легкий, середній та важкий.

Напрявні без попереднього натягу застосовуються у вузлах з мінімальним впливом зовнішніх факторів, для систем з малим тертям. В таких напрямних зазор між кареткою та рейкою (напрявною) складає від 1 до 10 мкм. Якщо використовуються дві напрямних (рейки) та більш як одна каретка на одну напрямну то такий зазор може компенсуватися допусками на паралельність.

Сила попереднього натягу ґрунтується на динамічній вантажопідйомності  $C$  відповідної каретки. Компанія Bosch Rexroth AG рекомендує таку систему попереднього натягу для лінійних опор:

- легкий попередній натяг ( $C1$ ) –  $0,02 C$ ,
- середній попередній натяг ( $C2$ ) –  $0,08 C$ ,
- важкий попередній натяг ( $C3$ ) –  $0,13 C$ .

Для запобігання зниженню ресурсу напрямної кочення величина попереднього натягу не повинна перевищувати  $1/3$  навантаження на опору.

Рекомендації з застосування різних величин попереднього натягу наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Типи й застосування попереднього натягу

| Характер попереднього натягу | Легкий  | Середній  | Важкий   |
|------------------------------|---|---|--|
| Умови застосування           | Навантаження діє в визначеному напрямку, удари та вібрації мінімальні, дві напрямні встановлені паралельно.<br>Висока точність не потрібна, а опір руху повинен бути мінімальним. | Несиметричне прикладення навантаження чи моменту, невисоке навантаження та висока точність позиціювання.                                | Вимоги високої жорсткості в умовах ударів та вібрацій.   |
| Область застосування         | Лазерне зварювання, осі X та Y загального машинобудування, пристрої заміни інструмента, то що.  | Столи шліфувальних верстатів, промислові роботи, свердлильні верстати з ЧПК, вимірювальні машини, прецизійні горизонтальні столи, тощо. | Багатоцільові верстати, токарні, фрезерні, горизонтальні та вертикальні розточувальні верстати з ЧПК, шліфувальні верстати, то що. |

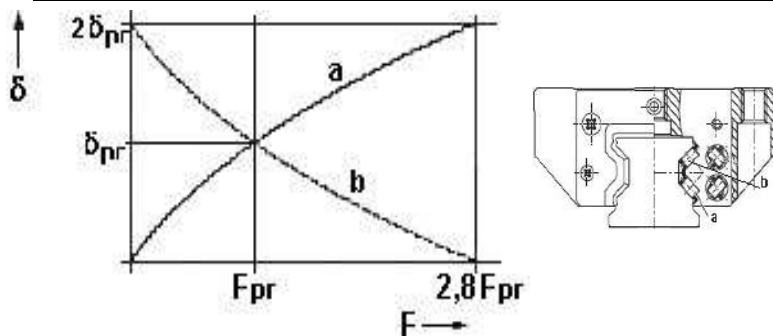


Рисунок 1.39 – Залежність зсуву в лінійній опорі з попереднім натягом від навантаженням

Надмірний попередній натяг може бути причиною пошкодження, скорочення терміну служби та інших проблем

В разі, якщо в каретці застосовується попередній натяг, середній чи важкий, може виникнути потреба враховувати силу попереднього натягу для розрахунку довговічності лінійної опори.

Коли зовнішнє навантаження досягає величини  $2,8 F_{pr}$  – внутрішнього попереднього натягу, один ряд тіл кочення стає вільним від попереднього натягу (рис. 1.39).

## 1.3 Пристрої зберігання та заміни інструментів в багатоцільових верстатах

### 1.3.1 Закріплення інструментів в обертовому шпинделі

В фрезерних верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах з обертовим рухом інструмента інструмент встановлюється в шпинделі за допомогою інструментальних оправок: найчастіше оправок ISO з конусом 7:24 та для високошвидкісної обробки оправок HSK з конусністю 1:10.

Оправки ISO можуть випускатися без внутрішньої подачі МОР, форма А. В таких оправках відсутній отвір 2 (рис. 1.40) по центру оправки і використовується хвостовик без отвору (рис 1.42, а). В оправках з внутрішньою подачею МОР можлива подача охолодження через хвостовик і центральний отвір 2, форма AD. Хвостовик такої оправки повинен також мати центральний отвір (рис. 1.42, б). В інструментальних оправках форми В подача охолодження в зону різання виконується через фланець оправки. Подача може здійснюватися через отвори 3 рис. 1.40, виконані на периферії фланця або через отвори виконані на торці фланця рис. 1.41. Використовуються також оправки форми AD+B, в яких подача охолодження в зону різання може здійснюватися як через центральний отвір, так і через отвори в фланці. В разі подачі рідини через центральний отвір, отвори в фланці закриваються гужонами 4 (рис. 1.40), які фіксуються гвинтами 5. Якщо подача охолодження виконується через отвори в фланці, то центральний отвір закривається хвостовиком без отвору.

Інструментальні оправки ISO базуються в шпинделі лише по конусу. Інструментальні системи BIG-PLUS з конусом 7:24 базуються одночасно по конусу і торцю. Це забезпечується затягуванням оправки в отвір шпинделя з певним зусиллям і відповідними пружними деформаціями в контактні оправки і шпинделя. Оправки BIG-PLUS мають розмір  $e$  (рис. 1.41) менший ніж оправки традиційного виконання. Так для оправки BIG-PLUS ISO 40  $e = 1$  мм, а для оправки ISO 40 традиційного виконання  $e = 3,2$  мм.

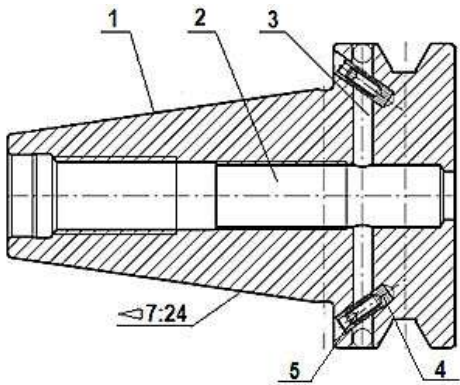


Рисунок 1.40 – Інструментальна оправка ISO

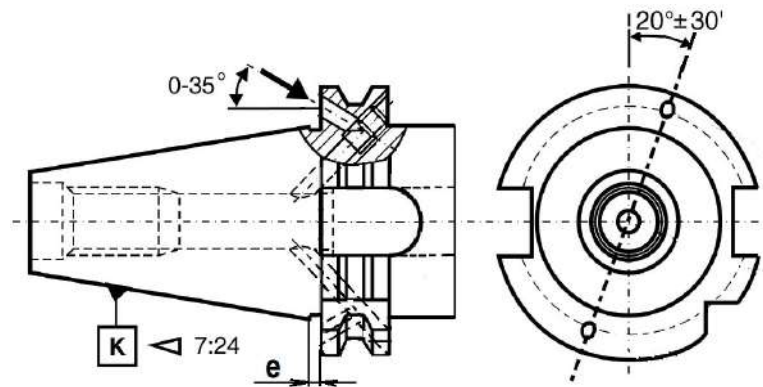
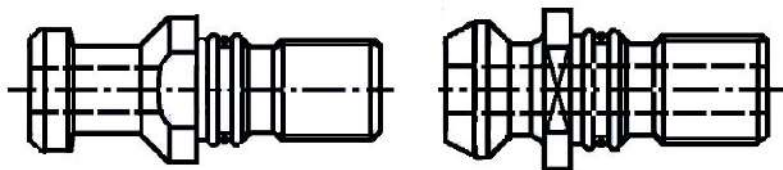


Рисунок 1.41 – Інструментальна оправка форми AD+B



а – без отвору для подачі МОР; б – з отвором для подачі МОР,

Рисунок 1.42 – Хвостовики для інструментальних оправок DIN 69872-B

Для багатоцільових верстатів, що працюють на високих швидкостях широко використовуються інструментальні оправки HSK з конусом 1:10. До переваг їх застосування відноситься висока точність закріплення інструмента в шпинделі завдяки базуванню оправки по конусу і торцю; висока допустима швидкість обробки; легка заміна інструмента завдяки малій вазі і малій довжині конуса оправки, крім того на високих частотах обертання відцентрові сили, що діють на елементи пристрою закріплення, ведуть до збільшення зусилля затиску. На автоматизованому обладнанні використовуються оправки чотирьох форм А, В, Е і F. Для металорізальних верстатів з ЧПК використовують оправки форми А і В (рис. 1.43).

В оправках форми А подача охолодження в зону різання здійснюється через центр шпинделя і інструментальної оправки, шпонкові пази 2 (рис. 1.43, а) виконані на торці конуса. Використовуються такі оправки в багатоцільових верстатах та фрезерних верстатах з ЧПК.

Оправки форми В використовуються в багатоцільових верстатах та важких фрезерних верстатах з ЧПК.

Шпонкові пази 2 (рис. 1.43, б) в таких оправках виконані на фланці, а подача охолоджуючої рідини здійснюється або по осі оправки, або через отвори 4 в фланці. Оправка має фланець більших розмірів.

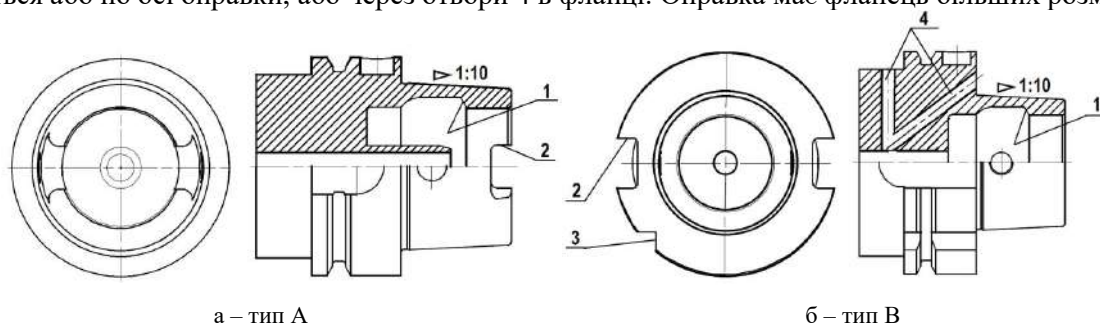


Рисунок 1.43 – Інструментальні оправки HSK

Рекомендовані частоти обертання для оправок HSK-A:

|  |   |
|--|---|
| HSK-A 32 до 50.000 хв. <sup>-1</sup> , | HSK-A 40 до 42.000 хв. <sup>-1</sup> ,  |
| HSK-A 50 до 30.000 хв. <sup>-1</sup> , | HSK-A 63 до 25.000 хв. <sup>-1</sup> ,  |
| HSK-A 80 до 20.000 хв. <sup>-1</sup> , | HSK-A 100 до 16.000 хв. <sup>-1</sup> . |

Надійність закріплення інструментальної оправки в шпинделі визначається точністю виготовлення базуючих поверхонь оправки і шпинделя, якістю складання затискного пристрою, зусиллям затяжки оправки в шпиндель. Затяжка оправки в шпиндель забезпечується захоплюючими пристроями (рис. 1.44), які переміщуються під дією пакету тарілчастих (дискових) пружин.

В шпиндельних вузлах, в яких використовуються інструментальні оправки ISO (рис. 1.44, а), захоплювачі 3 захоплюючого пристрою 4 захоплюють хвостовик оправки 1 і під дією осьової сили  $F_E$ , що створюється пакетом пружин, затягують її в шпиндель. Для зміни інструмента захоплюючий пристрій під дією гідроциліндра, який стискає пружини, переміщується вліво, захоплювачі попадають в розточку 2 шпинделя, а втулка захоплюючого пристрою діє на торець хвостовика оправки, виштовхуючи оправку з конуса шпинделя.

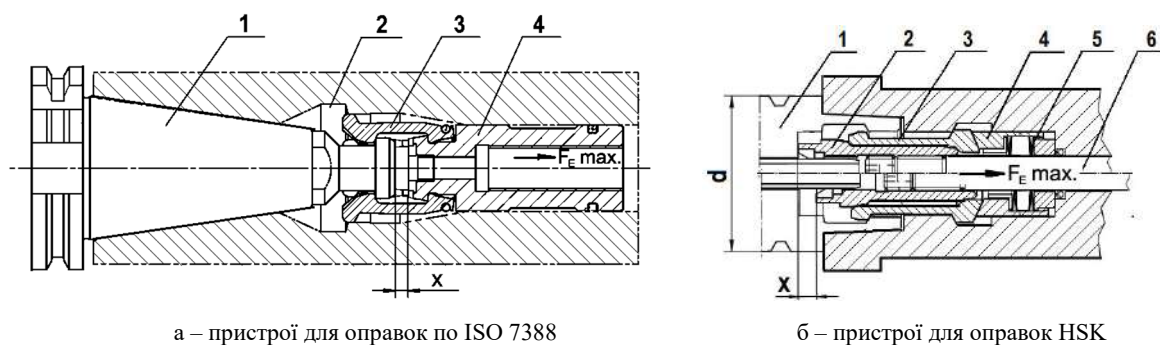


Рисунок 1.44 – Захоплюючі пристрої для інструментальних оправок.

В верстатах, що працюють з оправками HSK, інструментальна оправка 1 (рис. 1.44, б), при переміщенні тяги 6 з конусною втулкою 2, захоплюється захоплювачами 3 і затягується в отвір шпинделя. В закріпленому положенні задні кінці пелюсток захоплювача заходять в розточку в шпинделі, додатково фіксуючи оправку. Зусилля  $F_E$  до тяги прикладається від пакету пружин. Для звільнення інструментальної оправки тяга 6 під дією гідроциліндра, що стискає пружини, переміщується вліво, звільняючи захоплювач. Під дією пружин 5 натискає втулка 4 переміщується, витискаючи пелюстки захоплювача з розточки шпинделя і звільняючи оправку. Конічна втулка 2, перемістившись на величину  $X$ , своїм торцем упирається в оправку, виштовхуючи її зі шпинделя.

Крутний момент від шпинделя до інструментальної оправки передається силами тертя в конусному сполученні та шпонками. Осьова сила затяжки оправки визначається моментом тертя, який належить передати:

$$F_E = \frac{M_T \cdot \beta \cdot (\sin \alpha + f \cos \alpha)}{f \cdot r_c},$$

де  $M_T$  - крутний момент, що передається силами тертя в конусі;

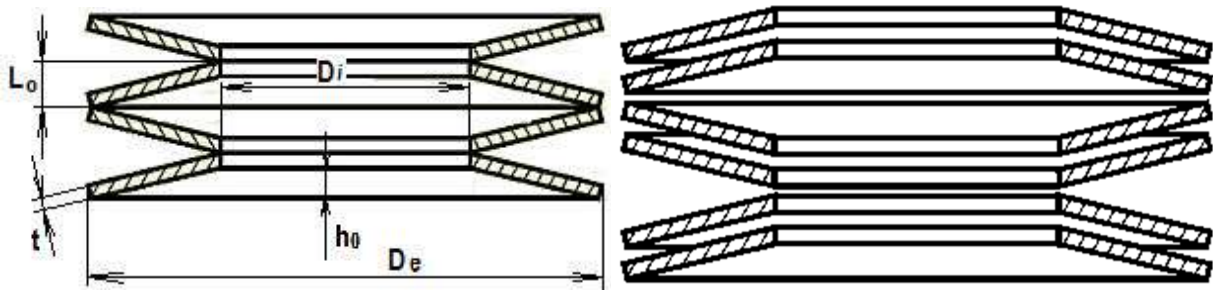
$r_c = d_c/2$  приведений радіус сил тертя; можна брати середній радіус конуса,  $r_c = (d_1 - d_2)/4$ ;

$\beta$  – коефіцієнт запасу зчеплення,  $\beta = 1,25 - 1,5$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя, для сухого тертя сталь по сталі може складати 0,1 – 0,15;

$\alpha$  – кут нахилу конуса.

Осьове зусилля створюється пакетом тарілчастих пружин. Розмір пакету тарілчастих пружин, що в захватних пристроях SK, що в пристроях HSK, визначається величиною переміщення захватного пристрою  $X$ , необхідною для забезпечення виштовхування інструментальної оправки та затягування її в шпindel. Зусилля затягування визначається геометричними параметрами пружини. В разі послідовного навантаження пакету пружин (рис. 1.45, а) сила, що розвивається пакетом  $F_n = F_{np}$ , деформація пакету  $s_n = n s_{np}$ , де  $n$  – кількість пружин в пакеті;  $F_{np}$  – сила, що розвивається однією пружиною при деформації  $s_{np}$ . В разі потреби одержати більші зусилля затискання зі збереженням незмінних геометричних розмірів пружини, зокрема діаметра  $D_e$ , може застосовуватися паралельно-послідовна схема пакету (рис. 1.45, б). В такій схемі величина зусилля, що розвивається пакетом  $F_n = K \cdot F_{np} \cdot n_1$ , а деформація пакету  $s_n = n s_{np}$ ; тут  $n_1$  – кількість пружин в паралельному пакеті,  $K$  – коефіцієнт, що враховує сухе тертя в паралельному пакеті (для пакету з двома паралельними пружинами  $K = 1,06$ ).



а – послідовна схема пакету пружин;

б – паралельна схема пакету пружин;

Рисунок 1.45 – Пакет тарілчастих пружин

Зусилля здеформованої пружини залежить від ступеню її деформації. Чим більший ступінь деформації, тим більша сила пружини. Ступінь деформації пружин повинен забезпечувати зусилля в стані затяжки інструмента, тобто пружини повинні бути попередньо деформовані. Виходячи з цього геометричні розміри пружини вибирають такими, щоб вони забезпечували потрібне зусилля саме за такої деформації. Вибираючи розмір пакету пружин (кількість пружин в пакеті) слід враховувати, що в разі динамічних навантажень пружина може бути здеформована на  $0,8 h_0$  ( $0,75 h_0$  за DIN 2093).

### 1.3.2 Револьверні головки токарних верстатів з ЧПК та багатоцільових верстатів

Інструмент в токарних з ЧПК та багатоцільових верстатів середніх розмірів переважним чином встановлюється в револьверних головках різних видів. В залежності від призначення верстата можуть використовуватися два основні типи револьверних головок: в верстатах призначених для виконання традиційних токарних робіт встановлюють головки, які забезпечують закріплення інструмента та поворот інструментального диску в потрібну позицію; в багатоцільових верстатах з використанням обертового інструменту головки забезпечують додатково привід на обертовий інструмент.

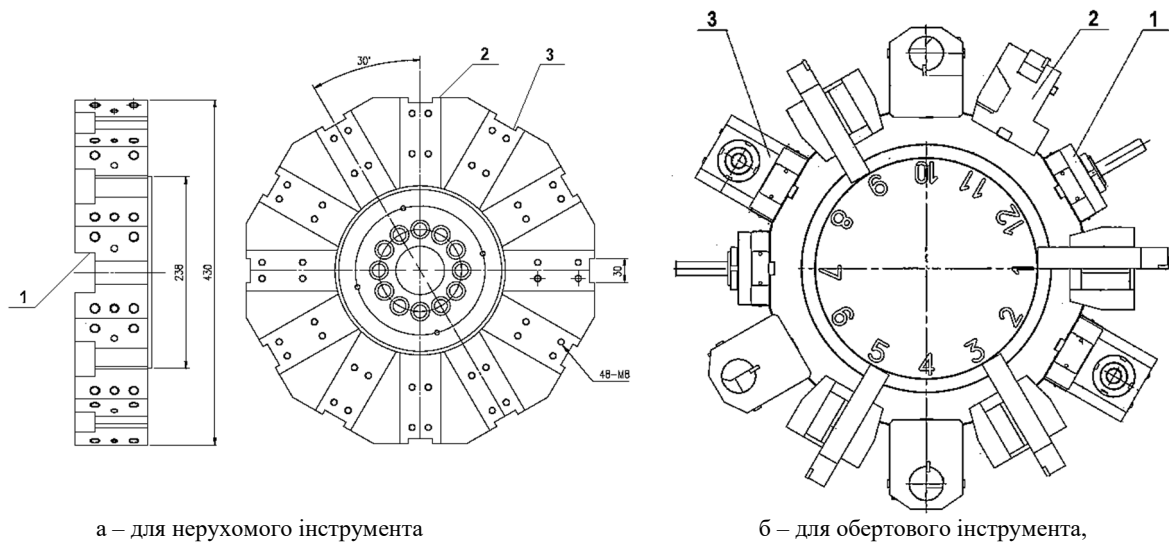
Характер закріплення інструмента в револьверній головці залежить від інструментального диску, що використовується в даній головці. В інструментальному диску (рис. 1.46, а) револьверної головки може встановлюватися токарний інструмент: прохідні, підрізні, канавкові, розточувальні різці; свердла, зенкери тощо. Інструмент може встановлюватися в пази 1 інструментального диска або кріпитися на площині 2 з центруванням по пазу 3 на периферії диска за допомогою різноманітних тримачів (рис. 1.47). В пазах 1 різці закріплюються за допомогою клинових планок, а на периферії – в інструментальних оправках ВМТ гвинтами. Такими інструментальними дисками оснащуються револьверні головки з нерухомим інструментом.

В револьверних головках з обертовим інструментом використовуються інструментальні диски (рис. 1.46, б), в яких інструментальне оснащення базується в отворах і по шпонках, розміщених на периферії диска, а закріплюється болтами. В таких дисках можуть закріплюватися осьові 1 і радіальні 3 інструментальні головки та інструментальні оправки 2 форми ВМТ.

Для закріплення інструментальних головок і оправок форми VDI (стандарт DIN 69880) використовуються інструментальні диски показані на рис. 1.48.

Базування і закріплення оправки 2 в отворах 1, розміщених на торці і (чи) периферії інструментального диска, здійснюється по діаметру хвостовика. Для закріплення хвостовика на його циліндричній поверхні виконана лиска, на якій нанесені канавки. Натискна втулка 3 має на скошеній поверхні аналогічні канавки. Для закріплення оправки натискна втулка затягується гвинтом 4 до повного закріплення оправки. Вхідні вали

інструментальних головок, які з'єднуються з вихідними валами револьверних головок, можуть виконуватися у вигляді кулачкової муфти, торцевої шпонки, або мати шліці.



а – для нерухомого інструмента

б – для обертового інструмента,

Рисунок 1.46 – Диски інструментальні для револьверних головок (форма оправок ВМТ)

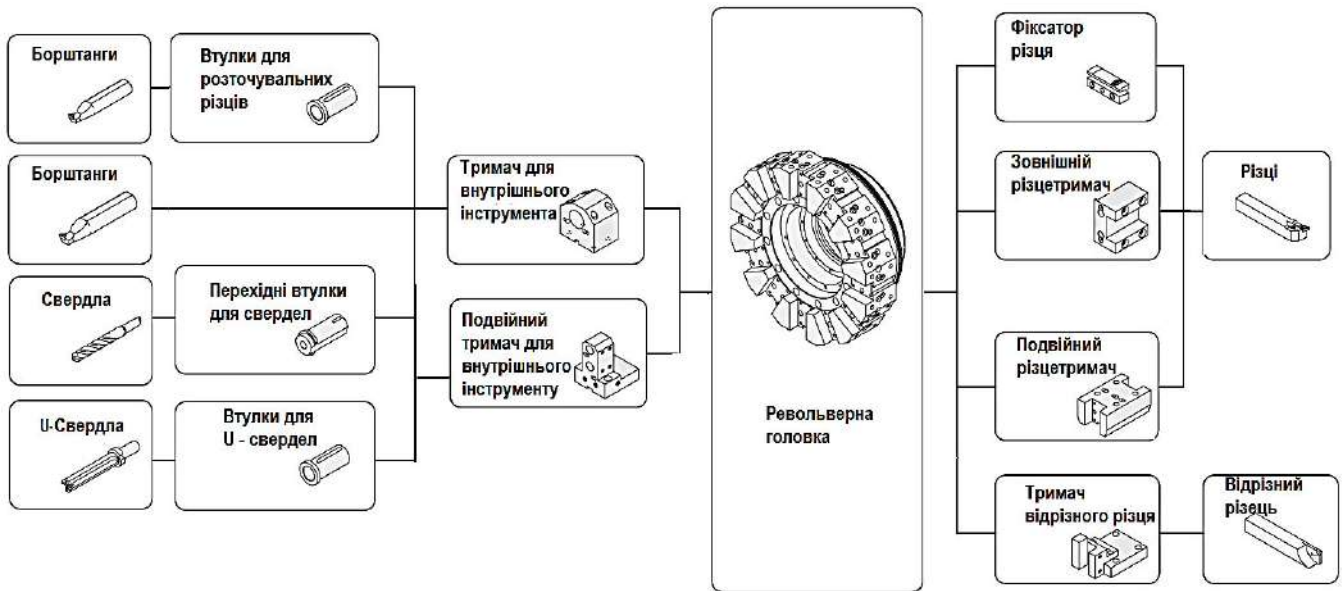


Рисунок 1.47 – Тримачі інструмента і перехідні втулки для револьверних головок

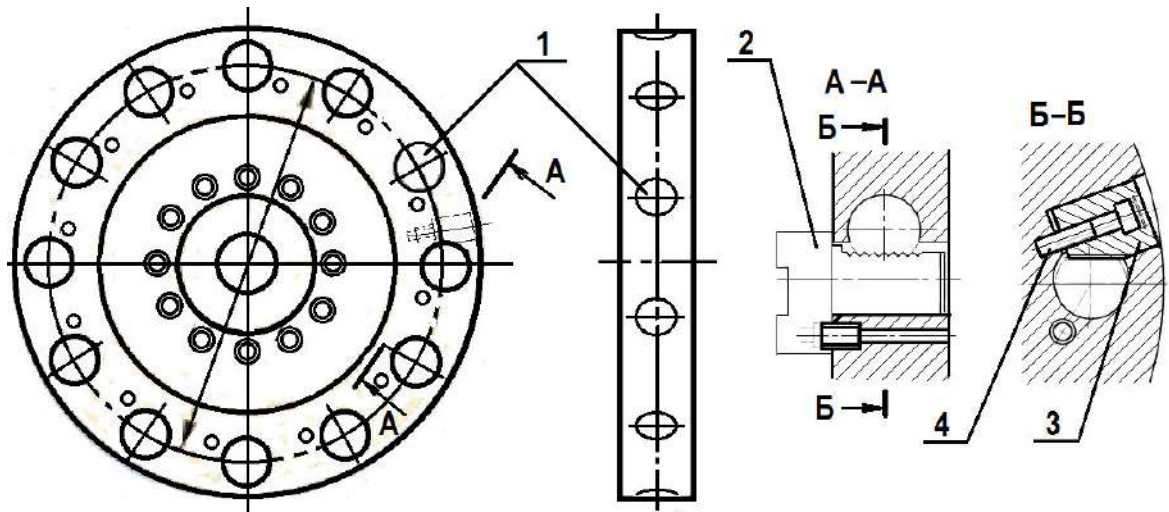


Рисунок 1.48 – Диски інструментальні для револьверних головок (форма оправок VDI)

Інструментальні головки для обертового інструмента мають такі самі типи кріплення 2 на інструментальних дисках револьверної головки, що і інструментальні оправки для нерухомого інструменту: VDI (рис. 1.49, а, б) і BMT (рис. 1.49, в). Інструментальні головки можуть бути прямі (рис. 1.49, а) і кутові (рис. 1.49, б, в). В конструкціях прямих головок шпindel 5, для закріплення інструмента, розміщений в корпусі 1, безпосередньо з'єднується з вихідним валом револьверної головки за допомогою різних видів з'єднання 3 (муфти). В кутових інструментальних головках рух з вхідного вала 3 головки передається на шпindel зубчатою конічною передачею 6 (рис. 1.49, б). В обертових інструментальних головках

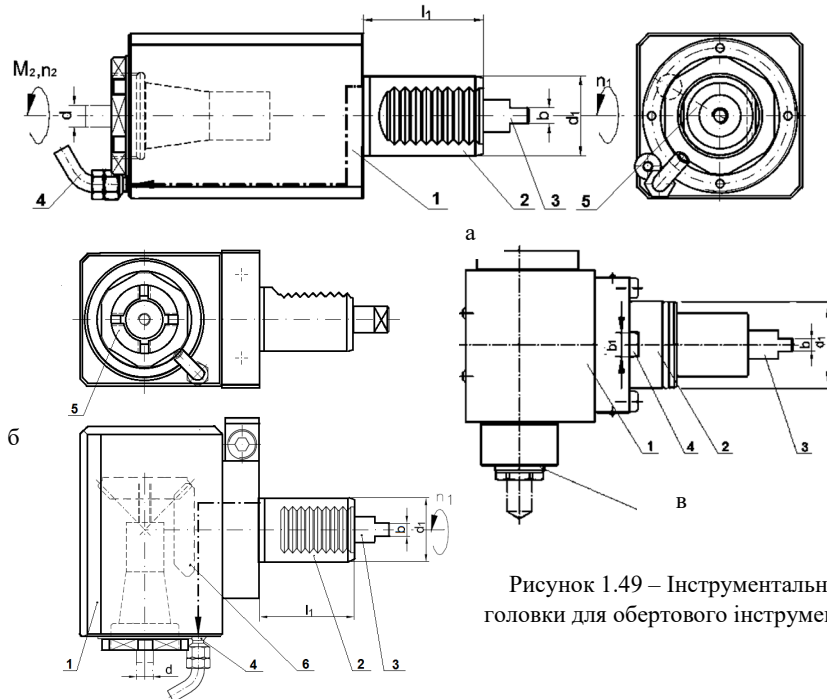


Рисунок 1.49 – Інструментальні головки для обертового інструменту

забезпечується подача охолодження в зону різання, передбаченими для цього каналами 4 (рис. 1.49, а, б).

В револьверних головках можуть застосовуватися обертові інструментальні головки з різними типами з'єднання вхідного валу головки (шпинделя) з вихідним валом револьверної головки. Найбільш поширеними є такі типи з'єднань:

- вхідний вал має кінець у вигляді шипа (торцевої шпонки) (DIN 1809) (рис. 1.50, а);
- вхідний вал має евольвентні зуби (шліці) (DIN 5482, DIN 5480) (рис. 1.50, б);
- вхідний вал має торцеві зуби ("ТВМ" Baruffaldi) (рис. 1.50, в).

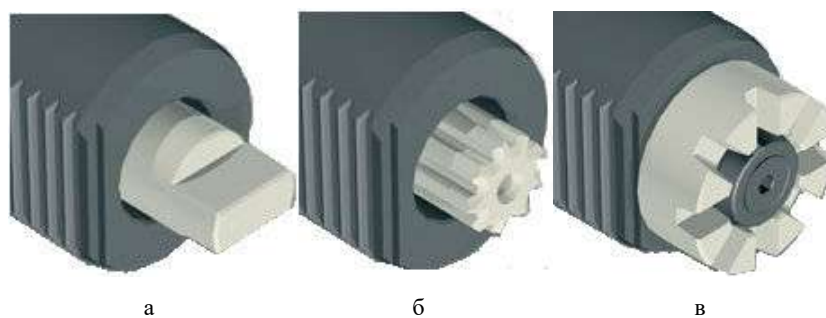


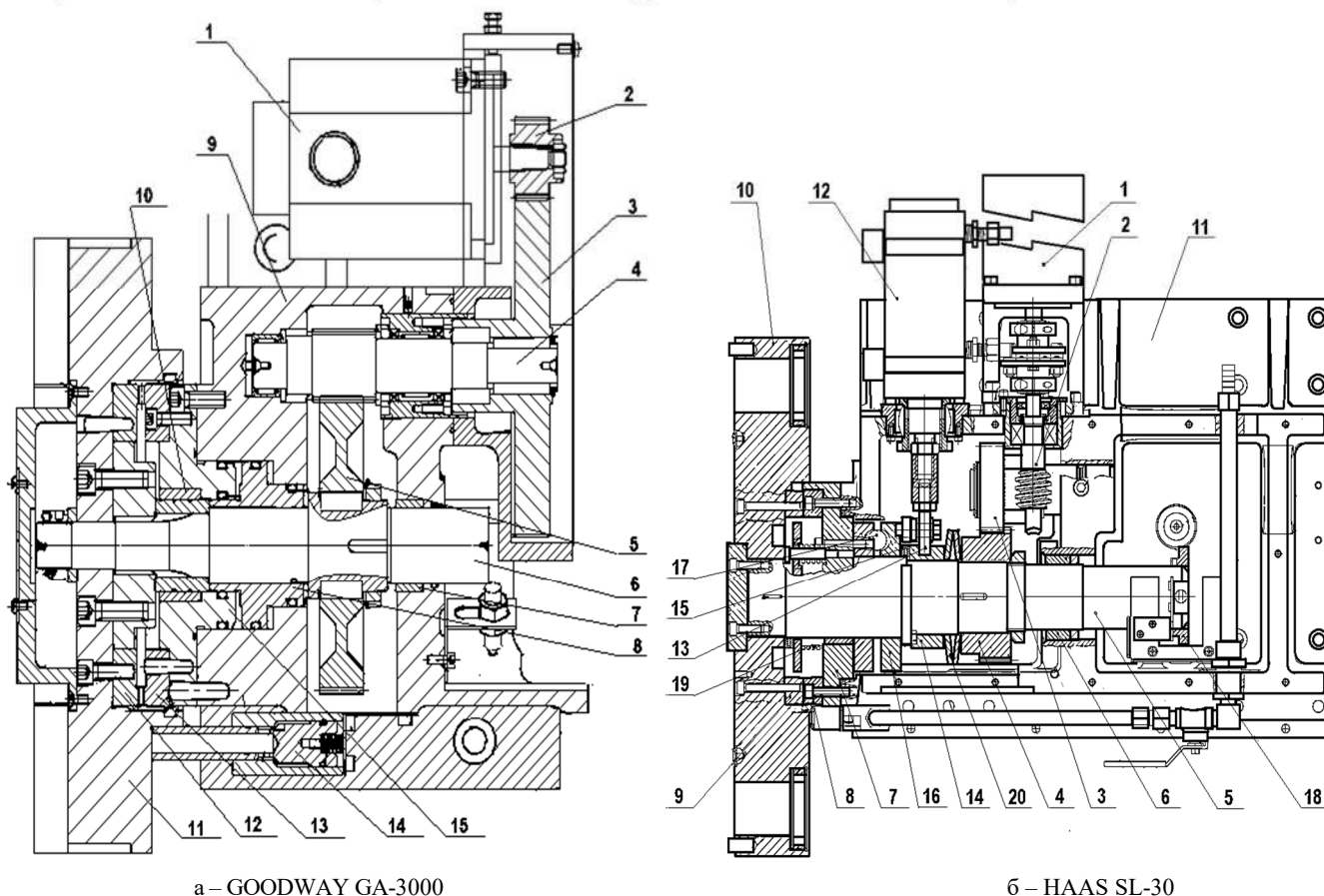
Рисунок 1.50 – Типи з'єднань інструментальних головок

Револьверні головки для нерухомого інструменту конструктивно простіші від головок з приводом для обертового інструменту. На рис.1.51, а показана револьверна головка токарного верстата з ЧПК GOODWAY GA-3000. Інструментальний диск закріплюється на вихідному валу 6 револьверної головки. Для виконання циклу зміни інструмента в праву порожнину гідроциліндра 8 подається під тиском рідина, циліндр переміщує вал 6 разом з закріпленими на ньому деталями вліво і розмикає вінці 12 і 13 зубчастої муфти, закріплені на інструментальному диску 11 і переходнику 15 корпусу головки 9 відповідно. Після розмикання муфти вмикається електродвигун 1 приводу повороту і через зубчасті колеса 2 і 3 рух передається на вал-шестірню 4 і далі через зубчасте колесо 5 на вихідний вал головки, повертаючи інструментальний диск в запрограмовану позицію, де він фіксується фіксатором 14. Вихідний вал базується на підшипниках ковзання 7 і 10, що забезпечує поступальний і обертовий рух вала. По завершенню повороту рідина подається в ліву



порожнину гідроциліндра, переміщуючи інструментальний диск в початкове положення, зубчасті вінці 12 і 13 входять в зачеплення і фіксують поворотний диск. Рідина подається в гідроциліндр під тиском 3,5 МПа.

У токарному верстаті з ЧПК HAAS використовуються револьверні головки (показані на рис. 1.51, б). Базування і закріплення інструментального диска 10 в головці здійснюється як і попередньому випадку зубчастою муфтою з зубчастими вінцями 8 і 9, закріпленими відповідно на корпусі головки і інструментальному диску. Затискання та розтискання револьверної головки здійснюється пневмоциліндром 12 через кулачок 16. Поворот інструментального диска виконується від серводвигуна 1 через черв'ячну пару 2 і зубчасті колеса 3 і 4. Контроль положення інструментального диска забезпечується датчиком 18.



а – GOODWAY GA-3000

б – HAAS SL-30

Рисунок 1.51 – Револьверна головка токарного верстата з ЧПК

В обох розглянутих головках для повороту інструментального диска він повинен виконувати поступальний рух для розкриття муфти.

В револьверних головках для обертового інструмента такий рух недоцільний через наявність механізму обертання інструмента. Револьверна головка Baruffaldi TBMR (рис. 1.52) призначена для застосування інструментальних головок VDI, які встановлюються в інструментальний диск 16. Поворот інструментального диска здійснюється від серводвигуна 4 через зубчасту пару 5, зубчасті колеса 6 і 7 і вал 23, на торці якого закріплений фланець 14 з зубчастим вінцем на внутрішньому торці. До зовнішнього торця фланця через перехідник 15 прикріплено інструментальний диск 16. В робочому стані зуби півмуфти 12 заходять в западини зубів на торці фланця 14 і півмуфти 13, яка закріплена на корпусі револьверної головки, і забезпечують жорстку фіксацію інструментального диска. Для повороту інструментального диску шток 2 пневмоциліндра пальцем 3 повертає диск 10 з роликами 11, які котяться по криволінійній поверхні півмуфти 12, під дією пружин 17 півмуфта відходить вправо, звільняючи фланець з інструментальним диском. Після виконання повороту диска в потрібну позицію, шток переміщується в зворотному напрямку і ролики, дією на профіль півмуфти 12, замикають муфту, фіксуючи інструментальний диск. Зусилля затискання забезпечується дисковою пружиною 8. Для забезпечення зачеплення кулачків вихідного вала 30 головки з кулачками інструментальної оправки, що вводиться в дію, вал 30, під час циклу повороту інструментального диска, відводиться назад гідроциліндром 34 і по завершенні циклу повертається в початкове положення.

Привід обертання вихідного вала револьверної головки здійснюється від серводвигуна (на рис. не показаний) зубчастою пасовою передачею зі шківом 18 на вал 21 і далі конічними зубчастими колесами 27 і 29.

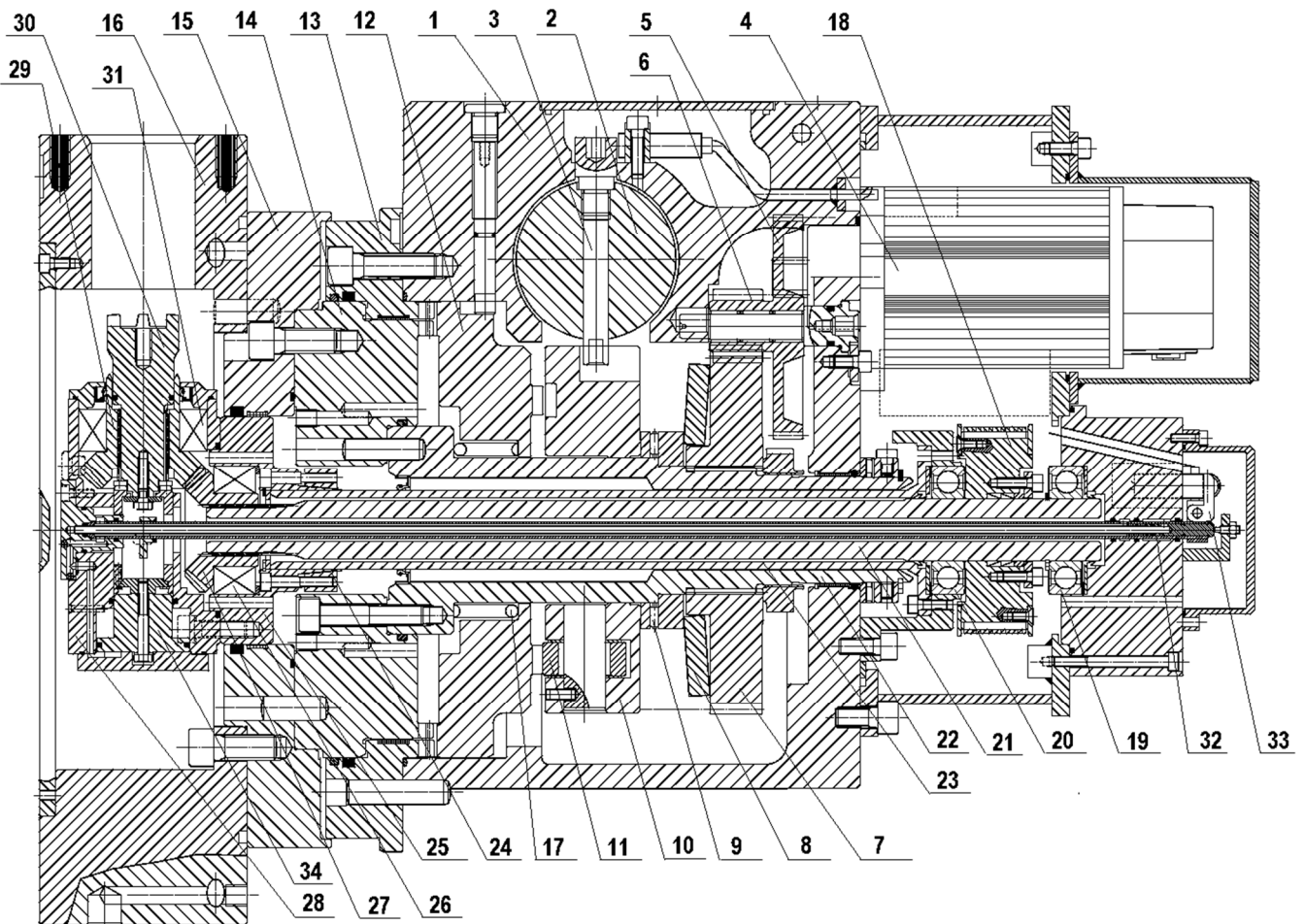


Рисунок 1.52 – Револьверна головка Baruffaldi TBMR для оправок VDI

В револьверній головці (рис. 1.53), що встановлюється на токарному верстаті з ЧПК PUMA 2100M, використовуються інструментальні головки ВМТ. Револьверна головка оснащується крім приводу обертання головки також приводом обертання інструмента, який складається з асинхронного регульованого електродвигуна (рис. 1.53, поз.14) потужністю 5,5 кВт (режим S3 – 60%), пасової зубчастої передачі 13, привідного вала 6, конічної зубчастої передачі з колесами 9 і 10 та вихідного валу 11.

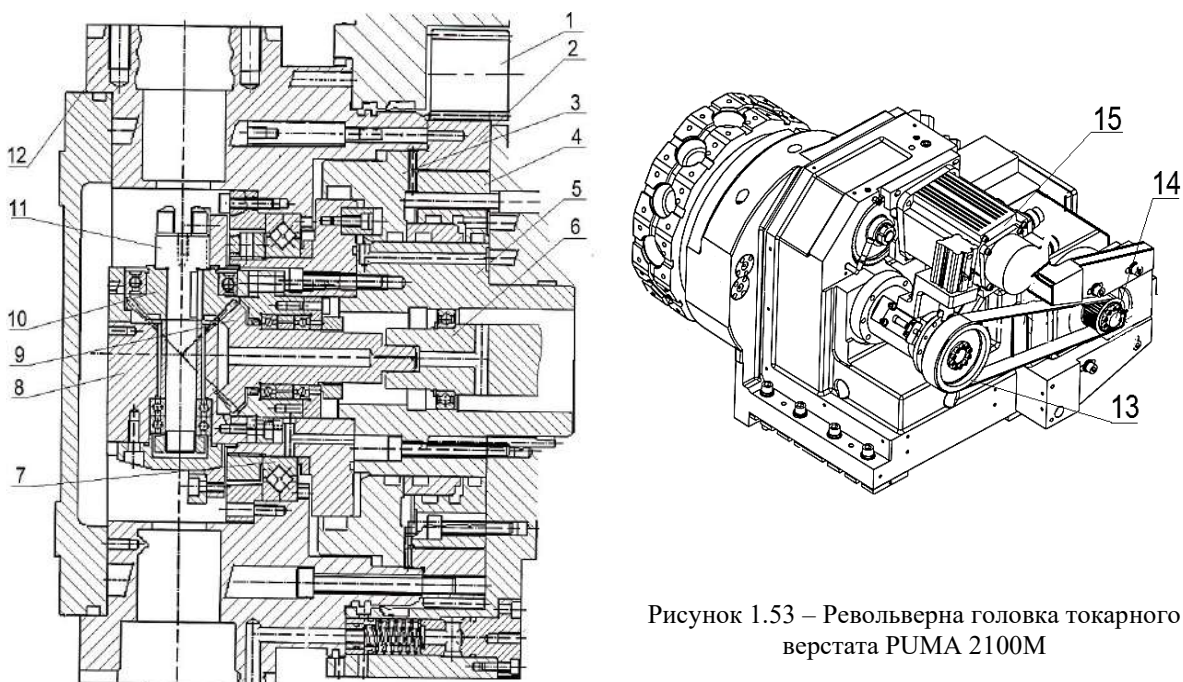


Рисунок 1.53 – Револьверна головка токарного верстата PUMA 2100M

Поворот корпусу 12 револьверної головки здійснюється від електродвигуна 15 через зубчасті колеса 1 і 2. Колесо 2 з'єднано з поворотним корпусом, установленим на хрестово-роликовому підшипнику 7. Для виконання повороту масло подається в гідроциліндр, поршень якого переміщується вліво, розмикаючи муфту з торцевим зубом. Муфта включає в себе три зубчасті вінці: один нарізаний на торці поршня 3, другий на торці зубчастого колеса 2, а третій на торці півмуфти 4, закріпленої на корпусі револьверної головки. Після виконання повороту головки в потрібну позицію масло від гідросистеми подається в ліву порожнину гідроциліндра, переміщуючи поршень. Зубці на торці поршня входять в зачеплення з торцевими зубцями колеса 2 і півмуфти 4, фіксуючи поворотний корпус.

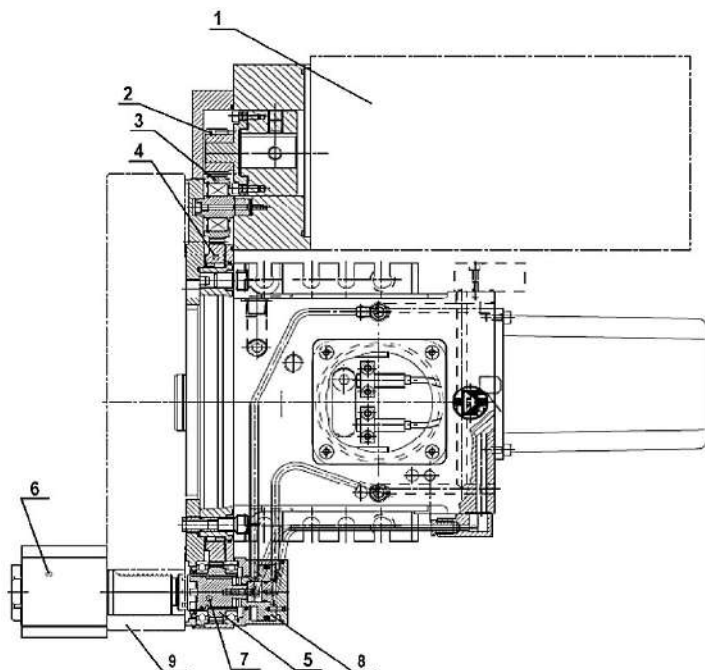


Рисунок 1.54 - Револьверна головка Varuffaldi TBMA

Для виконання повороту інструментального диска поршень гідроциліндра 1 відходить вправо, розмикаючи муфту 11 фіксації інструментального диска. Вмиканням муфти 6 вліво забезпечується передавання руху з привідного вала на зубчасте колесо 7, з якого рух передається на колесо 8 і далі зубчастою передачею 9 і 10 обертання передається на інструментальний диск. Після встановлення інструментального диска в потрібну позицію поршень гідроциліндра 1 виконує фіксацію диска.

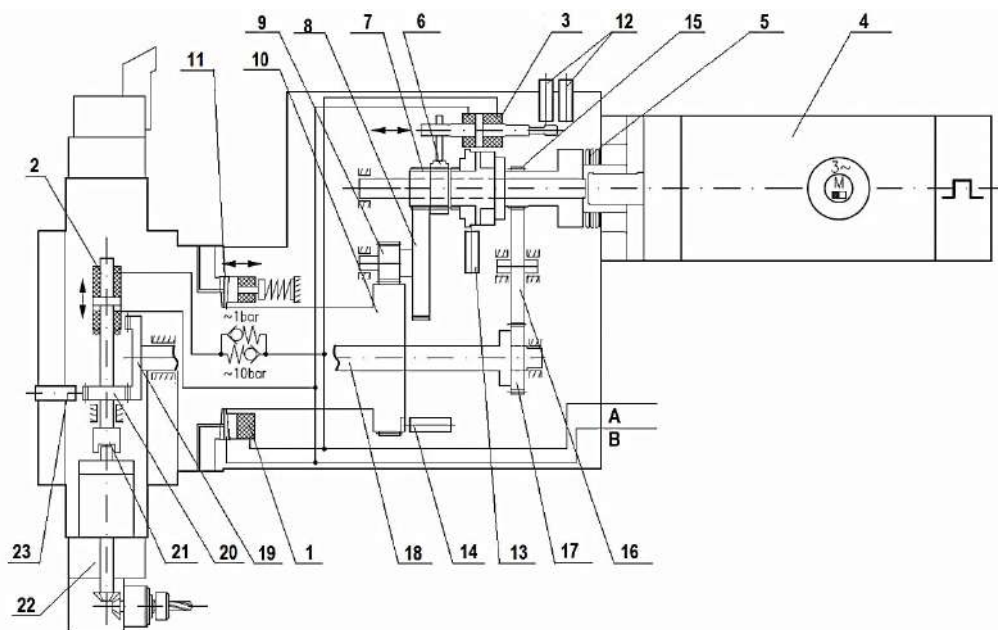


Рисунок 1.55 – Схема револьверної головки Sauter мод. 0.5.450

В револьверній головці з осьовим приводом інструменту Varuffaldi TBMA рис. 1.54 застосовуються інструментальні головки VDI. Привід обертання інструмента здійснюється зовнішнім ланцюгом: від електродвигуна 1 зубчастими колесами 2, 3, 4 і 5 рух передається на вихідний вал 6 інструментальної головки. Передача руху з вихідного вала на вхідний вал інструментальної головки відбувається в разі замикання муфти 7 під дією гідроциліндра 8. Під час циклу повороту диска 9 муфта розмикається.

Деякі виробники, зокрема Duplomatic (мод. SM-B), Sauter (мод. 0.5.450.), випускають револьверні головки з одним приводним електродвигуном, спільним для обертання інструментального диска і обертання інструмента. На рис. 1.55 наведена схема такої револьверної головки. Електродвигун 4, в залежності від положення муфти 6, що перемикається гідроциліндром 3, може забезпечувати поворот інструментального диска револьверної головки в потрібну позицію або

Обертання інструментального шпинделя здійснюється в разі замикання муфти 6 вправо. Від привідного валу рух зубчастими колесами 15, 16 і 17 передається на 18 вал револьверної головки, з якого зубчастою передачею 19 і 20 передається на вихідний вал головки. На кінці вихідного вала знаходиться муфта 21, яка передає оберти на вхідний вал 22 інструментальної головки. Рух на інструментальну головку забезпечується лише в робочій позиції, тому для забезпечення вільного повороту інструментального диска, муфта 21 відводиться вгору гідроциліндром 2, розмикаючи ланцюг між револьверною головкою і інструментальною головкою. Контроль положення муфти 21 здійснюється датчиком 23.

Типорозмір револьверної головки вибирається виходячи з величини та напрямку дії навантаження

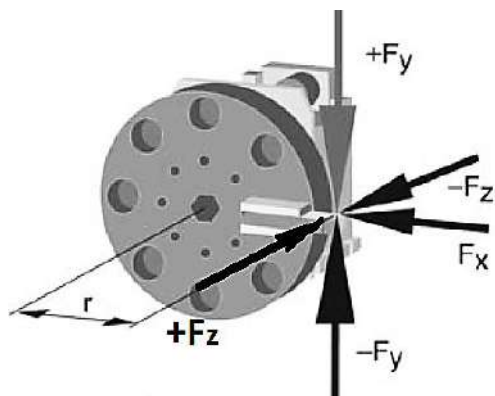


Рисунок 1.56 – Схема дії сил на револьверну головку

(рис. 1.56), відстанню  $r$  прикладення діючих сил, характеру виконуваних операцій, потрібної частоти обертання інструмента, в разі застосування обертового інструменту, та потужності приводу. Для револьверних головок задають величини тангенціальних сил  $+F_y$  та  $-F_y$ , осьових сил  $+F_z$  та  $-F_z$  та радіальну силу  $+F_x$  (система координат для верстатів з ЧПК). Допустимі значення тангенціальних сил в обох напрямках, як правило, однакові, а допустимі значення осьових сил різні. Допустимі навантаження в напрямку  $+F_z$  більші ніж в протилежному напрямку, що зумовлено конструктивними особливостями револьверних головок.

### 1.3.3 Пристрої автоматичної заміни інструмента в верстатах з ЧПК

Процес автоматичної заміни інструмента (АЗІ) в верстатах з ЧПК та багатоцільових верстатах покликаний забезпечити підвищення продуктивності обробки деталей, безпечні умови роботи оператора та поліпшену екологію. В процесі автоматичної заміни інструмент може вибиратися послідовно протягом всього циклу обробки, як це здійснюється в традиційних автоматах та напівавтоматах, але з розширенням номенклатури оброблюваних деталей та зростанням кількості інструментів, що використовуються на верстаті, такий спосіб заміни інструменту збільшуватиме час, що витрачається на пошук та заміну, а це призведе до зниження продуктивності обробки. В багатоцільових верстатах застосовуються пристрої АЗІ, що забезпечують вибір інструмента за будь-якого його положення в накопичувачі.

Пристрої АЗІ в багатоцільових верстатах можуть виконуватися з накопичувачами у вигляді револьверних головок різних типів та інструментальних магазинів: дискових, барабанних, ланцюгових та комбінованих.

Револьверні головки забезпечують зберігання порівняно невеликої кількості інструментів, до 12 інколи 16 інструментів, але з використанням головок скорочується час на заміну інструмента. Револьверні головки будують з осьовим (вісь інструмента паралельна осі головки), радіальним (вісь інструмента перпендикулярна осі головки) та похилим (вісь інструмента під кутом до револьверної головки) виконанням. В револьверних головках токарних багатоцільових верстатів в гніздах інструментального диска встановлюються інструментальні оправки або інструментальні головки. В інструментальних головках для обертового інструменту шпиндель інструменту є складовою частиною інструментальної головки. Такі головки розглядаються в розділі в попередніх підпунктах. В револьверних головках багатоцільових верстатів фрезерно-свердлильного типу в гнізда головки монтуються шпинделі інструментів (рис. 1.57). Кількість позицій в таких головках знаходиться в межах від 4 до 8, інколи 12 позицій. Головки можуть встановлюватися на верстаті в довільному положенні: горизонтальному, вертикальному чи похилому. В деяких випадках позиції револьверної головки оснащують багатоінструментальними шпиндельними насадками, що, зокрема, доцільно в умовах багатосерійного чи масового виробництва на багатопозиційних верстатах-автоматах та верстатних лініях. Використання револьверних головок характеризується малими витратами часу на заміну інструмента.

Пристрої АЗІ з інструментальними магазинами забезпечують зберігання великої кількості інструментів. В деяких верстатах ємність інструментального магазину складає 120 і більше інструментів. Розміри інструментального магазину безпосередньо залежать від його ємності і діаметра інструмента, що встановлюється в ньому. Тому часто з метою збільшення ємності інструментального магазину обмежують розміри інструмента. В разі кодування гнізд інструментальних магазинів діаметр окремого інструмента може бути збільшений за умови пропускання сусідніх гнізд магазину. З використанням пристроїв АЗІ з

інструментальними магазинами збільшується час на зміну інструмента в порівнянні з револьверними головками і збільшується площа, що потрібна під верстат.

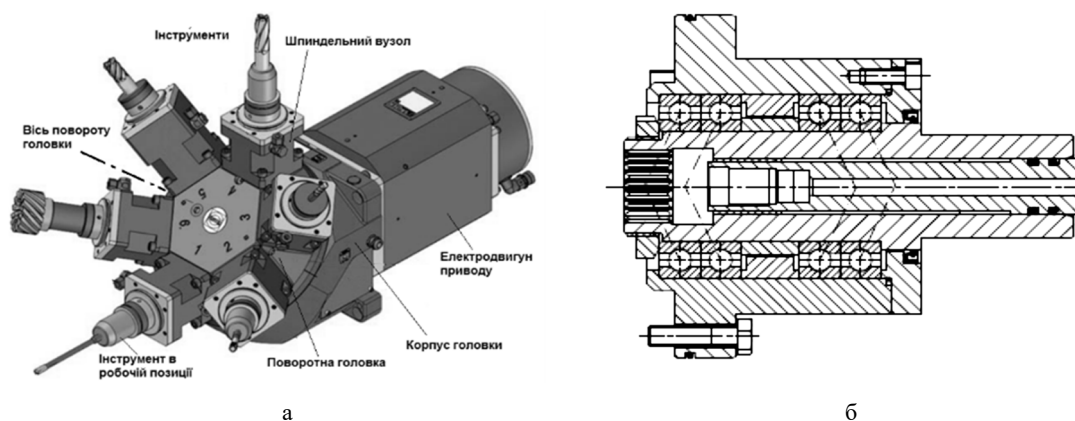


Рисунок 1.57 – Револьверна головка типу корони “Sauter”: а – загальний вигляд; б – шпиндельний вузол

Пристрої АЗІ можуть виконуватися з автооператором, який здійснює обмін інструментів між шпинделем і магазином, та без автооператора за системою PICK-UP. Пристрої АЗІ з дисковими та барабанними (рис. 1.58) інструментальними магазинами застосовуються в разі використання відносно невеликої кількості інструментів. Інструментальні магазини таких пристроїв будуються з ємністю від 12 до 30 - 40 інструментів, в деяких випадках до 48. Вони можуть бути побудовані як за системою PICK-UP (рис. 1.58, а), та і використанням автооператорів (рис. 1.58, б). Компанія DMG MORI на своїх верстатах DMU P/FD як опцію пропонує дисковий інструментальний магазин (рис. 1.58, в), який містить в собі декілька дисків, ємністю на 243 інструменти.

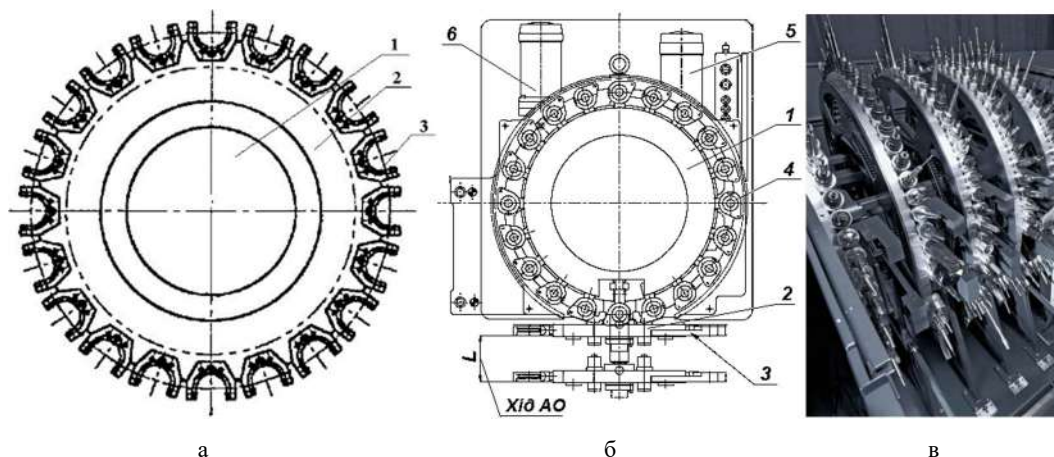


Рисунок 1.58 - Пристрої автоматичної заміни інструмента: а - з дисковим магазином *TM* компанії COLOMBO FILIPPETTI; б - з барабанним магазином *ATC* компанії PRAGATI; в - з дисковим інструментальним магазином ємністю до 243 інструментів верстатів DMU P/FD and DMC U/FD Portal Series

В разі використання на верстаті великої кількості інструментів застосовуються пристрої АЗІ з ланцюговими інструментальними магазинами, ємність яких складає в верстатах стандартної комплектації до 60 – 80 інструментів, а як опція може бути до 120 іноді до 180 інструментів. Пристрої АЗІ з ланцюговими магазинами, як і пристрої з дисковими магазинами, будуються як за системою PICK-UP, так і з використанням автооператорів (рис. 1.59).

Форма ланцюгового інструментального магазину може бути різноманітною, виходячи з ємності магазину та зручності його розташування, експлуатації та обслуговування. На рис. 1.60 наведено приклад ланцюгового інструментального магазину подвійного типу верстата HURON KX 100 на 100 інструментів.

Зміна інструментів в пристроях АЗІ з інструментальними магазинами, побудованих за системою PICK-UP, здійснюється за рахунок рухів шпиндельного вузла і інструментального магазину. Процес заміни відбувається за таким алгоритмом:

- шпиндельний вузол з інструментом, що відпрацював, переміщується до позиції заміни інструментального магазину;
- рухом шпинделя вниз інструмент встановлюється в пружні захвати 3 (рис. 1.58, а);

- пристрій закріплення інструменту в шпинделі звільняє інструмент;
- шпиндель рухається вгору, залишаючи інструмент в захватах магазину;
- диск 2 чи ланцюг переміщує в позицію перевантаження новий інструмент;
- шпиндель рухається вниз, захватує і затискає інструмент;
- шпиндель піднімається вгору, виймаючи новий інструмент з пружних захватів магазину.

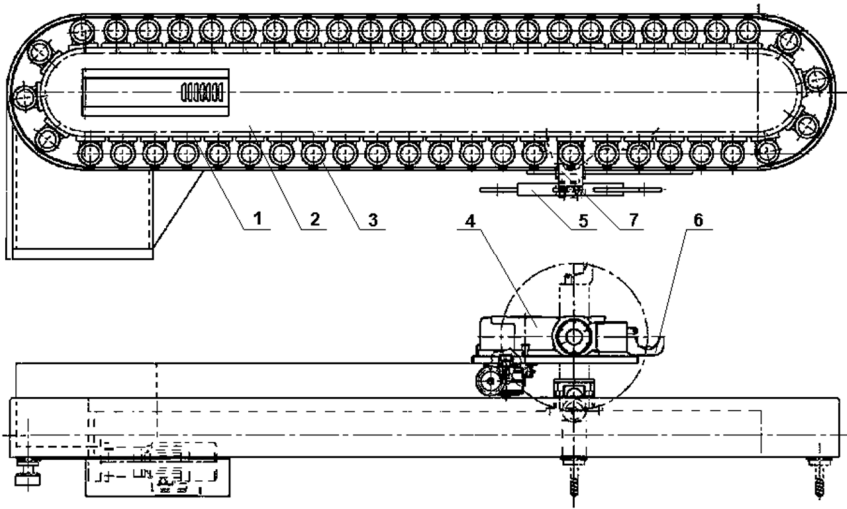


Рисунок 1.59 – Пристрій АЗІ СТА компанії COLOMBO FILIPPETTI з ланцюговим інструментальним магазином і автооператором: 1 – інструментальний ланцюг, 2 – корпус, 3 – інструментальне гніздо, 4 – привід автооператора (АО), 5 – рука АО, 6 – захват АО, 7 – позиція перевантаження

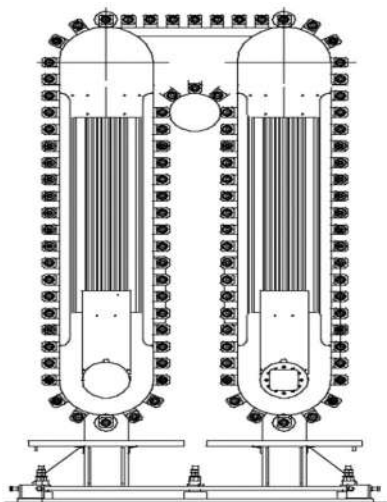


Рисунок 1.60 - Ланцюговий інструментальний магазин верстата HURON KX 100

В пристроях АЗІ з інструментальним магазином та автооператором обмін інструментів між шпинделем верстата та магазином відбувається за допомогою одного чи двох автооператорів.

Рука автооператора 2 пристрою АЗІ (рис. 1.58, б) оснащена двома захватними пристроями 3 для утримання інструменту. Заміна інструмента в такому пристрої АЗІ здійснюється у відповідності з циклограмою рис. 1.61.

Час виконання окремих дій:

- $t_1$  – час повороту інструментального магазину між двома сусідніми позиціями;
- $t_2$  – час нахилу гільзи з обраним інструментом;
- $t_3$  – поворот руки автооператора і захоплення інструмента;
- $t_4$  – час виймання інструмента;
- $t_5$  – поворот руки автооператора для заміни інструмента;
- $t_6$  – час встановлення інструмента;
- $t_7$  – поворот руки автооператора в початкове положення;
- $t_8$  – встановлення інструмента в магазин.

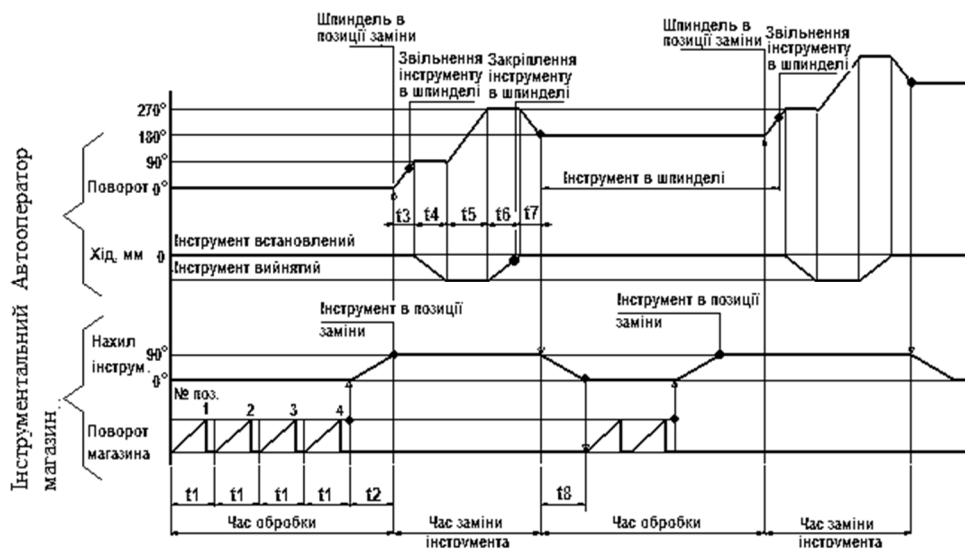


Рисунок 1.61 – Циклограма роботи пристрою АЗІ з інструментальним магазином та автооператором

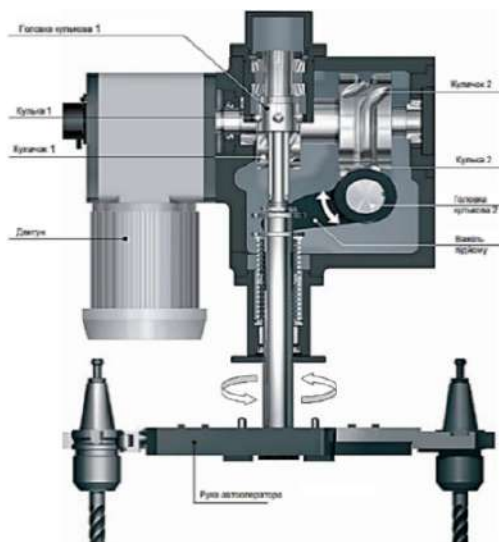


Рисунок 1.62 – Автооператор з кулачковим приводом

Після встановлення інструмента, що відпрацював, в відповідне гніздо інструментального магазину виконується пошук інструмента, потрібного для виконання наступного переходу. Цей рух інструментального магазину співпадає з процесом обробки деталі на верстаті, тому не впливає на продуктивність обробки.

Автооператор моделі МТС корпорації PASCAL, що застосовується в пристроях АЗІ багатоцільових верстатів наведений на рис. 1.62. Рухи руки автооператора виконуються від одного електродвигуна, який через редуктор обертає вал з двома кулачками. Кулачок 1 через кулькову головку 1 забезпечує повороти руки автооператора, а кулачок 2 через кулькову головку 2 та важіль підйому здійснює поступальне переміщення осі руки автооператора. Використання кулачково-кулькових передач в конструкції автооператора забезпечує більшу швидкість рухів, знижує втрати на тертя, підвищує довговічність механізмів.

## РОЗДІЛ 2. Конструкція багатоцільових верстатів та їх вузлів

### 2.1 Багатоцільові верстати для обробки корпусних та складного профілю деталей

#### 2.1.1 Вертикальний фрезерний верстат з ЧПК MCV 2418

Фрезерний верстат з ЧПК MCV 2418 побудований за компонованням вертикального безконсольного фрезерного верстата (рис. 2.1). Заготовка, установлена на столі 3 здійснює рухи за двома осями: переміщення стола напрямними каретки, вісь X, та переміщення каретки 2 напрямними станини 1, вісь Y. Фрезерна головка 5 з інструментом отримує рух від кулькового гвинта 6 вертикальними напрямними стойки 4 – вісь Z. Наявність пристрою автоматичної зміни інструмента, який складається з дискового магазину 9 та автоопераора 8, забезпечує обробку заготовок в автоматичному циклі з застосуванням різних інструментів. Верстат закритий огорожею 12, в якій в робочій зоні передбачені двері 11. На передній панелі огорожі встановлений пульт числового програмного керування 10. Для видалення стружки з зони обробки використовується конвеєр 13.

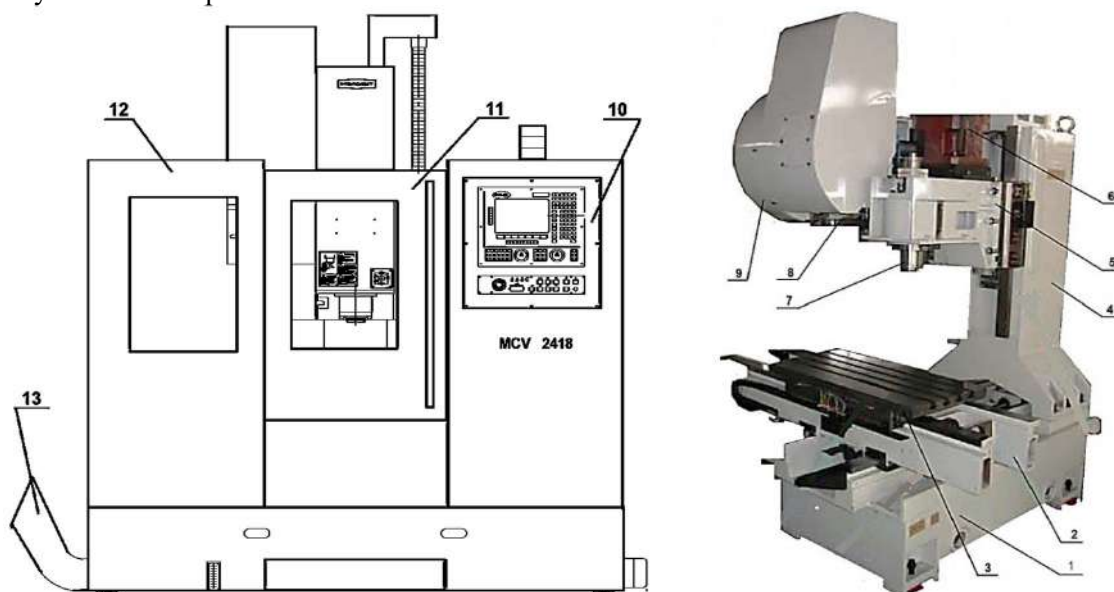


Рисунок 2.1 – Вертикальний фрезерний верстат з ЧПК MCV 2418

На верстаті можна виконувати фрезерні операції, свердління, зенкерування, розгортання отворів, розточування отворів в деталях складної форми. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика верстата MCV 2418

| Параметр                               | Розмірність       | Значення  |
|--|-------------------|-----------|
| Розміри стола В×L                      | мм                | 363.5×762 |
| Допустиме навантаження на стіл         | кг                | 350       |
| Величини переміщень за осями X         | мм                | 610       |
| Y                                      | мм                | 455       |
| Z                                      | мм                | 520       |
| Швидкий хід за осями X, Y, Z           | мм/хв.            | 24000     |
| Швидкість подачі при фрезеруванні      | мм/хв.            | ≤10000    |
| Точність позиціонування                | мм                | 0,005     |
| Повторюваність                         | мм                | 0,004     |
| Максимальна частота обертання шпинделя | хв. <sup>-1</sup> | 10000     |
| Потужність двигуна головного руху      | кВт               | 7,5       |
| Передній кінець шпинделя               | конус 7/24        | № 40      |
| Ємність інструментального магазину     | шт.               | 16        |
| Найбільший діаметр інструмента         | мм                | 90/130*   |
| Найбільша довжина інструмента          | мм                | 220       |
| Найбільша вага інструмента             | кг                | 7         |

Розмір позначений \* допускається з пропуском сусідніх позицій.



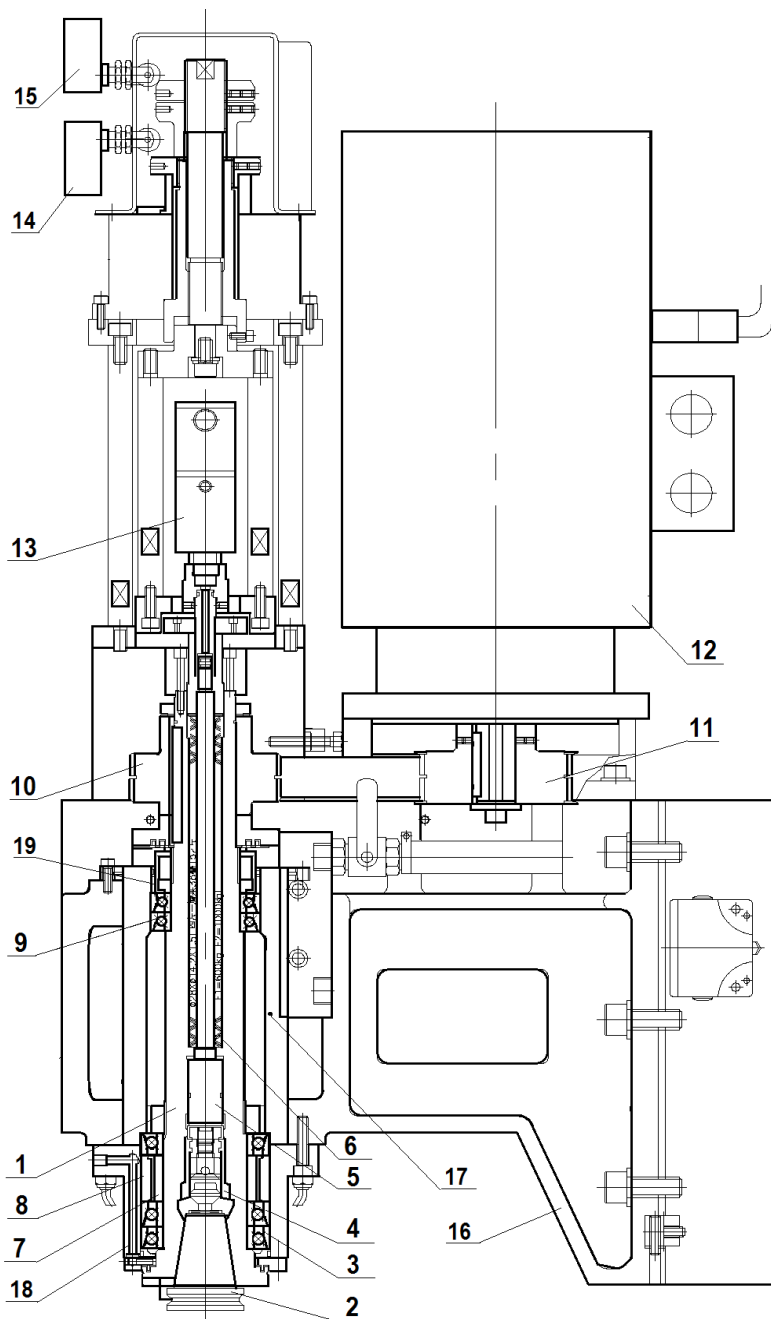


Рисунок 2.2 – Шпиндельний вузол верстата MCV 2418

здійснюється кінцевими датчиками 14 і 15.

Подача мастильно-охолоджуючих середовищ до зони різання може здійснюватися через центр шпинделя і інструментальної оправки в разі використання оправок форми AD DIN 69871 або через канал в корпусі передньої опори 18 і фланець оправки 2, якщо використовуються оправки форми AD+B DIN 69871.

Рух за усіма лінійними осями здійснюється кульковими гвинтами безпосередньо з'єднаними з привідними електродвигунами. Переміщення виконавчих органів: стола, каретки та фрезерної головки виконується напрямними ковзання. Мащення ходових гвинтів і напрямних здійснюється від автоматичного мастильного пристрою, який забезпечує періодичну подачу мастила на поверхні тертя.

Обертання шпинделя з інструментом, встановленого на каретці 16 (рис. 2.2) здійснюється від асинхронного регульованого електродвигуна 12 через зубчасту пасову передачу зі шківками 11 і 10.

Шпиндель 1 установлений в гільзі 17 на радіально-упорних підшипниках. В передній опорі встановлені три підшипники поз. 3 за схемою триплекстандем, які сприймають радіальне і осьове навантаження, а в задній опорі два підшипники поз. 9, встановлені за схемою «тандем», сприймають радіальне навантаження. Підшипники опор змонтовані з попереднім натягом, величина якого в передній опорі забезпечується різницею довжин дистанційних втулок 7 і 8, а в задній опорі втулкою 19.

Закріплення інструментальних оправок ISO40 в шпинделі здійснюється захватами 4, закріпленими на тязі 5, під дією зусилля, що розвивається пакетом тарілчастих пружин 6. Розкріплення здійснюється гідроциліндром 13, який стискає пакет пружин, тяга переміщує захвати до фасонної розточки в шпинделі і, діючи на торець інструментальної оправки, виштовхує її зі шпинделя для заміни. Контроль стану захватного пристрою

### 2.1.2 Багатоцільовий п'яти координатний верстат Picomax® 825 Versa.

Верстат PICOMAX 825 VERSA (рис. 2.2) призначений для забезпечення оптимальної 5-осьової обробки складних деталей, потужної обробки важкооброблюваних матеріалів і для динамічного фрезерування з високою швидкістю.

Двокоординатний похило - поворотний стіл вбудований в поздовжньому напрямку (вісь X) таким чином, що дозволяє виконувати операцію нахилу, незалежно від лінійних осей.



Рисунок 2.3 - Верстат PICOMAX 825 VERSA

Верстат може легко вбудовуватися в гнучкі автоматизовані виробництва та в верстатні модулі, без обмеження доступу до робочої зони.

### 2.1.2.1 Области застосування

Верстат PICOMAX 825 VERSA може застосовуватися для фрезерування складних титанових і алюмінієвих сплавів, наприклад в аерокосмічній промисловості, для обробки загартованої інструментальної сталі для виробництва прес-форм та інструментів, для обробки нержавіючих сталей в області медичної техніки і складних прецизійних деталей в загальному машинобудуванні та автомобілебудуванні.

Таблиця 2.2 -Технічна характеристика верстата

| Параметр   | Розмірність                   | Значення            |
|--|-------------------------------|---------------------|
| <b>Переміщення</b>   |                               |                     |
| X  | мм                            | 875                 |
| Y  | мм                            | 700                 |
| Z  | мм                            | 450                 |
| A  | градуси                       | -115° - +115°       |
| C  | градуси                       | 0° - 360°           |
| Точність позиціонування                                      | мм/град.                      | 0,005/0,005         |
| <b>Робоча зона</b>   |                               |                     |
| Розміри закріплення (довжина x ширина)                       | мм                            | 400 x 400 або D=560 |
| Відстань від стола до кінця шпинделя                         | мм                            | 120 - 570           |
| <b>Шпиндель</b>  |                               |                     |
| Потужність шпинделя в S6(40%ED)/S1                           | кВ                            | 24/18,5             |
| Номінальна частота обертання                                 | хв. <sup>-1</sup>             | 1920                |
| Макс. момент обертання на номінальній частоті в S6(40%ED)/S1 | Нм                            | 119,4/92            |
| Діапазон частот обертання шпинделя                           | хв. <sup>-1</sup>             | 50 - 14'000         |
|  |                               | 50 - 20'000         |
|  |                               | 50 - 30'000         |
| Передній кінець шпинделя                                     |                               | HSK-A63 DIN 69893   |
| <b>Інструментальний накопичувач</b>                          |                               |                     |
| Число гнізд інструмент                                       |                               | 44                  |
| Найбільший діаметр інструмента                               | мм                            | 130                 |
| <b>Інші дані</b>   |                               |                     |
| Діапазон подач за осями X, Y, Z                              | мм/хв.                        | 1-30'000            |
| Діапазон подач за ділильною віссю C                          | град/хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 1-21600 (60)        |
| Діапазон подач за віссю нахилу A                             | град/хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 1-10800 (30)        |
| Прискорене переміщення за осями X, Y, Z                      | мм/хв.                        | 1-48'000            |
| Система керування  | Heidenhain<br>CNC-control     | iTNC 530            |
| Розміри (ширина/глибина/висота)                              | м                             | 2.3 / 3.3 / 3.2     |
| Вага   | кг                            | 10'500              |

### 2.1.2.2 Особливості конструкції

На основі верстата змонтована портална станина та горизонтальні напрямні переміщення стола. Горизонтальними напрямними станини переміщуються полозки фрезерної головки. Справа від станини розміщений ланцюговий інструментальний магазин. Всі рухомі вузли і зона обробки закриті огорожею.

Для охолодження шпиндельного вузла верстат оснащений системою охолодження шпинделя з холодильним агрегатом. В основі верстата розміщується транспортер для видалення стружки та агрегат мастильно-охолоджуючої рідини.

Переміщення вузлів верстата (рис. 2.4) відбуваються за 5 осями: вертикальне переміщення фрезерної головки — вісь Z, подовжнє переміщення стола в горизонтальній площині — вісь X та поперечне переміщення полозків фрезерної головки — вісь Y, поворот стола навколо вертикальної осі — вісь C та нахил

стола відносно горизонтальної осі X — вісь A. Фрезерна головка розміщена на порталній станині виконаний з сірого чавуну. Верстат встановлюється на 3 точки. Для забезпечення високої геометричної точності базові поверхні станини оброблені ручним шабруванням.

У стандартній версії верстата, пристрій зміни інструменту з ланцюговим магазином розрахований на розміщення 44 інструментів максимальним діаметром до 130 мм. Автоматична зміна інструментів виконується без автооператора. Для зміни інструмента фрезерна головка переміщується вправо в позицію перевантаження, інструмент, що відпрацював встановлюється в гніздо інструментального магазину і вибирає новий інструмент.

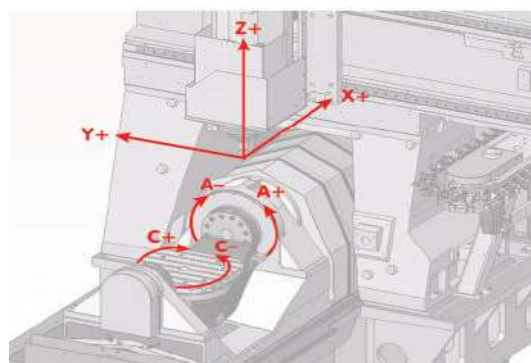


Рисунок 2.4 – Осі координат верстата

В фрезерній головці верстата владаний мотор-шпindelь FEHLMANN HSK-63 на базі синхронного регульованого електродвигуна значної потужності. В отворі шпинделя розміщений механізм закріплення інструмента. Охолодження корпусу шпindelного вузла здійснюється рідиною, що подається від спеціальної системи охолодження через холодильний агрегат. Рідина циркулює в кожусі,

встановленому на корпус шпindelного вузла.

Переміщення стола (вісь X), шпindelної бабки (вісь Z) та каретки шпindelної бабки (вісь Y) відбувається напрямними кочення. Рух вузлів здійснюється від синхронних серводвигунів HEIDENHAIN QSY 155 EcoDyn з вбудованими датчиками обертання, що вимірюють положення ротора і швидкість обертання вала. На осі Z встановлений серводвигун з вбудованим гальмом. Номінальна частота обертання вала двигуна  $3000 \text{ хв}^{-1}$ , максимальна частота –  $4200 \text{ хв}^{-1}$ . Серводвигуни з'єднані з ходовими гвинтами кулькових гвинтових передач за допомогою безззорних муфт Rotex GS. Гвинти встановлені вільним кінцем в голчастому роликпідшипнику без внутрішнього кільця RNA 4904.2RS, 25/17, а в передній опорі (біля привідного електродвигуна) – в роликів упорних з радіальним опорним компонентом підшипниках ZARF 3080-L. Контроль положення виконавчого органу за всіма лінійними осями здійснюється лінійними енкодерами з оптичними лініями HEIDENHAIN LS 483

Для зниження впливу температурних деформацій гвинтів на точність роботи верстата гайки гвинтових передач охолоджуються рідиною від системи охолодження верстата.

Контроль пошкодження різального інструменту та його діаметральних і осьових розмірів з точністю до мікрометра здійснюється лазерною системою BLUM

### 2.1.2.3 Автоматична зміна інструменту

Для зберігання та автоматичної зміни інструмента в верстаті використовується ланцюговий інструментальний магазин, встановлений на окремих опорах поряд зі станиною. Рух ланцюга здійснюється від окремого синхронного електродвигуна через планетарний редуктор та пасову зубчасту передачу. Контроль положення інструментального ланцюга для автоматичної зміни інструмента здійснюється за допомогою кругового датчика (енкодера) вбудованого в конструкцію двигуна, що контролює положення ротора і швидкість вала двигуна.

Завантаження інструментів в накопичувач можна здійснювати вручну або через шпindel. Завантаження через шпindel забезпечує точне установлення інструменту в магазині, але потребує більше часу. Ручне завантаження здійснюється з меншими витратами часу, але вимагає більше уваги і навиків для вірного встановлення інструментальної оправки в гнізді магазину. Контроль за вірністю встановлення інструменту здійснюється за допомогою оптичного датчика.

Коли шпindel верстата, ланцюговий накопичувач інструментів і всі вузли знаходяться в позиції зміни інструменту, відбувається електропневматичний керований цикл зміни інструменту:

- завантажувальна заслінка відкривається;
- фрезерна головка (вісь Y) переміщується до точки зміни інструменту;

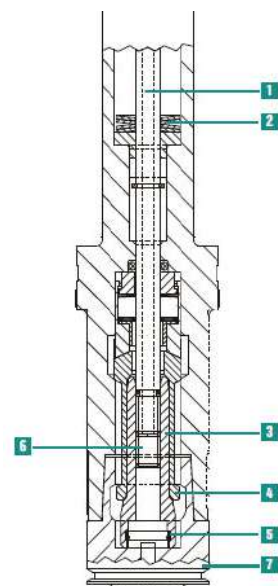


Рисунок 2.5 - Система кріплення інструмента

- 1 - привідна штанга;
- 2 - пружинний пакет;
- 3 - утримувач цанги;
- 4 - захоплювачі цанги;
- 5 - кільцеве ущільнення;
- 6 - контрвальний гвинт;
- 7 - інструментальна оправка.

- цангові захвати 4 (рис. 2.5) звільняють інструментальну оправку 7 в шпинделі;
  - шпиндельна головка верстата переміщається у верхню кінцеву позицію (вісь Z); інструмент, що виймається залишається в затискній пружині гнізда інструментального магазину;
  - двигун приводу інструментального магазину повертає магазин з необхідним для наступного робочого процесу інструментом в позицію перевантаження;
  - шпиндельна головка верстата знову переміщується вниз до позиції зміни інструменту; "новий" інструмент при цьому захоплюється в шпинделі;
  - цанговий затискач системи кріплення інструменту захоплює інструмент і штанга 1 під дією пружин 2 втягує його повністю в шпиндель;
  - фрезерна головка (вісь Y) переміщається назад в робочий простір;
  - завантажувальна заслінка знову закривається.
- Цикл зміни інструменту завершено і верстат може продовжувати обробку заготовки.

#### 2.1.2.4 Поворотно-круговий стіл

На верстаті встановлений поворотно-круговий стіл RST (рис. 2.6), що складається з поворотного моста (вісь A), на якому встановлена обертова планшайба (вісь C). Вісь A має діапазон повороту  $\pm 115$  градусів, при цьому 0 градусів є горизонтальним положенням. Вісь C може повертатися нескінченно.

В конструкції стола розміщені елементи приводів, опори та запобіжні і регулюючі елементи.

Внутрішні частини поворотно-кругового столу захищені ущільненнями і замикаючою повітряною завісою від охолоджуючої рідини і стружки.

В передній приводній опорі моста 1 (рис. 2.7) встановлений радіально-осьовий роликовий підшипник YRT200 (поз.5), а в задній опорі - радіальний дворядний роликовий підшипник NNU (з циліндричними роликами, циліндричним отвором та буртами на зовнішньому кільці) 10, чим досягається висока точність і жорсткість.

Обертовий стіл закріплений в радіально-осьовому роликовому підшипнику YRT 200 (поз. 12).

В приводі повороту моста за віссю A та обертання стола за віссю C використовуються безкаркасні моментні електродвигуни ТМВ 290 з водяним охолодженням 3 і 4 відповідно.

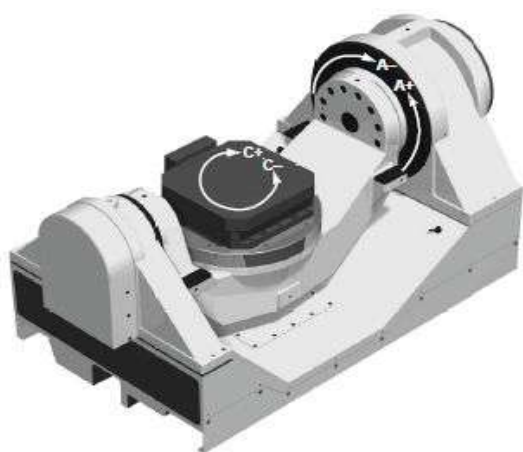


Рисунок 2.6 - Поворотно-круговий стіл

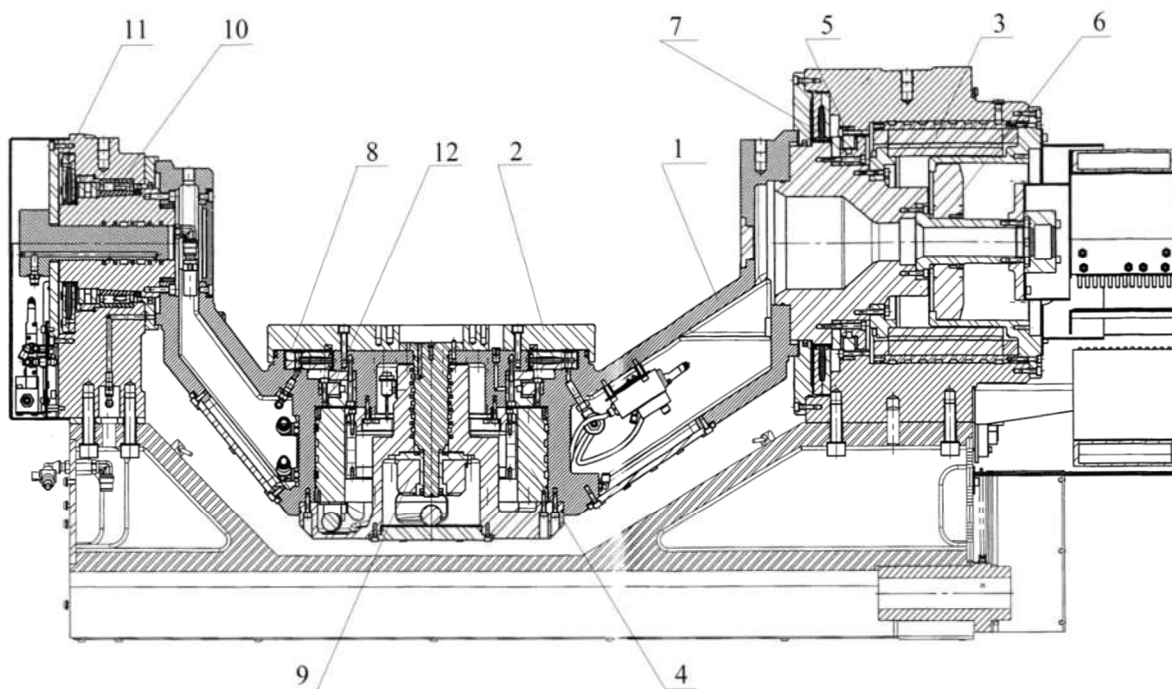


Рисунок 2.7 – Розріз поворотно-кругового стола

Поворотний і обертовий столи можуть затискатися і відпускатися незалежно один від одного за допомогою М-функцій. Поворотний міст закріплюється двома затискними елементами; в кожній опорі по одному затискному елементу 7 і 11. Затискний елемент 8 обертового стола (вісь С) безпосередньо встановлений під поворотною планшайбою 2. В конструкції стола використовуються затискні системи *RotoClamp*. В затискних системах *RotoClamp* зусилля затискання створюється пружинним акумулятором, а розтискання відбувається пневматично. Вісь А додатково затискається повітряним підпором. Затиск виконується симетрично.

Вісь С може додатково затискається також повітряним підпором.

Для розтиску затискної системи до внутрішньої камери між двома круглими мембранами з пружинної сталі подається стиснене повітря і стінки мембран вигинаються зовні, звільняючи вали. В разі припинення подачі стисненого повітря до внутрішньої камери затискної системи пружні мембрани повертаються в початковий стан, затискаючи вал. Для отримання більшого затискного зусилля стиснене повітря може подаватися до зовнішніх камер затискної системи. Зусилля закріплення зростає в такому випадку близько в 1,7 рази.

Контроль повороту моста за віссю А і повороту планшайби стола (вісь С) здійснюється за допомогою оптичних датчиків кутового положення 6 і 9. На приводному валу моста закріплений датчик переміщень RCN 729 з точністю відліку  $\pm 2''$ , а на валу планшайби стола - датчик переміщень RCN 226 з точністю відліку  $\pm 5''$ .

Корпус датчика RCN закріплюється на нерухомому елементі, а наскрізний порожнистий вал монтується на вимірюваний вал і з торцевого боку датчика закріплюється за допомогою гайки.

### 2.1.3 П'ятикоординатні фрезерні верстати Hermle C32, C42

Фрезерні верстати (рис. 2.8) забезпечують високу динаміку процесу обробки деталей масою до 1000 (1400) кг з важкооброблюваних матеріалів з високою точністю. Верстати можуть вбудовуватися в гнучкі верстатні системи.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд верстата Hermle C42

Верстат може використовуватися в інструментальному виробництві для виготовлення інструменту, штампів і прес-форм, в приладобудуванні, авіабудування, медичній промисловості та інших галузях для виготовлення деталей складної форми. Конструктивні особливості верстата забезпечують п'яти осьову обробку деталей з п'яти боків з одного встановлення з високою точністю та мінімальними витратами.

Верстат побудований за порталним компонованням. Переміщення за усіма лінійними осями (рис. 2.9, а) здійснює інструмент, а заготовка, установлена на поворотному столі 5, здійснює обертові рухи (вісь С та вісь А). На верхній площині бічних стінок порталу 1, встановлених на основі 8, розміщені лінійні напрямні 2 осі X, якими рухається каретка 3. Напрямами каретки (вісь Y) рухається супорт фрезерної головки 4, яка здійснює переміщення за віссю Z. Така конструкція верстата дає можливість виконувати завантаження

заготовки на поворотний стіл 5 зверху за допомогою вантажопідійомної техніки. Для встановлення заготовки каретка 3 відводиться назад до позиції заміни інструмента.

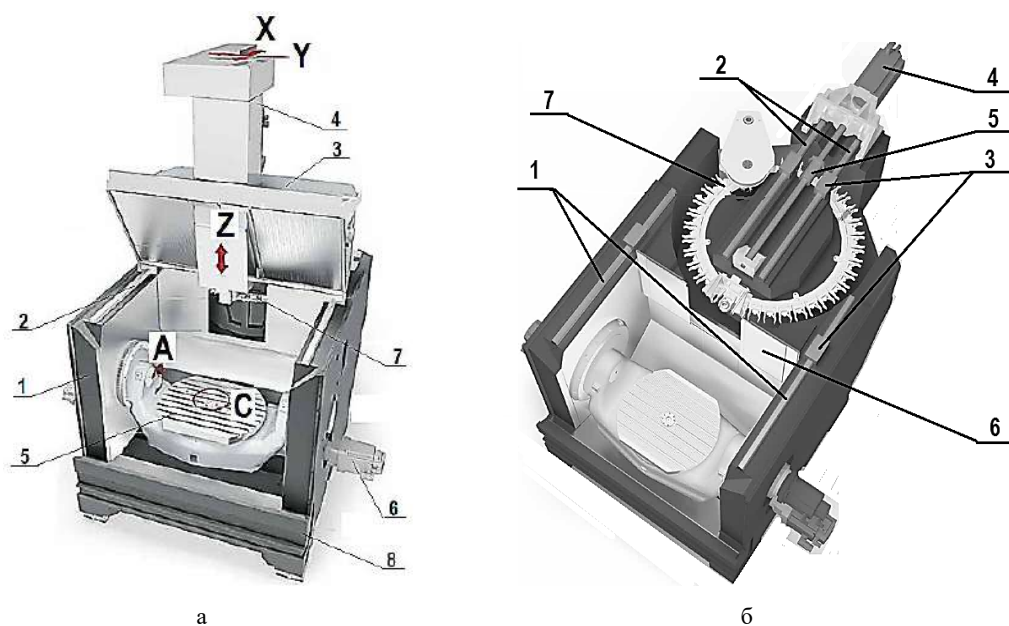


Рисунок 2.9 – Верстат Hermle C42: а - координатні осі верстата; б – розташування інструментального магазина

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика верстатів Hermle C32/C42

| Параметр                             | Розмірність | Значення                                |                    |
|--------------------------------------|-------------|---|--------------------|
|                                      |             | Hermle C32                              | Hermle C42         |
| Переміщення за осями                 |             |   |                    |
| X                                    | мм          | 650                                     | 800                |
| Y                                    | мм          | 650                                     | 800                |
| Z                                    | мм          | 500                                     | 550                |
| A                                    | град.       | ±130                                    |                    |
| C                                    | град.       | 360                                     |                    |
| Швидкість переміщень за осями        |             |   |                    |
| X                                    | м/хв.       | 45 (60)                                 |                    |
| Y                                    | м/хв.       | 45 (60)                                 |                    |
| Z                                    | м/хв.       | 40 (60)                                 |                    |
| A                                    | об/хв.      | 25                                      | 25                 |
| C                                    | об/хв.      | 30/65*                                  | 25/65*             |
| Лінійне прискорення за осями X, Y, Z |             | 6 (10)                                  | 6 (10)             |
| Поворотний стіл                      |             |   |                    |
| Діаметр поворотного стола            |             | 650                                     | 800                |
| Затискна поверхня стола              |             | 650×540                                 | 800×630            |
| Максимальне навантаження             |             | 600                                     | 850                |
| Частота обертання шпинделя           |             | 10000/15000/18000/                      | 10000/15000/18000/ |
| Передній кінець шпинделя             |             | HSK A63                                 |                    |
| Потужність двигуна шпинделя (S6/S1)  |             | 29 /20                                  |                    |
| Інструментальний магазин             |             |   |                    |
| ємність                              |             | 36                                      | 42                 |
| максимальний діаметр інструмента     |             | 80 (125)**                              |                    |
| максимальний довжина інструмента     |             | 300                                     |                    |
| час заміни інструмента               |             | 4,5                                     |                    |
| максимальна маса інструмента         |             | 8                                       |                    |
| Система керування                    |             | Heidenhain iTNC 530 /Siemens S 840 D sl |                    |

\* з приводом від моментного двигуна;

\*\* з пропуском сусідніх гнізд.

Поворотний стіл з заготовкою обертається за двома осями. Рух за віссю А може здійснюватися або від приводного двигуна 6 (рис. 2.9, а) через зубчасту передачу, або за допомогою моментного електродвигуна. Для зменшення скручування стола в процесі обробки передбачена можливість використання в приводі осі А двох електродвигунів, установлених на протилежних кінцях стола.

Каретка верстата встановлена на чотири опори кочення (поз. 3, рис. 2.9, б), по одній на кожну рейку, дві з яких (поз. 1) розміщені на несучих стінках порталу, а інші дві (поз. 2) розміщені в задній частині верстата по середині між несучими стінками. Ходовий гвинт 5 осі Х встановлений між останніми двома рейками симетрично до робочої зони, щоб уникнути виникнення моменту перекосу каретки. Рух від серводвигуна 4 на гвинт передається зубчастою пасовою передачею.

Інструментальний магазин 7 розміщується всередині станини в задній її частині і відокремлюється від робочої зони заслінкою 6. Під час виконання циклу заміни інструмента заслінка відходить, каретка зі шпиндельним вузлом переміщується в зону інструментального магазину, інструмент що відпрацював встановлюється в гніздо магазину і вибирається новий інструмент.

#### 2.1.4 П'ятикоординатний обробний центр серії Huron K2X Five

Верстати Huron K2X Five використовуються для попередньої та остаточної п'ятиосової обробки з різних боків деталей складної форми, таких як прес-форми, складні аерокосмічні компоненти, цілісні механічні частини. Верстати забезпечують високі динамічні властивості та точність, що дозволяє отримувати високу якість обробленої поверхні.

Верстат (рис. 2.10) побудований за порталним компонуванням. На жорсткій чавунній основі 6 закріплена портална станина 7, яка також виконана литвом з чавуну, з жорсткими стінками та значною кількістю ребер. Така конструкція несучої системи забезпечує високу жорсткість та демпфування коливань, що виникають в процесі обробки деталей. На горизонтальних напрямних основи напрямними кочення переміщується супорт 10 стола 11 (вісь Y). Напрямами, розміщеними на верхній площині порталу, рухається каретка 8 фрезерної головки (вісь X). Сама фрезерна головка 9 здійснює вертикальне переміщення напрямними каретки (вісь Z). Рух за всіма лінійними осями здійснюється від кулькових гвинтових передач 12 і 13 (гвинт переміщення за віссю Z не показаний) з попереднім натягом та вбудованою системою компенсації лінійних видовжень гвинтів.

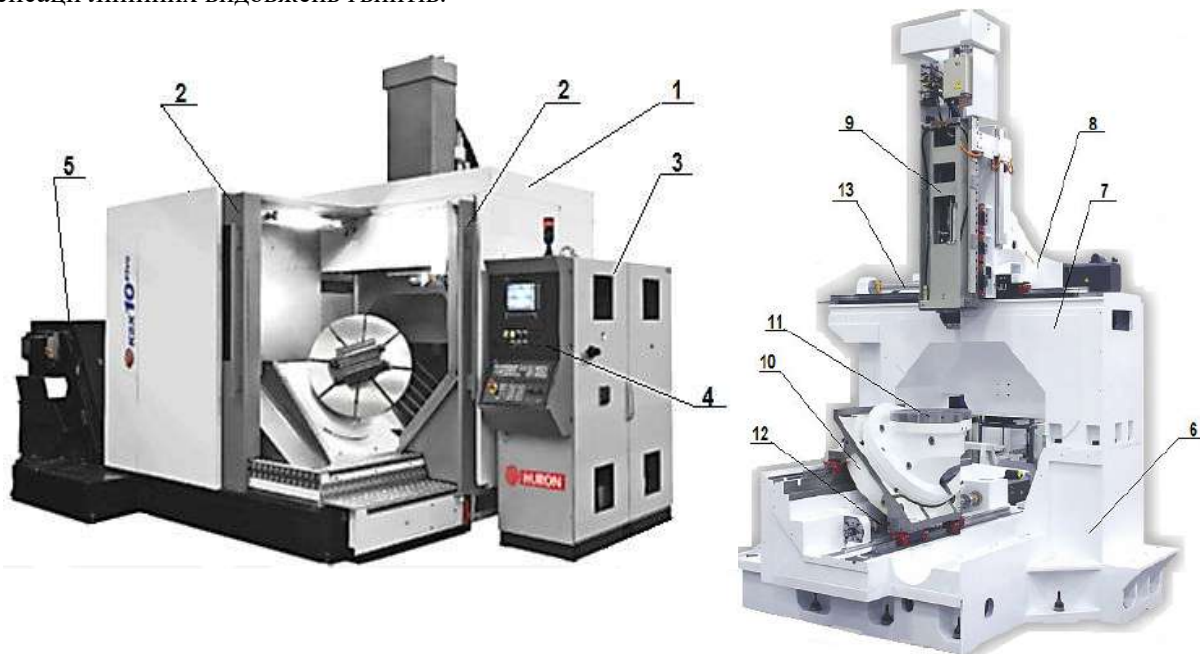


Рисунок 2.10 – П'ятикоординатний багатоцільовий верстат серії Huron K2X Five

Контроль положення за усіма лінійними осями здійснюється за допомогою вимірювання абсолютними оптичними датчиками.

Змащування гвинтів кулькових гвинтових передач і їх опор виконується автоматичною системою мащення з застосуванням пластичних мастил.

Верстат (рис. 2.10) побудований за порталним компонуванням. На жорсткій чавунній основі 6 закріплена портална станина 7, яка також виконана литвом з чавуну, з жорсткими стінками та значною кількістю ребер. Така конструкція несучої системи забезпечує високу жорсткість та демпфування коливань,

що виникають в процесі обробки деталей. На горизонтальних напрямних основи напрямними кочення переміщується супорт 10 стола 11 (вісь Y). Напрямними, розміщеними на верхній площині порталу, рухається каретка 8 фрезерної головки (вісь X). Сама фрезерна головка 9 здійснює вертикальне переміщення напрямними каретки (вісь Z).

Таблиця 2.4 - Технічна характеристика верстата Huron K2X 10 Five

| Параметр                                    | Розмірність      | Значення параметра |
|---|------------------|--------------------|
| Переміщення за лінійними осями              |                  |                    |
| X   | мм               | 900                |
| Y   | мм               | 900                |
| Z   | мм               | 500                |
| Швидкість переміщення                       | м/хв.            | 50                 |
| Прискорення за осями                        | м/с <sup>2</sup> | 5                  |
| Переміщення за поворотними осями            |                  |                    |
| A   | град.            | -45/+180           |
| C   | град.            | 360                |
| Частота обертання за поворотними осями      |                  |                    |
| A   | об/хв.           | 40                 |
| C   | об/хв.           | 90                 |
| Кут нахилу осі A                            | град.            | 45                 |
| Діаметр поворотного стола                   | мм               | 630                |
| Максимальне навантаження на стіл            | кг               | 500                |
| Максимальна частота обертання шпинделя      | об/хв.           | 24000              |
| Передній кінець шпинделя                    |                  | HSK 63-A           |
| Потужність електродвигуна                   | кВт              | 20                 |
| Номинальна частота обертання електродвигуна | об/хв.           | 6000               |
| Ємність інструментального магазину          | шт.              | 30                 |
| Найбільший діаметр інструмента              | мм               | 90                 |
| Найбільша довжина інструмента               | мм               | 300                |
| Найбільша маса інструмента                  | кг               | 8                  |

Контроль положення за усіма лінійними осями здійснюється за допомогою вимірювання абсолютними оптичними датчиками.

Змащення гвинтів кулькових гвинтових передач і їх опор виконується автоматичною системою мащення з застосуванням пластичних мастил.

В фрезерній головці вбудований високошвидкісний мотор-шпиндель з охолодженням електродвигуна рідиною від системи охолодження. Підшипники шпинделя змащуються масло-повітряним мащенням. Затиск інструмента здійснюється за допомогою пружин, розтискання – від гідроциліндра. Для захисту шпинделя використовується повітряний заслін.

Рух за обертними осями здійснює двоосьовий поворотний стіл. Корпус поворотного стола 2 (рис. 2.11, а) обертається разом з планшайбою 1 навколо осі A (рис. 2.11, б). Планшайба стола, на якій встановлюється та закріплюється деталь, обертається навколо осі C.

Ланцюговий інструментальний магазин розміщений за межами робочої зони з лівого боку верстата. Від попадання забруднення з зони обробки магазин захищений внутрішніми дверима.

Робоча зона верстата і вся конструкція закриті захисною огорожею 1 (рис. 2.10). Доступ до робочої зони для обслуговування верстат та заміни деталей забезпечується дверима 2, що розсуваються. Заготовки можуть встановлюватися збоку, а в разі потреби, і зверху за допомогою вантажопідйомного обладнання.

### Двоосьовий поворотний стіл

Стіл призначений для закріплення та забезпечення рухів заготовки, яка кріпиться на верхній площині планшайби, для чого на поверхні передбачені інструментальні T-подібні пази. Вісь корпусу поворотного стола нахилена відносно вертикалі на 45° (рис. 2.11, б). Рух планшайби 1 стола за віссю C здійснюється від моментного електродвигуна 3 з водяним охолодженням статор якого вбудовано в корпус 2 стола, а ротор закріплений на планшайбі. Для контролю за температурою двигуна в його конструкцію вбудований термодатчик. Планшайба базується в корпусі стола на упорно-радіальному роликовому підшипнику 4, який сприймає осьові, радіальні сили та перекидальні моменти. Для забезпечення фіксації планшайби в визначеному положення використовується гідравлічне гальмо 5.



Корпус стола, встановлений в упорно-радіальному роликовому підшипнику 9 через перехідний стакан на супорті 7, обертається за віссю А. Кут повороту корпусу в напрямку проти годинникової стрілки складає  $45^\circ$ , а за годинниковою стрілкою -  $180^\circ$ . Рух корпусу за віссю А здійснюється моментним електродвигуном, статор якого встановлений в стакані, а ротор закріплений на корпусі поворотного стола. Електродвигун 10, як і електродвигун 3 охолоджується водою. Для закріплення корпусу в потрібному положення застосовується гідравлічний гальмівний пристрій 8.

Для контролю за положенням планшайби стола за віссю С використовується датчик 6 куткових переміщень Heidenhain RCN 226 з точністю вимірювання  $\pm 5''$ , а положення корпусу стола контролюється оптичним безконтактним датчиком Renishaw RGH22 (поз.11) та двома індуктивними сенсорами 12.

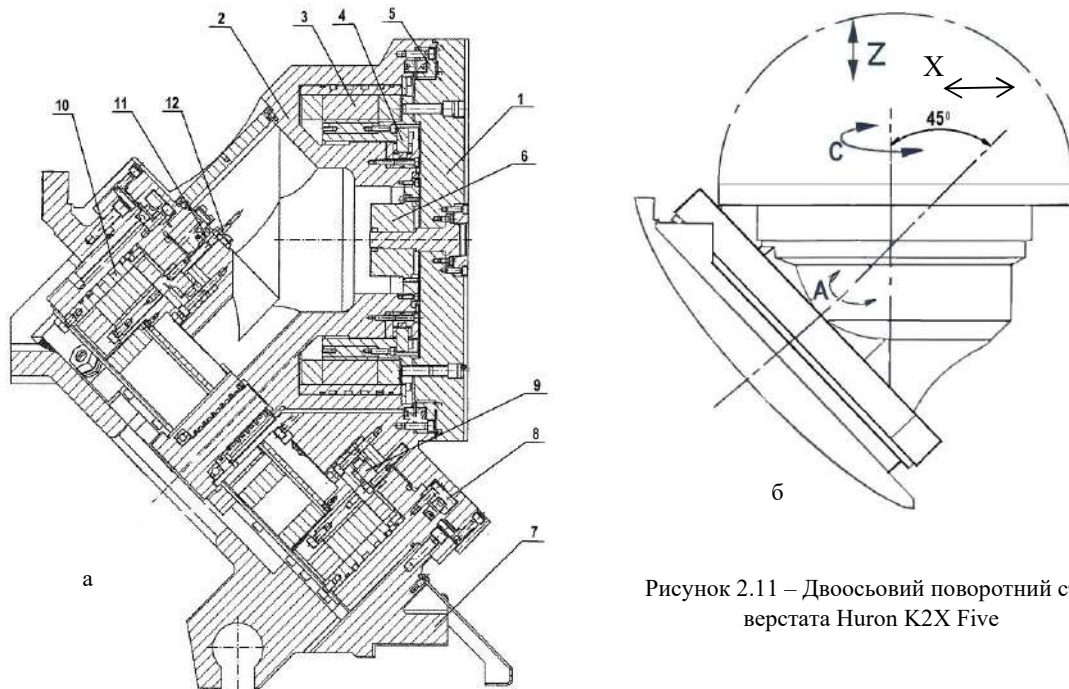


Рисунок 2.11 – Двоосьовий поворотний стіл верстата Huron K2X Five

### 2.1.5 П'ятикоординатний обробний центр серії Huron KX Large Series

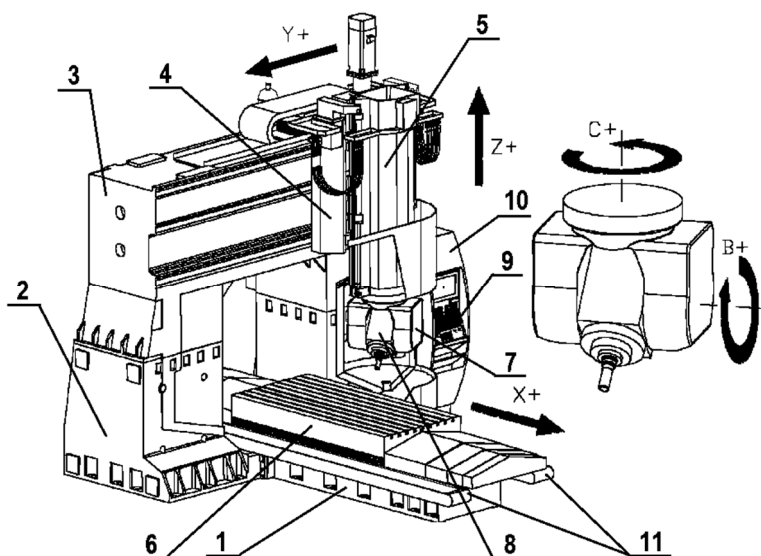


Рисунок 2.12 – Багатоцільовий верстат Huron KX Large Series

Напрямами портала переміщується каретка 4 (вісь Y), яка несе супорт 5 фрезерної головки 7, що, в свою чергу, рухається напрямними каретки (вісь Z). В поворотній частині фрезерної головки змонтований електошпindel. Фрезерна головка 7 здійснює обертовий рух стосовно вертикальної осі (вісь C), а поворотний корпус 8 зі шпинделем обертається навколо горизонтальної осі (вісь B).

Таблиця 2.5- Технічна характеристика верстата Huron KX 100

| Параметр                                    | Розмірність        | Значення параметра |
|---|--------------------|--------------------|
| Переміщення за лінійними осями              |                    |                    |
| X   | мм                 | 2300               |
| Y   | мм                 | 2300               |
| Z   | мм                 | 1000               |
| Швидкість прискореного переміщення          |                    |                    |
| Швидкість робочої подачі                    |                    |                    |
| Прискорення за осями                        |                    |                    |
| Переміщення за поворотними осями            |                    |                    |
| B   | град.              | ±95                |
| C   | град.              | ±190               |
| Частота обертання за поворотними осями      |                    |                    |
| B   | об/хв.             | 30                 |
| C   | об/хв.             | 30                 |
| Прискорення за осями за поворотними осями   |                    |                    |
| B   | рад/с <sup>2</sup> | 6                  |
| C   | рад/с <sup>2</sup> | 6                  |
| Стіл  |                    |                    |
| Довжина                                     |                    |                    |
| Ширина                                      |                    |                    |
| Допустиме навантаження                      |                    |                    |
| Максимальна частота обертання шпинделя      |                    |                    |
| Передній кінець шпинделя                    |                    |                    |
| Потужність електродвигуна S1(S6)            |                    |                    |
| Номинальна частота обертання електродвигуна |                    |                    |
| Ємність інструментального магазину          |                    |                    |
| Найбільший діаметр інструмента              |                    |                    |
| Найбільша довжина інструмента               |                    |                    |
| Найбільша маса інструмента                  |                    |                    |
| Точність                                    |                    |                    |
| Похибка позиціонування за лінійними осями   |                    |                    |
| Повторюваність за лінійними осями           |                    |                    |
| Похибка позиціонування за поворотними осями |                    |                    |
| Повторюваність за поворотними осями         |                    |                    |

Для ефективного використання верстата чорнову обробку рекомендується виконувати за 3 осями (із затиснутою голівкою), а чистову обробку за 5 осями.

Для видалення стружки з зони обробки використовуються два конвеєри 11, розміщені з обох боків стола, що подають стружку до третього поперечного конвеєра (рис. 2.13, поз.5), який знаходиться з тилового боку верстата.

Пристрій автоматичної заміни інструмента складається з ланцюгового інструментального магазину та двозахватного автооператора для обміну інструментом між магазином та шпинделем верстата. Інструментальний магазин розміщується на окремому фундаменті зліва від верстата за межами його робочої зони.

Оператор може під час виконання циклу обробки завантажувати і вивантажувати інструменти з магазину. Дверця пристрою зміни інструменту можуть відкриватися без переривання процесу обробки. Якщо запрограмована зміна інструменту, то верстат перед зміною інструменту і продовженням програми переходить в режим очікування до закриття дверця пристрою. Під час виконання циклу зміни інструменту забороняється відкривати двері пристрою зміни інструменту.

Основні технічні параметри верстата наведені в таблиці 2.5.

### 2.1.5.1 Привід переміщення стола

Основа верстата 1 (рис. 2.13) виконана литвом з сірого чавуну з великою кількістю ребер, що забезпечує високу жорсткість та динамічні властивості. Для рівномірного розподілу навантаження на фундамент та спільної роботи основи з фундаментом, основа встановлена на велику кількість опор 2. Стіл 3

рухається роликівими напрямними (рис. 2.14, поз. 8 та 10), рейки яких закріплені на основі, а каретки – на нижній площині стола. На столі встановлено 8 кареток, по 4 каретки з кожного боку по довжині стола. Напрямні рейки базуються на основі по нижній та бічній площині, притискаються до бічної опорної поверхні клинами 11, рівномірно розміщеними по всій довжині рейки та закріплюються гвинтами 12.

Переміщення стола відбувається від кулькової гвинтової передачі 4 (рис. 2.13), гвинт якої з'єднаний через муфти Rotex 14 та 15 з двома синхронними електродвигунами 1FT6 поз. 6 та 7. Застосування муфт Rotex забезпечує беззасорну передачу моменту від двигуна до ходового гвинта. Використання двох синхронних електродвигунів, встановлених на обох кінцях ходового гвинта зменшує скручування гвинта, чим підвищується точність руху стола.

В лівій опорі ходового гвинта 24 встановлені чотири радіально-упорних підшипники SNFA Group (поз. 16) з кутом контакту  $62^\circ$  за схемою TDT (подвійний тандем з парами підшипників, встановлених одна до одної спинками). В опорі застосовано важкий попередній натяг (діаметр отвору підшипника 75 мм). Підшипники на лівій цапфі гвинта закріплюються гайкою 23, яка стопориться від розгвинчування двома радіально розміщеними в гайці гвинтами.

В правій опорі встановлені три упорно-радіальні підшипники TIMKEN (поз. 17) з кутом контакту  $60^\circ$  за схемою триплекс, також з важким попереднім натягом (діам. 60мм). Положення і регулювання підшипника на цапфі гвинта визначається гайками 18 і 29.

Ходовий гвинт попередньо розтягнутий за допомогою тарілчастих пружин 30 встановлених в правій опорі ходового гвинта. Величина прикладеного до пружин зусилля регулюється фланцем попереднього навантаження 20. Натяг ходового гвинта дозволяє компенсувати його температурні деформації, що виникають під час роботи. Величину ходу стола обмежують упори 27 та 28, які встановлені на лівій та правій опорах ходового гвинта.

Напрямні, ходовий гвинт та двигуни осі X, які розміщені під столом, закриті телескопічними захисними елементами, які рухаються спільно зі столом та захищають від забруднення стружкою та рідиною.

### 2.1.5.2 Поворотна фрезерна головка

Фрезерна головка (рис. 2.15) призначена для обертання інструмента з необхідною швидкістю, що регулюється в широких межах. Крім того фрезерна головка забезпечує поворот інструмента за двома обертовими осями: вісь В та вісь С.

В поворотному корпусі головки встановлений мотор-шпиндель 1, який забезпечує регулювання частот обертання інструмента в межах 100-18000 об/хв., від мінімальної частоти до номінальної ( $n=1200$  об/хв.) регулювання здійснюється з постійним крутним моментом, а від номінальної і вище – з постійною потужністю.

Для підтримання належного температурного режиму шпиндельного вузла застосовується охолодження корпусу електрошпинделя рідиною. Температура рідини для охолодження повинна бути, як мінімум, на  $5^\circ$  нижчою за температуру оточення. Якщо температура рідини перевищить  $45^\circ\text{C}$ , верстат автоматично вимикається. Для охолодження шпиндельного вузла використовується рідина, яка містить 75% води і 25% Clariant Antifrogen L.

Змащення опор шпинделя виконується масло-повітряним мащенням.

Обертання поворотного корпусу за віссю В та вилкоподібного корпусу 8 за віссю С виконується за допомогою моментних електродвигунів. Статор 3 електродвигуна осі В закріплений у вилкоподібному корпусі, а його ротор 4 встановлений на осі поворотного корпусу фрезерної головки. Осі поворотного корпусу установлені в два хрестових роликівих підшипники (поз. 2, 7), які сприймають радіальні та осьові навантаження. Контроль положення поворотного корпусу головки виконується датчиком кутових переміщень (енкодером) RSN 226 (поз. 6), який сполучений з поворотним корпусом валом 5.

Вилкоподібний корпус монтується в супорті фрезерної головки на упорно-радіальному роликівому підшипнику YRT 395 (INA-FAG) (поз.15) та конічному роликівому підшипнику (Timkent) (поз. 16). Обертовий рух здійснюється від моментного електродвигуна 10, статор якого закріплений в супорті, а ротор розміщений на валу 9 вилкоподібного корпусу. На верхньому торці вала розташований датчик кута повороту ERA 4480 (поз. 17).

Затискання поворотного корпусу за віссю В та вилкоподібного корпусу за віссю С в разі перевищення крутного моменту в процесі чорнової обробки або в разі аварійної зупинки відбувається за допомогою гідравлічних гальмівних пристроїв. Зусилля затискання створюється гідроциліндрами 11 та 13, які діють на гальмівні елементи 12 та 14 відповідно. Гальмівний пристрій виконаний у вигляді пластин (рис.2.15, б), встановлених на нерухомий та рухомий елементи конструкції, зазор між пластинами складає 0,1 мм. При прикладенні до пластин зусилля від гідроциліндра, зазор між ними вибирається і сили тертя, що виникають, забезпечують гальмування поворотного елемента.

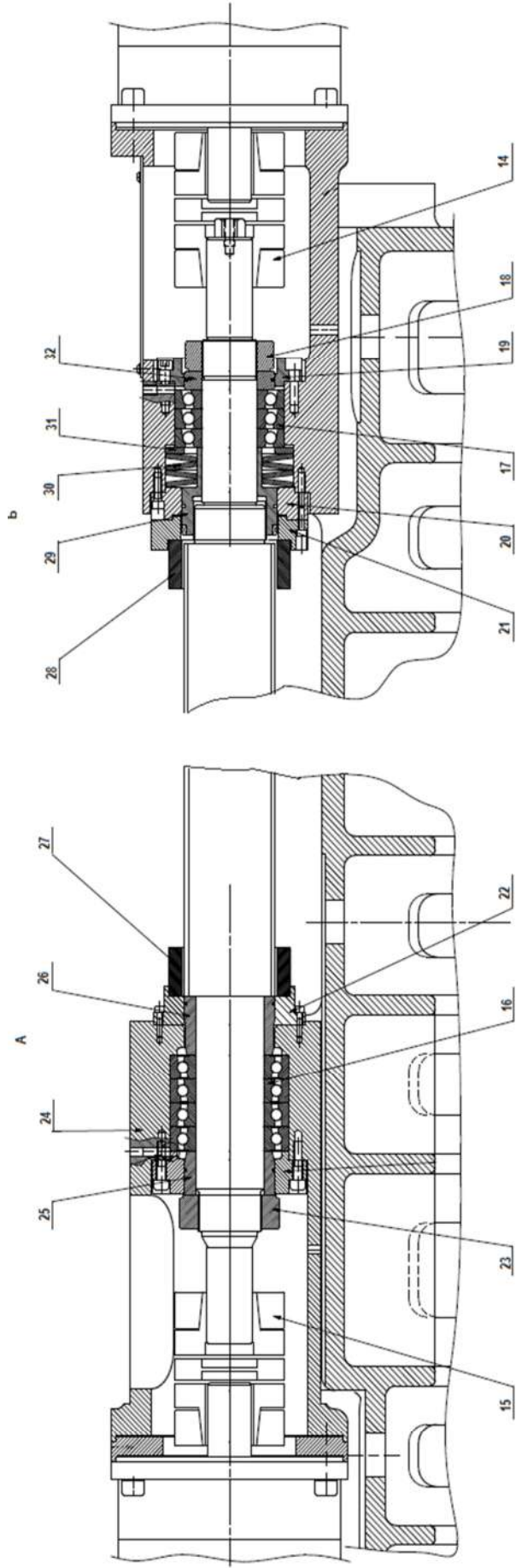
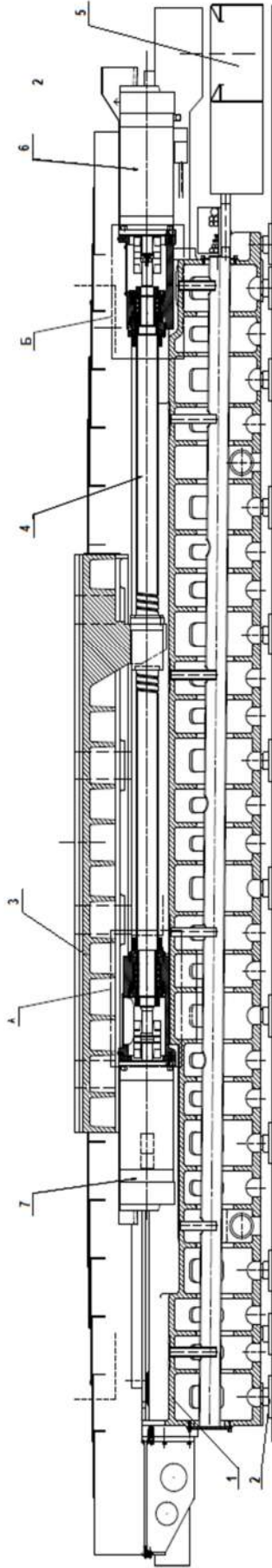


Рисунок 2.13 – Привід переміщення стола за віссю X

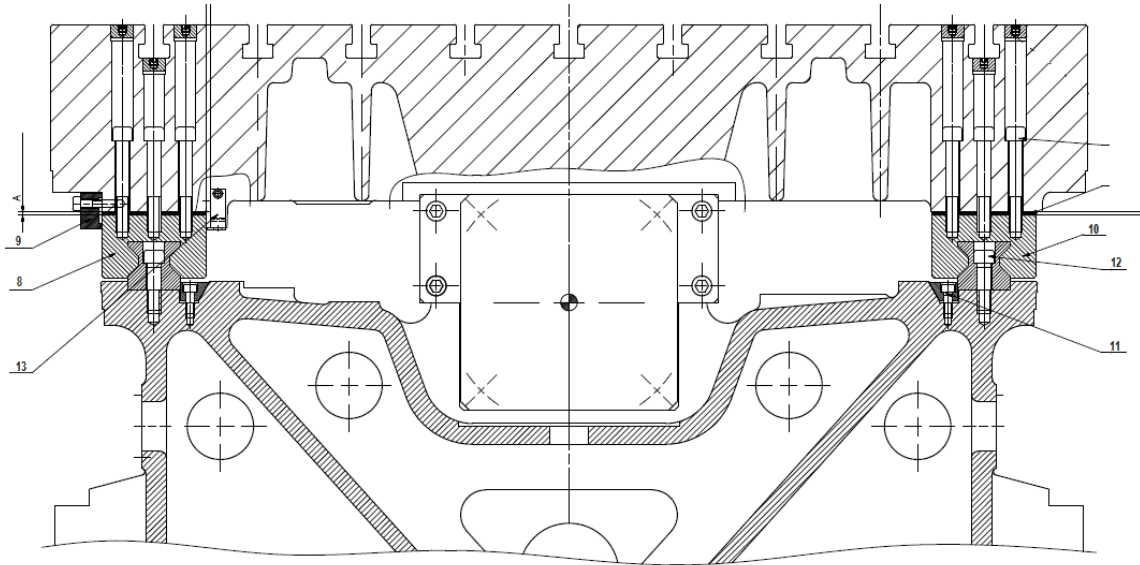


Рисунок 2.14 – Поперечний переріз стола

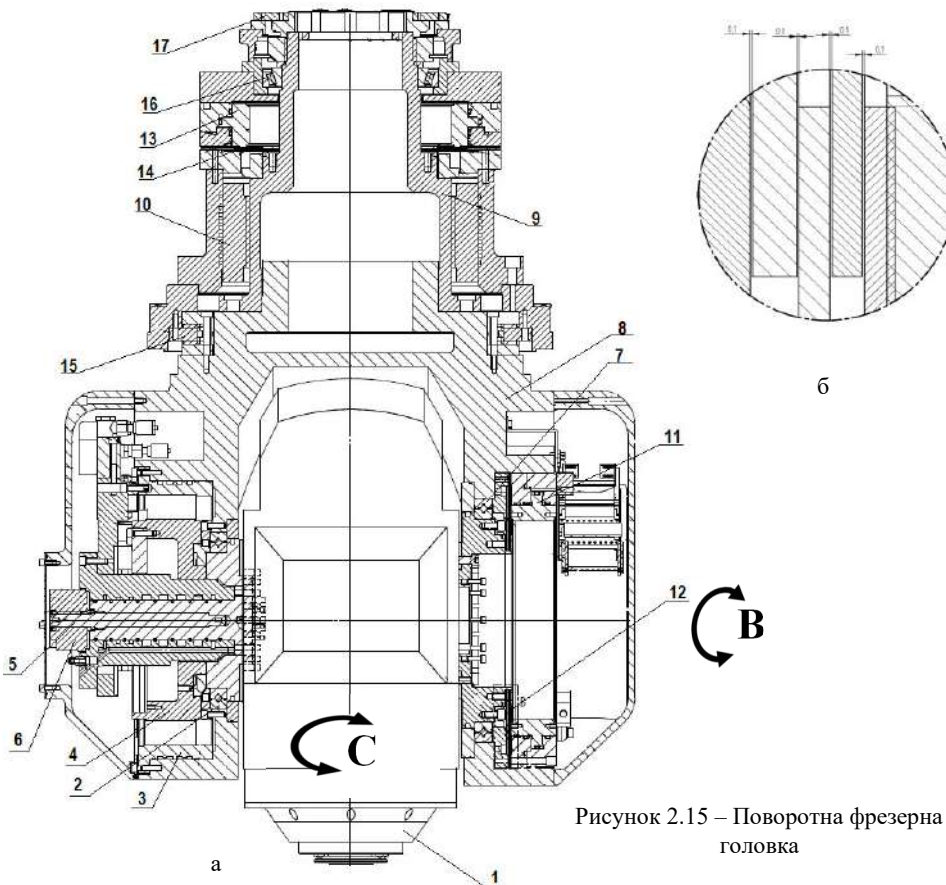


Рисунок 2.15 – Поворотна фрезерна головка

За допомогою системи віброконтролю може вестися постійний контроль вібрації під час процесу обробки, а також здійснюватися захист роботи верстата в неналежних експлуатаційних умовах.

Акселерометр, який закріплений на шпинделі, реєструє амплітуду коливань. Ці дані обробляються в вібраційному моніторі, який розташований в електрошкафі.

Перший сигнал аварії активується, якщо вібрація верстата досягла критичної межі в 7 мм/с. Другий сигнал аварії активується, якщо досягнута максимальна межа вібрації в 9 мм/с. Одночасно з даними сигналом аварії відбувається вимикання верстата.

### 2.1.6 Верстат Liechti TURBOBLISK 1005

TURBOBLISK 1005 5-осьовий високодинамічний обробний центр для швидкісного обробки турбінних коліс, роторів та інших складних деталей (технічна характеристика верстата наведена у таблиці 2.6).

Несуча система верстата (рис. 2.16) виконана зі зварних елементів: станини, похилої платформи 3 (на рисунку не позначена) та колони 1. На верхній площині станини розміщені напрямні кочення переміщення каретки стола (вісь X). На верхній площині платформи, нахиленій наперед від горизонталі на 20° встановлені

напрямні руху колони (вісь Z). Колона несе на передній площині напрямні переміщення супорта шпindelної головки (вісь Y). За усіма лінійними осями рух здійснюється напрямними коченнями, що забезпечує високі швидкості переміщення, високу точність руху та малі втрати потужності. Ручним настоюванням (вісь V) може змінюватися ексцентриситет заготовки зі зміною її діаметру.

Обертові рухи виконуються столами: горизонтальним 4 та вертикальним 5. Горизонтальний стіл, встановлений на каретці, здійснює поворот за віссю B, а вертикальний стіл, що встановлений на планшайбі горизонтального стола, і на якому закріплюється заготовка, обертається за віссю A.

Спереду верстата знаходиться конвеєр для відведення стружки, який транспортує стружку до контейнера, розміщеного зліва від верстата. Охолоджуюча рідина на конвеєрі відводиться до сепаратора, вона фільтрується і подається до резервуара.

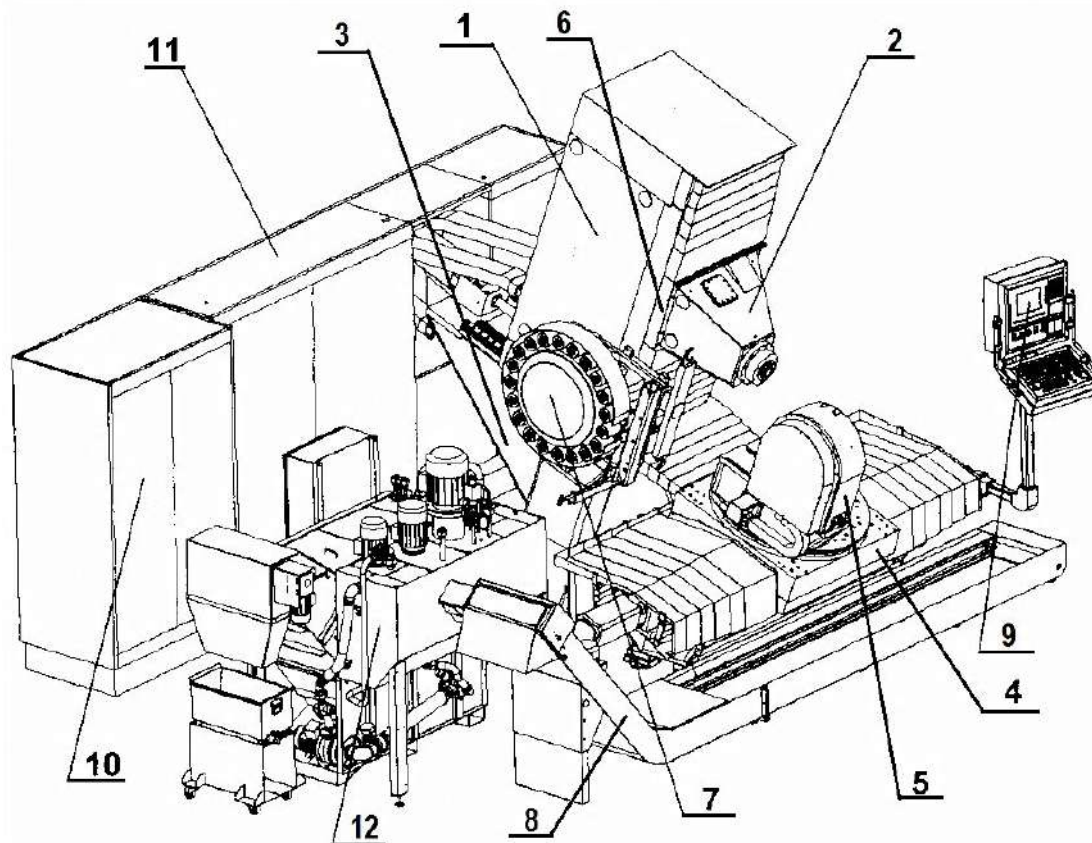


Рисунок 2.16 – Багатокоординатний фрезерний верстат TURBOBLISK 1005

1 – колона, 2 – фрезерний шпindel, 3 – станина, 4 – стіл поворотний (вісь B), 5 – стіл вертикальний (вісь A), 6 – супорт шпинделя, 7 – інструментальний магазин, 8 – конвеєр для стружки, 9 – системи керування, 10 – система охолодження, електрична шафа, 12 – сепаратор системи охолодження.

Зліва, поряд з похилою платформою, встановлено пристрій автоматичної зміни інструмента, який складається з дискового магазину на 20 гнізд та двозахватного автооператора для автоматичного обміну інструментів між шпindelю та магазином. Від зони обробки пристрій зміни інструмента відділяється дверцятами, які на час зміни інструмента відкриваються, надаючи доступ шпindelю до зони зміни інструмента.

Переміщення за лінійними осями здійснюються від серводвигунів (синхронних двигунів з постійними магнітами) з'єднаних з гвинтами кулькових гвинтових передач. Електродвигуни оснащені вбудованими гальмами, які спрацьовують в разі збою в системі керування приводами. В випадку з осями Y і Z гальма забезпечують утримання вузла на вертикальній чи похилій площини в разі відключення електродвигуна.

Ходовий гвинт переміщення стола за віссю X встановлений обома кінцями в опори, які змонтовані на станині. Ходові гвинти переміщення колони (вісь Z) та супорта шпинделя (вісь Y) встановлені лише в одну опору з боку двигуна.

Обертання заготовки, закріпленої на поворотному столі (вісь A), здійснюється від вбудованого моментного електродвигуна та контролюється кутовим датчиком. Вісь A розглядається як обертова вісь тому можу програмуватися кути більші за 360°. Обертовий стіл монтується на поворотному горизонтальному столі, планшайба якого здійснює поворот за віссю B.

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика верстата TURBOBLISK 1005

| Параметр                          | Розмірність                    | Значення           |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Переміщення за осями              |                                |                    |
| X                                 | мм                             | 1200               |
| Y                                 | мм                             | 1000               |
| Z                                 | мм                             | 700                |
| A                                 | град.                          | 360                |
| B                                 | град.                          | 210 (+60...-150)   |
| V                                 | мм (вручну)                    | 300                |
| Швидкість руху за осями           |                                |                    |
| X                                 | м/хв.                          | 0...30000          |
| Y                                 | м/хв.                          | 0...30000          |
| Z                                 | м/хв.                          | 0...30000          |
| A                                 | град./хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 0...25200 (70)     |
| B                                 | град./хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 0...18000 (50)     |
| Головний шпиндель                 |                                |                    |
| Частота обертання                 | хв. <sup>-1</sup>              | 0...18000          |
| Потужність електродвигуна         | кВт (S1)                       | 20                 |
| Тип переднього кінця              |                                | HSK-A80            |
| Зусилля затиску інструмента       | кН                             | 32                 |
| Номінальна частота електродвигуна | хв. <sup>-1</sup>              | 1500               |
| Автоматична заміна інструмента    |                                |                    |
| Кількість гнізд магазину          |                                | 20                 |
| Максимальний діаметр інструмента  | мм                             | 80 (120)*          |
| Максимальна довжина інструмента   | мм                             | 250                |
| Максимальна вага інструмента      | Кг                             | 8                  |
| Час заміни інструмента            | с                              | 12                 |
| Система лінійного контролю        |                                | Heidenhain LS 186  |
| Чутливість                        | мм                             | 0,00001            |
| Система кутового контролю         |                                | Heidenhain RSN 723 |
| Чутливість                        | град.                          | 0,00001            |

Привід планшайби стола за віссю В здійснюється аналогічно приводу осі А. Статор 1 (рис. 2.17) моментного електродвигуна встановлюється в корпусі 3 поворотного стола, а ротор 2 закріплюється на планшайбі 9, встановленій у комбінований роликівий упорно-радіальний підшипник 4

Поворотні столи за обертовими осями оснащені затискними гальмами, які утримують столи в фіксованому положенні в разі відсутності руху. Затискання поворотних столів здійснюється кулачками 6, які тарілчастими пружинами 10 притискаються до гальмівного кільця 5. Для звільнення стола пружини стискаються гідроциліндром 7, що забезпечує зазор між кулачками та затискним диском. Контроль кутового положення стола виконується датчиком RSN 723.

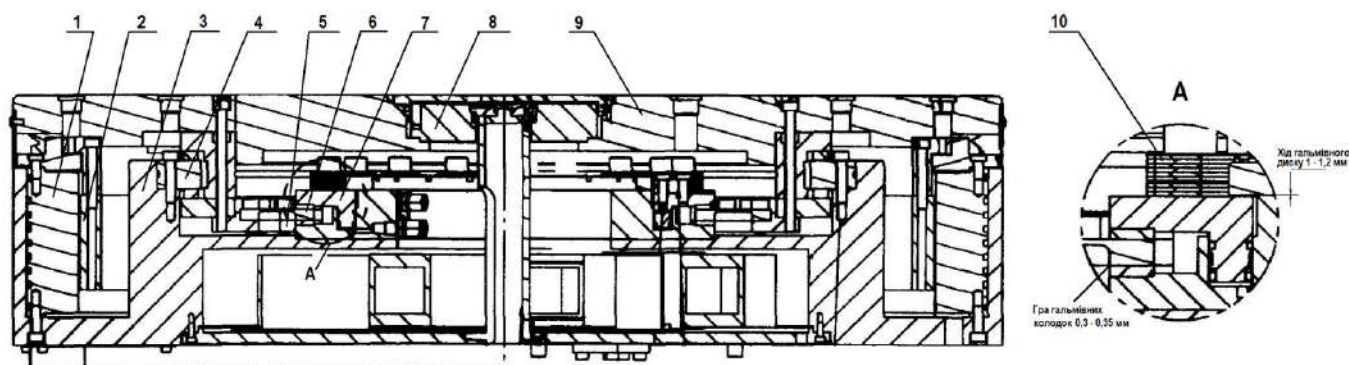


Рисунок 2.17 – Розріз горизонтального поворотного стола

В конструкції верстата використовується інструментальний шпиндель з вбудованим електродвигуном (мотор-шпиндель), що забезпечує високу швидкохідність і динамічні властивості. Підшипники шпиндельних

опор змащуються масло-повітряним мащенням. Для підтримання сталої температури опор шпинделя і електродвигуна використовується охолодження корпусу шпиндельного вузла рідиною. Для захисту опор шпинделя від попадання стружки та забруднення в верстаті застосовується повітряний заслін.

Затискання інструменту в шпинделі здійснюється тарілчастими пружинами, а для розтискання використовується зусилля від гідроциліндра.

**Пристрій автоматичної зміни інструмента** (рис. 2.18) встановлений на окремому стояку зліва від колони верстата. Пристрій АЗІ представляє собою поворотний диск з інструментальним магазином на 20 інструментів та двозахватний автооператор розміщені на стояку. Інструментальні оправки встановлюються в пластикових касетах, які можуть повертатися на 90° для обміну інструментів. Касета повертається пневмоциліндром, коли потрібна оправка стає в позицію обміну. Обертання магазину здійснюється електричним приводом. Для скорочення часу на зміну інструмента інструментальний магазин може обертатися як в одному напрямку, так і в іншому.

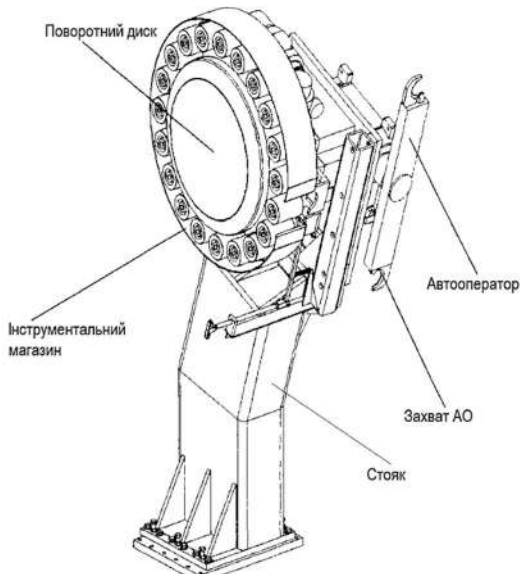


Рисунок 2.18 – Пристрій автоматичної зміни інструмента

### 2.1.7 Фрезерний верстат з ЧПК (багатоцільовий) LIECHTI Turbomill 1200g

Верстат “Turbomill 1200g” (рис. 2.19) – це 5-координатний лопатко-фрезерний верстат для високоточної обробки з високими швидкостями фрезерування.

Цей фрезерний верстат використовується для чорнової та чистової обробки дуже складних форм в турбінному та екструзійному виробництві.

Заготовка встановлюється в затискних елементах шпинделів заготовки: основного 9 і допоміжного 8, які обертаються синхронно (осі A1 та A11, відповідно). Каретки 10 і 7 вертикального ходу зі шпинделями заготовки розміщені на передній площині станини 6. Вони узгоджено рухаються вертикальними напрямними станини (осі Z1 і Z11). Права допоміжна каретка може переміщуватися в поздовжньому напрямку (вісь U) в залежності від довжини заготовки.

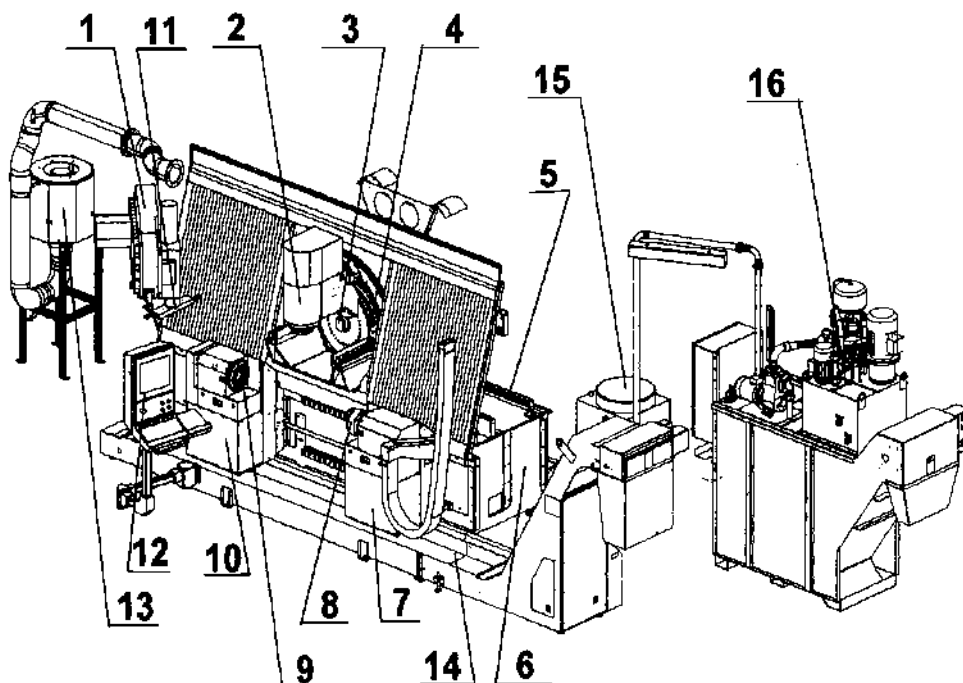


Рисунок 2.19 – Багатоцільовий верстат “Turbomill 1200g”

Різальний інструмент (фреза) закріплюється в шпинделі, який разом зі шпиндельною головкою 2 може здійснювати поворот за віссю В. Шпиндельна головка з приводом повороту 3 встановлена на колоні 4, що рухається в поперечному напрямку (вісь Y). Поздовжнє переміщення (вісь X) напрямними 5 станини виконують полозки каретки, на якій встановлена колонна зі шпиндельним вузлом.



Для автоматичної заміни інструменту верстат оснащений пристроєм автоматичної заміни інструмента, який складається з ланцюгового магазину 1 та двозахватного автооператора 11.

Відведення стружки здійснюється конвеєром 14, очищення мастила – системою 13..

Справа позаду верстата розміщені система фільтрації 16 та система охолодження 15 води, що використовується для охолодження елементів верстата.

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.7.

Всі елементи несучої системи верстата виконані у вигляді зварних конструкцій зі сталі.

Каретки і колона рухаються напрямними кочення. В приводі каретки, що рухається за віссю X використовується лінійний електродвигун. Для гальмування та блокування руху застосовуються пневматичні гальма, які вмикаються в разі зупинки вузла або збоїв в системі керування. В приводах решти лінійних осей застосовуються синхронні електродвигуни зі збудженням постійними магнітами, від яких рух передається на гвинт кулькової гвинтової передачі. В приводі осі Y рух передається безпосередньо на вал через муфту Rotex, а в приводі осей Z та Z11 через зубчасті паси. Гвинти гвинтових передач змонтовані на одній фіксованій опорі, розташованій з приводного боку. Гальмування та блокування руху за осями Y та Z здійснюється гальмами, вбудованими в електродвигуни. Рух кареток за осями Z1 та Z11 відбувається абсолютно синхронно. Всі вузли, які здійснюють лінійні переміщення, рухаються рейковими напрямними кочення, що забезпечує плавність руху, низький опір тертя та високі швидкості руху.

Обертання заготовки (осі A1 та A11), синхронізуються від моментних синхронних електродвигунів та абсолютних датчиків кутових переміщень. Для чорнкової обробки обертання осі A може бути заблоковане за допомогою вбудованого в конструкцію вузла гідравлічного гальма. На головному (лівому) шпинделі заготовки встановлено затискний елемент Unilock.

Таблиця 2.7 - Технічна характеристика верстата

| Параметр верстата                           | Розмірність        | Значення            |
|---|--------------------|---------------------|
| Величини переміщення за осями               |                    |                     |
| X   | мм                 | 1800                |
| Y   | мм                 | 450                 |
| Z   | мм                 | 400                 |
| A   | град.              | 360                 |
| B   | град.              | 100 (-50/+50)       |
| Швидкості руху за осями                     |                    |                     |
| X, Y, Z                                     | м/хв.              | 50                  |
| A   | град./хв. (об/хв.) | 0...72000 (0...200) |
| B   | град./хв. (об/хв.) | 0...18000 (0...50)  |
| Фрезерний шпиндель                          |                    |                     |
| Потужність                                  | кВт                | 28 (S1 – 100%)      |
| Діапазон частот обертання                   | об/хв.             | 0...16000           |
| Передній кінець                             |                    | HSK-A63             |
| Відстань між торцями шпинделів заготовки    | мм                 | 300...1200          |
| Найбільший діаметр встановлюваної заготовки | мм                 | 400                 |
| Пристрій автоматичної заміни інструмента    |                    |                     |
| Ємність інструментального магазину          |                    | 32                  |
| Максимальний діаметр інструмента            | мм                 | 75 (150)*           |
| Максимальна довжина інструмента             | мм                 | 290                 |
| Максимальна вага інструмента                | кг                 | 6                   |
| Час заміни інструмента                      | с                  | 4                   |

\* - з пропуском сусідніх гнізд магазину.

На допоміжному (правому) шпинделі затискання та розтискання заготовки в спеціальному кулачковому патроні здійснюється гідроциліндром, розмішеним в корпусі шпиндельного вузла обертання заготовки.

**Головний шпиндель** верстата служить для закріплення та обертання інструмента (фрези). Шпиндельний вузол уявляє собою власне шпиндель з вбудованим електродвигуном. На шпиндель напресований ротор електродвигуна, а статор змонтований в корпусі шпиндельної головки. Шпиндель установлений на гібридні керамічні підшипники, що забезпечує високу швидкохідність і довговічність шпиндельного вузла. В залежності від модифікації шпиндельного вузла, його опори можуть змащуватися або пластичним мастилом, або від системи масляно-повітряного змащення. В разі застосування пластичного

змащення, мастило закладається в опору на весь термін служби.

В корпусі шпindelної головки розміщені канали, якими циркулює рідина для охолодження статора електродвигуна та опор шпindelю з метою підтримання їх температури в допустимих межах. Це дозволяє зменшити температурні деформації шпindelю.

Для запобігання проникненню в шпindel забруднення та вологи використовується захисна повітряна система, що створює надлишковий тиск та спеціальні лабіринтні ущільнення.

Інструмент в шпindelі закріплюється за допомогою оправки HSK-A63. Затискна система інструмента включає гідравлічний циліндр та пакет тарілчастих пружин, вбудованих в шпindelний вузол. Затискання інструментальних оправок здійснюється зусиллям, що розвивається пружинами, а розтискання – від зусилля гідроциліндра, що стискає пружини.

Очищення поверхні шпindelного конуса здійснюється системою продувки конуса в процесі заміни інструмента.

### 2.1.7.1 Автоматична заміна інструмента

Пристрій автоматичної заміни інструмента складається з рами, закріпленої на лівому торці станини, двозахватного автооператора 11 (рис. 2.19) та ланцюгового магазину 1 на 32 позиції з приводом і системою контролю. Ланцюговий магазин може обертатися в обох напрямках, що скорочує час пошуку інструмента. Для заміни інструмента один захват гідравлічного автооператора затискає новий інструмент і переміщує його з гнізда магазину. Фрезерний шпindel переміщується до лівого краю верстата, внутрішні захисні двері зони обробки відкриваються. Використаний інструмент в фрезерному шпindelі затискається другим, вільним, захватом автооператора. Гідравлічна система розтискає інструмент в шпindelі і старий інструмент виймається з конусного отвору шпindelю. Після цього рука автооператора повертається на 180° і новий інструмент переноситься до торця шпindelю, встановлюється в конус та затискається зусиллям від комплексу тарілчастих пружин. Гідравлічний захват звільняє інструмент і рука автооператора повертається назад. На завершення внутрішні захисні двері закриваються, а старий інструмент повертається назад, в гніздо ланцюгового магазину. Контроль положення інструментального магазину здійснюється датчиком, вбудованим в конструкцію електродвигуна.

### 2.1.7.2 Вимірювальна система

Осі Y, Z1 та Z11 багатоцільового верстата оснащені кожна двома різними і незалежними одна від іншої вимірювальними системами.

Перша вимірювальна система представляє собою інкрементні датчики, вбудовані безпосередньо в електродвигуни. Датчики мають 2048 приростів (імпульсів) на оберт. Ця система призначена для контролю швидкості електродвигуна, а також використовується як датчик відносного положення ротора і статора.



Рисунок 2.20 – Вимірювальна система “Renishaw OMP 60”

Друга вимірювальна система для лінійних осей виконана у вигляді лінійних оптичних вимірювальних систем з роздільною здатністю 20 мкм. Ця система використовується для контролю дійсного значення положення за віссю. Така сама система використовується для контролю положення за віссю X.

Обертіві осі верстата обладнані абсолютними датчиками (енкодерами) з роздільною здатністю 16384 імпульсів за оберт. Ця вимірювальна система використовується для контролю швидкості обертання та дійсного положення осі, а також використовується як датчик відносного положення ротора і статора.

Всі осі багатоцільового верстата, включно з допоміжними осями пристрою автоматичної заміни інструмента, оснащені вимірювальними системами з інтегрованими EnDat інтерфейсами. Тому осі не втрачають референтні точки навіть коли відключається вся система контролю верстата.

Для контролю розмірів інструмента (діаметра та довжини) на верстаті встановлена лазерна система. Система може контролювати також можливі похибки затискання інструмента та величину його биття на номінальній частоті. Вбудована електроніка реагує на кожне переривання лазерного променя різальною кромкою інструменту, що обертається. Після розпізнавання найдовшої різальної кромки, ця електронна система генерує всі необхідні вихідні сигнали до основної системою керування.

Для вимірювання та контролю заготовки на верстаті використовується вимірювальна система “Renishaw OMP 60” (рис. 2.20). Вимірювальний шуп контактує з поверхнею заготовки і реагує на контакт.

Оптичний (інфрачервоний) передавально-приймальний вузол, який фіксується за допомогою магнітного тримача поблизу фрезерного шпинделя, визначає стан контакту вимірювального щупа і передає сигнали до CN-контролю. Цей CN-контроль реєструє всі зворотні сигнали і обчислює координати для відповідної точки на поверхні деталей.

### 2.1.7.3 Шпиндельна бабка обертання заготовки (ліва)

Шпиндельна бабка (рис. 2.21) призначена для закріплення та обертання заготовки в процесі її обробки.

Шпиндель 2 обертання заготовки встановлений в корпусі шпиндельної бабки 1 на одному упорно-радіальному роликовому підшипнику 3, який сприймає радіальне, осьове зусилля в обох напрямках та перекидальний момент. Внутрішнє кільце підшипника насажене на шийку шпинделя та закріплене болтами до фланця шпинделя. Зовнішнє кільце центрується по отвору в корпусі шпиндельної бабки та базується і закріплюється болтами на його торці. Рух (обертання) на шпиндель передається від ротора 5 моментного електродвигуна, закріпленого через перехідне кільце до бурта шпинделя. Статор 4 електродвигуна монтується в корпусі шпиндельної бабки. Для відведення тепла від електродвигуна, каналами корпусу статора прокачується рідина для охолодження.

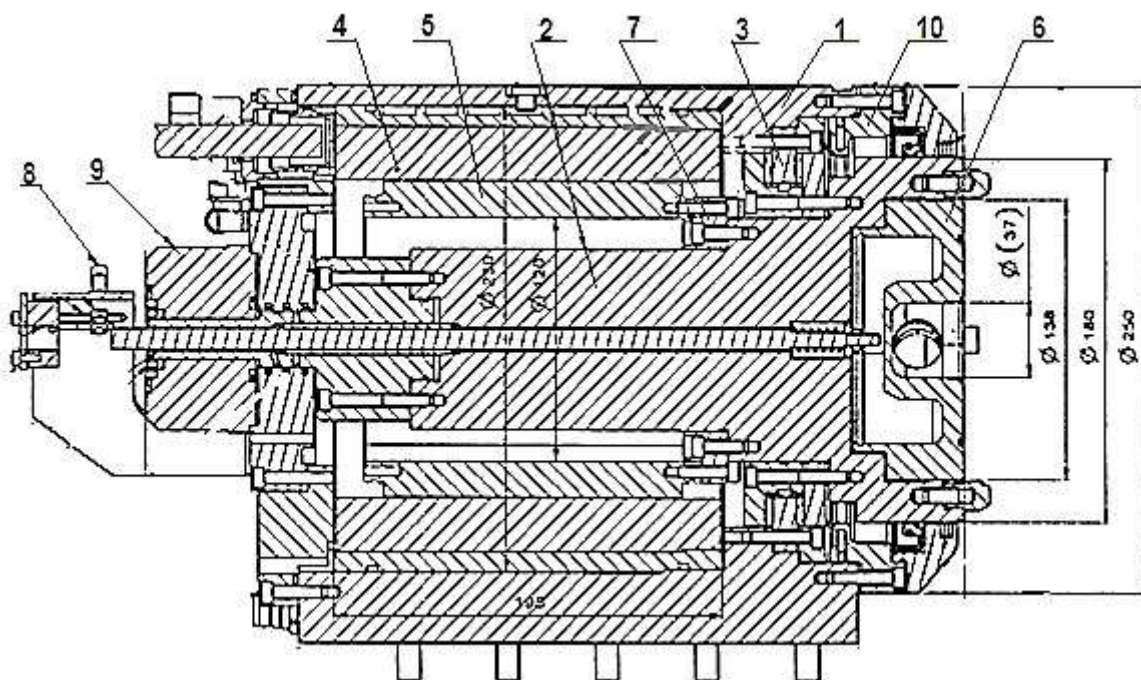


Рисунок 2.21 – Шпиндельна бабка виробу (вісь А1 головна)

В отворі переднього кінця шпинделя встановлений затискний патрон Unilock ESM 138 поз. 6, про затискання та розтискання якого сигналізує кінцевий вимикач 8.

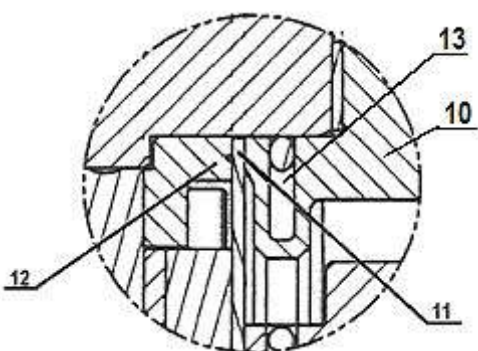


Рисунок 2.22 – Гідравлічний гальмовий пристрій

На задньому кінці шпинделя через вал датчика закріплений датчик 9 кутових переміщень (енкодер) RCN 226, який визначає кутове положення шпинделя за віссю А. Точність вимірювання кутового положення 2,5".

В процесі чорнової обробки на верстаті шпиндель з заготовкою може бути заблокований (зафіксований) за допомогою гідравлічного гальма 10 (рис. 2.21), закріпленого за допомогою болтів на корпусі шпиндельної бабки. Масло під тиском подається в порожнину 13 (рис. 2.22) гідравлічного гальма, пружний елемент гальма деформується, вибираючи зазори між гальмом 10, шайбою 11, що закріплена на шпинделі, та упорним кільцем гальма 12. В вільному стані (не загальмованому) між цими деталями забезпечуються зазори 0,03-0,04 мм.

Шпиндельна бабка заготовки 1 (рис. 2.23) закріплюється на рухомій каретці 2, яка рухається напрямними кочення, закріпленими на корпусі каретки 3. Рух каретки здійснюється від ходового гвинта 7 кулькової гвинтової передачі, гайка 8 якої нерухомо закріплена на каретці. Обертання на ходовий гвинт передається пасовою зубчатою передачею зі шківками 5 і 6 від синхронного електродвигуна 4, з вбудованим датчиком, змонтованого в ніші каретки. Регулювання натягу

паса виконується за допомогою болта 10, шляхом переміщення електродвигуна вперед чи назад.

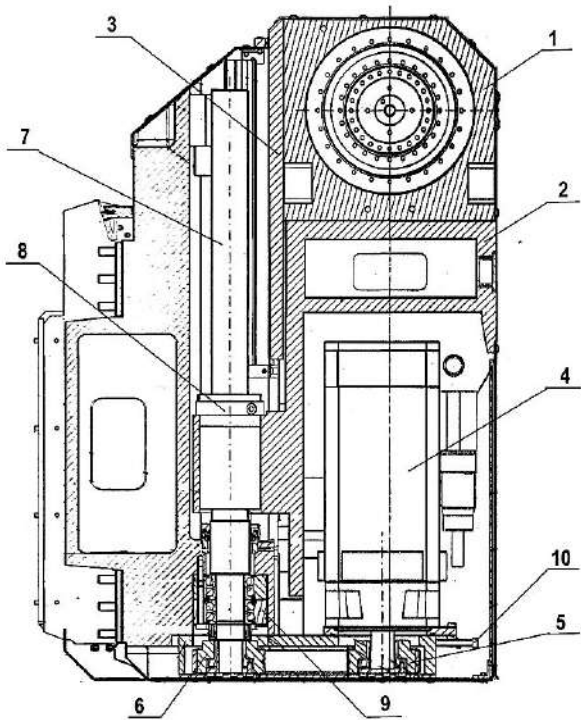


Рисунок 2.23 – Вузол переміщення за віссю Z

Ходовий гвинт закріплений в одній опорі 9, розміщеній з приводного кінця. В опорі встановлений упорно-радіальний підшипник з кутом контакту 60° ZKLF, зовнішнє кільце якого закріплене до корпусу каретки болтами. Для забезпечення жорсткості кулькової гвинтової передачі та точності руху, в підшипнику створюється попередній натяг.

Для змащення підшипника ходового гвинта застосовується пластичне мастило, час заміни якого залежить від умов роботи опори: температури, забруднення, попадання вологи тощо.

Змащення кулькової гвинтової передачі здійснюється автоматично через визначені інтервали часу від централізованої мастильної системи.

## 2.2 Токарні верстати з ЧПК та багатоцільові верстати

### 2.2.1 Doosan Infracore Puma 2100/2600

Токарні обробні центри Puma 2100/2600 можуть використовуватися як для обробки достатньо простих ступінчастих валів з використанням токарного різального інструменту, так і для багатокоординатної обробки складних деталей з використанням різців, фрез, інструментів для обробки отворів, як центральних так і

розміщених довільно на торці чи на периферії заготовки.

Верстати Puma (рис. 2.24) побудовані на базі токарного верстата з ЧПК з застосуванням модульного принципу. Використання широкого набору модулів: шпиндельних вузлів з пасовим приводом чи з вбудованим мотор-шпинделем, задньої бабки чи допоміжного шпинделя, стандартного поворотного різетримача чи револьверної головки з приводним інструментом, полозків для осі Y дає можливість пристосовувати верстат для задоволення різноманітних вимог сучасного машинобудівного виробництва.

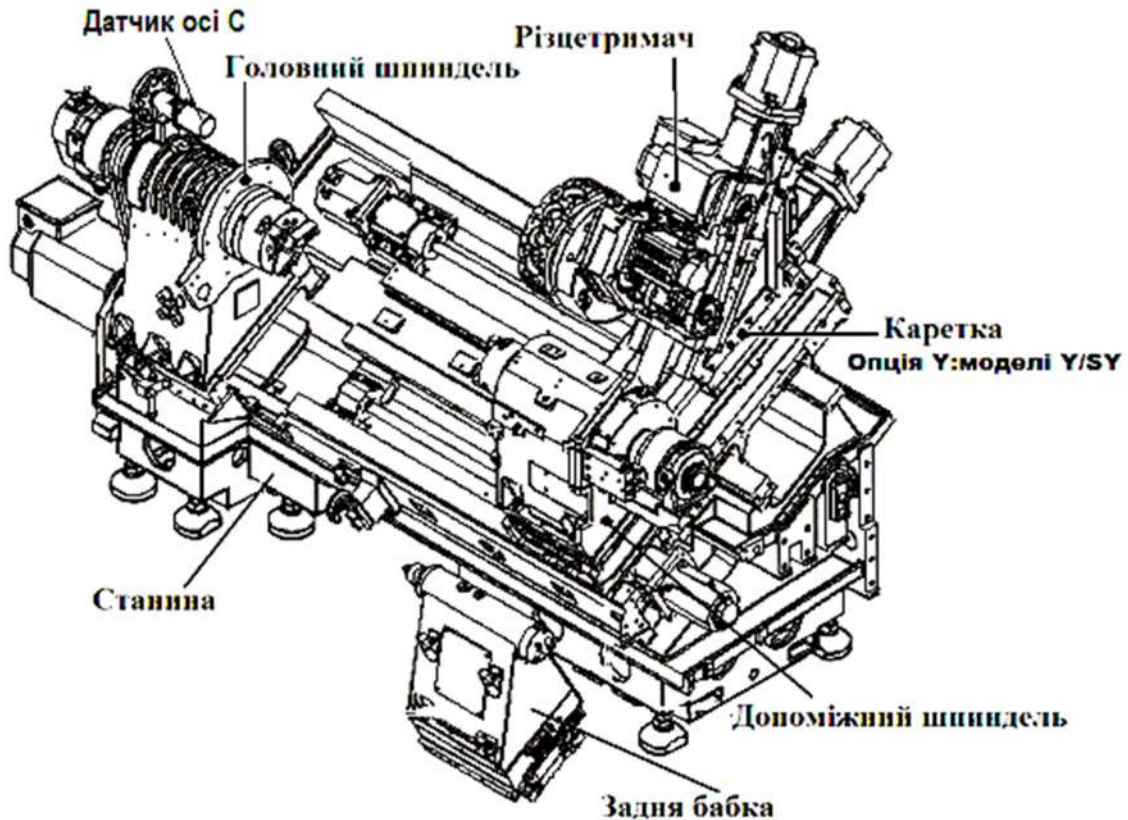


Рисунок 2.24 – Токарний обробний центр Puma

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики верстатів Puma 2100

| Параметр   | Значення   |
|--|------------|
| Максимальний діаметр над супортом, мм  | 630        |
| Максимальний діаметр обробки, мм   | 480        |
| Рекомендований діаметр обробки, мм   | 210        |
| Максимальна довжина виробу, мм   | 520        |
| Діаметр оброблюваного прутка, мм   | 65         |
| <b>Шпиндель</b>  |            |
| Частота обертання шпинделя, хв. <sup>-1</sup> (пасова передача/мотор-шпиндель) | 4500(5000) |
| Кінець шпинделя  | ASA A2 №6  |
| Діаметр переднього підшипника шпинделя, мм                                     | 120        |
| Діаметр отвору шпинделя,   | 76         |
| <b>Револьверна головка</b>   |            |
| Кількість гнізд  | 12         |
| Розмір інструмента для обробки зовнішнього діаметра, мм                        | 25         |
| Частота обертання інструментального шпинделя*, хв. <sup>-1</sup>               | 5000       |
| <b>Переміщення</b>   |            |
| Хід каретки: вісь X, мм  | 260        |
| вісь Z, мм   | 590        |
| вісь Y**, мм   | 102        |
| Швидкість руху: вісь X, м/хв.  | 30         |
| вісь Z, м/хв.  | 30         |
| вісь Y**, м/хв.  | 10         |
| Дискретність введення команд, мм   | 0,001      |
| Потужність двигуна головного шпинделя, кВт; (S6/S1)                            | 18,5/15    |
| Потужність двигуна приводного інструмента*, кВт                                | 5,5        |

\* Для виконання Puma 2100M з приводом інструментів револьверної головки.

\*\* Для виконання Puma 2100Y з віссю Y.

Завдяки можливості виконувати різноманітні технологічні операції різними видами інструментів верстат мають високу гнучкість, що дозволяє використовувати їх в умовах дрібносерійного виробництва для обробки деталей широкої номенклатури. Основні технічні характеристики верстата наведені в таблиці 2.8.

Верстат оснащений системами ЧПК Fanuc і-серії. Керування переміщеннями робочих органів здійснюється за 2 осями для верстата у стандартному токарному виконанні (рис.2.25, а) чи до 6 осей у токарно-фрезерному варіанті з допоміжним шпинделем та віссю Y (рис. 2.25, б). Одночасно керування може здійснюватися за 4 осями.

На станині верстата опорні поверхні під шпиндельну бабку, напрямні супорта та задньої бабки нахилені назад під кутом 30°, що сприяє кращому відведенню стружки та доступу оператора до інструментів. Відстань між напрямними та ширина напрямних збільшені для підвищення жорсткості системи. У верстаті використовуються напрямні ковзання типу Box Way як для руху супорта за осями X та Z, так і для руху задньої бабки чи допоміжного шпинделя.

Привід головного руху в стандартному виконанні представлений асинхронним регульованим електродвигуном, встановленим на станині верстата, з якого рух на шпиндель передається пасовою передачею. Шпиндельний вузол (рис. 2.26) установлений в корпусі 1, який для збільшення тепловідведення виконаний з ребрами. В передній опорі шпинделя 9 встановлено 3 радіально-упорних підшипники 8, що сприймають радіальне і осьове навантаження, в задній опорі – дворядний роликовий підшипник з короткими роликами серії NN4 поз. 7 (аналог підшипника серії 3182100), який сприймає лише радіальне навантаження. Для збільшення жорсткості та динамічних властивостей шпиндельного вузла використані шпиндельні підшипники з діаметрами більших розмірів, а довжина шпинделя зменшена.

Контроль положення шпинделя з заготовкою виконується датчиком осі C (рис. 2.24), який з'єднаний зі шпинделем пасовою зубчастою передачею.

На шківу 6 пасової передачі розміщено диск 2 гальмівного пристрою 5, що використовується для зупинки і фіксації шпинделя під час обробки за віссю C: фрезерування, свердління отворів на периферії заготовки чи на її торці зі зсувом відносно центру. Максимальне зусилля затискання, що розвивається гальмівним пристроєм складає 5 МПа.

Затискання патрона з заготовкою здійснюється гідроциліндром 4 через затиску трубу 10. Корпус гідроциліндра закріплюється на торці шківів, а поршень з'єднується з затискуною трубою різьбовим сполученням.

Передній кінець головного шпинделя має виконання ASA A2-6 ISO 702/1 (аналогічно ГОСТ 12595-2003).

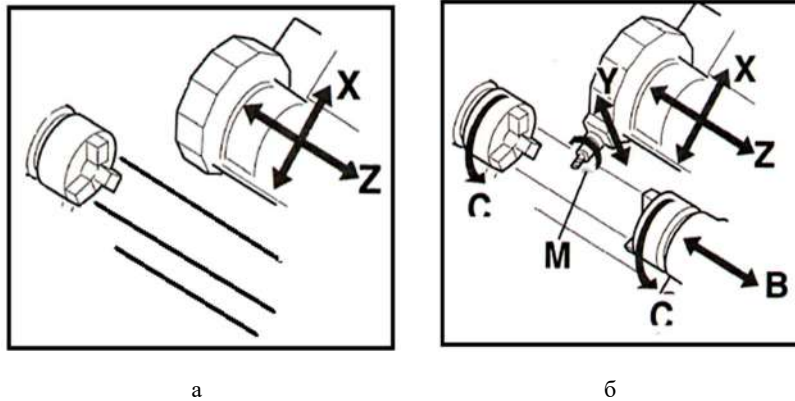


Рисунок 2.25 – Система координат верстата Puma 2100/2600

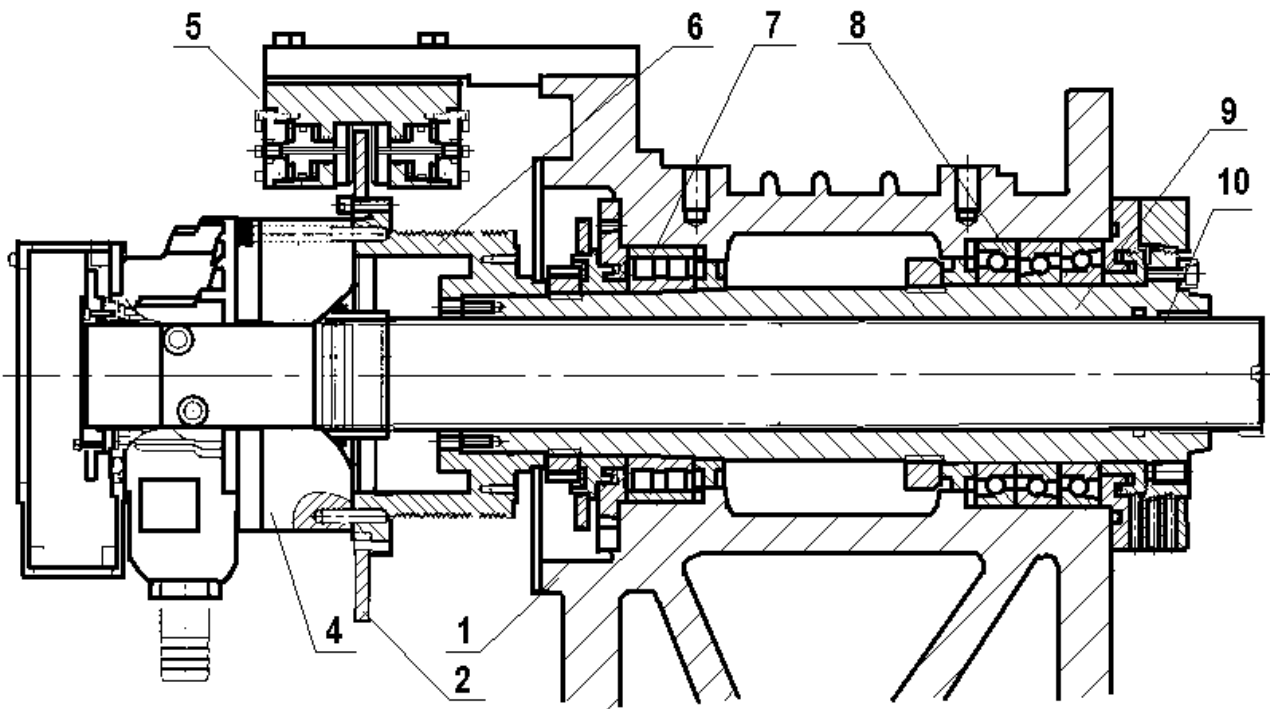


Рисунок 2.26 – Шпиндельний вузол верстата з пасовим приводом

Регулювання частот обертання шпинделя здійснюється електродвигуном. В діапазоні від  $n=1000 \text{ хв}^{-1}$  до  $n=4000 \text{ хв}^{-1}$  (рис. 2.27) на шпинделі одержують постійну потужність, а на частотах нижчих за  $n=1000 \text{ хв}^{-1}$  регулювання виконується з постійним крутним моментом, а потужність відповідно знижується.

Переміщення супорта і каретки за лінійними осями здійснюється кульковими гвинтовими передачами. Для руху за віссю X (Y) застосовується прецизійний гвинт з попереднім натягом, а за віссю Z катаний гвинт класу точності C10 (T10 за стандартом ISO) без попереднього натягу. Напрямні супорта закриті захисними екранами, що вберігають їх від забруднення і підвищують довговічність напрямних.

В залежності від модифікації верстата на ньому можуть встановлюватися токарна або токарно-фрезерна револьверна головка. Токарна револьверна головка призначена для встановлення безпосередньо в пазах головки або перехідних тримачах інструмента різців різних типів: прохідних, підрізних, прорізних, розточувальних; осьового інструмента для обробки центральних отворів: свердел, зенкерів, розгортки тощо.

В токарно-фрезерній головці (рис. 1.52), крім інструментів, що застосовуються в токарних головках, можуть встановлюватися обертові інструменти: фрези, свердла, зенкери тощо, які здійснюють обертовий рух різання. Такими інструментами можна обробляти площини, пази, канавки включно з гвинтовими, свердлими отвори довільно розміщені на поверхні заготовки.

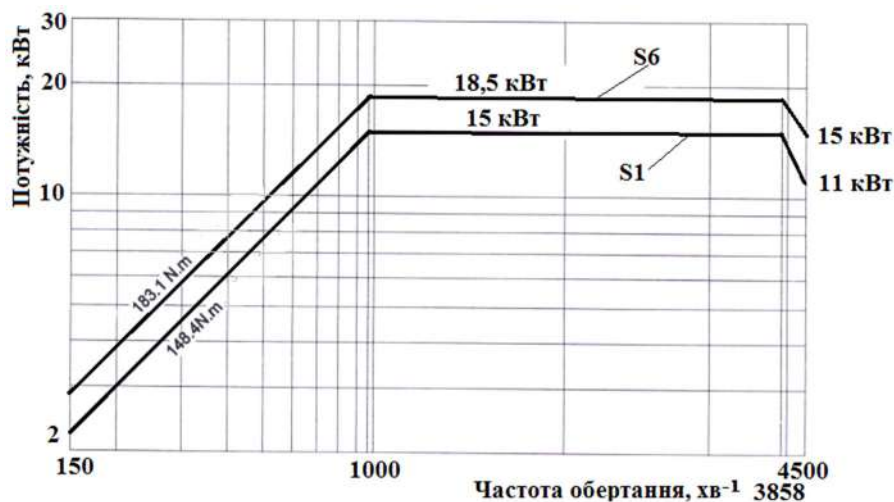


Рисунок 2.27 – Графік потужності привідного двигуна

### 2.2.2 Багатоцільовий токарний верстат Puma MX2100ST

Верстат (рис. 2.28) являє собою інтегрований обробний та токарний центр для широкої номенклатури різноманітних деталей. На ньому можна виконувати просту токарну і фрезерну обробку, а також комплексну багатоосову обробку складних деталей на одному верстаті. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.9.

Верстат Puma MX2100ST має типове для токарних верстатів з ЧПК компонування з нахиленою наперед станиною. Зліва і справа на станині встановлені лівий основний і правий допоміжний шпинделі деталі. Лівий шпиндель має керовану вісь С1 (рис. 2.29), а правий – осі С2 і А – поступальне переміщення вздовж напрямних.

Передній чи нижній супорт несе револьверну головку, яка переміщується за осями Х2 і Z2. На задній площині станини розміщений задній супорт з кареткою та фрезерною головкою, які здійснюють рухи за осями Z1, Y і X1 відповідно. Фрезерний шпиндель може здійснювати поворот за віссю В. Наявність осі Y та повороту фрезерного шпинделя за віссю В значно розширює технологічні можливості верстата.

Привід шпинделів деталі та фрезерного шпинделя здійснюється вбудованими асинхронними електродвигунами без будь-яких додаткових кінематичних елементів.



Рисунок 2.28 – Токарно-фрезерний верстат Puma MX2100ST

1 – лівий головний шпиндель; 2 – револьверна головка; 3 – фрезерний шпиндель; 4 – каретка фрезерного шпинделя; 5 – телескопічний захист напрямних; 6 – панель системи керування; 7 – захисні двері.

Шпинделі деталі (головний, поз.1, рис. 2.28 і допоміжний) для усунення впливу температурних деформацій на точність обробки, як на важких режимах та низьких частотах, так і на чистових режимах з високими частотами обертання, оснащені системою охолодження статора та опор шпинделя. Шпинделі можуть працювати як в режимі головного руху, тобто обертання з швидкістю різання, так і в режимі осі С для обох шпинделів (обертання на 360° з приростом 0.001°).

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика верстата Puma MX2100ST

| Параметр  | Розмірність       | Значення |
|---|-------------------|----------|
| Найбільший діаметр обробки з фрезерного шпинделя  | мм                | 540      |
| з револьверної головки                            | мм                | 300      |
| Найбільша довжина обробки                         | мм                | 1020     |
| Переміщення за осями: величина/швидкість X1       | мм м/хв.          | 565/36   |
| X2  | мм м/хв.          | 187/24   |
| Y   | мм м/хв.          | 170/26   |
| Z1/Z2   | мм м/хв.          | 1050/36  |
| A   | мм м/хв.          | 1050/30  |
| B   | град.             | ±120     |
| Шпинделі деталі лівий і правий: частота обертання | хв. <sup>-1</sup> | 5000     |
| передній кінець                                   | тип               | A2-6     |
| потужність двигуна                                | кВт               | 22       |
| Фрезерний шпиндель: частота обертання             | хв. <sup>-1</sup> | 12000    |
| передній кінець                                   | тип               | Capto C6 |
| потужність двигуна                                | кВт               | 18,5     |
| Револьверна головка: число позицій                |                   | 12       |
| Частота обертання обертового інструмента          | хв. <sup>-1</sup> | 5000     |
| Потужність двигуна приводу обертового інструмента | кВт               | 5,5      |
| Інструментальний магазин: число гнізд             |                   | 40       |
| найбільший діаметр інструмента                    | мм                | 90(120)* |
| найбільша довжина інструмента                     | мм                | 300      |
| найбільша вага інструмента                        | кг                | 8        |

В фрезерному шпинделі (поз. 3) може закріплюватися як обертовий інструмент, так і токарні багатопозиційні вставки, що можуть містити від одного до чотирьох інструментів. Інструмент в фрезерному шпинделі встановлюється за допомогою інструментальних оправок Capto C6. Для накопичення та зберігання

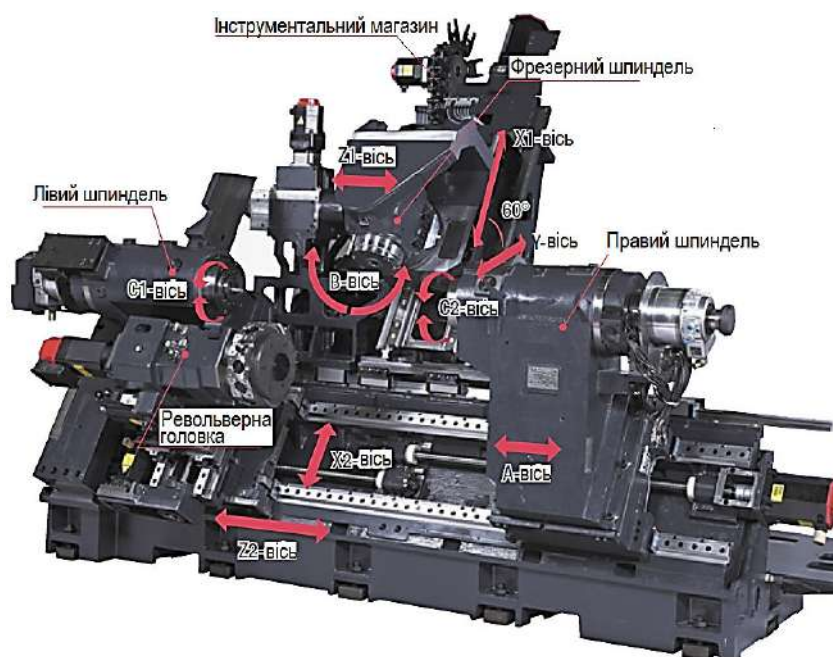


Рисунок 2.29 – Координатні осі верстата Puma



інструментів для фрезерного шпинделя використовується ланцюговий інструментальний магазин на 40 позицій. Зміна інструмента в фрезерному шпинделі здійснюється автооператором.

Як в шпинделях заготовки, так і в фрезерному шпинделі використовується конструкція мотор-шпинделя з вбудованим асинхронним електродвигуном.

Крім фрезерного шпинделя інструмент може встановлюватися в револьверній головці (поз. 2, рис. 2.28) на 12 позицій. В револьверній головці можуть встановлюватися токарний та обертовий інструмент за допомогою інструментальних оправок і головок ВМТ55Р. Індикація і контроль револьверної головки здійснюється серводвигуном.

Рух виконавчих органів верстата за лінійними осями здійснюється роликовими напрямними кочення з циркуляцією роликів. Привід лінійних переміщень складається з регульованого синхронного електродвигуна та кулькової гвинтової передачі. Для руху за осями X і Y використовуються гвинтові передачі високої точності (клас С3) з попереднім натягом.

Корпус фрезерного шпинделя установлений на двох опорах: верхній, розміщений в кронштейні, та нижній, розміщений на супорті. В нижній опорі розміщений хрестово-роликовий підшипник, на якому базується корпус шпиндельного вузла, механізм закріплення та фіксації, а також привід повороту шпиндельного вузла (вісь В). Поворот шпиндельного вузла виконується кулачково-роликовою передачею (cam roller gear) (рис. 2.30), ведений диск якої закріплюється на корпусі. Привід роликовою кулачковою передачею забезпечує плавне прискорення і рух гальмування, високу швидкість індикації, мінімальний абразивний знос в елементах роликової передачі.

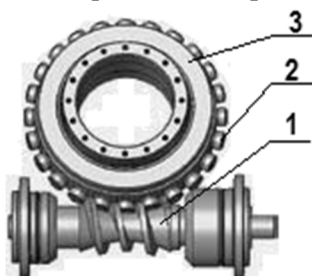


Рисунок 2.30– Кульково-роликова передача

Закріплення та фіксація фрезерного шпинделя здійснюється за допомогою муфти з торцевими зубами (Curvic coupling), розкриття та закриття якої виконується гідроциліндром. Принцип дії механізму подібний до дії механізму закріплення револьверної головки, що розглянутий вище (рис. 1.52).

Закріплення інструментальної оправки в фрезерному шпинделі здійснюється газовою пружиною, розміщеною в отворі шпинделя. Шток газової пружини (поз. 1 рис. 2.31), з'єднаний з розтискною втулкою 2, переміщує втулку вправо і розкриває затискні кулачки 3, які захватують інструментальну оправку і затягують її в отвір шпинделя. Для розкріплення інструментальної оправки на задньому (правому) кінці шпинделя встановлений гідроциліндр. При переміщенні поршня циліндра 4 вліво стискається газова пружина, її шток разом з розтискною втулкою рухаються вліво, звільняючи затискні кулачки.

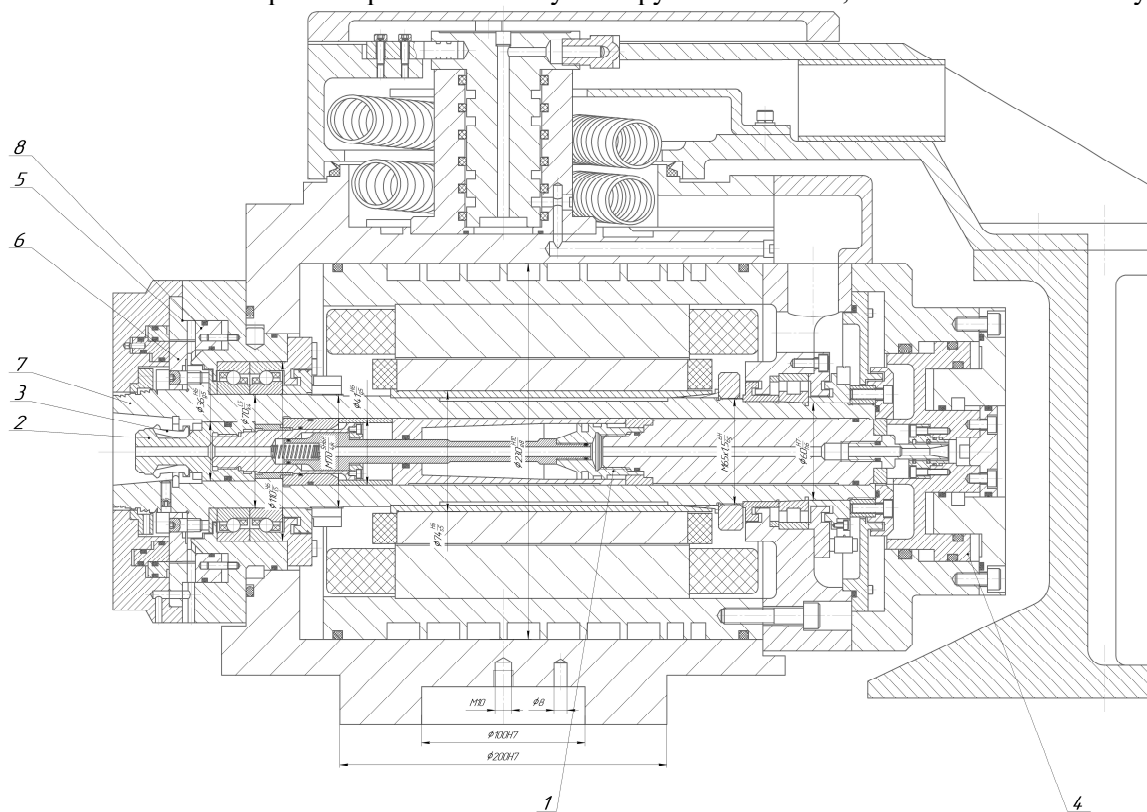


Рисунок 2.31 – Фрезерний шпиндель верстата Puma MX2100ST

Для роботи токарним інструментом шпиндель повинен займати визначене фіксоване положення і не мати можливості повернутися під дією навантаження. Для забезпечення фіксації і закріплення шпинделя на його передньому кінці встановлена муфта з торцевим зубом, яка складається з зовнішнього вінця 5, закріпленого на корпусі передньої опори, внутрішнього вінця 6, закріпленого на фланці шпинделя 7, та зубчастого вінця, виконаного на плунжері 8 гідроциліндра. Переміщення плунжера вліво замикає муфту, забезпечуючи надійне закріплення шпинделя в фіксованому положенні для токарної обробки. Для роботи обертовим інструментом плунжер 8 переміщується вправо, розмикаючи муфту і забезпечуючи вільне обертання шпинделя.

### 2.2.3 Токарний верстат з ЧПК GOODWAY GA-3000

Токарний верстат з ЧПК GOODWAY GA-3000 (рис. 2.32) призначений для високопродуктивної токарної обробки деталей зі значними перетинами зрізу з високою точністю. На верстаті можуть оброблятися як короткі деталі з закріпленням в патроні, так і довгі деталі, які закріплюються в патроні та підтримуються центром задньої бабки.

Верстат побудований за традиційним для токарних верстатів компонованням, але напрямні каретки супорта підняті під кутом 30° від горизонталі і розміщені позаду деталі. На каретці встановлена револьверна головка для закріплення інструмента на 12 позицій. В гніздах револьверної головки можуть встановлюватися інструменти з державками квадратного перетину 25×25 мм та круглого перетину діаметром 40 мм. Супорт за віссю Z і каретка за віссю X рухаються напрямними ковзання. Широкі напрямні станини і напрямні супорта (ось X) загартовані і шліфовані для забезпечення більшої жорсткості рознесені на значну відстань. Направні рухомих органів покриті антифрикційним матеріалом "Turcite B" для зниження втрат на тертя, усунення стрибків на малих швидкостях та забезпечення високої довговічності.



Рисунок 2.32 – Загальний вигляд верстата GOODWAY GA-3000

Поєднання високої продуктивності обробки з високою точністю забезпечується використанням приводних електродвигунів значної потужності, застосуванням широких напрямних ковзання (box way), збільшенням діаметра шпинделя.

Шпиндель верстата встановлений на підшипники високої жорсткості (в передній NN3026K, аналог 3182126 і два радіально упорних для сприйняття осьового навантаження, а в задній опорі NN3024K) великого діаметру, що забезпечує можливість обробки на інтенсивних режимах з забезпеченням високої точності деталей. Привід обертання шпинделя здійснюється пасовою передачею від регульованого

електродвигуна з високим моментом. Застосування в приводі шпинделя електродвигуна FANUC  $\alpha$  P22/6,000i з номінальною частотою  $n_{\text{ном}}=575 \text{ хв}^{-1}$  та пасової передачі з передавальним відношенням 7/10 дає можливість вести обробку деталей на середніх частотах з використанням повної потужності (рис. 2.33).

Обробка довгих заготовок ведеться з закріпленням в кулачковому патроні і задній бабці. Переміщення пінолю і корпусу задньої бабки програмується. Рух корпусу задньої бабки виконується переміщенням супорта за віссю Z. В робочій позиції корпус затискається на напрямних гідроциліндром за допомогою притискачів. Конструкція задньої бабки наведена на рисунку 2.34.

Центр 1 з конусом Морзе 5 закріплюється в гільзі 2, встановленій в підшипниках кочення (спереду роликівий радіальний підшипник поз. 3, а позаду чотири радіально-упорних кулькових підшипники поз. 4) в пінолю 5 задньої бабки. Переміщення пінолю в корпусі 6 бабки здійснюється гідроциліндром 8. Кінцевий вимикач 7 забезпечує зупинку пінолю в крайніх положеннях.

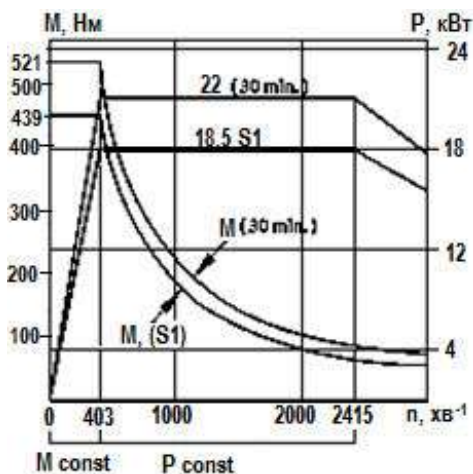


Рисунок 2.33 – Графік потужності приводу шпинделя

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічна характеристика верстата GOODWAY GA-3000 Series

| Параметр  | Розмірність       | Значення       |
|---|-------------------|----------------|
| Максимальний діаметр заготовки                  | мм                | 600            |
| Максимальний діаметр над супортом               | мм                | 500            |
| Максимальний діаметр обробки                    | мм                | 500            |
| Типовий діаметр обробки                         | мм                | 225            |
| Максимальна довжина обробки                     | мм                | 629(929)*      |
| Максимальна вага заготовки                      | кг                | 340            |
| Діаметр прутка                                  | мм                | 75             |
| Шпиндель  |                   |                |
| Передній кінець шпинделя                        |                   | A2-8           |
| Діаметр отвору шпинделя                         | мм                | 90             |
| Частота обертання шпинделя                      | хв. <sup>-1</sup> | 30 – 3000      |
| Діаметр шпиндельного підшипника                 | мм                | 130            |
| Потужність двигуна, S1(S6)                      | кВт               | 18,5 (22)      |
| Максимальний момент на шпинделі, S1(S6)         | Н·м               | 439 (522)      |
| Координатні осі                                 |                   |                |
| Максимальне переміщення за віссю X              | мм                | 260            |
| Максимальне переміщення за віссю Z              | мм                | 630 (930)*     |
| Швидкість подачі за осями                       | мм/хв.            | 1 – 4800       |
| Прискорене переміщення за осями X/Z             | м/хв.             | 20/24          |
| Точність позиціонування за осями                | мм                | 0,005          |
| Повторюваність                                  | мм                | 0,003          |
| Револьверна головка                             |                   |                |
| Кількість позицій                               |                   | 12             |
| Розміри інструмента                             | мм                | 25×25/ Ø40     |
| Час повороту головки: в сусідню позицію/на 180° | с                 | 0,3/0,5        |
| Конус пінолю задньої бабки                      |                   | Морзе 5        |
| Переміщення задньої бабки                       | мм                | 450            |
| Розміри верстата L×B×H                          | мм                | 2845×1965×1910 |
| Вага верстата                                   | кг                | 5,800/6,500*   |

\* - для верстата GA-3000L,

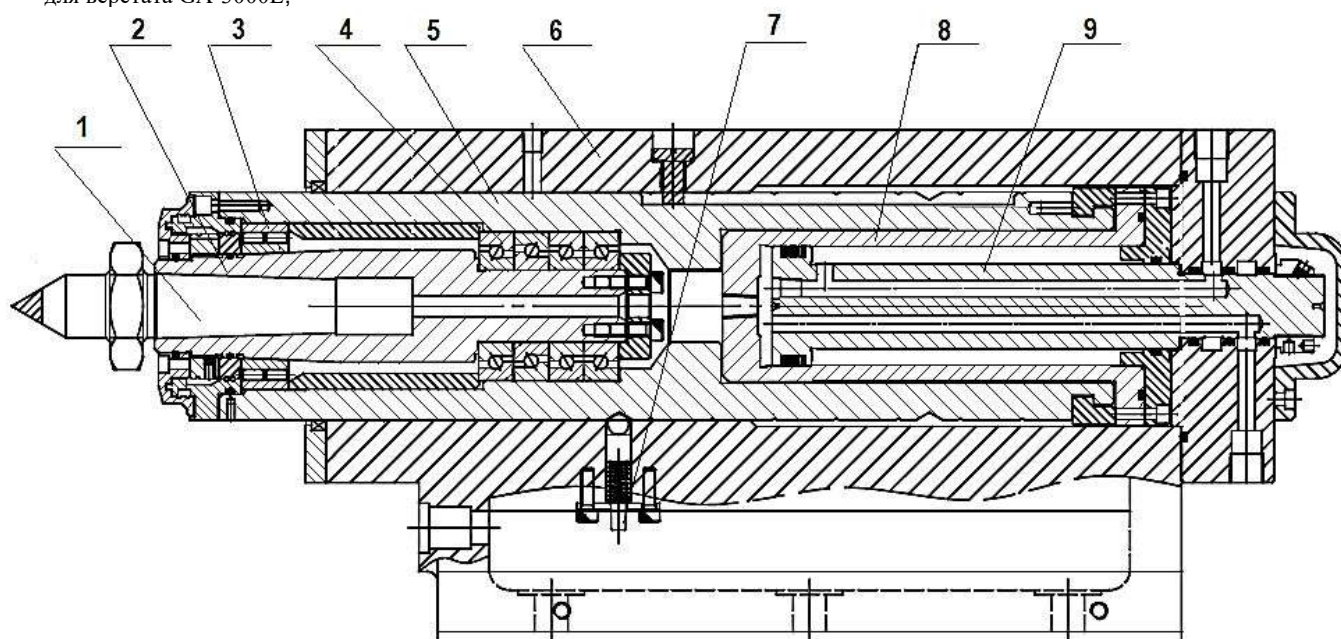


Рисунок 2.34 – Задня бабка верстата GA-3000

## 2.2.4 Вертикальний токарний верстат з ЧПК Schiess - Vertimaster

Верстат призначений для багатопрофільної обробки деталей великого діаметру і відносно малої довжини. На ньому можна виконувати токарні, свердлильні, розточувальні, фрезерні, шліфувальні роботи та нарізування різьби. Верстат оснащений п'яти осью системою ЧПК SINUMERIK 840 D: три лінійні координати – рух супорта повзуна горизонтальними напрямними траверси (X); вертикальний рух повзуна (Z); встановлювальний рух порталу (Y) та дві кругові – обертовий рух планшайби під час фрезерування (C) та поворот фрезерної головки (A).

Верстат (рис. 2.35) побудований за компонованням двостоякового токарно-карусельного верстата. Два стояки 5 в верхній частині з'єднані балкою, а в нижній – з основою верстата, в якій розміщується вузол шпинделя заготовки з приводом. В процесі токарної обробки заготовка, встановлена на планшайбі 1, обертається зі швидкістю різання, а під час фрезерування - з швидкістю кругової подачі. На передніх гранях стояків розміщені вертикальні напрямні переміщення траверси 4. Горизонтальними напрямними траверси рухається каретка 3, яка несе повзун 6. Повзун переміщується в вертикальному напрямку і несе інструментальні головки 2 для різального інструменту. Зміна інструментальних головок і інструменту здійснюється автоматично за програмою обробки.

Справа і зліва від верстата встановлені інструментальні магазини: справа для різального інструмента (поз. 7), а зліва для інструментальних головок (на рисунку не показано). На верстаті можуть використовуватися токарні адаптери, розточувальні, фрезерні, шліфувальні головки та спеціальні різцетримачі.

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.11.

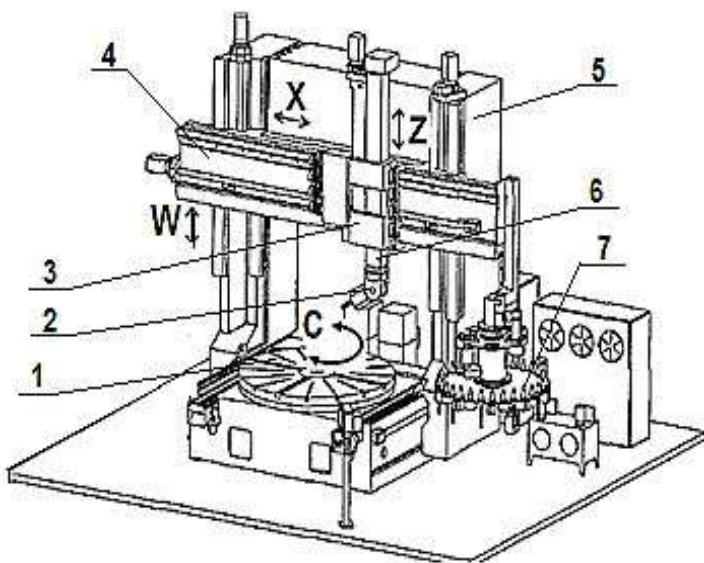


Рисунок 2.35 – Вертикальний токарний верстат з ЧПК

### 2.2.4.1 Привід планшайби

Привід обертання заготовки (рис. 2.36) розміщується в основі верстата. Планшайба 5 базується на основі 1 на двох підшипниках: упорному кульковому підшипнику 2, що сприймає осьова навантаження, та радіально-упорному конічному підшипнику 3, який призначений для сприйняття переважно

радіальних зусиль. Упорний підшипник установлений під кільцевим ребром планшайби, що забезпечує більшу жорсткість конструкції. Базування планшайби на підшипниках здійснюється через зубчасте колесо 4, що дає можливість в разі потреби знімати планшайбу без розбирання опор. Підшипники установлені з попереднім натягом, величина якого регулюється підгонкою кільця 14.

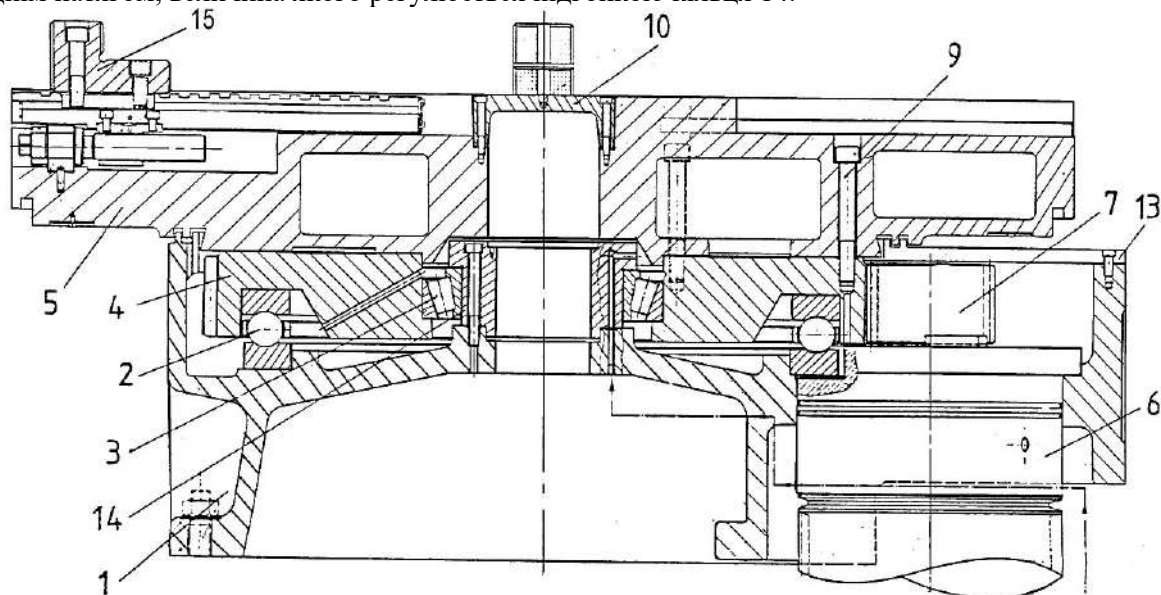


Рисунок 2.36 – Планшайба стола

Привід обертання стола здійснюється від регульованого електродвигуна постійного струму через планетарний редуктор 6 та пару зубчастих коліс 7 та 4. Використання планетарного редуктора дає можливість розширити діапазон регулювання частот обертання стола з постійною потужністю в чотири рази. Перемикання редуктора здійснюється автоматично за програмою, шпindel в цей час не повинен обертатися.

Обертання шпінделя планшайби може здійснюватися в режимі швидкості головного руху для виконання токарних робіт та в режимі кругової подачі для фрезерних робіт.

Таблиця 2.11 - Технічна характеристика верстата

| Параметр   | Розмірність                 | Значення параметра |
|--|-----------------------------|--------------------|
| Найбільший діаметр оброблюваної деталі                 | мм                          | 2000               |
| Найбільший висота оброблюваної деталі                  | мм                          | 2000               |
| Діаметр планшайби                                      | мм                          | 1600               |
| Максимальна вага заготовки                             | кг                          | 20000              |
| Горизонтальне переміщення каретки по траверсі (вісь X) | мм                          | 2340               |
| Вертикальне переміщення повзуна (вісь Z)               | мм                          | 1600               |
| Вертикальне переміщення траверси                       | мм                          | 1000               |
| Частота обертання планшайби (обточування)              | об/хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 0,78 – 250         |
| Частота обертання планшайби (фрезерування, вісь C)     | об/хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 0 - 7              |
| Кількість ступенів редуктора планшайби                 |                             | 2                  |
| Потужність двигуна приводу планшайби                   | кВт                         | 56                 |
| Швидкість подачі (за осями X, Z)                       | мм/хв.                      | 0,1 – 2000         |
| Прискорене переміщення (за осями X, Z)                 |                             | 10000              |
| Частота обертання інструментального шпінделя           | об/хв. (хв. <sup>-1</sup> ) | 2,5 – 1600         |
| Потужність двигуна приводу інструмента                 | кВт                         | 28                 |
| Прискорене переміщення траверси                        | мм/хв.                      | 2000               |
| Ємність інструментального магазину                     | шт.                         | 28                 |
| Ємність магазину для інструментальних головок          | шт.                         | 6                  |
| Переміщення порталу (вісь Y)                           | мм                          | ±1000              |
| Прискорене переміщення порталу (вісь Y)                | мм/хв.                      | 8000               |
| Точність позиціонування (за осями X, Y, Z)             | мм/м                        | 0,01               |
| Точність повторення (за осями X, Y, Z)                 | мм                          | 0,005              |

#### 2.2.4.2 Привід фрезерної головки

В залежності від обраного виду обробки на верстаті в повзуні можуть встановлюватися токарний адаптер, розточувальна, фрезерна або шліфувальна головка. Привід обертання головок (рис. 2.37) розміщується в верхній частині повзуна 1. Він складається з регульованого електродвигуна 7, двоступеневого редуктора 8 та привідного валу 10 від редуктора до гнізда для закріплення різального інструмента. В токарному адаптері, розточувальній та фрезерній головках інструменти встановлюються в конусних оправках з конусом 7/24 №50. Через розподільник 15 подається МОР до інструментальних головок.

Інструментальні головки встановлюються і закріплюються у вузлу закріплення інструментальних систем 2 з затискним кільцем 3 з байонетним профілем. Поворот кільця здійснюється пристроєм повороту 4, установленим на магазині інструментальних головок. Затискання головок виконується пакетом тарілчастих пружин 5, а розтискання – гідроциліндром 6.

Перемикання редуктора здійснюється гідроциліндром 17, який через важіль 9 пересуває зубчасте колесо 18. Контроль частоти обертання і положення привідного валу (інструментального шпінделя) виконується датчиком 12 через зубчасту пасову передачу 19. Обертання з привідного валу на шпindel інструментальної головки передається зубчастою муфтою 11. Якщо в інструментальній головці установлений токарний адаптер, то муфта зміщується вгору, а індуктивний датчик 16 вимикає привідний електродвигун 7.

Для розтискання конусних оправок в отворі інструментальної головки використовується гідроциліндр 14.

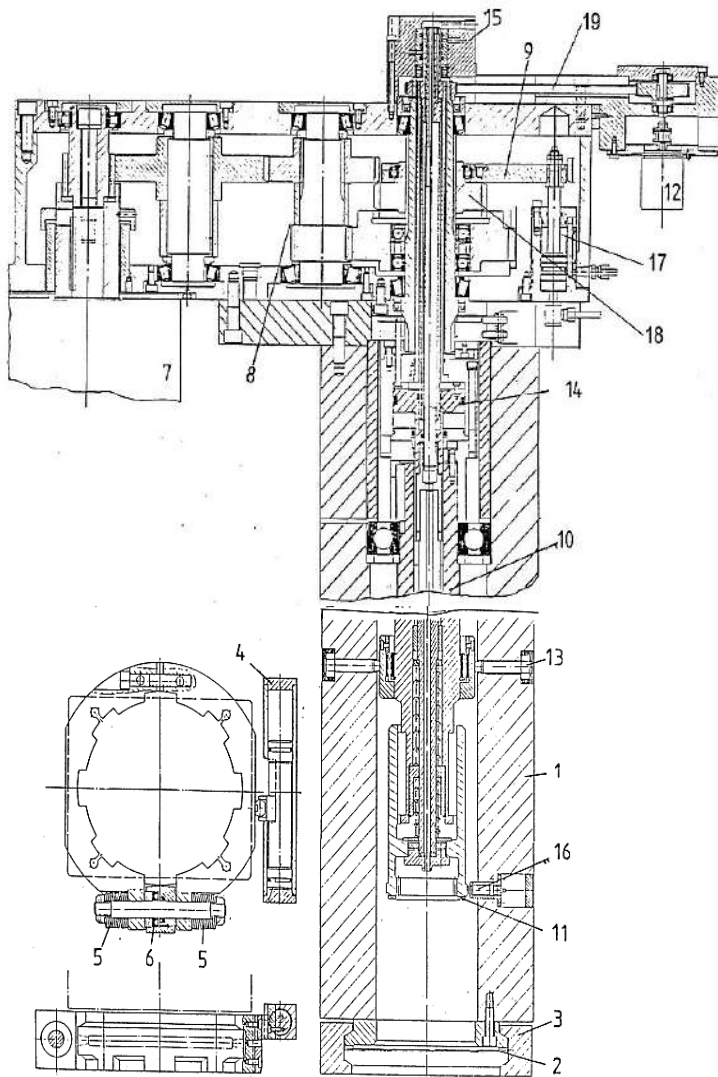


Рисунок 2.37 – Фрезерно-розточувальний привід

який сприймає осьове навантаження. В задній опорі шпинделя встановлений голчастий підшипник 7.

### 2.2.4.3 Інструментальні головки та адаптер

Токарний адаптер (рис. 2.38, а) призначений для закріплення інструментів при виконанні токарних робіт без обертання інструмента.

Інструментальні оправки з різцями встановлюються в конусному отворі корпусу 3 адаптера. Закріплення оправки здійснюється пакетом тарілчастих пружин 2, які переміщують тягу 1 з цангою 4 вгору. Пелюстки цанги виходять з фасонної розточки втулки 5, захвачують кінець оправки і затягують її в конічний отвір корпусу. Розтискання оправки відбувається внаслідок переміщення тяги вниз від дії гідроциліндра 14 (рис. 2.37). Пакет тарілчастих пружин стискається, пелюстки цанги заходять в фасонну розточку втулки 5, а тяга своїм нижнім кінцем виштовхує інструментальну оправку.

В фрезерно-розточувальній головці (рис. 2.38, б) механізм закріплення інструментальних оправок такий самий як і в токарному адаптері, але він розміщений не в корпусі головки як в адаптері, а в шпинделі 6. На верхньому кінці шпинделя виконаний зубчастий вінець 10, який, при встановленні головки в повзун, входить в зачеплення з півмуфтою 11 (рис. 2.37) привідного валу, через який на шпиндель передається крутний момент. Шпиндель встановлений в передній опорі в дворядний роликовий підшипник 8, що сприймає радіальне навантаження та кульковий упорно-радіальний підшипник 9, який сприймає осьове навантаження.

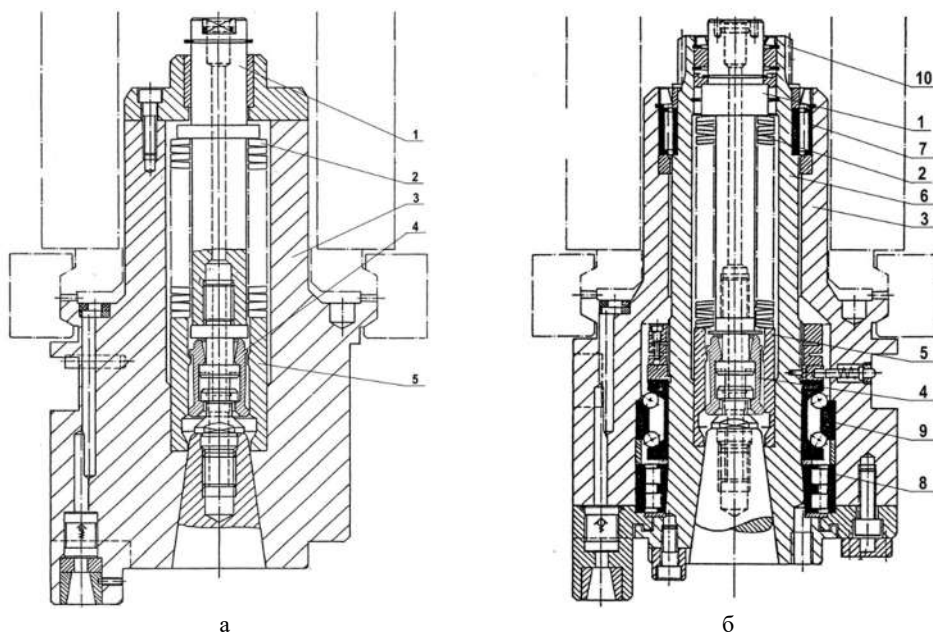


Рисунок 2.38 – Інструментальні головки верстата: а – токарний адаптер; б – фрезерно-розточувальна головка

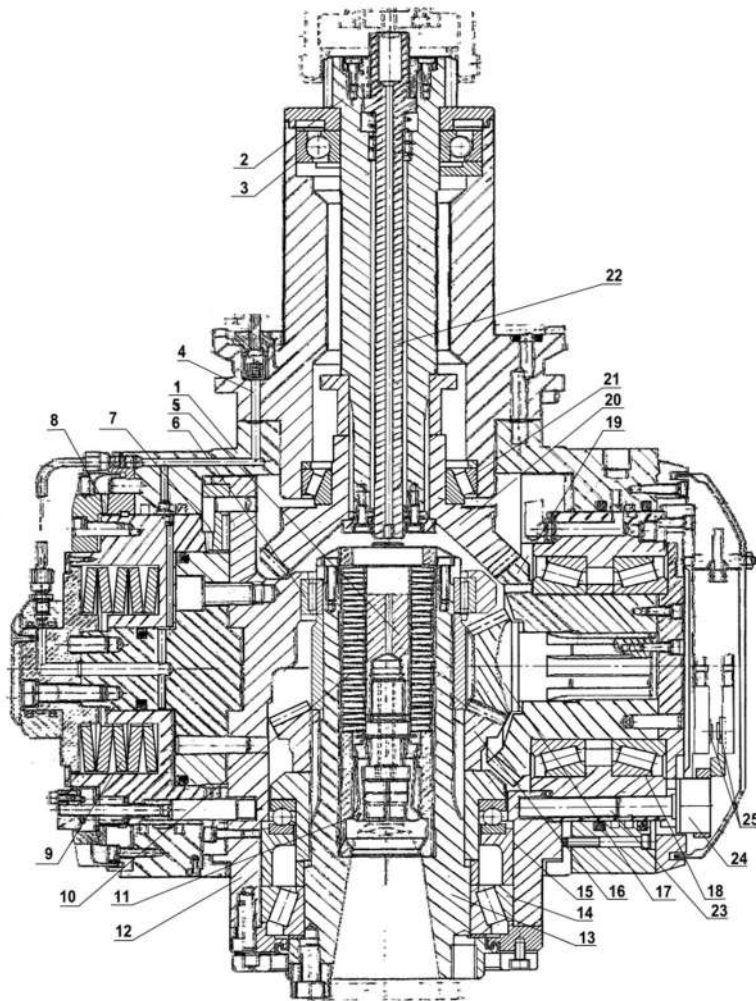


Рисунок 2.39 – Фрезерна поворотна головка

корпус. Поводок 23 переміщується під повідкову штангу 24 і з'єднує інструментальний привід з поворотним корпусом. Двигун інструментального шпинделя повільно обертається, передаючи рух на корпус до досягнення необхідного положення. По встановленню шпинделя в потрібну позицію вимикається подача масла в гідроциліндр і тарілчасті пружини 9 замикають муфти 7 і 8, фіксуючи корпус шпинделя. Контроль затискання та розтискання поворотного корпусу виконується індуктивними датчиками 25.

### 2.2.5 Вертикальний токарний верстат з ЧПК мод. SKIQ 16 C-M

Верстат призначений для високопродуктивної токарної обробки заготовок великого діаметра та відносно невеликої довжини в умовах штучного і серійного виробництва. На верстаті можна виконувати токарну обробку циліндричних зовнішніх та внутрішніх поверхонь, конусів, нарізування різі, обробку канавок, шліфування, осьове і позацентрове свердління, розгортання, нарізування різі і фрезерування поверхонь. Несуча частина токарно-карусельного верстата (рис. 2.40) складається зі станини 1 і опорної стойки 6, які в сукупності утворюють жорстку конструкцію. Планшайба, оснащена чотирма кулачками для ручного затиску заготовки 4, встановлена на станині в спеціальному хрестоподібному підшипнику кочення.

Напрямними ковзання опорної стойки переміщається поперечка. Кріплення поперечки до опорної стойки здійснюється за допомогою гідрозатиску, а її перестановку, з кроком 100 мм, забезпечує електродвигун через гвинтову передачу. При перестановці поперечки блокується запуск планшайби, її можна запустити лише після закріплення поперечки. Поперечку також не можна переставити, якщо планшайба знаходиться в русі. Поперечний супорт 5, який переміщається загартованими напрямними планками поперечки, виконує рух за віссю Х. На поперечному супорті встановлений магазин 3 державок інструментів з п'ятнадцятьма позиціями. Механізми для повертання магазину і для заміни різцевих державок з магазину в повзун, знаходяться на поперечному супорті. Механізм для закріплення і відкріплення державки вбудований в нижній частині повзуна. Повзун 7 встановлений в поперечному супорті, має жорстку конструкцію і

Застосовуючи фрезерно-розточувальну головку, на верстаті можна виконувати розточування, свердління, зенкерування отворів розміщених зі зміщенням від осі обертання заготовки та фрезерування поверхонь паралельних чи перпендикулярних базовій площині.

Для фрезерування поверхонь розміщених під деяким кутом до базової площини використовується фрезерна головка наведена на рисунку 2.39. Така головка забезпечує поворот осі шпинделя на кут від 0° до 90° з дискретністю 2,5°.

Обертання на шпиндель 13 передається від муфти (зубчастий вінець 2 на вхідному валу головки і півмуфта 11 (рис. 2.37) привідного валу) через конічні зубчасті колеса 20 і 19 та конічну передачу з колесами 16 і 15. Шпиндель в передній опорі встановлений в конічний роликовий радіально-упорний підшипник 14 та кульковий упорний підшипник 15, в задній опорі встановлений голчастий підшипник 6. Механізм затиску інструмента діє подібно до механізмів описаних вище.

Фрезерний шпиндель встановлений в поворотному корпусі 1. Обертання поворотного корпусу здійснюється від приводу обертання інструмента.

Для виконання циклу повороту корпусу шпинделя каналом 4 масло подається до гідроциліндра, переміщенням якого розмикаються муфти 7 і 8, звільняючи

рухається загартованими напрямними поверхнями за допомогою напрямних кочення. Для досягнення необхідної точності напрямні кочення поперечного супорта і повзуна попередньо натягнуті. Переміщення поперечного супорта і повзуна здійснюється від електричних серводвигунів кульковими гвинтовими передачами. Через повзун проходить приводний вал для приводу ротаційних інструментів. Вал приводиться в рух електричним регульованим двигуном через триступеневу коробку передач.

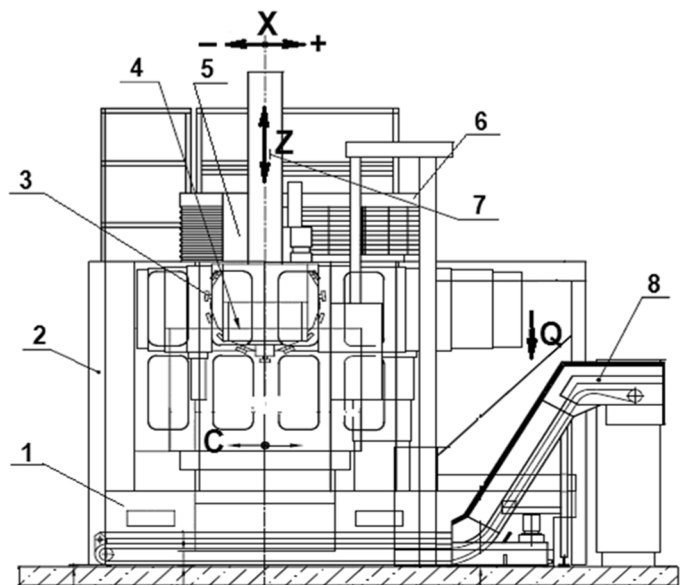


Рисунок 2.40 – Вертикальний токарний верстат SKIQ

Машиння основних вузлів верстата здійснюється автоматично мастильним агрегатом. Для усунення теплових деформацій верстата напрямні верстата, шестерні в коробці передач, а також спеціальний хрестоподібний підшипник змащуються маслом, яке охолоджується в охолоджувальному пристрої.

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.12.

Відведення стружки з робочого простору верстата здійснюється за допомогою жолобів, які є складовою частиною захисних кожухів, двох бічних вібраційних конвеєрів стружки і торцевого виносного конвеєра стружки 8. З бака торцевого конвеєра охолоджуюча рідина відкачується через фільтрувальну і сепараційні станції в бак охолоджуючої рідини об'ємом 450 л, а звідти за допомогою насоса високого тиску подається до повзуна і інструментів. Охолоджуюча рідина може також подаватися через середину повзуна прямо на

інструмент.

Таблиця 2.12 - Технічна характеристика верстата SKIQ 16С-М

| Параметр  | Розмірність       | Значення             |
|---|-------------------|----------------------|
| Діаметр планшайби   | мм                | 1600                 |
| Максимальний діаметр заготовки  | мм                | 1800                 |
| Максимальний діаметр точіння по периметру   | мм                | 1800                 |
| Максимальний діаметр точіння по торцю   | мм                | 1900                 |
| Максимальна висота заготовки  | мм                | 1275                 |
| Максимальна відстань між поверхнею планшайби і затискнутою поверхнею засунутого повзуна | мм                | 1510                 |
| Перетин повзуна   | мм                | 180×200              |
| Робочий хід повзуна (вісь Z)  | мм                | 1000                 |
| Переміщення поперечного супорта (вісь X)  | мм                | -80/+1165            |
| Максимальний хід поперечки (вісь Q)   | мм                | 800                  |
| Робоча подача (режим токарної обробки)  | мм/хв.(мм/об)     | 1-4000<br>(0,001-50) |
| Робоча подача (нарізування різи)  | мм/об             | 0,01-400             |
| Прискорений рух за осями X і Z  | мм/хв.            | 12000                |
| Швидкість руху поперечки, вісь Q  | мм/хв.            | 287                  |
| Частота обертання планшайби:  | хв. <sup>-1</sup> | 2 – 200              |
| 1 діапазон  | хв. <sup>-1</sup> | 2 – 50               |
| 2 діапазон  | хв. <sup>-1</sup> | 8 - 200              |
| Частота обертання планшайби при фрезерування (вісь C)                                   | хв. <sup>-1</sup> | 0,01 – 7,4           |
| Потужність двигуна приводу планшайби  | кВт               | 60                   |
| Частота обертання ротаційних інструментів   | хв. <sup>-1</sup> | 8 - 3312             |
| Число діапазонів регулювання  |                   | 3                    |
| Потужність двигуна приводу ротаційних інструментів                                      | кВт               | 20                   |
| Максимальна маса заготовки  | кг                | 12000                |
| Максимальне зусилля різання   | Н                 | 45000                |
| Максимальний перетин тіла різця   | мм                | 40×40                |



Захисні кожухи 2 робочого простору верстата забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу під час роботи.

Верстат оснащується системою ЧПК SINUMERIK 840D.

### 2.2.5.1 Привід обертання планшайби

Планшайба верстата з установленою заготовкою може обертатися в режимі швидкості різання для виконання токарних робіт та в режимі обертової осі (вісь С) зі швидкістю кругової подачі для виконання фрезерних та інших робіт з ротаційним інструментом.

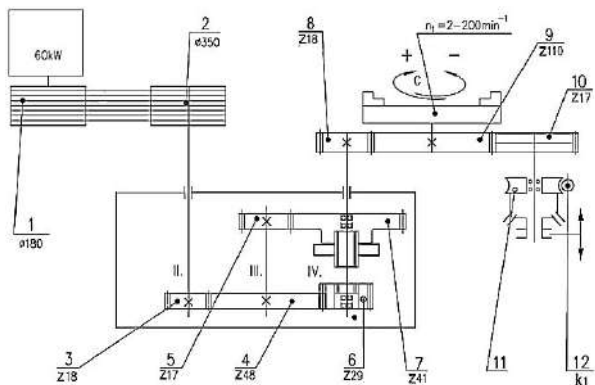


Рисунок 2.41 – Кінематична схема проводу планшайби

далі з зубчастого колеса 10, яке складається з двох вінців (поз. 4 і 5 рис. 2.42), на зубчастий вінець 9. Для передачі моменту з черв'ячного колеса 7, яке встановлено на підшипнику 38, (рис. 2.42) на вал 3 конус 8 притискається зусиллям від гідроциліндра 13 до фланця 21, закріпленого на торці черв'ячного колеса. Одночасно з цим тяга 10, скріплена штифтом 9 з конусом, переміщується вгору, даючи можливість пружинам 20 пересувати зубчастий вінець 5. Зуби в зубчастих вінцях 4 і 5 виконані зі скосом в 6°, що в нижньому

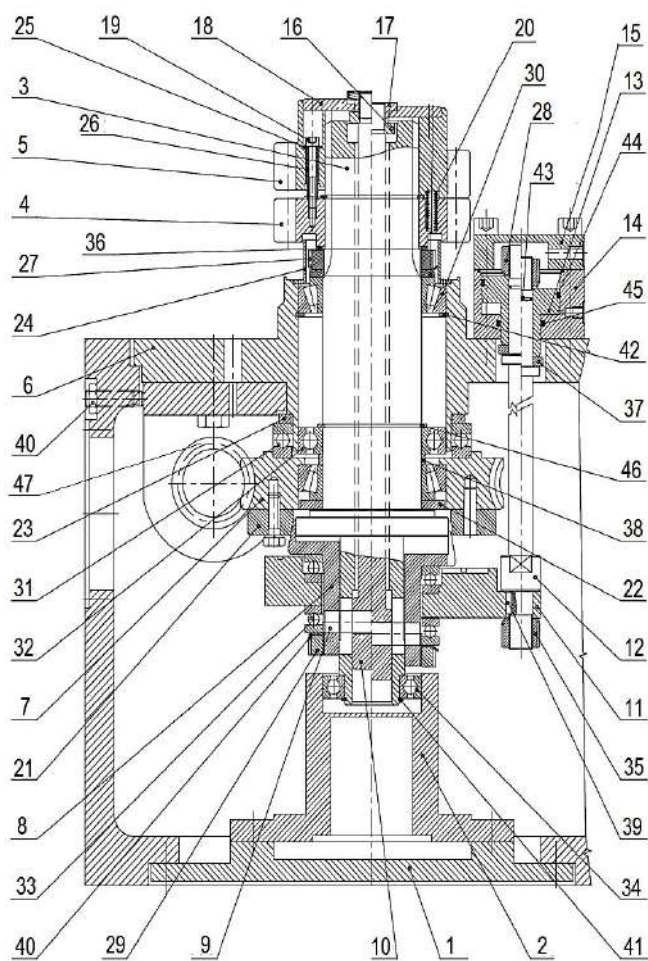


Рисунок 2.42 – Механізм обертання планшайби (вісь С)

Для виконання токарної обробки рух на планшайбу передається від регульованого електродвигуна потужністю 60 кВт пасовою передачею зі шківками 1 і 2 (рис. 2.41) на вал II двоступінчастої коробки швидкостей. З вала II зубчастими колесами 3 і 4 обертання передається на вал III з якого, в залежності від положення зубчастої муфти, або колесами 4 і 6, або колесами 5 і 7 передається на вал IV і далі зубчастим колесом 8 на вінець 9, закріплений на планшайбі. Планшайба установлена на хрестовому роликовому підшипнику з попереднім натягом.

Привід осі С виконується від окремого серводвигуна через черв'як 12, черв'ячне колесо 11, і далі з зубчастого колеса 10, яке складається з двох вінців (поз. 4 і 5 рис. 2.42), на зубчастий вінець 9. Для передачі моменту з черв'ячного колеса 7, яке встановлено на підшипнику 38, (рис. 2.42) на вал 3 конус 8 притискається зусиллям від гідроциліндра 13 до фланця 21, закріпленого на торці черв'ячного колеса. Одночасно з цим тяга 10, скріплена штифтом 9 з конусом, переміщується вгору, даючи можливість пружинам 20 пересувати зубчастий вінець 5. Зуби в зубчастих вінцях 4 і 5 виконані зі скосом в 6°, що в нижньому положенні вінця 5 забезпечує зазор в зачепленні з вінцем планшайби. Рух вінця 5 вгору вибирає зазор і робить сполучення беззазорним. Величина переміщення вінця обмежується гвинтами 19 для виключення можливості заклинювання зубчастої передачі. Між фланцем 18 і кільцем 16 забезпечується зазор 0,6 мм, з тим щоб переміщення вінця 5 забезпечувалося пружинами 20, а не гідроциліндром.

### 2.2.5.2 Привід обертового інструмента

Привід обертового інструменту (рис. 2.43) розміщується в верхній частині повзуна. Він складається з регульованого електродвигуна 3, триступеневої коробки швидкостей і привідного вала 8, розміщеного в повзуні 46. Перемикання коробки швидкостей забезпечує три діапазони частот обертання шпинделя обертового інструмента.

Рух від вала електродвигуна передається на порожнистий вал-шестірню 10 і від нього через шпонки на шестірню 4. Верхній діапазон частот отримують вмиканням зубчастої муфти 18 вгору. В такому випадку рух передається з колеса 10 на колесо 11 і муфту 18 на вал 7, з якого муфтою 37 передається на привідний вал 8. В нижній частині привідний вал муфтою 42 з'єднаний з валом 44, на кінці якого встановлена підпружинена зубчаста муфта 45, через яку крутий момент передається на державку для обертових інструментів.

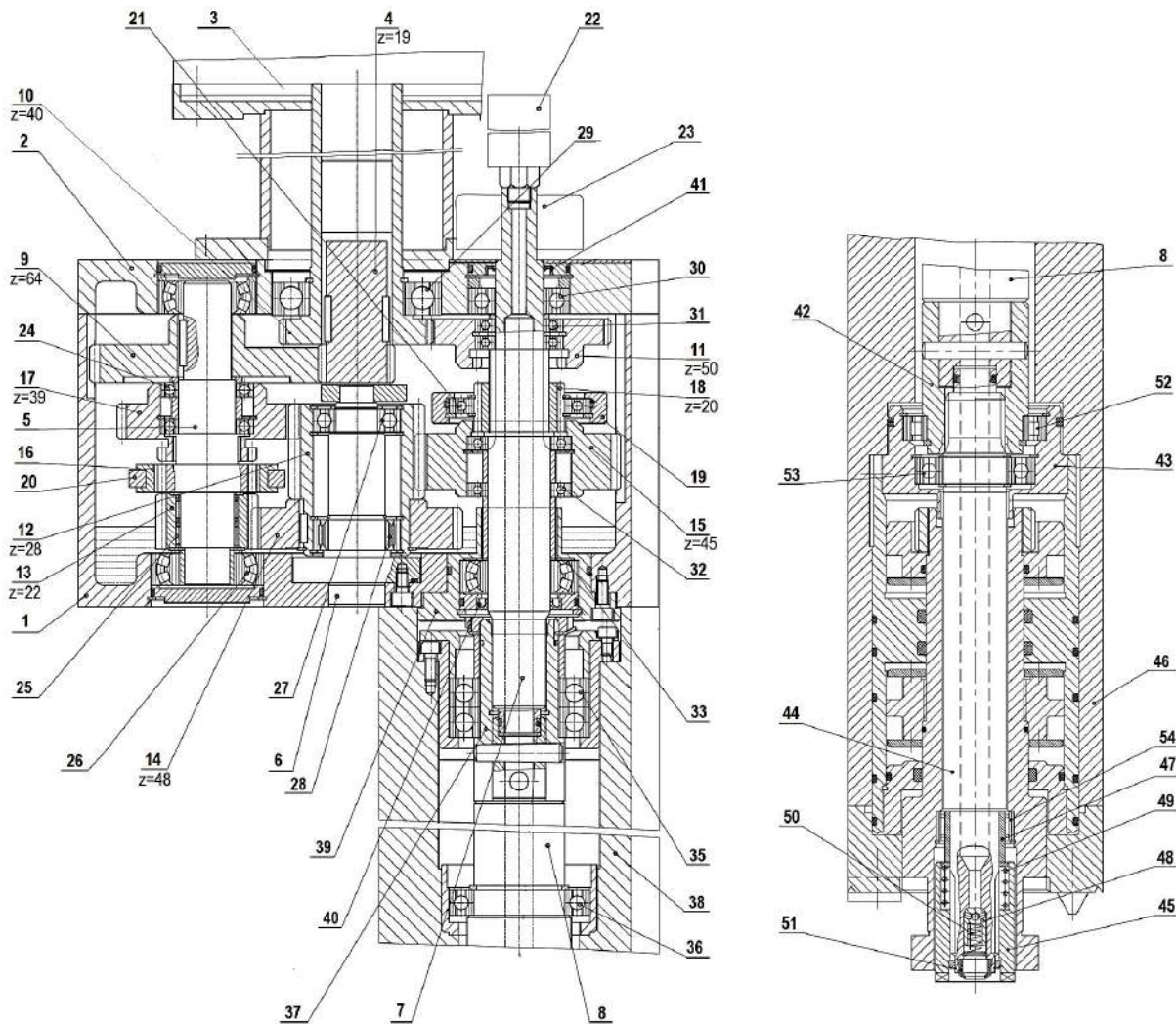


Рисунок 2.43 – Конструкція механізму приводу обертового інструмента

Для отримання середнього діапазону частот обертання муфта 18 пересувається вниз, з'єднуючи зубчасте колесо 15 з валом 7, а муфта 16 пересувається вгору для передачі моменту з вала 5 на зубчасте колесо 17. Нижній діапазон частот обертання одержують перемиканням муфти 16 в нижнє положення, коли вал 5 з'єднується з зубчастим колесом 13. Перемикання муфт здійснюється гідроциліндрами, а їх положення контролюється безконтактними вимикачами.

Вали 7, 8 і 44 приводу виконані порожнистими, через отвори в валах подається охолоджуюча рідина до інструментів. На вході до шпинделя обертового інструмента канали подачі рідини ущільнені кільцем 51.

### 2.2.5.3 Інструментальні головки для обертового інструменту

Інструментальні головки для обертових інструментів використовується для фрезерних, свердлильних, розточувальних операцій, розгортання, зенкерування та різьбонарізання. В шпинделі головки затискаються інструменти з інструментальним конусом ISO 50 (7/24). Закріплення інструментальної головки на торцеву поверхню фланця повзуна відбувається за допомогою Т-подібного паза затискної головки. На верстаті можуть використовуватися прямі (рис. 2.44) і кутові (рис. 2.45) інструментальні головки. Встановлення і закріплення інструмента в головці, а також його заміна виконуються вручну за межами верстата. Обмін інструментальними головками між магазином і повзуном виконується автоматично за програмою.

Пряма інструментальна головка складається з корпусу 1, в якому змонтований шпиндель 2. В передній опорі шпиндель встановлений в дворядному роликовому підшипнику з конічним отвором, а в задній в двох радіально-упорних підшипниках. Момент на шпиндель передається від вихідного вала повзуна зубчастою муфтою 3. Про замикання зубчастої муфти сигналізує датчик, розміщений в повзуні. Після вмикання зубчастої муфти плунжер 10 виводить фіксуєчий штифт 9 зі шліца в кільці 8, звільняючи шпиндель. Фіксуєчий штифт блокує обертання шпинделя, якщо головка не закріпилася в повзуні.

Конструкція шпинделя інструментальної головки передбачає можливість подачі охолодження до інструмента через вісь інструментальної оправки (тип AD DIN69871), через два канали в шпинделі до

підпружинених плунжерів 11 і далі через отвори в фланці оправки (тип В DIN69871), та з зовнішнім підводом через клапани 13 і форсунки 12. В перших двох випадках рідина підводиться з повзуна до отвору в гвинті 4, а в останньому випадку через канали в корпусі інструментальної головки.

Для забезпечення обробки обертовим інструментом поверхонь перпендикулярних площині планшайби на верстаті можуть застосовуватися кутові інструментальні головки (рис. 2.45). Закріплення такої головки на повзуні виконується так само як і прямої інструментальної головки. Рух від вихідного вала повзуна зубчастою муфтою 2 передається через конічні зубчасті колеса 4 і 5 на горизонтальний шпиндель 3. Шпиндель в передній опорі встановлений в три радіально-упорні шарикові підшипники 14, а в задні опорі в однорядний роликовий підшипник 12 з конічним отвором. Захист підшипників передньої опори від попадання охолоджуючої рідини і забруднення забезпечується лабіринтними ущільненнями між фланцем шпинделя і кришкою 16.

Подача охолодження в зону обробки здійснюється так само як і в прямій інструментальній головці.

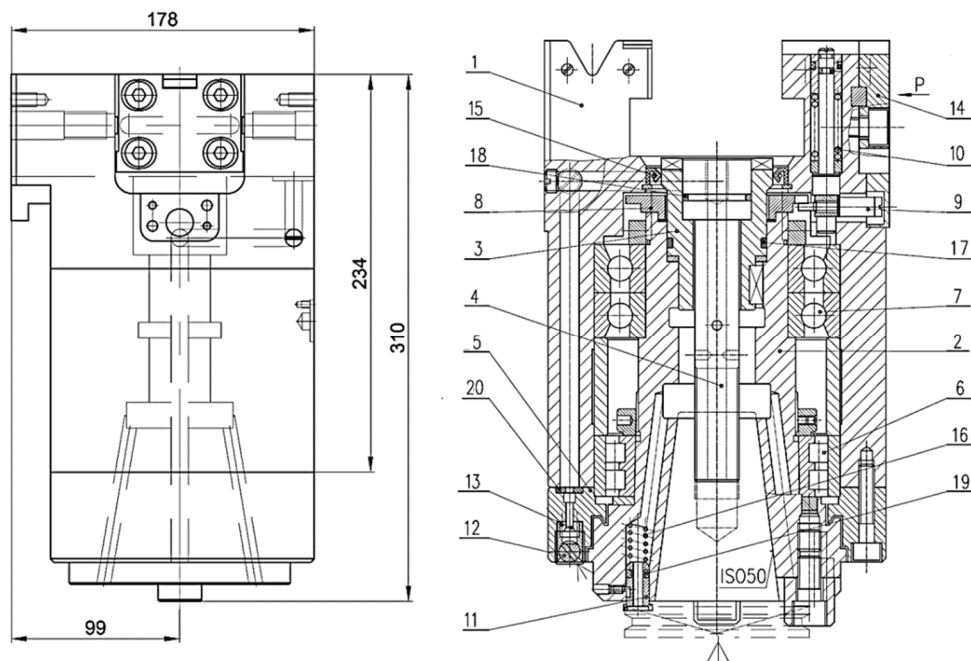


Рисунок 2.44 – Головка для обертового інструмента пряма

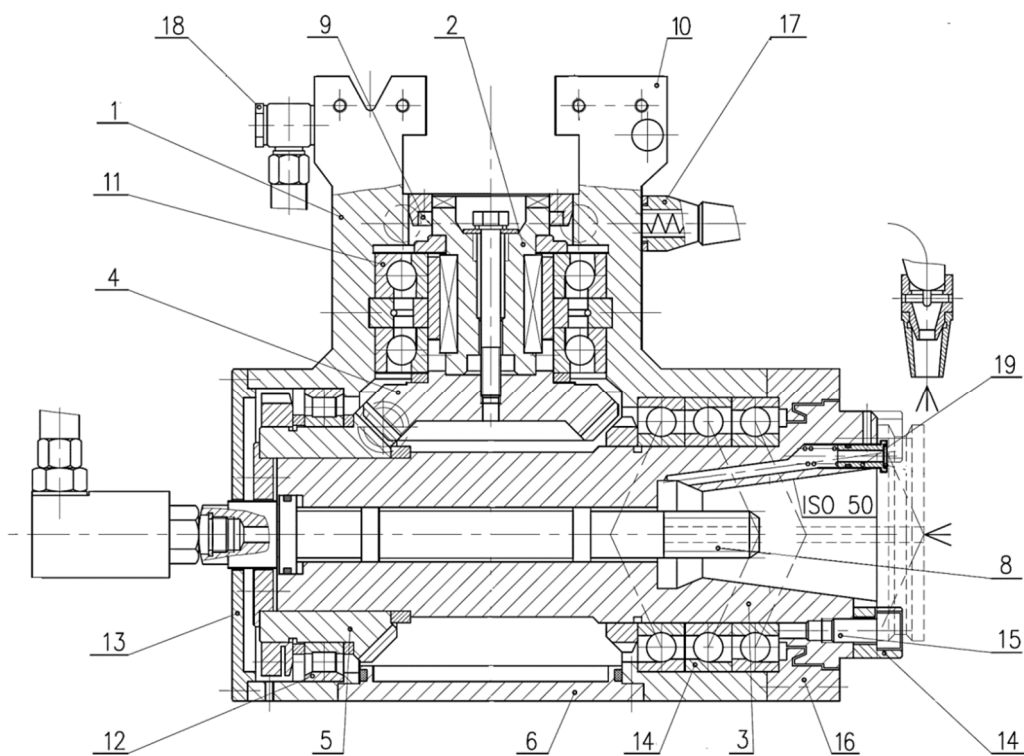


Рисунок 2.45 – Головка для обертового інструмента кутова

## Контрольні питання до розділів 1 і 2

1. Які основні особливості верстатів для використання новітніх технологій обробки?
2. Як визначаються лінійні та обертові осі верстатів з ЧПК?
3. Які типи електродвигунів використовуються в приводах головного руху, в приводах лінійних переміщень верстатів з ЧПК та багатоцільових?
4. Які особливості використання кулькових гвинтових передач?
5. Якими чинниками обмежується швидкохідність кількової гвинтової передачі?
6. З якою метою в підшипниках шпиндельних опор створюють попередній натяг?
7. В яких умовах роботи шпиндельного вузла доцільно використовувати гібридні підшипники?
8. Які основні види навантажень сприймають підшипники в опорах ходових гвинтів?
9. В чому полягають переваги використання напрямних кочення?
10. В яких випадках слід віддавати перевагу напрямним ковзанню перед напрямними кочення?
11. Як здійснюється закріплення інструментальних оправок в револьверних головках токарних верстатів з ЧПК?
12. В чому полягають відмінності в механізмах повороту інструментального диска в револьверних головках без приводу інструмента та з приводом?
13. Які способи заміни інструмента використовуються в багатоцільових верстатах із інструментальними магазинами?
14. Які типи приводів використовуються в конструкціях поворотних столів?
15. Які технологічні операції можна виконувати на токарних верстатах з ЧПК горизонтального компонування?
16. Які технологічні операції можна виконувати на токарних верстатах з ЧПК вертикального компонування?
17. Який привід використовується для руху за поворотними осями в багатоцільових верстатах PICOMAX 825 VERSA, Huron K2X8 Five, ЛЕСНП?
18. За якими осями здійснюють рухи виконавчі органи в верстатах Huron K2X8Hive, Huron KX100?
19. З якою метою в конструкції приводу переміщення стола верстата Huron KX100 використовується два електродвигуни?
20. З якою метою в конструкції приводу повороту стола за віссю А верстата Hermle C42 може використовуватися два електродвигуни?

## Тести для перевірки знань

1. Як розміщуються осі координат токарного верстата з ЧПК?
  - a) вісь X співпадає з віссю шпинделя, вісь Y – перпендикулярно осі X;
  - b) вісь X співпадає з віссю шпинделя, вісь Z – перпендикулярно осі X;
  - c) вісь Z співпадає з віссю шпинделя, вісь – X перпендикулярно осі Z;
  - d) вісь Z співпадає з віссю шпинделя, вісь – Y перпендикулярно осі Z.
2. Які електродвигуни найчастіше використовуються в приводах подач багатоцільових верстатів?
  - a) асинхронні електродвигуни;
  - b) синхронні електродвигуни з постійними магнітами;
  - c) електродвигуни постійного струму;
  - d) крокові електродвигуни.
3. Яке призначення моментних електродвигунів?
  - a) застосовуються в приводах лінійних осей багатоцільових верстатів;
  - b) застосовуються в приводах головного руху багатоцільових верстатів;
  - c) застосовуються в приводах оберткових осей багатоцільових верстатів;
  - d) в багатоцільових верстатах такі електродвигуни не використовуються.
4. Які основні фактори, що впливають на потужність холостого ходу в підшипнику?
  - a) частота обертання, діаметр підшипника, в'язкість мастила, вид мащення;
  - b) конструкція підшипника, наявність сепаратора, кут контакту, вид мащення;
  - c) частота обертання, навантаження на опору, в'язкість мастила;
  - d) діаметр підшипника, в'язкість мастила, навантаження на опору.
5. З якою метою встановлюється в шпиндельній опорі упорно-радіальний дворядний кульковий підшипник?
  - a) для сприйняття осьового навантаження, встановлюється в задній опорі;
  - b) для сприйняття осьового навантаження, встановлюється в передній опорі;
  - c) для сприйняття осьового навантаження, встановлюється в передній або в задній опорі;
  - d) для сприйняття осьового та радіального навантаження.
6. Які передні кінці шпинделів використовуються в багатоцільових верстатах для швидкісного різання?
  - a) під циліндричні розтискні інструментальні оправки;
  - b) під інструментальні оправки з конусом Морзе;
  - c) під інструментальні оправки з конусом 7:24;
  - d) під інструментальні оправки HSK з конусом 1:10.
7. Яка схема встановлення забезпечує найбільшу критичну частоту ходового гвинта?
  - a) обидві опори гвинта плаваючі, сприймають лише радіальне навантаження;
  - b) ходовий гвинт з вільним кінцем;
  - c) одна опора, а інша і радіальне і осьове;
  - d) обидві опори гвинта мають осьову фіксацію і сприймають радіальне навантаження.
8. Яке зусилля попереднього натягу напрямних рекомендується для важкого натягу?
  - a) зусилля натягу 0,05 С. (динамічної вантажопідйомності);
  - b) зусилля натягу 0,13 С;
  - c) зусилля натягу 0,08 С;
  - d) зусилля натягу 0,28 С;
9. Як базуються і закріплюються в револьверних головках інструментальні головки і оправки форми VDI?
  - a) базування оправки здійснюється по діаметру хвостовика. Закріплення хвостовика оправки виконується натискною втулкою по лисці на циліндричній поверхні, на якій виконані канавки;
  - b) базування і закріплення оправки здійснюється по діаметру хвостовика за допомогою цанг;
  - c) базування виконується по площині і шпонках на периферії, а закріплення за допомогою гвинтів;

- d) базування і закріплення оправки здійснюється в пазах інструментального диска за допомогою клинових планок.
10. За якими осями виконують переміщення виконавчі органи в верстаті Huron K2X 10 Five?
- за трьома лінійними: X, Y, Z і двома круговими: A, B;
  - за трьома лінійними: X, Y, Z і двома круговими: A, C;
  - за двома лінійними: X, Z і двома круговими: C, B;
  - за трьома лінійними: X, Y, Z і трьома круговими: A, B, C.
11. Які рухи здійснює заготовка в верстаті Huron KX 100?
- поступальний рух за осями X та Y;
  - поступальний рух за віссю X та обертальний за віссю C;
  - поступальний рух за віссю X;
  - поступальний рух за віссю Y та обертальний за осями A і C.
12. Які рухи здійснює інструмент в верстаті Huron KX 100?
- поступальний рух за осями Z та Y;
  - поступальний рух за віссю X та обертальний за віссю C;
  - поступальний рух за осями Z та Y та обертальний за осями B і C;
  - поступальний рух за віссю Z та обертальний за віссю C.
13. Які виконавчі органи здійснюють рухи за обертовими осями в верстаті Huron KX 100?
- заготовка обертається за віссю C, а шпіндельна головка з інструментом за віссю A;
  - заготовка обертається за осями A і C;
  - шпіндельна головка з інструментом за осями A і B;
  - шпіндельна головка з інструментом за осями C і B.
14. З якою метою в верстаті Huron KX 100 застосовується попередній розтяг ходового гвинта за віссю X?
- для компенсації температурних деформацій в разі осьової фіксації гвинта в двох опорах;
  - для створення попереднього натягу в опорах гвинта;
  - для підвищення точності позиціонування стола;
  - для компенсації деформації гвинта від розтягу стискання.
15. З якою метою в приводі переміщення за віссю X в верстаті Huron KX 100 встановлено два електродвигуни?
- для одержання подвійної потужності в приводі осі;
  - для одержання подвійного обертального моменту в приводі осі;
  - для згладжування пульсації руху на малих швидкостях;
  - для усунення скручування гвинта і забезпечення точності встановлювальних рухів.
16. Які двигуни використовуються в приводі обертових осей в верстаті Huron KX 100?
- асинхронні регульовані електродвигуни;
  - моментні (торові) електродвигуни;
  - двигуни постійного струму;
  - крокові електродвигуни.
17. Які координатні рухи виконуються в верстаті PICOMAX 825 VERSA?
- рух стола з заготовкою за лінійною віссю X та обертовими осями A і C, і рух інструмента за осями Z та Y;
  - рух інструмента за лінійними осями X, Y та Z і рух заготовки за осями A і C;
  - рух стола з заготовкою за лінійною віссю X та обертовими осями B і C, і рух інструмента за осями Z та Y;
  - рух стола з заготовкою за лінійною віссю X та обертовою віссю C, і рух інструмента за лінійними осями Z та Y та обертовою віссю B.
18. Який накопичувач інструментів використовується в верстаті PICOMAX 825 VERSA?

- a) накопичувач у вигляді револьверної головки;
- b) дисковий інструментальний магазин з автооператором;
- c) револьверна головка і інструментальний магазин;
- d) ланцюговий магазин без автооператора.

19. Як виконується автоматичний пошук інструмента в верстаті PICOMAX 825 VERSA?

- a) за допомогою кодування інструментальних оправок кодovими кільцями;
- b) за допомогою датчика вбудованого в електродвигун приводу інструментального магазину;
- c) за допомогою спеціального датчика, що пов'язаний з інструментальним магазином пасовою передачею;
- d) за допомогою кодування інструментальних оправок магнітними датчиками.

20. Які рухи може виконувати в процесі обробки деталей в верстаті PICOMAX 825 VERSA?

- a) переміщення за двома лінійними осями X і Y та за обертовою віссю C;
- b) переміщення за лінійною віссю X та за обертовими осями A і C;
- c) переміщення за двома лінійними осями X і Y та за обертовими осями A і C;
- d) переміщення за двома лінійними осями X і Y та за обертовою віссю B.

### РОЗДІЛ 3. Системи керування сучасними металорізальними верстатами.

Стрімкий розвиток систем числового програмного керування (ЧПК) нерозривно пов'язаний із поступовим підвищенням вимог до якості і точності обробки, прагненням до концентрації операцій механічної обробки, що у свою чергу приводить до підвищення вимог до точності і технологічних можливостей верстатів, а також до необхідності скорочення часу обробки для зростання продуктивності. Сучасні верстати, завдячуючи числовому програмному керуванню, мають можливості послідовно виконувати операції фрезерування, свердління, розточування, нарізання різі і точіння.

Варто зазначити, що сучасні системи ЧПК – це не просто «комп'ютер», зв'язаний із верстатом, через який шляхом введення керуючої програми відбувається переміщення робочих органів за заданими координатами. Сучасні системи ЧПК контролюють і за необхідності коректують усі переміщення робочих органів верстатів, відслідковують навантаження на шпindelний вузол, контролюють знос різального інструменту та навіть здатні самостійно здійснювати контроль оброблених поверхонь і за необхідності вносити корекцію для виконання повторної обробки.

Розширення функціональних можливостей систем ЧПК значно спрощує роботу оператора верстата щодо його налагодження, а також дозволяє розробляти достатньо складні керуючі програми безпосередньо на робочому місці.

Усі зазначені переваги верстатів з ЧПК привели до поступового витіснення ними універсального обладнання, оскільки при порівнянні показників точності і якості обробки обладнання з ЧПК забезпечують незрівнянно більшу продуктивність. Крім того, один оператор верстатів з ЧПК одночасно може обслуговувати від 2 до 6 верстатів, а при певному ступені роботизації металорізального обладнання цей показник може бути значно збільшений.

#### 3.1 Основи числового програмного керування

##### 3.1.1 Терміни і визначення

Основні терміни і визначення наводяться в ГОСТ 20523-80 «Пристрої числового програмного керування».

*Числове програмне керування (ЧПК) верстатом* – керування обробкою заготовки на верстаті за КП, у якій дані записані в цифровій формі.

*Система числового програмного керування (СЧПК) верстатом* – сукупність функціонально взаємопов'язаних і взаємодіючих технічних і програмних засобів, які забезпечують числове програмне керування верстатом.

*Керуюча програма (КП)* – сукупність команд мовою програмування, що відповідає заданому алгоритму функціонування верстата для обробки конкретної заготовки.

*Позиційне числове програмне керування верстатом* – числове програмне керування верстатом, при якому переміщення його робочих органів відбувається в задані точки, причому траєкторії переміщення не задаються.

*Контурне числове програмне керування верстатом* – числове програмне керування верстатом, при якому переміщення його робочих органів виконується по заданій траєкторії та із заданою швидкістю для отримання необхідного контуру обробки.

*Адаптивне числове програмне керування верстатом* – числове програмне керування верстатом, при якому забезпечується автоматичне пристосування процесу обробки заготовки до змінних умов обробки за визначеними критеріями.

*Програмне забезпечення системи числового програмного керування верстатом* – сукупність програм і документації на них для реалізації мети і задач системи числового програмного керування верстатом.

*Пристрій числового програмного керування верстатом* – пристрій, що спричиняє керуючий вплив на виконавчі органи верстата відповідно до керуючої програми й інформації про стан керованого об'єкту.

*Апаратний пристрій числового програмного керування верстатом* – пристрій числового програмного керування верстатом, алгоритми роботи якого реалізуються схемним шляхом і не можуть бути змінені після виготовлення пристрою.

*Програмований пристрій числового програмного керування верстатом* – пристрій числового програмного керування верстатом, алгоритми роботи якого реалізуються за допомогою програм, що вводяться в його пам'ять і можуть бути змінені після виготовлення пристрою.

*Автоматична робота системи числового програмного керування верстатом* – функціонування СЧПК, коли відпрацювання керуючої програми відбувається з автоматичною зміною кадрів керуючої програми.

*Покадрова робота системи числового програмного керування верстатом* – функціонування СЧПК, коли відпрацювання кожного кадру КП відбувається тільки після впливу оператора.



*Робота системи числового програмного керування верстатом з ручним вводом даних* - функціонування СЧПК, коли набір даних, обмежений форматом кадру, виконується вручну оператором на пульті.

*Робота системи числового програмного керування верстатом із ручним керуванням* - функціонування СЧПК, коли оператор керує верстатом без використання числових даних.

*Кадр керуючої програми* – складова частина КП, що вводиться і відпрацьовується як єдине ціле і містить щонайменше одну команду.

*Слово керуючої програми* – складова частина кадру керуючої програми, що містить дані про параметри процесу обробки заготовки й (або) інші дані щодо виконання управління.

*Адреса* – частина слова керуючої програми, що визначає призначення даних, які йдуть за словом і містяться в цьому слові.

*Номер кадру керуючої програми* – слово на початку кадру, що визначає послідовність кадрів у керуючій програмі.

*Формат кадру КП* – умовний запис структури і розміщення слів у кадрі КП з максимальним числом слів.

*Головний кадр керуючої програми* – кадр керуючої програми, який містить усі дані, які необхідні для поновлення процесу обробки заготовки після його переривання.

*Абсолютний розмір* – лінійний або кутовий розмір, що задається в керуючій програмі і вказує на положення точки відносно прийнятого нуля відліку.

*Відносний розмір* - лінійний або кутовий розмір, що задається в керуючій програмі і вказує на положення точки відносно координати точки попереднього положення робочого органу верстата.

*Введення КП* – функціонування СЧПК, коли введення даних у пам'ять СЧПК із програмоносія відбувається з електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) верхнього рівня або з пульта оператора.

*Виведення КП* – функціонування СЧПК, коли відбувається виведення керуючої програми, яка зберігається в пам'яті СЧПК, на носій даних.

*Нульова точка верстата* – точка, прийнята за початок системи координат верстата.

*Точка початку обробки (базова точка)* – точка, що визначає початок обробки конкретної заготовки.

*Нульова точка деталі* – точка, відносно якої задані всі розміри деталі.

*Дискретність завдання переміщення* – мінімальне переміщення або кут повороту робочого органу верстата, які можуть бути задані в КП.

*Дискретність відпрацювання переміщення* – мінімальне переміщення або кут повороту робочого органу верстата, які контролюються в процесі обробки.

*Максимальне переміщення, що програмується* – найбільше переміщення робочого органу верстата, яке може бути задане в одному кадрі керуючої програми.

*Корекція інструменту* – зміна з пульта керування запрограмованих координат робочого органу верстата.

*Значення корекції положення інструменту* – відстань за віссю координат верстата, на яку необхідно додатково змістити інструмент.

*Значення корекції на довжину (виліт) інструменту* – відстань уздовж осі інструмента, що обертається, на яку слід додатково змістити інструмент.

*Значення корекції на діаметр (радіус) інструменту* – відстань по нормалі до заданого контуру переміщення інструмента, на яке необхідно додатково змістити центр фрези.

### 3.1.2 Класифікація систем з ЧПК

*За способом керування робочими органами верстата* розрізняють позиційні, контурні та універсальні (комбіновані) системи ЧПК.

**Позиційні** системи ЧПК характеризуються тим, що робочий орган верстата переміщується між деякими визначеними позиціями в яких відбувається обробка, при цьому траєкторія руху між позиціями неважлива, а сам рух найчастіше відбувається на прискорених швидкостях. Позиційні системи керування отримали поширення на верстатах свердлильно-розточувальної групи (2P135Ф2, ОФ-101Ф2).

У **контурних** системах ЧПК робочі органи верстата переміщуються за траєкторією, яка задається керуючою програмою. Точність обробки на верстатах з контурною системою ЧПК буде залежати від точності самого обладнання. Такі системи ЧПК встановлюються на верстатах фрезерної, токарної, електроерозійної груп.

**Універсальні (комбіновані)** системи ЧПК поєднали в собі можливості позиційних і контурних системи керування. Такими системами керування оснащують обробні центри і багатоцільові верстати.

Згідно з міжнародною класифікацією *за ступенем досконалості і функціональним можливостям системи ЧПК* поділяються на класи.

Системи **Numerical Control (NC)** виконують покадрове зчитування керуючої програми з перфострічки.

NC системи мають ряд суттєвих недоліків, серед яких низька надійність зчитувальних пристроїв; часті збої при виконанні програми, пов'язані із помилками при зчитуванні, розривами перфострічки, її значним зношуванням і забрудненням унаслідок інтенсивного використання; необхідність зчитування керуючої програми з перфострічки для обробки кожної наступної деталі.

Найбільш поширеними системами ЧПК з NC є H22 для верстатів токарної групи, а також H33 для верстатів фрезерної групи.

Системи **Stored Numerical Control (SNC)** мають суттєву перевагу над системами NC, яка полягає у можливості одноразового зчитування керуючої програми з перфострічки для обробки усієї партії деталей за окремою операцією. Така можливість з'явилась завдяки появі в системі ЧПК оперативної пам'яті, у якій зберігається уся керуюча програма. Надійність систем SNC значно вища за NC.

Системи **Computer Numerical Control (CNC)** є результатом стрімкого розвитку мікропроцесорної техніки. Системи CNC складаються із обчислювального пристрою, блоку пам'яті і блоку вводу-виводу інформації. Застосування систем CNC дозволило значно розширити можливості технологічного обладнання та зробити його по-справжньому багатоцільовим.

Серед основних переваг систем CNC виділяються наступні:

- можливість вводу і редагування КП вручну через пульт керування;
- збереження великої кількості КП у пам'яті верстата;
- застосування циклів обробки (свердління, нарізання різі тощо), що дозволяє скоротити кількість кадрів у програмі, а також спростити процес програмування;
- можливість введення програм із різноманітних носіїв інформації: перфострічки, дискети, USB-носії тощо;
- самодіагностування системи, визначення неполадок у процесі роботи;
- автоматичне корегування траєкторії руху інструмента за рахунок урахування постійних похибок верстата, температурних деформацій, люфтів та інших факторів.

Системи **Hand Numerical Control (HNC)** дозволяють виконувати введення керуючої програми безпосередньо на пультові керування верстатом за кресленням або будь-якою іншою технологічною документацією. Системи HNC дозволяють зберігати розроблені КП в пам'яті верстата і використовувати повторно, а також редагувати вже наявні КП. Системи ЧПК HNC класу повинні мати достатньо широкі можливості в програмуванні, зокрема використання циклів обробки, роботу з різноманітними функціями, візуалізацію обробки, логічні оператори, змінні та багато інших.

Основною відмінною рисою HNC пультів ЧПК є наявність клавіатури з повним (або урізаним) набором латинських літер, що використовуються для ручного програмування. Додатково можуть вноситись клавіші виклику спеціальних функцій, циклів тощо (рис.3.1).



Рисунок 3.1 – Приклади пультів керування систем ЧПК з можливостями ручного вводу керуючих програм (HNC). а – пульт керування верстата з ЧПК системи Sinumerik 808D; б – пульт керування верстата з ЧПК системи iTNC-530

Подальшим розвитком систем HNC стали системи VNC (**Voice Numerical Control**), які вирізняються можливістю голосового вводу даних. Контроль і редагування введеної інформації здійснюється візуально на екрані пульта. Використання систем VNC на виробництві досить обмежене.

Основним призначенням систем DNC (**Direct Numerical Control**) є керування кількома верстатами, промисловими роботами, гнучкими виробничими лініями одночасно через електронно-обчислювальну машину (ЕОМ) верхнього рівня. Завантаження КП в оперативну (або постійну) пам'ять верстата здійснюється через локальну мережу, яка поєднує кожен окремий верстат із центральною ЕОМ (сервером).

Однією з найсуттєвіших переваг систем DNC класу є можливість включення в неї верстатів з більш простими системами керування SNC або навіть NC класу. Основним недоліком систем DNC класу є залежність обладнання від ЕОМ верхнього рівня, оскільки, наприклад, зберігання КП в пам'яті верстатів зазвичай заборонено для уникнення можливості їх редагування. Таким чином вихід із ладу центральної ЕОМ призведе до неможливості здійснення зчитування КП в пам'ять верстатів.

**За кількістю одночасно керованих координат** розрізняють від одно- до восьмикоординатних систем ЧПК.

**У залежності від способу відліку переміщень** розрізняють абсолютні і відносні системи відліку.

У системах ЧПК з абсолютним способом відліку всі координати переміщень рухомих вузлів верстата задаються відносно активної в цей момент нульової точки системи координат деталі (рис. 3.2, а).

У системах ЧПК з відносним (інкрементним, складеним) способом відліку координати переміщень задаються відносно попереднього положення рухомого органу (останньої запрограмованої точки) (рис. 3.2, б).

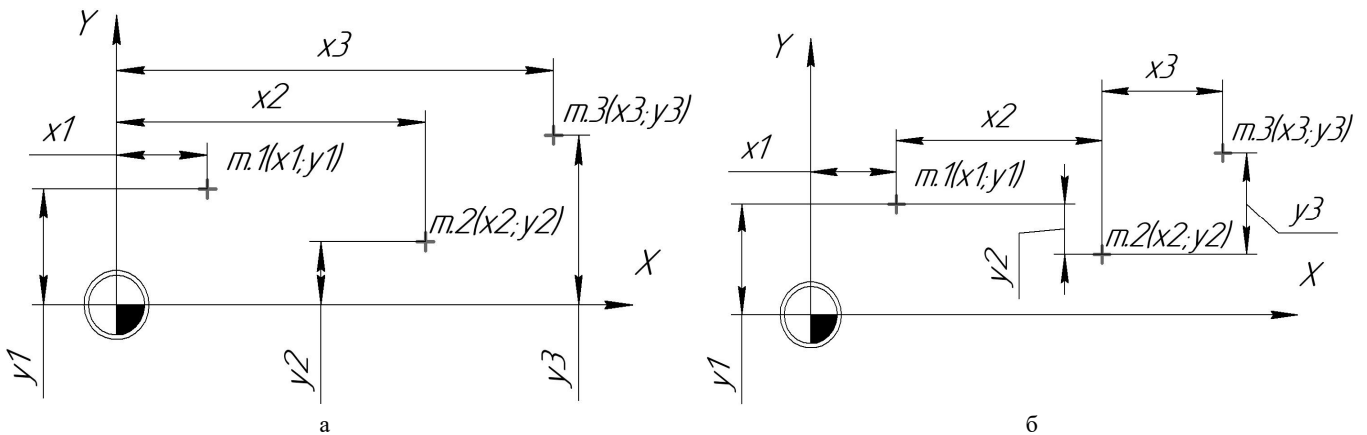


Рисунок 3.2 – Способи завдання відліку переміщень: а – абсолютний спосіб відліку переміщень; б – відносний спосіб відліку переміщень

Сучасні системи ЧПК дозволяють використовувати послідовно кожен із вказаних способів відліку в межах однієї керуючої програми та навіть в одному кадрі.

**За числом потоків інформації** розрізняють:

- **розімкнені системи**, у яких є тільки один потік інформації від відлікового пристрою до виконуючого органу. Переміщення рухомого органу від точки до точки не контролюється і не порівнюється із переміщенням, що задається в керуючій програмі. Найбільшою перевагою таких систем є простота конструкції за рахунок відсутності датчиків зворотного зв'язку;

- **замкнуті системи**, у яких налічується два потоки інформації: від керуючої програми до рухомого органу верстата і від датчика зворотного зв'язку на СЧПК. Таким чином з'являється можливість порівняти положення рухомого органу верстата, яке задається керуючою програмою, із його фактичним положенням і за необхідності скорегувати його. Замкнуті системи ЧПК у порівнянні із розімкненими є більш складними, натомість вони здатні забезпечити високу точність переміщень рухомих органів, отже, і високу точність обробки. Замкнені системи ЧПК застосовуються на верстатах нормальної і високої точності;

- **самоналагоджувальні системи** з ЧПК, окрім двох основних потоків інформації, мають ще кілька додаткових потоків. За допомогою додаткових потоків інформації здійснюється корегування обробки з урахуванням ряду параметрів: зношування інструменту, температурного режиму, зміни сили і потужності різання, ваги заготовки і навіть вібрацій. Самоналагоджувальні системи використовуються в найсучасніших зразках металорізального обладнання: прецизійних верстатах, багатоцільових обробних центрах, багатокоординатному технологічному обладнанні.

### 3.1.3 Функціональні складові систем з ЧПК

Система числового програмного керування верстатом умовно поділяється на 3 підсистеми:

- підсистему керування;
- підсистему приводів;
- підсистему зворотного зв'язку.

**Підсистема керування** є найголовнішою з підсистем СЧПК. Підсистема керування здійснює обробку команд керуючої програми і подає команди виконавчими органами верстата, що дозволяє виконувати ті чи інші операції. Взаємодія оператора з верстатом здійснюється через інтерфейс користувача – пульт керування, який також входить до підсистеми керування і складається з набору елементів керування (клавіш, кнопок, регуляторів тощо) і пристрою виводу інформації – дисплея. Центральним елементом підсистеми керування є процесор, де здійснюється обробка отриманих команд і сигналів.

**Підсистема приводів** складається з двигунів, кульково-гвинтових передач (КГП) та інших елементів, які здійснюють виконавчі переміщення рухомих вузлів верстата на підставі команд, отриманих від підсистеми керування. Характеристики виконавчих двигунів і ШГП безпосередньо впливають на показники точності обробки і якості оброблених поверхонь.

Основною задачею **підсистеми зворотного зв'язку** є надсилання в підсистему керування поточної інформації про фактичне положення рухомих вузлів. Підсистема зворотного зв'язку включає лінійні і кутові датчики положення. Розрізняють два типи підсистеми зворотного зв'язку: відкриті і закриті.

Системи відкритого типу визначають наявність або відсутність сигналу з підсистеми керування верстатом. Системи відкритого типу не можуть визначити фактичного положення рухомих вузлів верстата, тому на сучасному обладнанні вони практично не використовуються.

У системах закритого типу використовують зовнішні датчики: датчики положення; датчики швидкості; датчики стану виконавчих органів.

Датчики швидкості використовуються для визначення швидкості, прискорення або гальмування робочого органу для зменшення впливу інерційних процесів на якість обробки, а також збільшення точності позиціонування.

Датчики положення визначають фактичне положення рухомих вузлів. Розрізняють лінійні і кутові датчики положення. Кутові датчики положення кріпляться безпосередньо на валу двигуна, ходовому гвинті або валу поворотних вузлів (поворотний стіл, шпіндельний вузол тощо). Якщо встановлення кругових датчиків положення на поворотні вузли верстата забезпечує необхідну точність визначення саме кутового положення цих вузлів, то їх використання на двигунах, що здійснюють обертання ходового гвинта, не дозволяє абсолютно точно визначити фактичне положення рухомого вузла. У такому разі визначають розрахункове положення рухомого вузла, виходячи із інформації про крок гвинта, кількість здійснених обертів, поточне кутове положення гвинта і не враховують похибку кроку гвинта та інших похибок.

Лінійні датчики переміщень отримали найбільше застосування для визначення відносного й абсолютного положення рухомих вузлів верстата з огляду на високу точність. Датчик лінійних переміщень складається зі зчитуючої голівки і скляної шкали, на якій нанесено прецизійні штрихові мітки, по яких відбувається зчитування і визначення фактичного положення вузла.

До датчика стану виконавчих органів належать термопари або датчики температури, які використовуються для визначення температури мастила, робочих вузлів, кінцеві вимикачі, контактні і безконтактні (зокрема інфрачервоні) тощо.

Загальна схема зворотного зв'язку на верстатах з ЧПК представлена на рис.3.3.

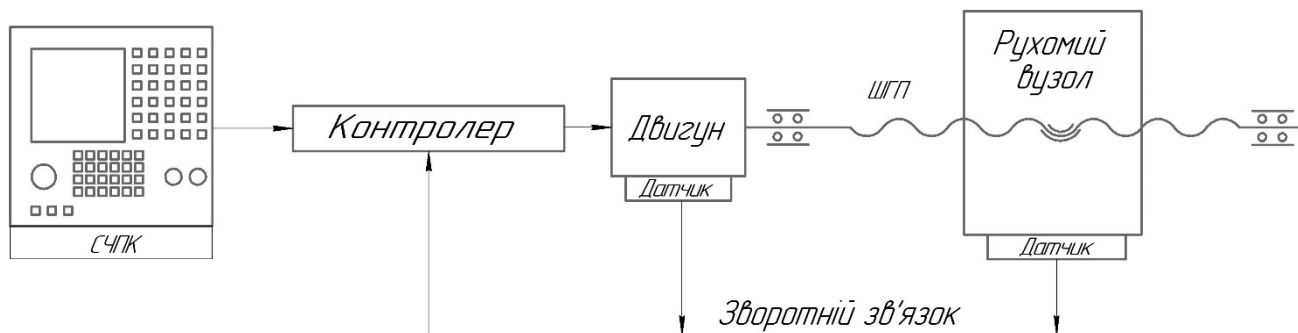


Рисунок 3.3 – Схема зворотного зв'язку на верстаті з ЧПК

Завантажена керуюча програма дозволяє системі ЧПК отримати необхідну інформацію щодо траєкторії руху різального інструменту, його швидкості переміщення відносно заготовки, частоти обертання шпинделя, підготовчих функцій. Підсистема керування перетворює отриману інформацію на фактичну траєкторію переміщення робочих органів верстата. Згідно з цією траєкторією підсистема керування надсилає на двигуни чітко визначену кількість імпульсів, яка відповідає необхідному переміщенню за визначеною віссю. Двигун здійснює обертання на визначений за кількістю імпульсів кут і переміщує рухомий орган верстата у задану позицію. Водночас датчики зворотного зв'язку надсилають у підсистему керування дані щодо фактичного положення вузла. Дані розрахункового і фактичного переміщення вузлів порівнюються між собою і в разі розбіжності підсистемою керування надсилається на виконання додаткова необхідна кількість імпульсів для компенсації визначеної похибки положення вузла. Такий процес повторюється, поки вузол не досягне заданого положення.

### 3.1.3.1 Формування траєкторії руху інструмента. Інтерполятор

Будь-яку траєкторію руху різального інструменту в процесі роботи можна розділити на ряд більш простих прямолінійних відрізків і дуг кіл. Такі переміщення виконуються між опорними точками, які й описуються у керуючій програмі. Однак такого представлення інформації про траєкторію руху інструмента для виконання переміщень робочих органів верстата із заданою точністю для системи ЧПК недостатньо. Тому існує необхідність розрахунку проміжних точок при переміщенні за прямою лінією чи дугою кола. Саме з цією метою в системах ЧПК використовують інтерполятор.

Інтерполятор – це обчислювальний пристрій, який здійснює розрахунок проміжних точок траєкторії руху інструменту, а також видачу керуючих впливів (імпульсів) на приводи лінійних подач.

Інтерполятор виконує наступні функції:

- здійснює розрахунок координат проміжних точок траєкторії переміщення вузла в процесі руху;
- здійснює по чергову видачу керуючих впливів (імпульсів) на приводи лінійних подач в послідовності, необхідній для забезпечення заданого переміщення;
- підтримує постійну контурну швидкість руху.

Інтерполятори поділяються на лінійні і лінійно-кругові. Лінійні інтерполятори використовуються для виконання переміщень по прямих лініях під будь-яким кутом. Лінійно-кругові інтерполятори дозволяють виконувати переміщення як за прямими лініями, так і за дугами кіл.

Однак, якщо при прямолінійному переміщенні вздовж однієї з осей координат система ЧПК здійснює вмикання якогось одного приводу подач, тоді як інші залишаються вимкненими, то при здійсненні переміщень за двома і більше осями координат необхідно забезпечити узгоджені між собою переміщення за всіма задіяними осями. Для цього в системах ЧПК використовується апроксимація – заміна однієї функціональної залежності на більш просту із забезпеченням необхідного ступеня точності. У такому разі траєкторія руху вузла буде ступінчастою (рис.3.4, а – прямолінійне переміщення; рис.3.4, б – переміщення за дугою), а елементарні відрізки будуть паралельні осям координат. Величина мінімального переміщення (дискретність переміщення) визначатиметься кроком ходового гвинта і мінімальним поворотом двигуна за один імпульс. У такому разі інтерполятор по чергово надсилає необхідну кількість імпульсів на двигуни приводів подач осі X і Y (у разі переміщення в площині XY), задіяних у переміщенні. У сучасних верстатах величина мінімального переміщення сягає 0,001 мм, а обертання – 0,001°. Отже, фактична траєкторія руху інструмента буде відрізнятися від теоретичної.

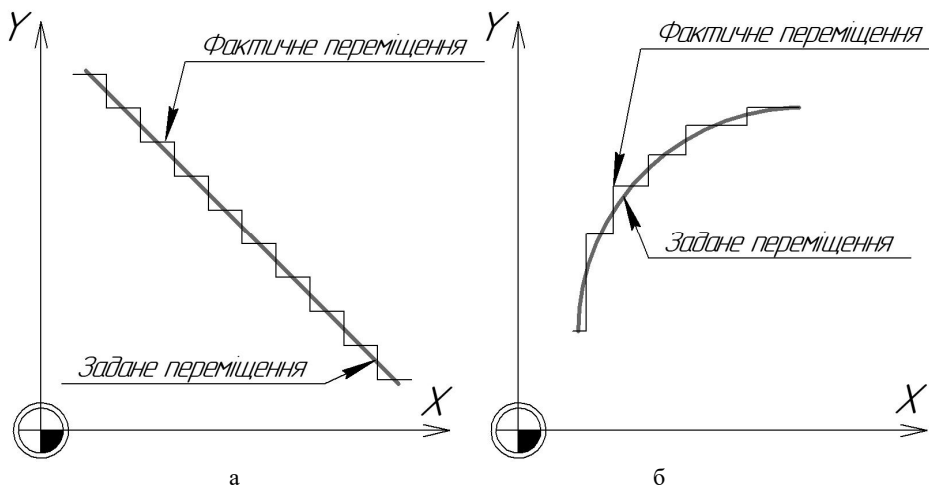


Рисунок 3.4 – Схема лінійної (а) і кругової (б) інтерполяції

### 3.1.4 Основні функції системи ЧПК

Усі функції, які виконує система ЧПК в процесі роботи верстата, умовно поділяються на три групи: управління, функціонування, допоміжні.

До групи управління, яка забезпечує виконання обробки деталі на верстаті, входять функції контролю за переміщеннями робочих органів верстатів (керування приводами подачі і приводом головного руху), корегування траєкторії руху інструменту з урахуванням корекції, керування вузлами дискретної дії, зміна інструменту, оптимізація режимів різання, управління циклами обробки, управління електроавтоматикою тощо.

До групи функціонування належать функції, які відповідають за працездатність верстата в цілому і виведення інформації про стан технологічної системи верстата оператору: діагностика вузлів і механізмів верстата, їх несправностей; визначення відхилень від норми в режимах роботи верстата; виведення на екран інформації про поточний стан системи (фактичні значення режимів і потужності різання, параметрів інструмента, ходу виконання КП).

До групи допоміжних функцій, які забезпечують безвідмовність обладнання протягом усього циклу обробки деталі, відносять функції обробки КП, налаштування (зведення осей для багатокординатних верстатів, налаштування елементів системи: лазерних і контактних вимірювальних систем), ремонтні функції, що включають засоби тестування технічного стану обладнання та багато інших.

### 3.1.5 Способи розробки керуючих програм для сучасних верстатів з ЧПК

Розвиток комп'ютерної техніки дозволив значно скоротити час на розробку і підготовку керуючих програм обробки деталей на верстатах з ЧПК.

Розрізняється два основних способи розробки керуючих програм: ручне програмування і програмування за допомогою систем автоматизованого проектування САПР.

З одного боку, збільшення пам'яті систем ЧПК дозволяє використовувати керуючі програми великого об'єму, а застосування САПР – значно спростити процес розробки КП для обробки деталей зі складним профілем. З іншого боку, розширення можливостей розробки і корегування керуючих програм безпосередньо на верстаті, а також розвиток програмних засобів пультів керування систем ЧПК дозволяють значно спростити процес ручного програмування.

#### 3.1.5.1 Ручне програмування

Попри розвиток різноманітних САПР відсоток КП розроблених «вручну» залишається досить високим. Пов'язано це в першу чергу із достатньо великим обсягом підготовчої роботи, яку необхідно виконати при застосуванні САПР систем, серед яких підготовка геометричної 3-D моделі деталі і заготовки, розробка плану обробки, створення технологічних переходів, генерування керуючої програми тощо. У той же час більшість операцій механічної обробки деталей і вузлів достатньо прості, тому КП може бути розроблена безпосередньо на робочому місці. Значний прогрес у розвитку мов програмування дозволяє достатньо легко обробляти досить складні деталі.

Способи ручного програмування можна розділити на дві групи за ознакою місця розробки керуючої програми:

- за допомогою електронно-обчислювальної машини (ЕОМ);
- на пульті керування верстата.

При використанні ЕОМ код керуючої програми може бути записано як за допомогою будь-якого текстового редактора, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 3.5), яке надає ряд додаткових можливостей, зокрема паралельної візуалізації розроблюваної програми, допомагає із синтаксисом (правильністю написання функцій і переміщень), дозволяє розрахувати час обробки, відстежити можливі аварійні ситуації тощо.

Схожі з ЕОМ можливості доступні і при ручному програмуванні на пульті керування верстатом. У діалоговому вікні режиму редагування керуючих програм пульта керування системи ЧПК Sinumerik 840D через клавіші з вертикального меню здійснюється вирізання, копіювання, вставка частини тексту, автоматична перенумерація кадрів, виділення і пошук частини тексту за програмою (рис. 3.6). Горизонтальне меню складається із клавіш, що дозволяють переходити в режим симуляції, вставляти в КП цикли свердління, розточування, нарізання різі, обробки карманів і бобишок та багато іншого.

Схожі можливості отримала і система ЧПК вітчизняного виробництва WL4M – для верстатів фрезерної групи і WL4T – для верстатів токарної групи.

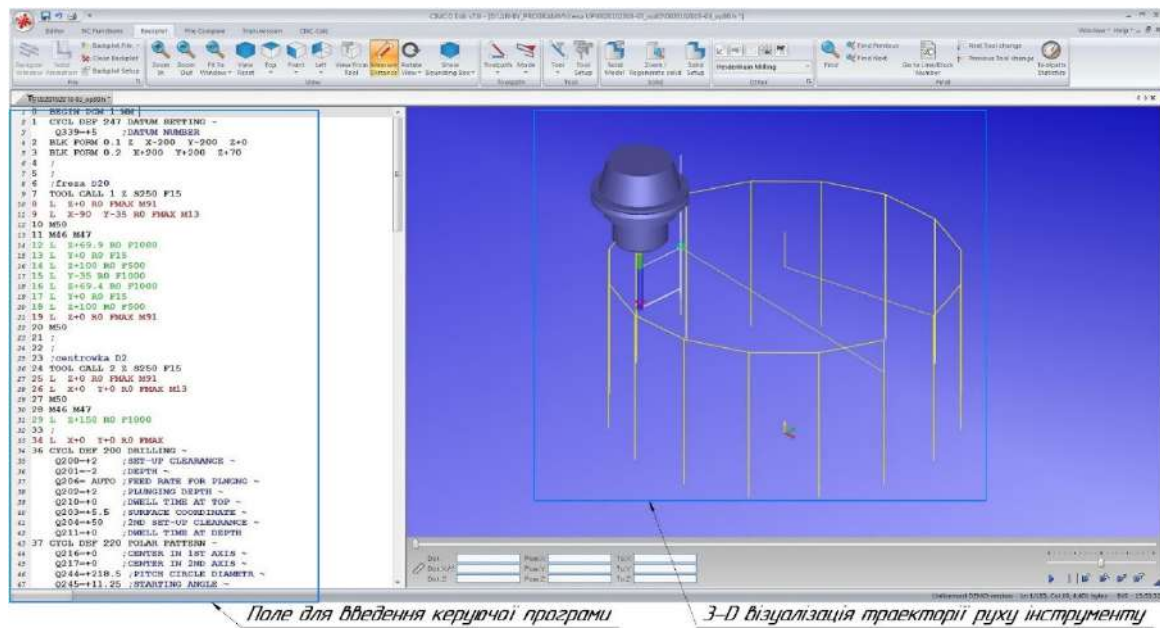


Рисунок 3.5 – Інтерфейс редактора керуючих програм Cimco Edit v.7.0 для верстатів з ЧПК

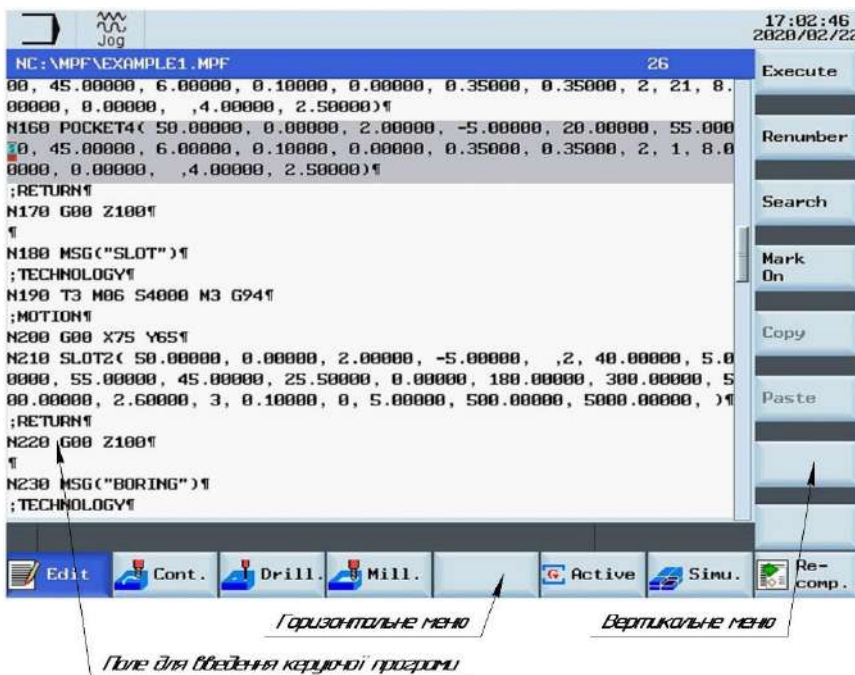


Рисунок 3.6 – Інтерфейс редактора керуючих програм систем ЧПК Sinumerik

Водночас у режимі редагування і створення нових програм пульт керування системою ЧПК Heidenhain iTNC-530 «допомагає» користувачу, пропонуючи усі можливі варіанти «слів», які можуть бути використані в конкретному кадрі (рис. 3.7). За допомогою клавіш навігації «Вліво»/«Вправо», які розташовані на панелі керування, користувач перемикається між окремими словами, із яких складається кадр керуючої програми, паралельно додаючи необхідні цифрові, або літерні значення в запропонованих системою полях. За відсутності необхідності введення будь-яких величин користувач «прогортає» активно в цей час поле, залишаючи його пустим і переходить до наступного. Незаповнена адреса в кадрі не відображається. По

закінченню введення даних у кадр необхідно натиснути клавішу END, після чого з'являється можливість почати програмування наступного кадру обробки. Якщо по завершенню програмування кадр міститиме помилку у введених значеннях, то система проінформує про це сповіщенням і написом «ERROR» на початку кадру. Помилки побудови контуру обробки та ряд інших помилок відобразатимуться тільки в режимі візуалізації.

Вибір типу можливих переміщень здійснюється за допомогою спеціальних клавіші, розташованих на пульті керування. Вони використовуються для швидкого завдання типу переміщення (кругова, лінійна інтерполяція, фаски, радіуси заокруглень тощо), виклику і завдання параметрів інструменту, спеціальних циклів обробки, функцій, завдання параметрів обробки тощо. Запропонований системою ЧПК iTNC-530 і забезпечений можливостями пульта керування режим ручного програмування дозволяє уникнути проблем із помилками при написанні як окремих кадрів, так і програми в цілому, а також має режим паралельної візуалізації траєкторії руху інструменту і тривимірної візуалізації.

Ручне програмування вимагає досить глибоких знань і навичок в роботі з G – кодом, тому для спрощення та оптимізації часу на підготовку керуючої програми компанією Siemens був розроблений спеціалізований графічно-орієнтований програмний продукт – ShopMILL.

Основною особливістю ShopMILL є те, що в ньому повністю відсутня робота з G – кодами, натомість керуюча програма (технологічна карта) представляє собою послідовність етапів обробки (рис. 3.8), кожен із яких може бути як окремих переміщенням із точки в точку, контуром обробки, так і циклом або шаблоном. Таким чином досягається висока ступінь компактності відображення керуючих програм.

Розробка технологічних карт в ShopMILL здійснюється в діалоговому режимі і передбачає заповнення запропонованих форм (рис.3.9), що значно спрощує процес програмування.

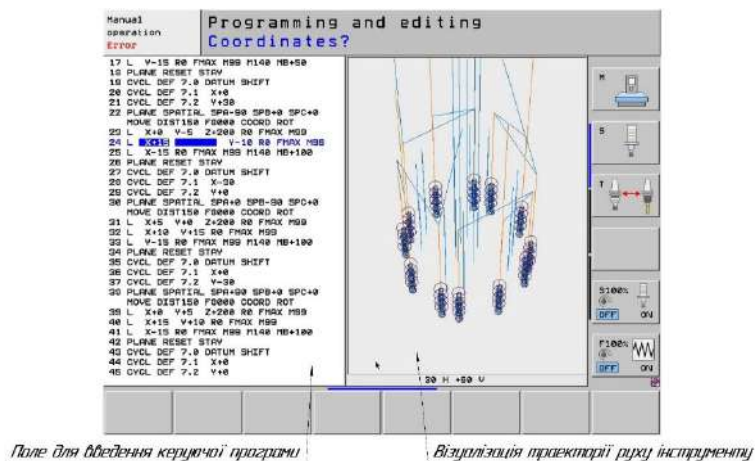


Рисунок 3.7 - Інтерфейс редактора керуючих програм систем ЧПК Heidenhain iTNC-530

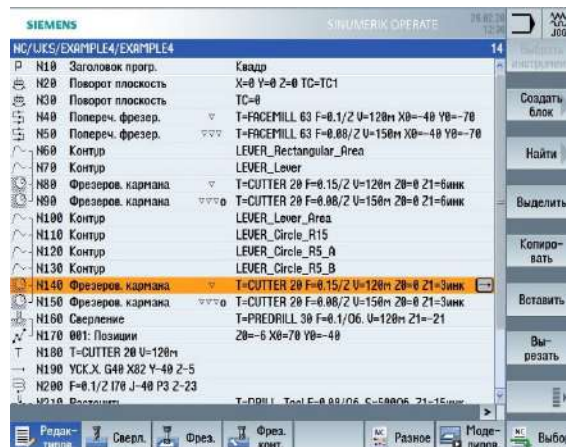


Рисунок 3.8 – Текст керуючої програми (технологічна карта), яка розроблена за допомогою ShopMILL на пульті керування СЧПК Sinumerik 840D

### 3.1.5.2 Основні етапи розробки керуючих програм в САМ-системах

Згідно з тенденціями, які спостерігаються впродовж останніх років, усе більше застосування при розробці керуючих програм отримують різноманітні САМ-системи (Computer-aided manufacturing – комп’ютерна підтримка виробництва). Безперечною і найбільшою перевагою таких систем є можливість обробки складнопрофільних і криволінійних поверхонь деталей і вузлів. Ручне програмування траєкторій обробки таких поверхонь потребувало б великих витрат часу на виконання необхідних розрахунків.

Ще однією безумовною перевагою використання САМ-систем є те, що розроблені керуючі програми можуть бути з легкістю адаптовані на будь-яке схоже за технологічними можливостями технологічне обладнання. Це можливе завдяки використанню постпроцесорів – спеціальних програм, які трансформують програмний код САМ-системи в код керуючої програми для конкретного верстата, з урахуванням його технологічних особливостей, а також особливостей використовуваної системи ЧПК.

Найбільшого поширення набули САМ-системи NX від Siemens, PowerMILL від DELCAM, SolidWorks, EDGE CAM та багато інших.

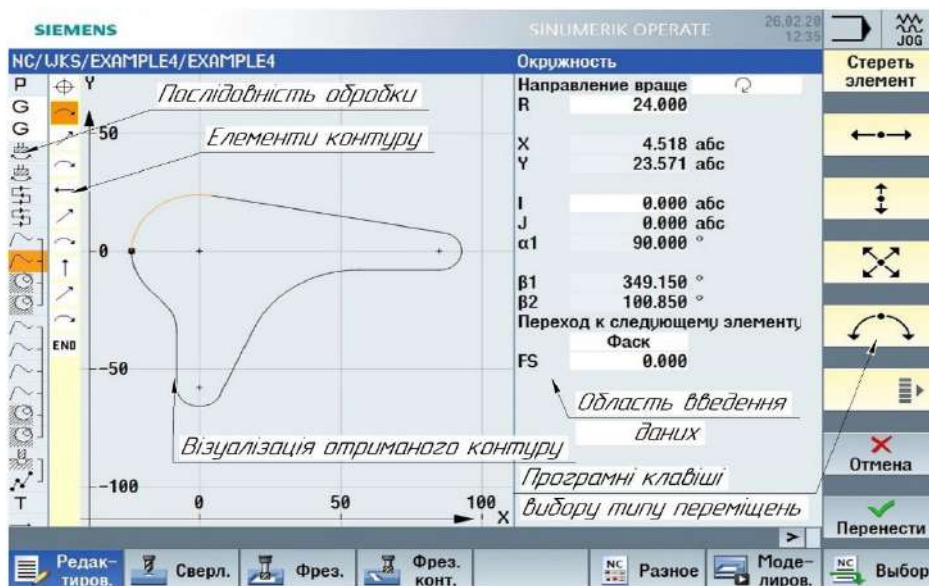


Рисунок 3.9 – Створення контуру в ShopMILL



Оскільки будь-яка САМ-система працює із 3D-моделлю оброблюваної деталі, або щонайменше з контуром деталі, що обробляється, то найчастіше вони або інтегровані, або працюють паралельно із САД-системою (computer-aided design – комп'ютерна підтримка проектування) фірми-розробника, яка слугує програмним середовищем для розробки ескізів, креслень та об'ємних 3D-моделей. Кожен розробник прагне використовувати свій власний формат збереження файлів, але водночас у САМ-системах реалізована можливість імпортування 3D-моделей із інших систем або універсальних типів файлів. Існує ряд найбільш уживаних типів файлів: .prt, .igs, .stl, .sldprt, .m3d, .x\_t, .stp тощо .

Процес розробки керуючої програми складається з декількох етапів:

- імпорт об'ємної моделі деталі;
- завдання розташування системи координат деталі;
- створення заготовки і її суміщення із моделлю деталі;
- створення траєкторій руху різального інструменту;
- вибір типу обробки;
- вибір обмежень обробки;
- завдання параметрів різального інструменту;
- встановлення параметрів холостих переміщень, підходів/відходів тощо;
- завдання режимів різання;
- генерація траєкторій руху різального інструменту;
- оптимізація отриманих траєкторій;
- постпроцесування;
- верифікація.

Для візуалізації і симуляції обробки деталей на верстаті з ЧПК керуюча програма, перед її передачею в роботу на верстат, може бути попередньо протестована в спеціалізованому програмному забезпеченні. Процес підтвердження і перевірки працездатності керуючої програми і її безпечного використання на верстаті називається *верифікацією КП*. Головною метою верифікації є перевірка можливих зіткнень рухомих вузлів верстата і підтвердження можливості виконання усіх переміщень, що задаються керуючою програмою. Верифікація дозволяє проаналізувати якість обробки деталі, наявність зарізів або залишків матеріалу, що дозволяє ухвалити рішення щодо необхідності доопрацювання керуючої програми, оптимізації траєкторій руху і режимів різання.

Серед найбільш розвинених програмних засобів для верифікації керуючих програм виділяються IMS Verify і Vericut.

Для виконання верифікації КП необхідно мати кінематичну модель верстата, яка точно відповідатиме реальному верстатові. Деталізація вузлів верстата може бути від найбільш простої, коли вузли виконуються у вигляді простих геометричних фігур, які натомість повною мірою дозволяють виконати верифікацію КП, до максимально деталізованої (реалістичної), із використанням моделі верстата з усіма елементами робочої зони (лазерні і контактні вимірювальні системи, захисні кожухи, інструментальний магазин, маніпулятор для зміни інструменту та багато інших). Для отримання максимальної відповідності умов роботи, що моделюються, користувач до файлів із геометричними моделями готової деталі і заготовки може додавати моделі пристосувань, затискачів, оправок і державок, різцевих блоків, інструментів тощо або підібрати стандартні із бази даних.

### 3.2 Технологічне налагодження верстата з ЧПК

Налагодження верстата з ЧПК – комплекс заходів і дій щодо підготовки технологічного обладнання й оснащення до виконання певної технологічної операції, направленої на забезпечення вихідних параметрів точності обробки заготовок.

Процес налагодження верстатів з ЧПК поділяється на декілька етапів:

- налагодження різального інструменту;
- встановлення і налаштування пристосування;
- встановлення нульових точок деталі/деталей (для багатомісних пристосувань);
- запис керуючої програми;
- оброблення і контроль першої деталі;
- коригування налаштувань різального інструменту (внесення корекції), режимів різання, траєкторії переміщення різального інструменту;
- виготовлення деталі відповідно до вимог конструкторської і технологічної документації.

Важливо розуміти, що технологічна система верстата вимагає періодичного контролю і внесення коригуючого впливу на складові елементи системи в процесі обробки деталей. Причинами такого впливу

можуть бути зношування різального інструменту в процесі роботи або необхідність його заміни, пружні відтискання, нерівномірність припуску на оброблюваних поверхнях та багато іншого. Отже, при подальшому виробництві контроль розмірів і якості обробки необхідно здійснювати з різною періодичністю: на одній деталі із десяти, на кожній деталі, після кожного технологічного переходу тощо.

Розглянемо більш детально основні етапи процесу налагодження верстатів з ЧПК.

### 3.2.4 Налагодження різального інструменту

Процес налагодження різального інструменту поділяється на два етапи:

- **підготовчий етап** включає складання різального інструменту й інструментальної оправки, встановлення змінних багатограничних пластин (ЗБП) на корпус інструменту, огляд технічного стану інструменту й оснащення;
- **етап вимірювання** інструменту і внесення отриманих даних у таблицю інструменту стійки ЧПК.

Сутність процесу вимірювання різального інструменту (PI) полягає у визначенні координат вершини різального інструменту відносно нульової точки інструменту.

Під вершиною різального інструменту слід розуміти точку на інструменті, яка здійснює формоутворювальне переміщення за траєкторією, заданою керуючою програмою. Найчастіше вершиною різального інструменту є перетин головної і допоміжної різальних кромки (рис. 3.13).

Нульова точка інструменту – базова точка елемента верстата (револьверної головки, різцетримача, шпинделя), який несе блок (оправку) з інструментом у процесі обробки (докладніше в п.п. 3.4.1.3).

Оскільки, наприклад, координати переднього торця шпинделя відслідковуються при його переміщенні в межах робочої зони верстата системою ЧПК, то задача щодо визначення координат вершини різального інструменту зводиться до визначення відстані від неї до переднього торця шпинделя.

Крім цього, може визначатися і контролюватися ряд інших параметрів інструмента, таких як: радіус заокруглення різальної кромки, кути нахилу і довжини головної і допоміжної різальних кромки та інших поверхонь і кромки інструменту, биття різальних кромки відносно осі обертання (для осьового інструменту) тощо. У залежності від типу інструмента, що використовується, для його налагодження необхідно визначати різну кількість параметрів. Наприклад, для осьового інструменту, такого як центровка, свердло, зенкер, розгортка – достатньо визначити виліт інструменту. У разі фрези, яка працює без корекції на діаметр (радіус) інструменту, вказується лише виліт фрези, в іншому разі необхідно вказувати діаметр (радіус) інструменту (рис. 3.10).

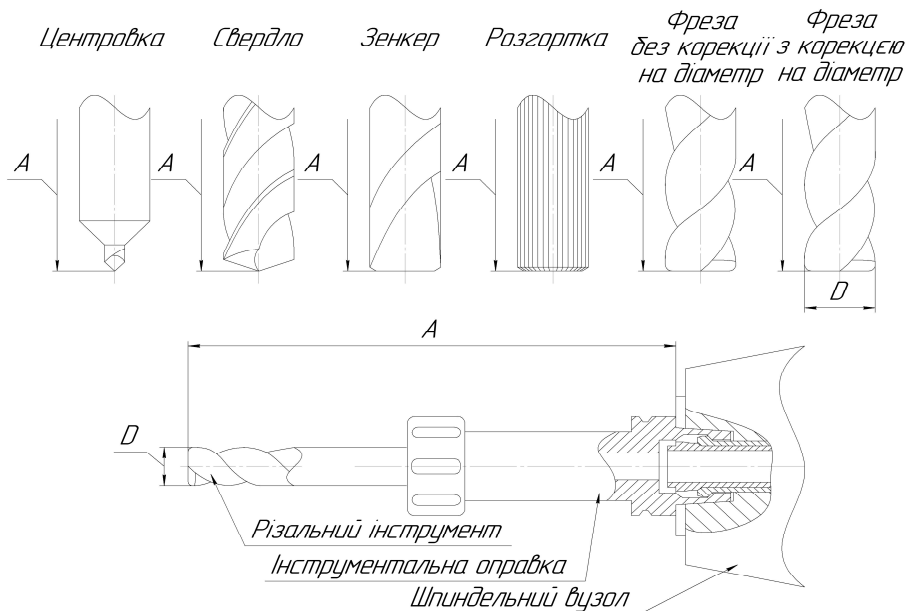


Рисунок 3.10 – Параметри для налаштування різних типів різальних інструментів

Для встановлення різального інструменту на верстаті необхідне спеціальне технологічне оснащення: інструментальні оправки для верстатів фрезерної групи й обробних центрів або різцеві блоки, різцетримачі і різноманітні патрони для верстатів токарної групи. Вибір типу і розмірів інструментального оснащення залежить від типу різального інструменту, що використовується, і від необхідності забезпечення ряду параметрів: вильоту різального інструменту (зі шпинделя чи револьверної головки), жорсткості оправки, доступу до вузьких місць на деталі тощо.

На фрезерних верстатах з ЧПК та обробних центрах використовується осьовий різальний інструмент, для налаштування якого необхідно визначити два ключових параметри: діаметр і виліт інструменту. Для цього найчастіше використовують зовнішні прилади для налаштування різальних інструментів (рис. 3.11, а). Попередньо зібраний різальний інструмент 2 з інструментальною оправкою 1 (рис. 3.11, б) установлюються у високоточний шпиндель 6 приладу, тип якого відповідає типу хвостовика інструментальної оправки і розташовується на основі 5.

За рахунок переміщенні оптичного блоку 3 (рис. 3.11, в) за віссю Z і рухомої каретки 4 за віссю Y здійснюється позиціонування оптичного блоку в межах робочої зони вимірювання приладу. Для здійснення вимірювання необхідно підвести оптичний блок до різальної кромки таким чином, щоб край різальної кромки перебував у межах вікна візуалізації (рис. 3.12). У більшості сучасних приладів визначення діаметру

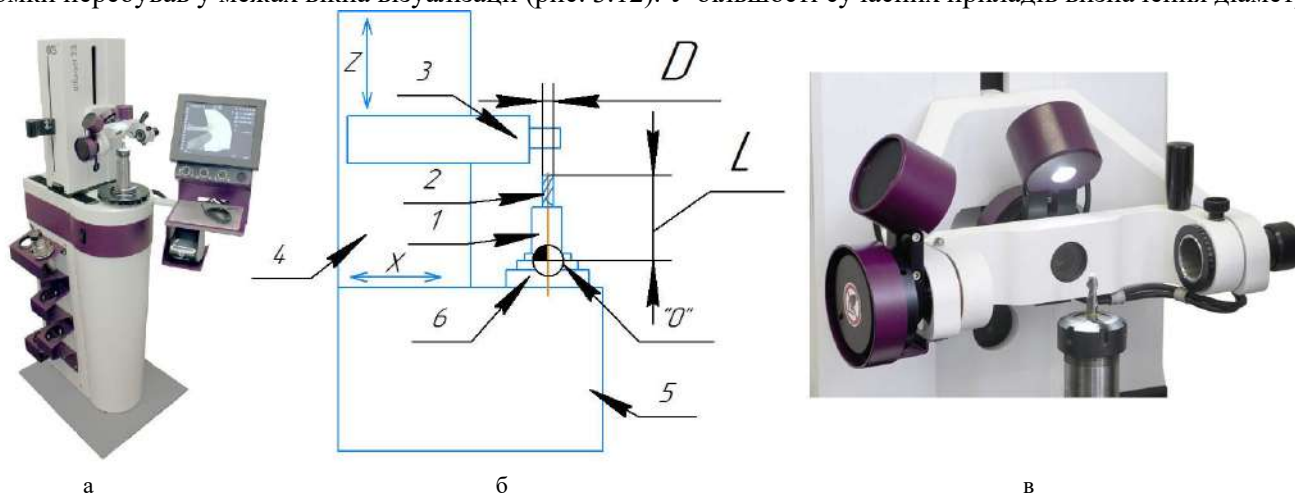


Рисунок 3.11 – Прилад для налаштування різального інструменту Alfa-set 23: а – загальний вигляд; б – конструктивна схема; в – оптичний блок з підсвічуванням

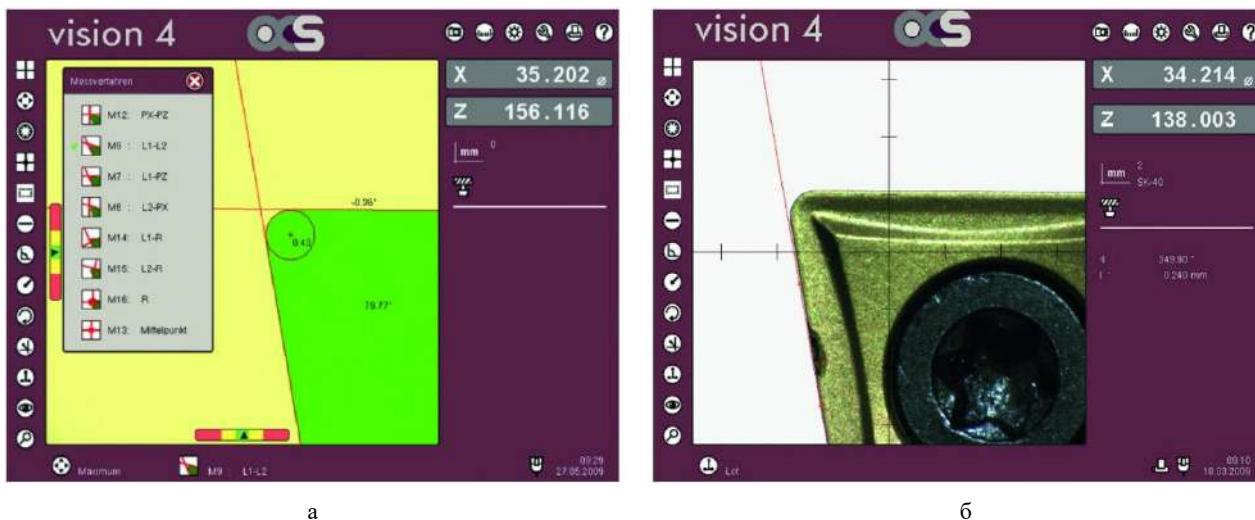


Рисунок 3.12 – Відображення процесу вимірювання різального інструменту на дисплеї контролера Alfa-set Vision 4 приладу для налаштування різального інструменту Alfa-set 23: а – стандартне відображення; б – відображення при вмиканні камери

і вильоту інструменту здійснюється автоматично (рис. 3.12), в інших випадках необхідно поєднати відображення на екрані різальної кромки інструменту або його вершини із зображенням перехрестя (рис.3.13).

Процес вимірювання різального інструменту для токарних верстатів полягає в установленні координат вершини різця ( $X_t$ ;  $Y_t$ ) або будь-якої іншої заданої програмістом точки на інструменті, яка здійснюватиме переміщення за заданою траєкторією руху інструменту. За аналогією з інструментом для фрезерних верстатів координати налаштування токарного інструменту задаються від певної базової точки на пристрої, у який встановлюється інструмент.

Вибір інструментального оснащення здійснюється інженером-програмістом і вказується в карті наладки, де також зазначаються необхідні параметри налаштування: шифр різального інструменту; марка матеріалу, із якого виготовлено різальний інструмент; координати, за якими необхідно налаштувати різальний інструмент або величини його мінімального вильоту і діаметра; кількість різальних кромки та інші.

Сучасні прилади для налаштування різального інструменту дозволяють не лише визначити довжину і діаметр різального інструменту, а і виконувати різноманітні вимірювання (радіусів заокруглень, кутів нахилу, лінійних розмірів), зберігати результати вимірювань у пам'яті приладу у вигляді таблиці інструментів, а також передавати результати вимірювань на верстат або роздруковувати їх. Обладнання оптичного блоку відеокамерами з можливістю цифрового збільшення дозволяє визначити стан різальних кромки інструментів, наявність дефектів (сколів, тріщин, тип і характер зносу), оцінити і визначити величину зносу PI.

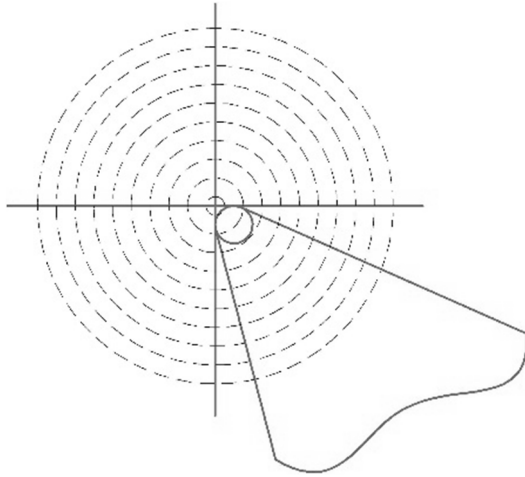


Рисунок 3.13 – Приклад відображення суміщення вершини різального інструменту і зображення перехрестя

необхідно розмістити на верхньому торці контрольної оправки таким чином, щоб прилад визначив діаметр (радіус) і виліт контрольної оправки. Отримані величини можуть не збігтися з величинами, які зазначені в паспорті контрольної оправки, що свідчатиме про наявність похибки приладу. Для усунення цих похибок настроювач вносить у спеціальне меню апаратного комплексу приладу паспортні дані контрольної оправки. Апаратний комплекс автоматично враховує визначену похибку і вносить електронну компенсацію в ряд параметрів. Процедуру юстирування необхідно повторити до забезпечення максимальної точності налаштування приладу і перевірки правильності внесених компенсацій.

Процес регулювання і перевірки точності приладів налаштування інструментів називається **юстируванням**. Перевірку точності приладу виконують за допомогою контрольних (еталонних) оправок (рис.3.14), зазвичай циліндричної форми. Контрольні оправки виготовляють різні за вильотами і діаметрами, залежно від габаритів приладів, що контролюються. На кожен еталонну оправку заводом виробником оформлюється паспорт, у якому фіксується фактична величина вильоту, діаметру і биття з точністю до четвертого знаку після коми. За допомогою еталонної оправки перевіряється точність встановлення інструменту в прийомний конус приладу, паралельність переміщення оптичного блоку відносно осі інструменту, биття та багато інших параметрів. Контрольні оправки мають неодмінно проходити періодичне підтвердження точності в метрологічній службі підприємства або в підрозділах державної метрологічної служби.

Для налаштування нульової точки приладу на настроювання інструменту, настроювач повинен установити контрольну оправку в прийомний конус приладу. Оптичний блок

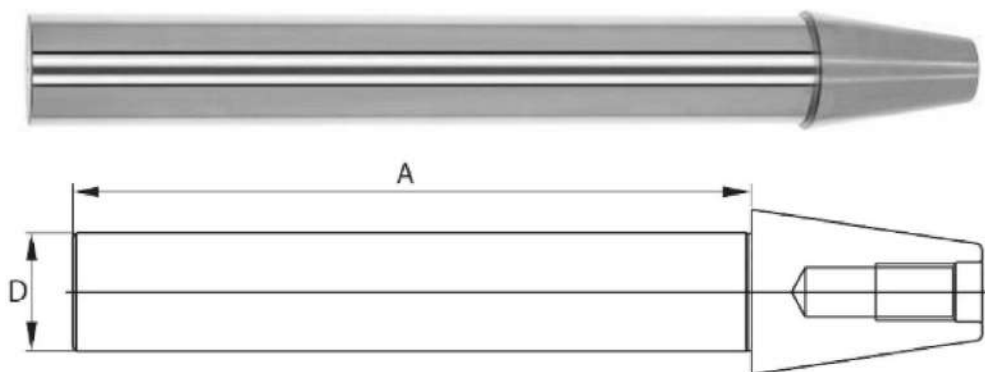


Рисунок 3.14 – Контрольна оправка GARANT SK50 A=300мм по DIN 69871

Найбільшого поширення серед інструментальних оправок набули оправки із типами хвостовиків: HSK-63; SK50; BT40.

Для забезпечення можливості вимірювання оправок із різними типами хвостовиків використовуються спеціальні перехідні втулки (рис.3.15, а). Прилади для вимірювання інструменту дозволяють зберігати і використовувати налаштування нульових точок для декількох різних типів хвостовиків (рис.3.15, б). При встановленні перехідної втулки та інструментальної оправки на прилад настроювач обирає необхідну нульову точку, серед збережених у базі приладу. Висота перехідної втулки найчастіше вказується на ній або в супровідних документах.

Для вимірювання різального інструменту безпосередньо на верстаті використовують контактні або безконтактні вимірювальні прилади. Прилади обох типів установлюються у вільному місці за межами робочої зони верстата із урахуванням необхідності забезпечення можливості позиціонування шпиндельного

вузла з РІ в зоні вимірювання.

Принцип дії контактних приладів для верстатів фрезерної групи (рис. 3.16 ,а) полягає у визначенні відстані між поверхнями контактного датчика і переднім торцем шпindelного вузла L (рис. 3.17, а) при вимірюванні вильоту різального інструменту і відстанню між осями контактного датчика і шпindelного вузла при вимірюванні діаметра інструменту  $D_i=2(P_1-P)$ . Для визначення параметрів  $P_1$ ,  $P$  та  $A$  різальний інструмент, установлений у шпindelний вузол, підводиться до контактного датчика вимірювального приладу в точку початку вимірювання: зверху від датчика – для визначення вильоту ( $L$ ) і збоку– для визначення діаметра (радіуса)  $PI$   $D_i$ .



Рисунок 3.15 – Перехідна втулка GARANT SK-50 на HSK-63 (а) і перелік налаштувань нульових точок для різних типів хвостовиків на приладі для налаштування різального інструменту Alfa-set 23 (б)

На визначеній невеликій подачі виконується переміщення інструменту в напрямку датчика до моменту контакту поверхонь. У момент контакту системою визначаються параметри величини  $L$ ,  $P_1$  і  $P$  відповідно до виконуваних вимірювань. Після завершення вимірювання інструмент відводиться від датчика в точку старту вимірювання, після чого відводиться на безпечну відстань.

Процес вимірювання інструменту за допомогою лазерних вимірювальних приладів повністю повторює процес для контактних приладів, описаний вище. Сутність процесу полягає у фіксації системою розмірів  $L$ ,  $P_1$  і  $P$  в момент переривання лазерного променя профілем різального інструменту.



Рисунок 3.16 – Контактні (а) і безконтактні (б) вимірювальні прилади фірми RENISHAW

Для налаштування різального інструмента на токарних верстатах використовуються прецизійні контактні відкидні руки. Під час роботи верстата рука ховається в спеціальному боксі (рис. 3.18, а) для забезпечення захисту контактного датчика від механічних пошкоджень (стружки, можливості зіткнення з інструментом тощо) і попадання мастильно-охолоджуючої рідини. За необхідності проведення вимірювання інструмента рука відкидається (рис. 3.18, б), після чого інструмент необхідно вручну підвести на відстань від 2-5 мм до однієї з чотирьох бокових кромки вимірювального датчика і з визначеною робочою подачею виконувати підведення різця в напрямку датчика до моменту контакту. Після контакту кромки інструмента із датчиком здійснення подачі припиняється автоматично. Різець необхідно відвести від датчика на безпечну відстань і виконати позиціонування різального інструменту в позицію для визначення координати за іншою віссю. Після визначення координат інструменту за обома осями інструмент відводиться від вимірювальної руки на безпечну відстань для здійснення зміни різального інструменту на наступний інструмент, який необхідно виміряти, або для початку процесу обробки.

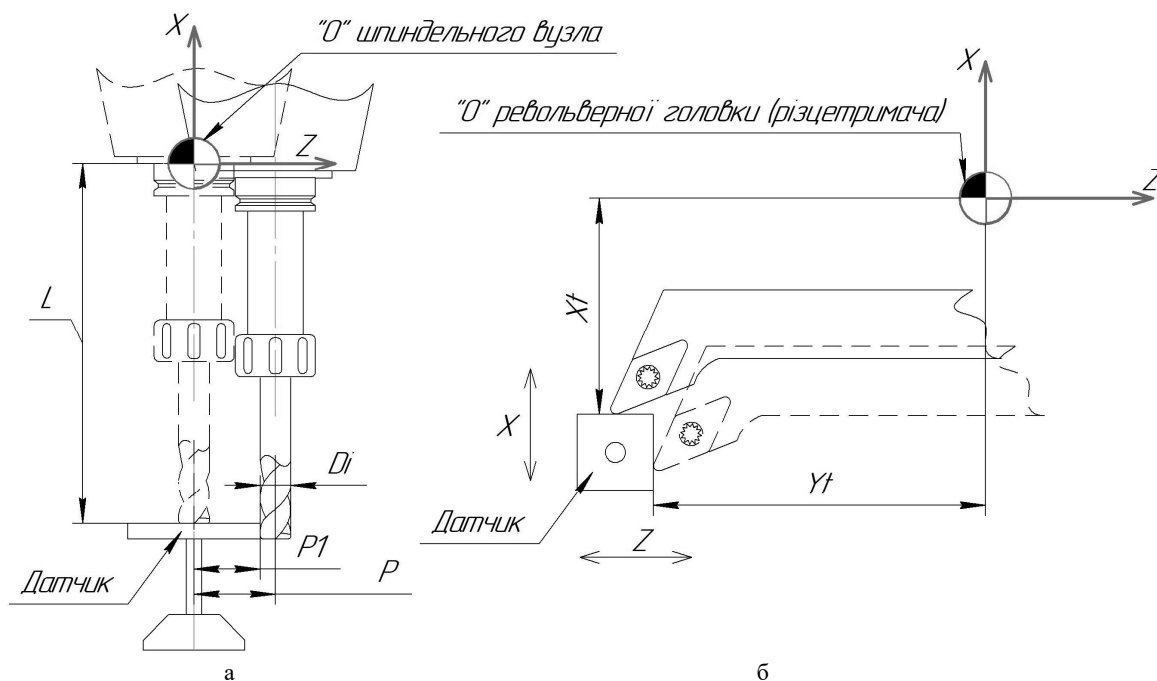


Рисунок 3.17 – Схеми вимірювання інструменту контактними вимірювальними приладами на верстатах фрезерної групи (а) і токарної групи (б)



а



б

Рисунок 3.18 – Прецизійна контактна відкидна рука з електроприводом RENISHAW HPMA із датчиком RP3 для токарного верстата з ЧПК GOODWAY GA3300 у складеному (а) і робочому положенні (б)

Процес вимірювання різального інструменту здебільшого повністю або частково автоматизовано. Визначені системою значення вильоту і діаметра інструменту автоматично заносяться в таблицю інструменту.

Процедура юстирування таких приладів подібна до описаної вище для зовнішніх приладів вимірювання різального інструмента. Для юстирування приладів вимірювання різальних інструментів використовують спеціальні еталони з визначеним вильотом і діаметром наконечника, які вносяться користувачем у цикл вимірювання. Система порівнює отримані результати вимірювання із реальними значеннями вильоту і діаметра оправки та автоматично коригує параметри вимірювання для забезпечення максимальної точності. Результати юстирування (отримані значення, величини похибок і внесених змін) виводяться на екран. Для перевірки результатів юстирування процедуру повторюють до отримання прийнятної величини похибки вимірювання.

### 3.2.5 Встановлення нульової точки деталі

Наступним важливим етапом налагодження верстата є встановлення нульової точки деталі. Для кожної деталі інженером-програмістом визначається розташування нульової точки деталі. У свою чергу вибір місця її розташування здійснюється за даними карти ескізів, у якій зазначаються базові й опорні поверхні деталі, за допомогою яких виконується позиціонування та орієнтація деталі у просторі. Здебільшого налаштування нульової, або базової точки деталі виконується на пристосуванні.

Сутність процесу налаштування нульової точки деталі полягає у визначенні положення системи координат деталі відносно системи координат верстата. За аналогією з різальним інструментом визначення положення нульової точки деталі відбувається через передній торець шпинделя, положення якого в просторі відслідковується системою ЧПК.

Використовуються три основні типи елементів, за допомогою яких здійснюється визначення положення нульової точки деталі: площини, отвори (проточки, внутрішні діаметри тощо) і циліндричні поверхні (установчі циліндричні чи ромбічні пальці, зовнішні діаметри канавок). Відповідно і способи визначення положення різних геометричних елементів поділяються на викочування (для циліндричних поверхонь) і на дотик (для плоских поверхонь).

Існує можливість визначити координату опорної поверхні за осями X, Y, Z за допомогою еталонних (контрольних) оправок або різальних інструментів із попередньо визначеними геометричними параметрами (виліт і діаметр). Принцип вимірювання як контрольною оправкою, так і різальним інструментом (переважно циліндричними фрезами), приблизно однаковий, тому для спрощення наведемо їх узагальненим поняттям **упор**. Оскільки контрольні оправки проходять періодичний контроль ряду параметрів, серед яких і визначення фактичних значень вильоту та діаметра, а різальний інструмент налаштовується за допомогою зовнішніх приладів для налаштування інструменту або безпосередньо на верстаті, то відповідно і точність визначення нульової точки деталі за допомогою контрольної оправки буде дещо вищою.

Розглянемо послідовність виконання вимірювання за допомогою упорів за віссю Z. Попередньо встановлений у шпиндельний вузол упор підводиться вручну зверху до опорної поверхні пристосування (або деталі) на відстань 2-5 міліметрів з кроком великої дискретності (1 імпульс дорівнює 1...10 мм) (рис. 3.19, а). Далі оператор, зменшуючи дискретність переміщень до 0,1 мм за 1 імпульс, підводить інструмент до опорної поверхні на відстань приблизно 0,2 – 0,3 мм.

Між упором та опорною поверхнею утворюється тонка щілина, у яку збоку заводиться щуп товщиною від 0,01 до 0,05 мм залежно від необхідної точності налаштування. Оператором виконуються поперемінно підведення упору до опорної поверхні на величину імпульсу і заведення щупа у проміжок між ними до тих пір, поки щуп не перестане вільно проходити у проміжок. Актуальне положення упору, а саме координата його переднього кінця і визначатиме нульову точку деталі за віссю Z.

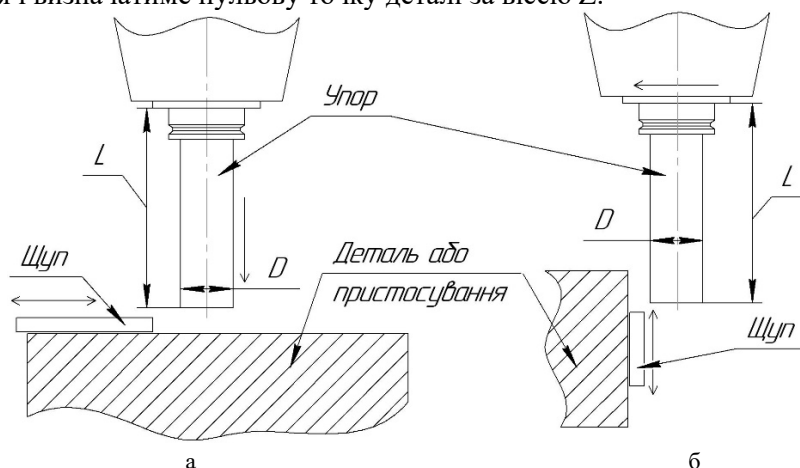


Рисунок 3.19 – Схеми налаштування нульової точки деталі за віссю Z (а) та осями X,Y (б)

У жодному разі не можна залишати щуп у проміжку під час виконання підведення упору до опорної площини для запобігання защемлення щупа у проміжку, що може призвести до псування як самого щупа, так і технологічного обладнання.

Якщо положення опорної площини за віссю Z визначалося відносно переднього торця шпинделя, то для визначення положення нульової точки за осями X і Y використовуються координати актуального положення осі обертання шпинделя (рис. 3.19, б). За інших умов процес визначення координат нульової точки деталі за осями X і Y подібний до визначення положення за віссю Z. Для визначення фактичного положення нульової точки за осями X і Y необхідно враховувати радіус (діаметр) упору, на величину якого вісь шпинделя віддалена від опорної поверхні.

Для визначення координати фактичного розташування отворів або бобишок найчастіше використовуються індикатори часового типу (ИЧ-10) (рис. 3.20, а), або важільно-зубчасті індикатори (ИРБ 0-0,8) (рис. 3.20, б), які встановлюються у спеціальні пристосування (центрошукачі, магнітні стійки, гідравлічні і механічні шарнірні стійки). Шпиндельний вузол із установленим у нього вимірювальним інструментом позиціонується приблизно над центром технологічного об'єкту: отвором, канавкою, бобишкою, установчим пальцем тощо – та підводиться за віссю Z до моменту контакту індикатора із поверхнею об'єкта.

Далі шпиндель обертається навколо своєї осі, й одночасно фіксуються покази індикатора в чотирьох положеннях, розташованих під кутами 0, 90, 180 і 270 градусів від початкового положення. Оператору необхідно визначити різницю між показниками приладу у двох взаємоперпендикулярних положеннях 0° - 180° (ex для осі X) і 90° - 270° (ey для осі Y) градусів (рис. 3.21). Визначену різницю необхідно поділити навпіл. Отримані величини відповідають відстаням, на які необхідно зміститися центром шпиндельного вузла відносно актуального положення, щоб забезпечити збіг центру отвору (бобишки) на пристосованні або деталі із віссю шпинделя. Після коригування положення шпинделя на визначені величини вимірювання повторюються.



Рисунок 3.20 – Індикатори, що використовуються для налаштування нульової точки деталі: а - ИЧ-10; б – ИРБ 0-0,08

(бобишки) на пристосованні або деталі із віссю шпинделя. Після коригування положення шпинделя на визначені величини вимірювання повторюються.

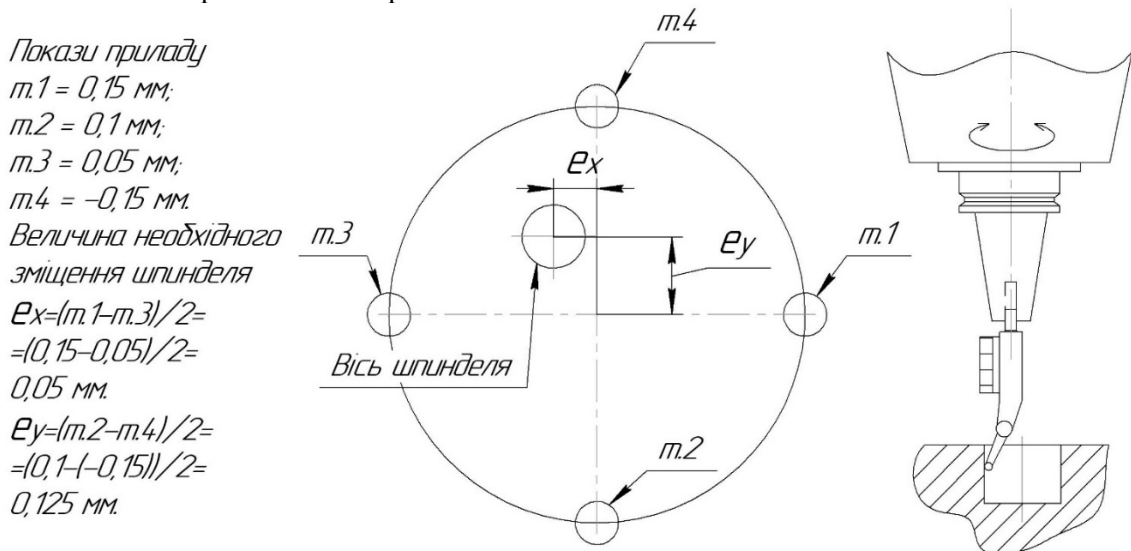


Рисунок 3.21 – Приклад налаштування нульової точки деталі за осями X і Y через вивірку отворів

Процедура визначення похибки розташування осі шпинделя відносно осі технологічного об'єкту, що вивіряється, повторюється до тих пір, поки оператор не досягне заданої точності вивірки – максимальної різниці між показами вимірювального приладу при його обертанні навколо своєї осі. Зазвичай точність вимірювання приймається від 0,01 до 0,03 мм, однак для великогабаритних, тонкостінних деталей (більші за 300 мм) може бути і більшою в залежності від допустимої овальності деталі, биття та інших параметрів, а також із урахуванням умов роботи деталі чи вузла.



Отримані поточні координати центру осі шпинделя відносно нуля верстата приймаються за координати нульової точки деталі.

Так само виконується вивірка пристосувань на обробних центрах з поворотними круглими столами, коли для обробки деталі необхідно, щоб пристосування перебувало в центрі осі обертання поворотного стола з тією різницею, що вісь обертання шпинделя повинна збігатися з віссю обертання поворотного стола, звідки переміщувати за координатами X, Y в такому разі необхідно пристосування.

Шпиндель попередньо позиціонується в центр поворотного стола. Пристосування, встановлене на планшайбі поворотного стола, попередньо несильно притискається за допомогою притискачів або будь-яких інших засобів, передбачених конструкцією пристосування, елементів кріплення. Далі здійснюється вивірка пристосування засобами вимірювання по базовому діаметру і визначаються величини необхідних зміщень за координатами X, Y ( $E_x$  і  $E_y$ ) за аналогією із попереднім прикладом (рис. 3.22). Вивірка може здійснюватись або обертанням шпинделя із затиснутим у нього індикатором навколо своєї осі, або обертанням стола. У другому випадку індикатор залишається нерухомим.

Після визначення значень  $E_x$  і  $E_y$  пристосування необхідно змістити з поточного положення за відповідними координатами на визначені величини і повторювати процес вивірки до досягнення необхідної точності налаштування.

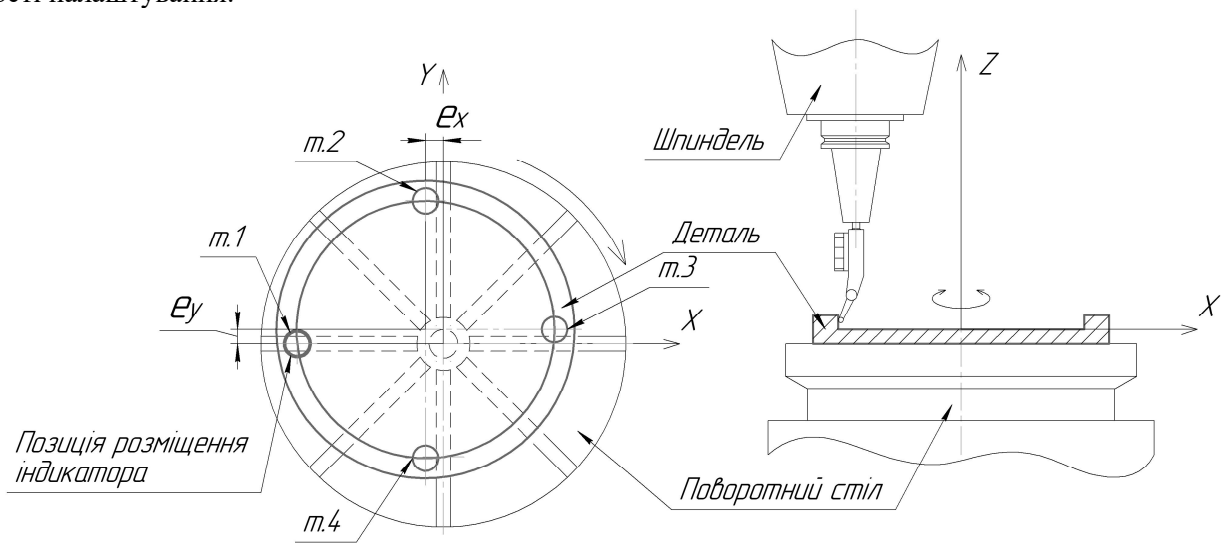


Рисунок 3.22 – Приклад вивірки пристосування при його встановленні на поворотний стіл багатокординатного обробного центру

Процес налаштування токарних верстатів подібний до зазначеного вище з тією різницею, що вивірка виконується лише обертанням шпинделя (рис. 3.23). Магнітна стойка з індикатором може кріпитися до будь-якої металевої поверхні (станіни, корпуса револьверної головки, різцетримача тощо) або встановлюватись у різцевий блок на супорті верстата.

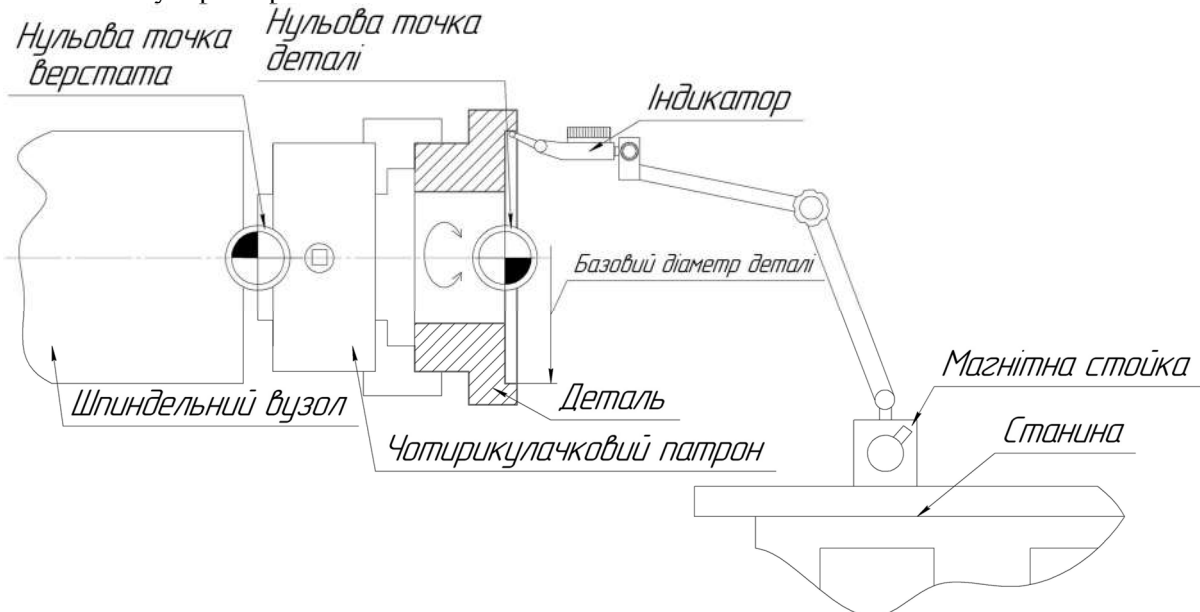


Рисунок 3.23 – Приклад вивірки пристосування (деталі) на токарних верстатах

Принцип визначення координати розташування нульової точки деталі за віссю  $Z$  відповідає описаному вище для фрезерних верстатів. У револьверну головку встановлюється різцевий блок з упором визначеної довжини  $Z_y$ . Вихідним положенням револьверної головки є точка із координатами  $Z_{p.g.}$  і  $X_{p.g.}$ . Упор поступово підводиться до базової поверхні пристосування (або деталі) до моменту, коли щуп не зможе пройти в проміжок між упором і базовою поверхнею (рис. 3.24). Отже, поточне положення револьверної головки  $Z_{\phi}$  визначатиме координату нульової точки деталі  $Z_{н.т.д.}$  через вираз  $Z_{н.т.д.} = Z_{\phi} - Z_y$ .

Визначення координати нульової точки деталі може бути виконане не тільки з використанням спеціальних еталонних оправок, а й за допомогою звичайного різця із попередньо визначеною довжиною.

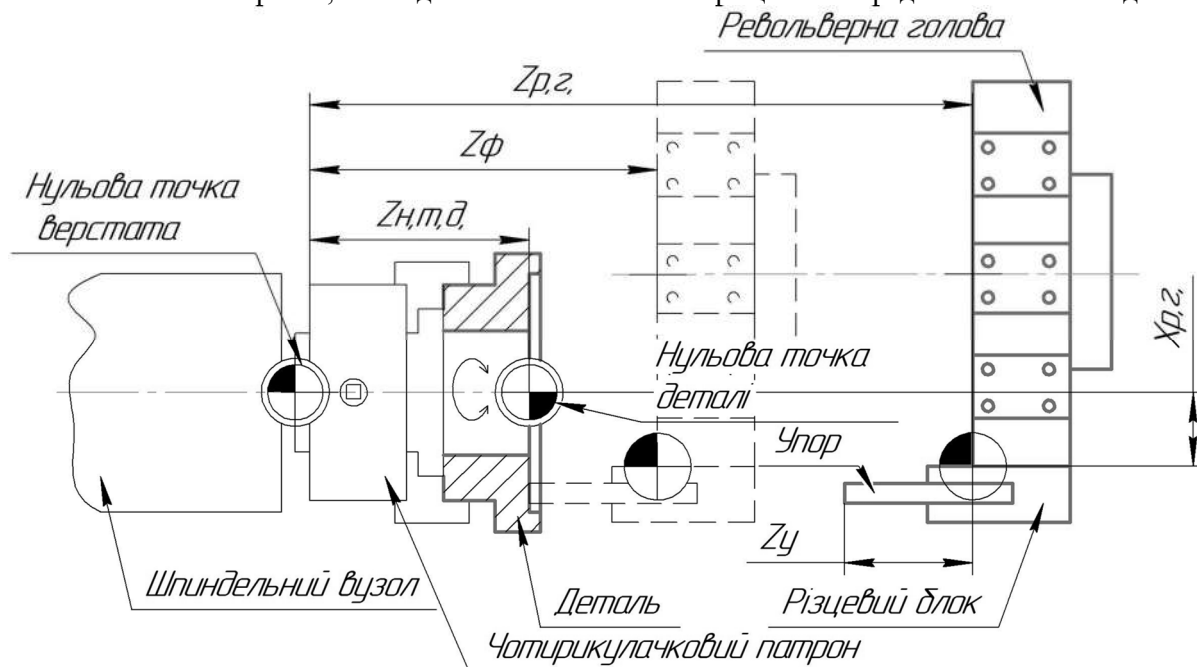


Рисунок 3.24 – Приклад визначення нульової точки деталі за віссю  $Z$  на токарних верстатах

Аналогічно виконується налаштування кутового положення пристосування на верстатах із поворотними столами. Зазвичай для дотримання кутових баз на пристосуваннях використовуються технологічні отвори, або зрізані (ромбічні) пальці, які встановлюються довшою стороною вздовж кругової траєкторії, яка описується установчим пальцем (отвором) при обертанні поворотного стола (рис. 3.25).

Для налаштування кутового положення пристосування (відповідно і деталі) згідно з вимогами технологічної документації необхідно виконати позиціонування за однією із осей координат шпиндельного вузла зі встановленим у нього індикатором на діаметр  $D$ , на якому розташовано зрізаний палець (рис. 3.25). Поворотний стіл обертається навколо своєї осі доти, доки вісь пальця і шпинделя приблизно не збігатимуться. Індикатор опускається до моменту контакту з боковою поверхнею зрізаного пальця і налаштовується з натягом. Для визначення зміщення осі пальця відносно осі шпинделя індикатор повертається на  $180$  градусів навколо своєї осі, внаслідок чого входить у контакт із другою стороною зрізаного пальця. Половина різниці між показами індикатора з одного й іншого боків зрізаного пальця є величиною, на яку необхідно змістити зрізаний палець відносно осі шпиндельного вузла шляхом обертання поворотного стола. Стіл підвертається в одному із напрямків, а оператор, за показами індикатора, відслідковує величину зміщення. Описана процедура повторюється доти, доки покази приладу з обох сторін зрізаного пальця не будуть збігатися. Це значить, що зрізаний палець лежить на одній з координатних осей.

Отримана величина фактичного кутового положення поворотного стола вноситься в таблицю нульових точок. Коли базове кутове положення деталі не збігається з жодною із осей координат (тобто перебуває під деяким кутом  $\alpha$  до однієї із осей), необхідно додати або відняти (в залежності від того, з якого боку від однієї з осей координат перебуває палець, або отвір) від отриманого кутового положення зрізаного пальця задану величину кутового положення.

Дуже зручним і надзвичайно точним інструментом, що використовується для налагодження верстатів і контролю деталей безпосередньо на верстаті – є контактні вимірювальні системи (рис. 3.26). Основними перевагами контактних вимірювальних систем є висока точність, простота використання, зменшення часу на налагодження верстата та автоматизація процесу, вимірювання деталей у процесі обробки з можливістю

автоматичного введення корекції на різальний інструмент, контроль і зведення кінематичних похибок (відхилень, що виникають при позиціонуванні поворотних вузлів, як різниця між збереженою в ЧПК кінематичною моделлю верстата і фактичною).

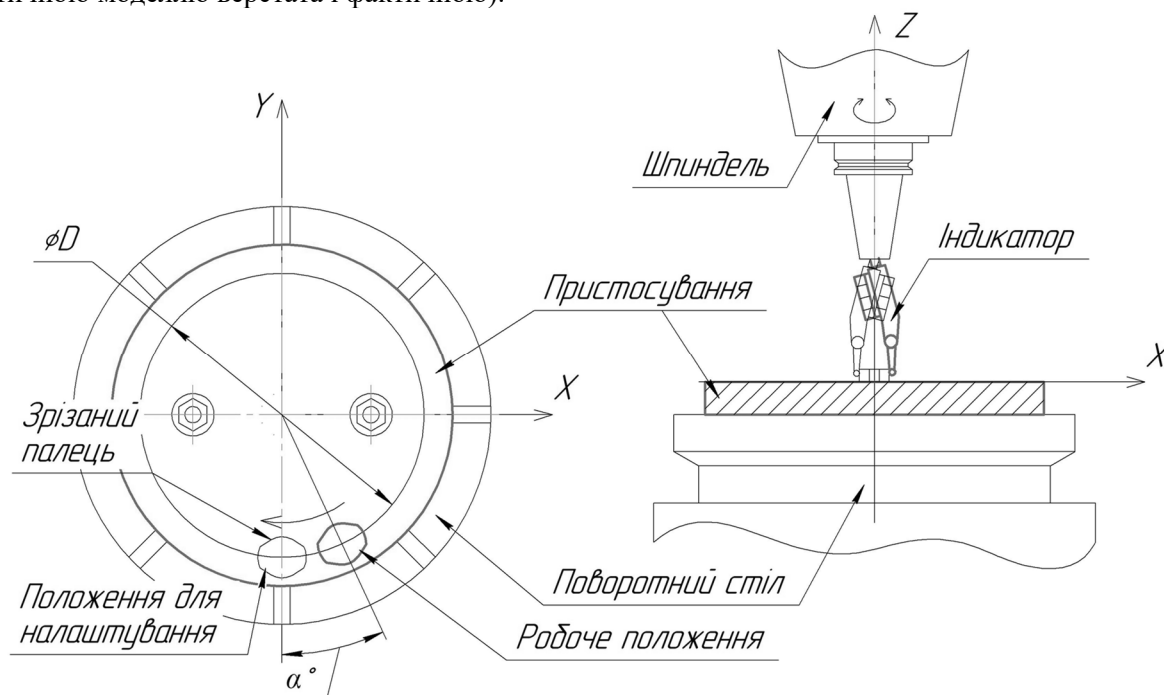


Рисунок 3.25 – Приклад вивірки кутового положення пристосування (деталі) на верстатах із поворотними столами

Контактний вимірювальний датчик складається із корпусу датчика, у якому розташовується відсік для батарейок, сигнальні індикатори стану датчика, передатчики сигналів і щуп із рубіновим наконечником.



Рисунок 3.26 – Контактний 3-х вимірний вимірювальний щуп Renishaw OMP40

Принцип роботи контактних вимірювальних датчиків полягає у спрацьовуванні пристрою в момент контакту вимірювального щупа і поверхні деталі. У момент контакту, за рахунок зворотного зв'язку, визначається фактичне положення шпиндельного вузла відносно нуля верстата, а через відомі величини вильоту і діаметра контактного вимірювального датчика – фактичне положення точки контакту. Передача сигналу з датчика на систему ЧПК здійснюється за допомогою безпроводного інтерфейсу.

Вимірювання здійснюються в автоматичному режимі за допомогою спеціальних циклів, які дозволяють визначити діаметр і координати розміщення отворів та бобишок, кут між поверхнею й однією із осей координат тощо. Для написання програм для контролю деталей, а також ошпупування криволінійних поверхонь для визначення похибки форми, використовують спеціалізовані модулі САМ-систем із відповідними постпроцесорами до них.

Послідовність виконання вимірювання наступна:

- контактний датчик позиціонується у початкову точку вимірювання на відстані 5-10 мм (для отворів і прямокутних карманів – приблизно по центр; для бобишок – над нею приблизно в центрі; для поверхонь – збоку від них);
- задаються основні параметри вимірювання: контроль (визначення координат або розмірів) або налаштування (задається номер нульової точки деталі для занесення визначених значень у таблицю нульових точок), приблизні діаметри вимірювальних об'єктів тощо;
- власне вимірювання;

— аналіз отриманих результатів.

Калібрування контактних вимірювальних систем схоже на процедуру юстирування систем вимірювання інструменту, або налаштування мікроскопів. Стандартна процедура полягає у вимірюванні діаметра і довжини об'єктів, які виступають у ролі еталонів. Зазвичай цими об'єктами виступають попередньо відкалібровані гладке кільце і кінцева міра довжиною 50 або 100 мм. Процес калібрування повністю автоматизовано. Рубіновий наконечник розміщується всередині гладкого кільця, після чого в циклі калібрування за діаметром необхідно задати фактичний діаметр кільця і рубінового наконечника. Після вимірювання ЧПК вносить корективи в параметри вимірювального датчика для забезпечення максимального збігу фактичного діаметру гладкого калібру і вимірюного датчиком діаметра.

Для калібрування за віссю Z у цикл вимірювання вноситься фактична висота кінцевої міри із паспорта і діаметр рубінового наконечника. За аналогією із калібруванням за діаметром система ЧПК вносить корективи у параметри щупа для забезпечення відповідності між заданою і фактично вимірюною довжиною кінцевої міри.

Для перевірки точності налаштування контактного вимірювального датчика процедура калібрування повторюється.

### **3.2.6 Установлення деталі на пристосування. Запис керуючої програми. Оброблення і контроль першої деталі**

Установлення деталі на пристосування є одним із достатньо відповідальних етапів налагодження верстата. При встановленні деталі на пристосування необхідно чітко дотримуватися вимог технологічної документації: витримувати допустимі зазори між опорною поверхнею деталі і пристосуванням, допустимі радіальне й осьове биття, схему затискання, орієнтацію деталі в пристосуванні та багато інших параметрів. Правильність установлення і затискання деталі в пристосуванні повинно забезпечувати необхідну вихідну точність обробки.

У п.п. 3.1.2 наводилося кілька шляхів запису керуючих програм на стійку з ЧПК. Найбільш сучасні стійки з ЧПК, такі як Sinumerik 840D, Fanuc 0i-MF Plus і 0i-TF Plus, WL4M обладнані інтерфейсами Ethernet, що дозволяє приєднати верстат як до окремого локального комп'ютера, так і до мережі DNC, у яку об'єднано декілька верстатів. Таким чином керуючі програми завантажуються із сервера одразу на верстат, що дозволяє не зберігати велику кількість керуючих програм у пам'яті верстата. Також найчастіше системи ЧПК обладнані інтерфейсом USB (для запису програм із Flash носіїв інформації) та CF (для використання CF-карт пам'яті). Набагато рідше можна зустріти магнітні засоби зчитування інформації, зокрема 3.5 - дюймові дисководи, а ще рідше використовують перфострічки.

При впровадженні обробки деталі на верстаті з ЧПК першочерговою задачею налагоджувача є відпрацювання керуючої програми. Під відпрацюванням КП розуміють відслідковування траєкторій переміщення рухомих вузлів верстата для уникнення зіткнень; відпрацювання режимів різання для забезпечення необхідних показників точності обробки, шорсткості оброблених поверхонь, стійкості різальних інструментів; оптимізації траєкторій переміщення різального інструмента для скорочення часу обробки; визначення необхідності доопрацювання пристосування або схеми встановлення деталі.

Процес впровадження обробки деталей виконується в покадровому або автоматичному режимі з контролем налагоджувачем потенціометра подачі (тобто можливістю вручну зменшувати або збільшувати поточну подачу в процентному відношенні від заданої в керуючій програмі).

У процесі обробки або після закінчення обробки першої деталі виявлені при впровадженні недоліки і зауваження враховуються програмістом, і керуюча програма уточнюється, після чого процедура відпрацювання КП повторюється.

У процесі оброблення деталі налагоджувачем за можливості контролюються отримувані розміри, шорсткість оброблених поверхонь, стан різального інструменту. При виявленні відхилень вони аналізуються і за можливості застосовуються коригувальні впливи. До основних коригувальних впливів можна віднести: внесення корекції на радіус і довжину інструменту; зміну різального інструменту (внаслідок зношування, руйнування, стирання зносостійких покриттів тощо), зміщення нульової точки деталі, уточнення КП.

Повністю оброблена деталь піддається контролю на відповідність вимогам технологічної документації (ТД), тобто карти ескізів, на підставі чого ухвалюється рішення про можливість атестації керуючої програми – визнання відповідності отриманих у результаті обробки розмірів, шорсткості і форми оброблених поверхонь вимогам конструкторсько-технологічної документації.

Обробка першої деталі за вже впровадженою (атестованою) керуючою програмою проводиться для підтвердження правильності налаштування верстата. Якщо оброблена перша деталь відповідає вимогам технологічної документації, то верстат здається в роботу для обробки партії деталей, в іншому разі налагоджувачем аналізуються отримані відхилення і вносяться коригувальні впливи.

### 3.2.7 Коригування налаштувань різального інструменту

Процес обробки деталей і вузлів на верстатах з ЧПК потребує періодичного або постійного контролю з боку оператора. Кожен різальний інструмент має свій період стійкості, величина якого може суттєво відрізнятися залежно від марки оброблюваного матеріалу, режимів різання, глибини різання тощо. Кожен окремий різальний інструмент потребує своєчасної заміни для запобігання досягненню критичної величини зношування і можливого подальшому руйнуванню різальної кромки або усього інструменту.

Варто пам'ятати, що процес налаштування металорізального верстата на кожному етапі матиме деяку похибку, поява якої пов'язана із поточним станом технологічного обладнання, його технічними характеристиками (класом точності), точністю налаштування приладів і засобів налаштування (вимірювальних приладів, індикаторів, контрольних оправок) та багатьма іншими факторами.

Усі фактори, які були згадані вище, неодмінно призводять до появи похибок обробки, а отже, невідповідності отримуваних розмірів вимогам конструкторсько-технологічної документації.

Оскільки діаметр і виліт різального інструменту є його основними параметрами, то саме за рахунок зміни цих величин існує можливість здійснювати вплив на отримувані розміри деталей. Варто розуміти, що збільшення або зменшення величини вильоту і діаметра різального інструменту за рахунок внесення змін у таблицю інструмента жодним чином не змінює його дійсних розмірів. Зазначена зміна розмірів здійснюється умовно.

Розглянемо дію величини зношування (корекції)  $\Delta L$  на прикладі обробки торцевої поверхні заготовки призматичної форми висотою  $H$  у номінальний розмір  $H_n$  з допуском  $TD$  кінцевою фрезою з вильотом  $L$  і діаметром  $D$  (рис. 3.27, а). При фрезеруванні інструментом з базовою корекцією на довжину інструмента отримано дійсний розмір (висоту)  $H_d$ , величина якого є меншою за найменший граничний розмір. Це означатиме, що деталь – невиправний брак. Для забезпечення потрапляння дійсного розміру в межі поля допуску необхідно піднятися різальним інструментом на величину  $\Delta L$  відносно базового положення різальної кромки в процесі обробки. Збільшення величини вильоту інструменту на величину  $\Delta L$  фактично означатиме, що передній торець інструменту перебуватиме на більшій відстані від

переднього торця шпинделя, хоча фактично величина вильоту різального інструменту залишатиметься тою самою. Отже, різальна кромка інструменту фактично перебуватиме вище відносно базової корекції, тому різальний інструмент зрізуватиме на  $\Delta L$  менше металу із заготовки, що дозволить забезпечити попадання дійсного розміру  $H_d$  в межі заданою документацією поля допуску.

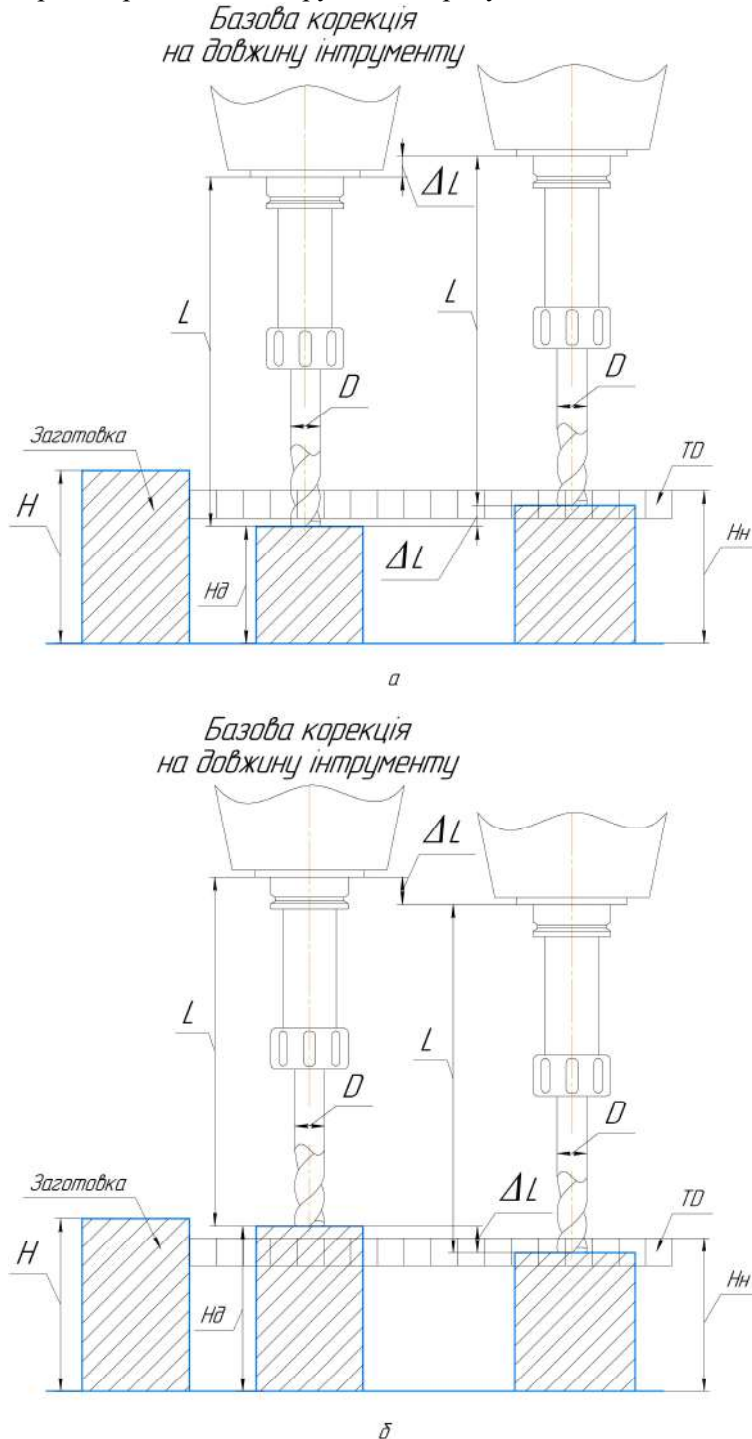


Рисунок 3.27 – Використання коригування величини вильоту різального інструмента для забезпечення точності обробки при значенні дійсного розміру меншому за найменший граничний розмір (а) і більшому за найбільший граничний розмір (б)

переднього торця шпинделя, хоча фактично величина вильоту різального інструменту залишатиметься тою самою. Отже, різальна кромка інструменту фактично перебуватиме вище відносно базової корекції, тому різальний інструмент зрізуватиме на  $\Delta L$  менше металу із заготовки, що дозволить забезпечити попадання дійсного розміру  $H_d$  в межі заданою документацією поля допуску.

Якщо отримана величина  $H\delta$  є більшою за найбільший граничний розмір (рис. 3.27, б), то для забезпечення попадання в межі поля допуску необхідно опуститися на величину  $\Delta L$  відносно базового розташування різальної кромки. Для цього необхідно зменшити величину вильоту різального інструменту на  $\Delta L$ .

Коригування діаметру різального інструменту необхідне для обробки контурів деталей із корекцією на радіус інструменту. При обробці з корекцією різальний інструмент зміщується відносно запрограмованого контуру на величину внесеного в таблицю інструменту радіуса інструменту.

Розглянемо приклад обробки прямокутного контуру з номінальними величинами габаритних розмірів  $V \times H$  і полем допуску  $TD$ . З рисунку 3.28 (а) видно, що фактично оброблений контур лежить із зовнішнього боку поля допуску. Для того щоб скоригувати положення різального інструмента для забезпечення попадання дійсних розмірів в межі поля допуску, необхідно змістити різальний інструмент (або траєкторію руху інструменту) вліво відносно траєкторії руху на від'ємну величину  $\Delta R$  (або  $\Delta D$ ). Фактично відбувається наступне: від внесеного в таблицю інструмента фактичного значення радіуса інструменту  $R$  віднімається величина зношування  $\Delta R$ , звідки отримується зміщення траєкторії руху інструменту вліво на величину  $\Delta R$ , однак фактичний (реальний) радіус інструменту залишатиметься незмінним, тому інструмент зрізуватиме більший припуск (рис. 3.28, б).

На рис. 3.28 (в) зображено протилежну ситуацію, коли різальним інструментом зрізується більше матеріалу, ніж необхідно, і фактично оброблений контур лежить з внутрішнього боку від поля допуску. Для коригування положення різального інструменту необхідно змістити траєкторію руху вправо відносно траєкторії руху на додатну величину  $\Delta R$  (або  $\Delta D$ ), яка заноситься до таблиці зношування.

До внесеного в таблицю інструмента фактичного значення радіуса інструменту  $R$  додається величина зношування  $\Delta R$ , і радіус інструмента збільшується, а траєкторія руху зміщується від контуру на величину  $\Delta R$ . Фактичний же радіус інструменту залишається незмінним, через що інструмент зрізуватиме менший припуск (рис. 3.28, г).

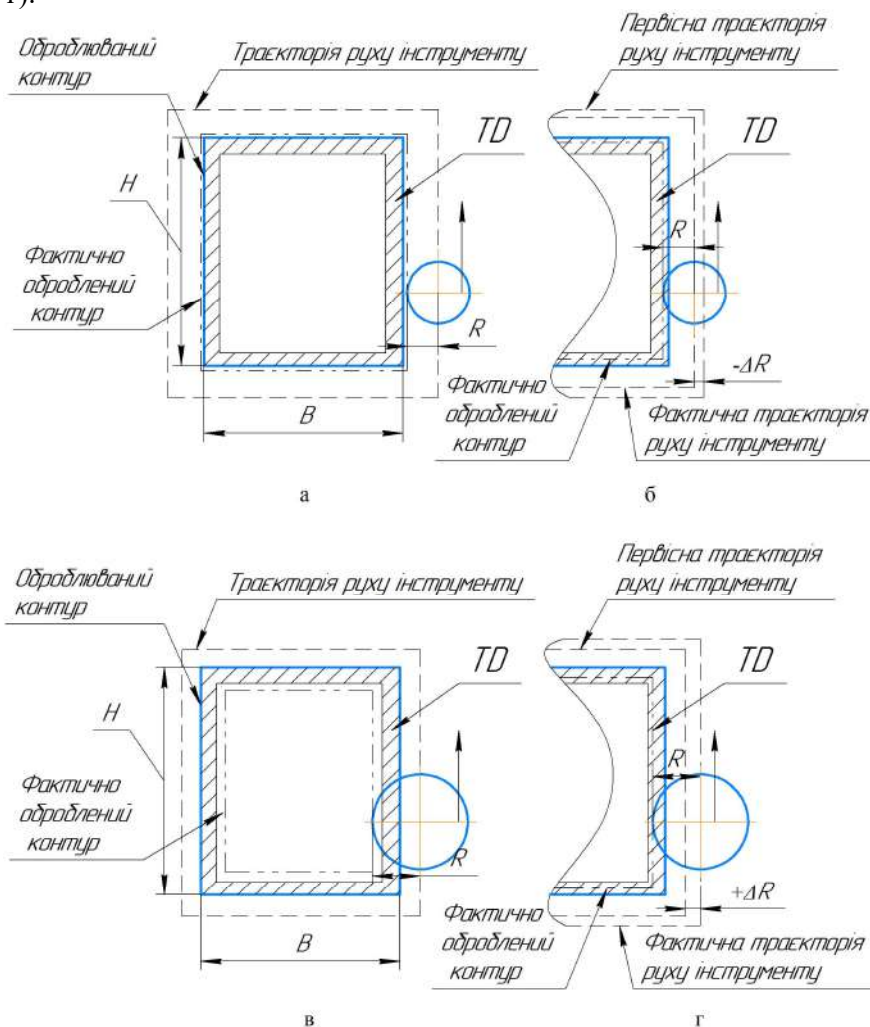


Рисунок 3.28 – Використання коригування величини радіуса (діаметра) різального інструменту для забезпечення точності обробки при значенні дійсних розмірів менших за найменші граничні розміри (а, б) і більших за найбільші граничні розміри (в, г)

### 3.3 Основи керування верстатами з ЧПК

#### 3.3.1 Пульти керування системи числового програмного керування Sinumerik 840D

Взаємодія між оператором і системою ЧПК відбувається через пульти керування, який складається з дисплею, на якому графічно відображається вся необхідна інформація, та елементів керування: набору клавіш, регуляторів, засобів для запису керуючих програм у пам'ять верстата. Базовий набір клавіш, які використовуються на пультах керування верстатами з системами ЧПК Sinumerik 840D, наводяться на рисунку 3.29.

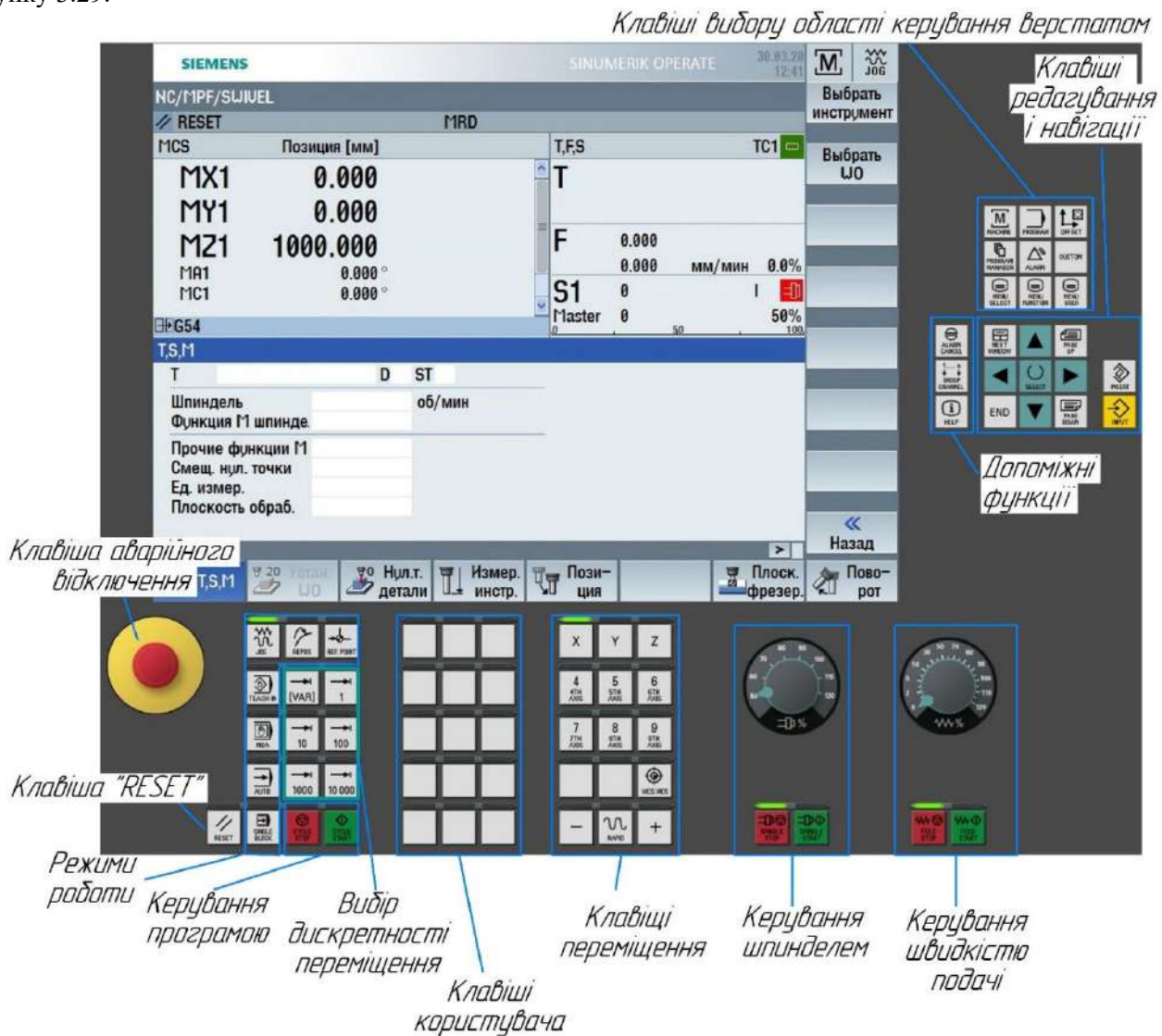


Рисунок 3.29 – Пульти керування системою ЧПК Sinumerik 840D






Клавіша аварійного відключення служить для екстреної зупинки усіх приводів верстата у разі виникнення аварійної ситуації.



Клавіша «RESET» використовується для переривання обробки деталі за керуючою програмою на будь-якому етапі її виконання, а також для видалення помилок. При натисканні клавіші «RESET» відбувається перехід на початок керуючої програми.



У блок клавіш переміщення входять клавіші вибору осі, за якою буде виконуватися переміщення (лінійної – X, Y, Z, або кругової – A, B, C), клавіші  $\left[ \begin{array}{|c|} \hline + \\ \hline \end{array} \right]$  і  $\left[ \begin{array}{|c|} \hline - \\ \hline \end{array} \right]$ , при натисненні на які здійснюватиметься

переміщення в додатному або від'ємному напрямках відповідно, клавіша  $\left[ \begin{array}{|c|} \hline \text{RAPID} \\ \hline \end{array} \right]$  (діє у парі із клавішами «+») і

«-») для активування переміщення із прискореною подачею, а також клавіша  $\left[ \begin{array}{|c|} \hline \text{WCS MCS} \\ \hline \end{array} \right]$ , що змінює систему координат, відносно якої відображається поточне положення рухомих вузлів верстата за осями координат (включаючи кругові осі), які наводяться у вікні індикації стану і поточного положення (рис. 3.29). Відображаються на вибір або система координат верстата – MCS, або система координат деталі – WCS.













Блок клавiш вибору дискретностi перемiщень дозволяє змiнювати крок перемiщення (iнкремент), величина якого задається в машинних даних верстата. Величина iнкременту перемiщення змiнюється вiд 1 -  до 10000 -  або може бути змiнною . Пiсля вибору величини iнкременту пiсля одинарного натиснення на клавiшу  або  вiдбувається перемiщення вузла за вибраною координатою на величину iнкременту. У разi вибору змiнного iнкременту при затисненнi клавiш «+» i «-» вiдбувається безперервне перемiщення рухомого вузла в обраному напрямку.




Блок керування швидкiстю подачi складається iз клавiшi «стоп подача» -  i «пуск подача» , якi вiдповiдно блокують можливiсть перемiщення в будь-якому напрямку, та дозволяють виконувати перемiщення. Швидкiсть перемiщення регулюється за допомогою потенцiометра, який дозволяє здiйснювати регулювання в дiапазонi вiд 0 до 120% вiд заданої в керуючiй програмi подачi.





Блок керування шпинделем складається iз клавiшi «стоп шпиндель» -  i «пуск шпиндель» - , якi вiдповiдно зупиняють обертання шпинделя в будь-якому напрямку, та вiдновлюють обертання шпинделя iз швидкiстю, заданою в керуючiй програмi. Частота обертання регулюється за допомогою потенцiометра, який дозволяє здiйснювати регулювання в дiапазонi вiд 50 до 120% вiд заданої в керуючiй програмi частоти обертання.

Клавiша керування програмою «Cycle stop» -  дозволяє призупинити виконання поточної керуючої програми з можливістю подальшого продовження обробки з місця зупинки.




Клавiша керування програмою «Cycle start» -  дозволяє запустити або продовжити виконання керуючої програми, циклу вимiрювання iнструменту, деталей, нульових точок деталi за допомогою тривимiрних вимiрювальних шупiв, виконання рiзноманiтних функцiї в ручному, автоматичному i покадровому режимi керування верстатом.

Блок клавiш редагування i навігацiї використовується в усiх режимах роботи верстата i включає в себе наступнi клавiшi керування:  - перемiщення курсору вгору;  - перемiщення курсору вниз;  - перемiщення курсору влiво;  - перемiщення курсору вправо;  - гортання сторiнок вгору;  - гортання сторiнок вниз;  - перехiд курсора в кiнець лiнii введення (рядка);  - перемикання мiж вiкнами;  - видалення символу, який стоїть перед курсором (видалення символiв справа налiво);  - дозволяє перейти в режим вводу даних з режиму навігацiї, перемикається мiж режимом вставки i режимом заміни (за аналогiєю з клавiшею INSERT клавіатури звичайних персональних комп'ютерiв),  - вiдкриття/закриття директорiї i вiдкриття файлiв, пiдтвердження внесених значень;  - перемикання у полях вибору мiж доступними варіантами або активування/зняття прапорцiв вибору.

Блок допомiжних клавiш складається iз клавiшi HELP - , яка активує виклик онлайн довідника; клавiшi ALARM CANCEL  - яка видаляє або скидає помилки; клавiшi GROUP CHANNEL  - за допомогою якої здiйснюється перемикання мiж каналами.

Блок клавiш вибору областi керування верстатом дозволяє перемикається мiж областю керування «Верстат»  - в якiї здiйснюється налагодження верстата (визначення нульової точки деталi, вимiрювання iнструменту тощо); областю редагування i симуляцiї керуючої програми «Program» ; областю параметрiв «Offset»  - в якiї установлюються координати нульових точок деталей, параметри iнструменту, R – параметри; областю керування програмами i файлiми «Program Manager» ; областю



діагностування «System Alarm»  з переліком помилок;  - область, яка конфігурується безпосередньо користувачем. За допомогою клавіші MENU SELECT  - здійснюється перехід з будь якої області керування і режиму роботи до головного меню, в якому на вибір пропонуються усі доступні області керування і режими роботи (рис. 3.30).

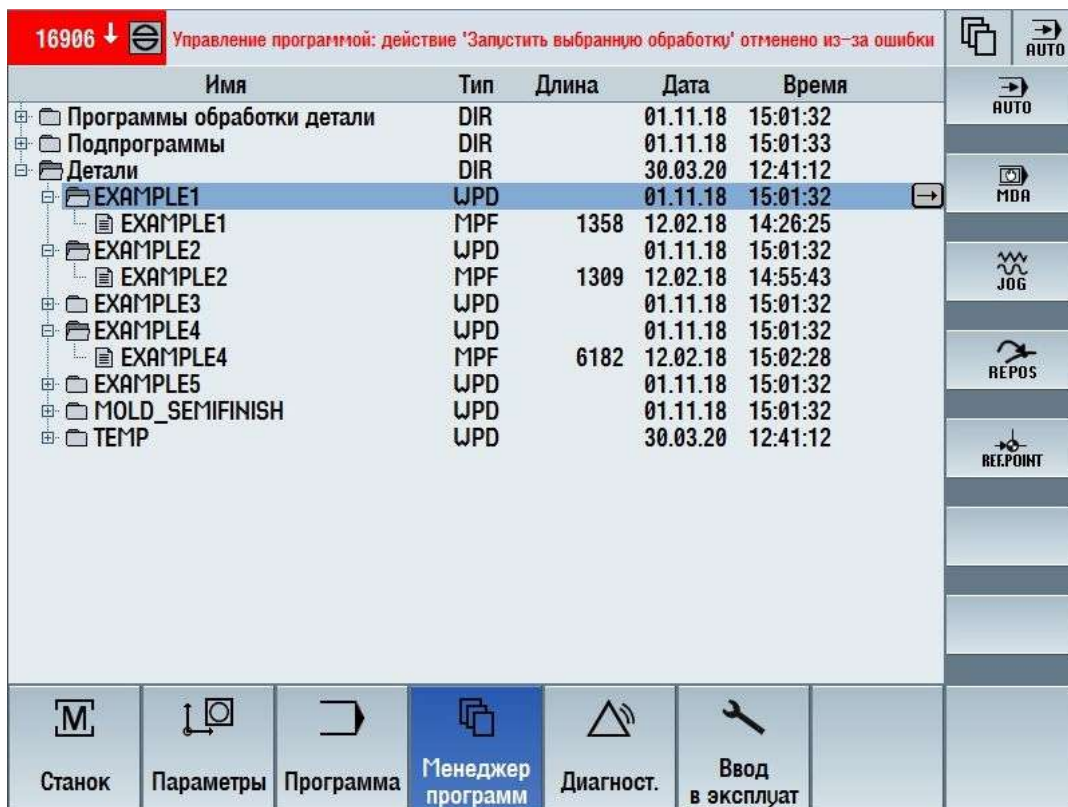




Рисунок 3.30 – Меню клавіші MENU SELECT на стійці з ЧПК Sinumerik 840D


### 3.3.2 Режими роботи в області керування «Верстат»

Переважна більшість стійок з ЧПК мають шість основних режимів роботи:

- ручне керування;
- покадровий режим відпрацювання керуючої програми;
- автоматичний режим відпрацювання керуючої програми;
- ручне введення даних;
- режим маховичка;
- підведення до референтної точки.

У режимі ручного керування  здійснюється налагодження і керування верстатом. Режим ручного керування дозволяє вручну переміщувати рухомі вузли верстата в межах робочої зони, і виконувати усі необхідні операції з визначення розташування нульової точки деталі, вимірювання інструментів та встановлення деяких параметрів обробки.

Покадровий режим  відпрацювання керуючої програми дозволяє оператору виконувати кожен кадр керуючої програми по чергову. Покадровий режим використовується при впровадженні керуючої програми, для відслідковування усіх переміщень на предмет можливих зіткнень рухомих вузлів, відпрацювання підходів різального інструменту до заготовки та інших потреб.

Автоматичний режим роботи  використовується для вже відпрацьованих (впроваджених) керуючих програм і застосовується для виконання програми або частин програми без втручання оператора. У горизонтальному меню розташовані кнопки для активації функцій керування керуючою програмою, пошуку кадрів за рядом критеріїв, переходу в режим симуляції і редагування керуючої програми (рис. 3.31).

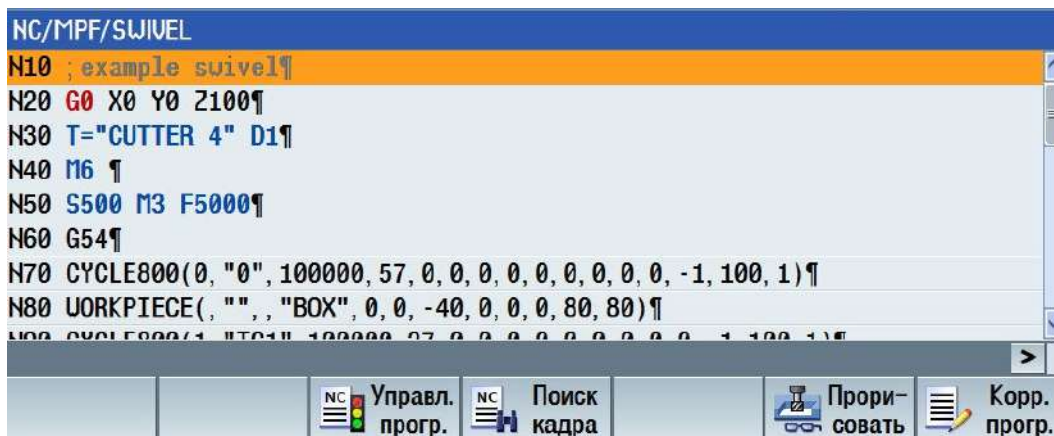




Рисунок 3.31 – Робоче вікно режиму роботи верстата AUTO і SINGLE BLOCK

Режим ручного введення даних (далі MDI – Manual Data Input)  використовується для ручного вводу команд у G – код і їх покадровому виконанні одразу після внесення всіх необхідних даних у кадр. У режимі MDI забезпечена можливість використовувати повний набір функцій і команд, доступний на використовуваній системі ЧПК, включаючи цикли (рис. 3.32). У режимі MDI виконуються переміщення, обробка поверхонь або простих контурів, налагодження верстата, заміна інструменту, вимірювання і багато іншого. Деякі системи ЧПК дозволяють зберігати складені в робочому вікні режиму MDI кадри в якості фрагментів або повноцінних керуючих програм.

Режим маховичка  дозволяє оператору переключити керування рухомими осями координат з пульта керування на спеціальний ручний імпульсний генератор (рис. 3.33), який обладнано перемикачем або клавішами вибору керованої осі, перемикачем дискретності переміщення і маховиком, який використовується для ручного керування швидкістю і напрямком переміщення, а також для точного позиціонування рухомих вузлів. Використання маховичка виключає необхідність знаходження оператора під час налагодження верстата безпосередньо перед пультом керування і дозволяє керувати верстатом, перебуваючи у безпосередній близькості до місця налагодження.

Перемикання в режим маховичка може здійснюватися як з пульта керування, так і безпосередньо за допомогою клавіш або регуляторів. Часто маховички оснащують рядом спеціалізованих клавіш, які дозволяють вносити координати поточного положення за обраними осями координат відразу в таблицю нульових точок, здійснювати переміщення в додатному або від'ємному напрямку на значні відстані без використання маховичка, вмикати оберти шпинделя та багато інших. Більш прогресивні імпульсні маховички обладнують монохромними дисплеями, на яких відображається інформація, яка частково дублює дані, що відображаються на пульті керування.

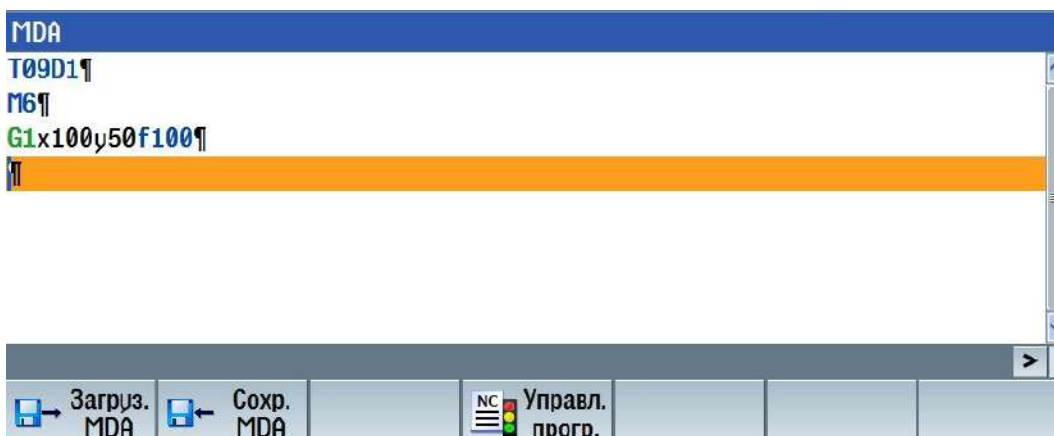





Рисунок 3.32 – Робоче вікно режиму роботи верстата MDI

Режим підведення рухомих вузлів верстата до референтної точки  активується для відновлення прив'язки осей до нульової точки верстата. Здебільшого підведення верстата до референтної точки потрібне після його ввімкнення, перезавантаження або активації кнопки аварійної зупинки, але в деяких верстатах виконувати вихід до референтної точки не вимагається.

Крім названих вище режимів роботи існують ще декілька допоміжних режимів, які зустрічаються в деяких модифікаціях систем ЧПК Sinumerik.

Режим зворотного позиціонування  служить для повторного позиціонування різального інструменту на визначену позицію

Режим створення або редагування керуючих програм TEACH IN  використовується для роботи в режимі MDI і AUTO та дозволяє додавати або змінювати прості кадри переміщень, при цьому переміщення в установчі позиції інструмента виконуються вручну, а заміну кадрів можна виконувати тільки на однотипні.

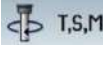
У блоці клавiш користувача виробнику конкретного верстата надається можливість за будь-якою із вільних клавiш закріпити виконання певної дії або функції. Такими функціями може бути ввімкнути/вимкнути світло; повернути магазин на одну позицію вперед чи назад; заблокувати дверцята; увімкнути/вимкнути скребковий конвеєр, затискання/розтискання інструментальної оправки в шпинделі та багато інших.




Рисунок 3.33 – Типовий імпульсний маховичок для верстатів з ЧПК


### 3.3.3 Режим ручного керування JOG

У режимі ручного керування на вибір оператору в горизонтальному меню пропонується ряд функцій, які використовуються для керування і налагодження верстата, а також виконання простих видів обробки в ручному режимі. Розглянемо доступні функції режиму JOG стійки з ЧПК Sinumerik 840D.


Функція «Т, S, М»  використовується для керування шпинделем верстата і деякими налаштуваннями. У меню, що з'являється при натисненні на цю програмну клавiшу (рис. 34, е), оператор може



ввести наступні дані: номер або назва інструменту і номер коректора інструменту; частота обертання шпинделя; напрямок обертання (за чи проти годинникової стрілки, блокування обертання шпинделя); номер необхідної додаткової М-функції; номер нульової точки деталі (G54, G55, G56, G57); одиниці вимірювання (мм, дюйми); площа обробки (G17, G18, G19). Для прийняття та виконання заданих параметрів необхідно натиснути кнопку «CYCLE START». Будь-який із перелічених параметрів може вводитися й активуватися одноосібно, без внесення усіх інших, окрім частоти та напрямку обертання шпинделя, які не активуються без наявності обох внесених параметрів одночасно.

При активації функції «Встановлення нульової точки деталі»  у вертикальному меню (рис. 3.34, а) стають доступними програмні клавiші (X=0, Y=0, Z=0, A=0 тощо) за допомогою яких здійснюється обнуління поточного положення, та клавiша для одночасного обнуління за всіма осями. При натисненні на одну із цих програмних клавiш у таблицю нульових точок заноситься координата поточного положення рухомих вузлів верстата за відповідною віссю, зокрема й круговою. Номер нульової точки деталі, в яку будуть вноситися координати поточного положення вузлів, активується заздалегідь через функцію «Т, S, М» або режим MDI.

Функція «Вимірювання деталі»  використовується для контролю оброблюваних деталей і налаштування нульової точки деталі за допомогою 3-х координатних вимірювальних щупів (п.п.3.2.1). При активації функції у вертикальному меню з'являється перелік усіх наявних схем вимірювання (рис. 3.34, б): вимірювання положення поверхонь; нахилу поверхонь відносно осей координат верстата; діаметра і координат розташування центру отворів і бобишок та багато інших. Після вибору необхідної схеми вимірювання в робочому вікні відображається область введення початкових параметрів та індикації результатів вимірювання (рис. 3.34, в). В області введення початкових параметрів визначається тип вимірювання (контроль розмірів (отримані результати вимірювання не зберігаються і не доступні до внесення в таблицю нульових точок) або визначення зміщення нульової точки деталі (необхідно вказати номер нульової точки деталі, в яку вноситимуться отримані при вимірюванні дані), напрямок вимірювання

(+/-) і координатна вісь (X, Y, Z) уздовж якої здійснюватиметься вимірювання, приблизний діаметр отвору чи бобишки та інші.

Функція вимірювання інструмента  використовується для визначення основних параметрів різального інструмента: діаметра і вильоту (довжини). При виборі цієї функції оператору пропонується (рис. 3.34, ж) на вибір ручне або автоматичне вимірювання необхідних параметрів при наявності контактних або безконтактних вимірювальних пристроїв (п.п.3.2.1). При виборі необхідного варіанту вимірювання в робочому вікні відображається рід параметрів (рис. 3.34, з), обов'язкових до визначення та індикації результатів вимірювання.

Функція «Позиція»  використовується для позиціонування рухомих вузлів верстата на задані оператором координати як за лінійними, так і за круговими осями (рис. 3.34, г). Введення координат переміщення допускається як в абсолютних розмірах, так і інкрементно. Зміна способу вказання розмірів здійснюється за допомогою клавіші SELECT  для кожної осі окремо. Обов'язковою для введення є робоча подача, з якою здійснюватиметься позиціонування в задану координату.

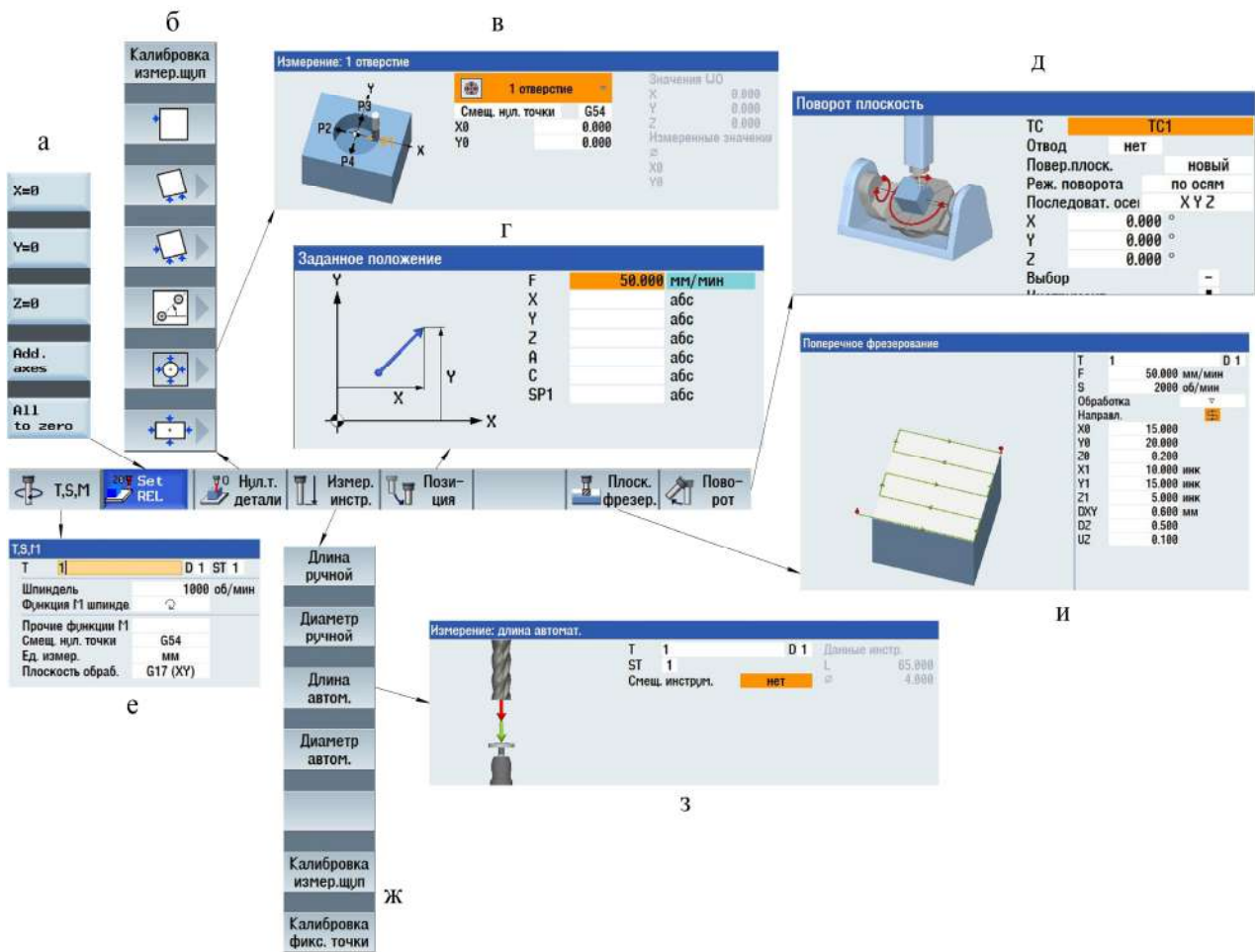




Рисунок 3.34 – Базові функції горизонтального меню режиму роботи «JOG»

Функція плоского фрезерування  використовується в ручному режимі для виконання обробки торцевих плоских поверхонь (рис. 3.34, и). При виборі цієї функції оператору треба ввести ряд параметрів і визначень, необхідних для виконання обробки, зокрема номер або ім'я інструменту і номер коректора; режими різання; тип обробки (чорнова, чистова, напівчистова); стратегію обробки; координати початкової і кінцевої точки площини обробки; загальний припуск і глибину різання за прохід; величину перекриття траєкторії між двома проходами.

Функція «Поворот площини»  (рис. 3.34, д) дозволяє виконувати одночасне обертання як фізичних поворотних вузлів, так і відповідне зміщення системи координат деталі навколо осі обертання, що дозволяє відслідковувати положення системи координат деталі при зміні її положення і з легкістю здійснювати обробку поверхонь, які розміщені під кутом до робочої площини обробки (G17/G18/G19).

Активация і виконання вище перелічених функцій, після введення усіх необхідних параметрів, здійснюється клавішею CYCLE START.

### 3.3.4 Область параметрів

Область керування параметрами налагодження верстата утворюється з чотирьох основних вікон індикації налаштувань, які викликаються через клавіші горизонтального меню (рис. 3.35): таблиця інструменту; таблиця зношування інструменту; зміщення нульової точки; таблиця R – параметрів.



Рисунок 3.35 – Горизонтальне меню області параметрів

Дані результатів вимірювання різального інструменту, як на верстаті, так і поза його межами, заносяться в таблицю інструменту . Кожен інструмент має відповідний до його типу набір параметрів. На рисунку 3.36 (а) наводиться зображення таблиці інструменту стійки з ЧПК Sinumerik 840D. Як видно із таблиці, кожен інструмент має свій порядковий номер, який відповідає номеру посадкового місця в інструментальному магазині верстата, окрім того, кожен інструмент може мати власну назву.

Далі в таблиці вказується номер коректора інструмента (D), якому присвоюється набір певних параметрів інструмента (виліт, діаметр або радіус), які вказуються у наступних стовпчиках. Для свердл і центрувальних свердл вказується кут при вершині. У одного різального інструменту може бути декілька коректорів, які в керуючій програмі змінюються через функцію D, поряд з якою вказується номер коректора (D1, D2, D3). Перемикання між коректорами або додавання нових коректорів виконується за допомогою клавіш вертикального меню.

Також у таблицю інструменту вноситься кількість різальних кромок N (або Z), напрямок обертання шпинделя та ряд параметрів, які стосуються вибору способу подачі охолоджувальної рідини (через шпиндель, інструмент, під високим тиском тощо), або блокування подачі охолоджувальної рідини. Вибір або блокування виконується через постановку галочки (прапорця) у відповідному полі напроти необхідного інструменту.

Для внесення коригувань у налаштування різального інструменту (п.п.3.2.4) зручно використовувати опцію зношування інструменту (рис. 3.36, б) . Величина корекції вноситься з відповідним знаком для вильоту інструменту в графу Δ довжина, а для діаметру інструменту в графу Δ∅. Фактична величина довжини і діаметра різального інструмента, які враховуватимуться при відпрацюванні системою ЧПК керуючої програми, буде дорівнювати сумі величин указаних у таблиці інструменту і таблиці зношування. Параметри зношування задаються окремо для кожного із заданих коректорів.

| Список инструментов |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     | BUFFE                               |   |   |
|---------------------|-----|------------------|----|---|---------|--------|-------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Место               | Тип | Имя инструмента  | ST | D | Длина   | ∅      |       | N |                                     |                                     | 1 | 2 |
| 1                   |     |                  | 1  | 1 | 65.000  | 4.000  |       | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 2                   |     | CUTTER 6         | 1  | 1 | 120.000 | 6.000  |       | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 3                   |     | CUTTER 10        | 1  | 1 | 150.000 | 10.000 |       | 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 4                   |     | CUTTER 16        | 1  | 1 | 110.000 | 16.000 |       | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 5                   |     | CUTTER 20        | 1  | 1 | 100.000 | 20.000 |       | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 6                   |     | CUTTER 32        | 1  | 1 | 110.000 | 32.000 |       | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 7                   |     | CUTTER 60        | 1  | 1 | 110.000 | 60.000 |       | 6 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 8                   |     | FACEMILL 63      | 1  | 1 | 120.000 | 63.000 |       | 6 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 9                   |     | CENTERDRILL 12   | 1  | 1 | 120.000 | 12.000 | 90.0  |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 10                  |     | DRILL 8.5        | 1  | 1 | 120.000 | 8.500  | 118.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 11                  |     | DRILL 10         | 1  | 1 | 120.000 | 10.000 | 118.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 12                  |     | PREDRILL 30      | 1  | 1 | 120.000 | 30.000 | 180.0 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 13                  |     | DRILL_Tool       | 1  | 1 | 110.000 | 25.000 |       |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 14                  |     | THREAD CUTTER    | 1  | 1 | 110.000 | 20.000 |       | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 15                  |     | THREADCUTTER M10 | 1  | 1 | 130.000 | 10.000 | 1.500 |   | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 16                  |     | BALLNOSE_D8      | 1  | 1 | 100.000 | 8.000  |       | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |   |   |
| 17                  |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     |                                     |   |   |
| 18                  |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     |                                     |   |   |
| 19                  |     |                  |    |   |         |        |       |   |                                     |                                     |   |   |

а

| Износ инструмента |     |                  |    |   |       |       |     |
|-------------------|-----|------------------|----|---|-------|-------|-----|
| Место             | Тип | Имя инструмента  | ST | D | Длина | Δ ∅   | T C |
| 1                 |     |                  | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 2                 |     | CUTTER 6         | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 3                 |     | CUTTER 10        | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 4                 |     | CUTTER 16        | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 5                 |     | CUTTER 20        | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 6                 |     | CUTTER 32        | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 7                 |     | CUTTER 60        | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 8                 |     | FACEMILL 63      | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 9                 |     | CENTERDRILL 12   | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 10                |     | DRILL 8.5        | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 11                |     | DRILL 10         | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 12                |     | PREDRILL 30      | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 13                |     | DRILL_Tool       | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 14                |     | THREAD CUTTER    | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 15                |     | THREADCUTTER M10 | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 16                |     | BALLNOSE_D8      | 1  | 1 | 0.000 | 0.000 |     |
| 17                |     |                  |    |   |       |       |     |
| 18                |     |                  |    |   |       |       |     |
| 19                |     |                  |    |   |       |       |     |

б

Рисунок 3.36 – Робочі вікна таблиці параметрів інструментів (а) і таблиці зношування інструментів (б)

Розглянемо використання декількох коректорів на прикладі зенківки з кутом 90° (рис. 3.37, б). За допомогою зенківки необхідно виконати зняття фаски 2x45° на отворі Ø8 мм і фаски 3x45° на отворі Ø10 мм

(рис. 3.37, а). У такому разі налаштування зенківки виконується на діаметр, який відповідає зовнішньому діаметру фаски. Отже, для фаски 2х45° зовнішній діаметр дорівнюватиме 12 мм, а для фаски 3х45° - 16 мм. При використанні одного коректора необхідно було б налаштувати два однакових інструменти на різні діаметри, а використання декількох коректорів дозволяє виконати відповідне налаштування на одному інструменті. Зенківка налаштовується на визначені діаметри, для кожного з яких визначається своє значення вильоту інструменту: L1 для фаски Ø12 мм і L2 - Ø16 мм. Набір цих параметрів і складатиме окремий коректор D1(Ø 12; L1) і D2(Ø16; L2).

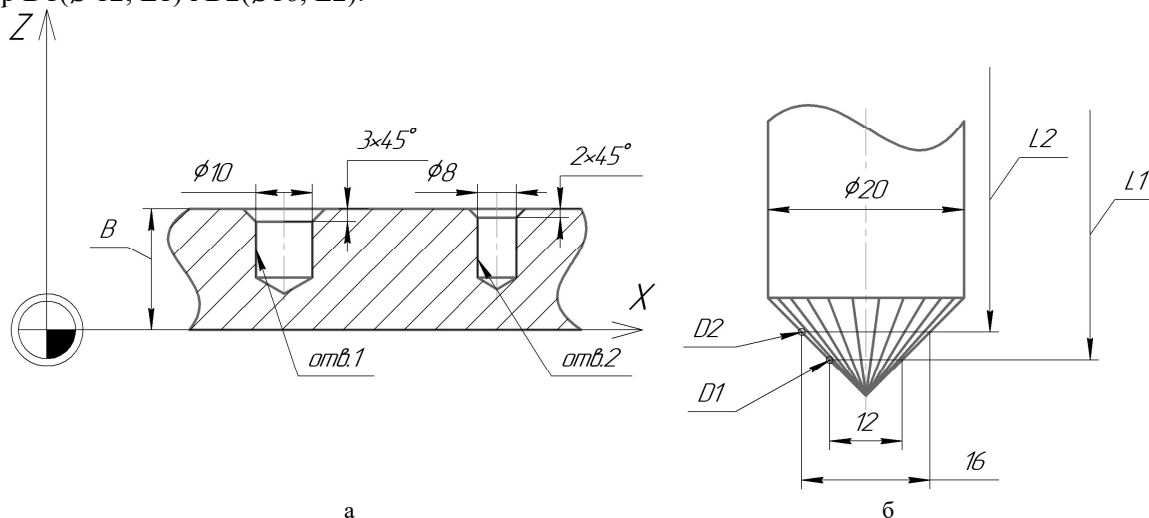


Рисунок 3.37 – Приклад налаштування зенківки (б) для зняття фаски з отворів різних діаметрів (а)

Параметри налаштування нульових точок деталей заносяться в таблицю нульових точок (рис. 3.38). У першому стовпчику наводиться перелік усіх доступних нульових точок. У наступні стовпчики вноситься величина зміщення нульової точки деталі за відповідними осями (X, Y, Z, A, B, C)



| Смещение нулевой точки - G54 ... G519 [°] |         |         |         |       |       |       |
|---|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
|   | X       | Y       | Z       | A     | C     | SP1   |
| G54                                       | 512.000 | 221.216 | 113.000 | 0.000 | 0.115 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G55                                       | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G56                                       | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G57                                       | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G505                                      | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G506                                      | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G507                                      | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G508                                      | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G509                                      | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| G510                                      | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|   | точное  | 0.000   | 0.000   | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Рисунок 3.38 – Таблиця нульових точок

Дуже часто в програмуванні виникає необхідність використання деяких змінних величин. В системі ЧПК Sinumerik 840D такі величини задаються через R-параметри. Кількість R-параметрів визначається через машинні дані верстата. У програмному коді R-параметр записується як Rn: де R – визначник R-параметрів, а n – номер R-параметра. R-параметру може присвоюватись числове значення в діапазоні від 0,000 0001 до 999 999. Повний перелік R-параметрів із присвоєним кожному параметру поточним значенням можна



переглянути у вікні «Змінні користувача» (рис. 3.39). Більш детально R-параметри будуть розглянуті в розділі «Програмування».

| R-параметры |   |      |   |      |   |
|-------------|---|------|---|------|---|
| R 0         | 0 | R 20 | 0 | R 40 | 0 |
| R 1         | 0 | R 21 | 0 | R 41 | 0 |
| R 2         | 0 | R 22 | 0 | R 42 | 0 |
| R 3         | 0 | R 23 | 0 | R 43 | 0 |
| R 4         | 0 | R 24 | 0 | R 44 | 0 |
| R 5         | 0 | R 25 | 0 | R 45 | 0 |
| R 6         | 0 | R 26 | 0 | R 46 | 0 |
| R 7         | 0 | R 27 | 0 | R 47 | 0 |
| R 8         | 0 | R 28 | 0 | R 48 | 0 |
| R 9         | 0 | R 29 | 0 | R 49 | 0 |
| R 10        | 0 | R 30 | 0 | R 50 | 0 |
| R 11        | 0 | R 31 | 0 | R 51 | 0 |
| R 12        | 0 | R 32 | 0 | R 52 | 0 |
| R 13        | 0 | R 33 | 0 | R 53 | 0 |
| R 14        | 0 | R 34 | 0 | R 54 | 0 |
| R 15        | 0 | R 35 | 0 | R 55 | 0 |
| R 16        | 0 | R 36 | 0 | R 56 | 0 |
| R 17        | 0 | R 37 | 0 | R 57 | 0 |
| R 18        | 0 | R 38 | 0 | R 58 | 0 |
| R 19        | 0 | R 39 | 0 | R 59 | 0 |

Рисунок 3.39 – Таблица R-параметрів

### 3.3.5 Область програмування

Область програмування призначена для розробки і редагування керуючих програм безпосередньо на пульті керування верстатом. Загальний вигляд області керування наводиться в п.п. 3.1.5.1 (рис.3.6).

При переході в область програмування в горизонтальному меню стають доступними програмні клавіші, які містять функції, що використовуються для програмування. На рисунку 3.40 показаний загальний вигляд горизонтального меню режиму «програмування» і набори програмних клавіш вертикальних меню для кожної із програмних клавіш горизонтального меню.

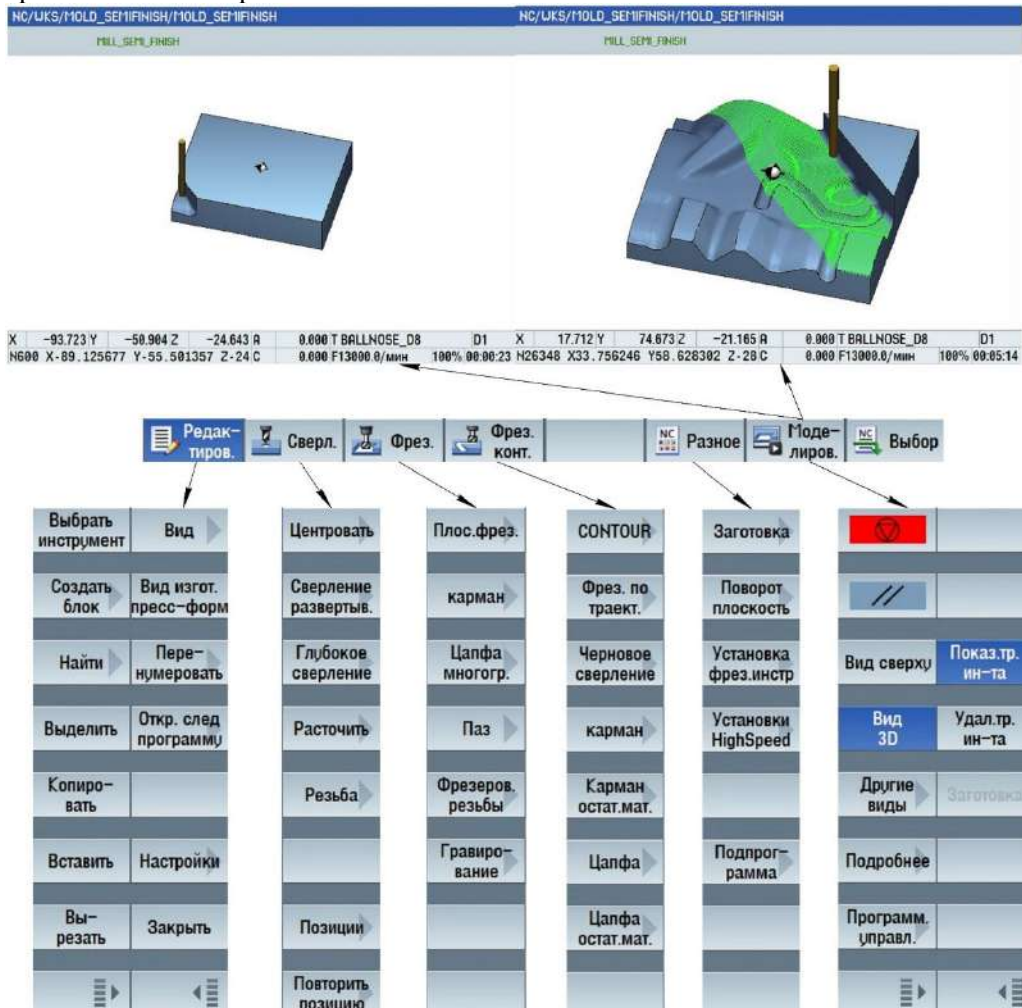



Рисунок 3.40 – Функціональні можливості, які доступні в області керування «Програмування»

У режимі редагування у вертикальному меню активні програмні клавіші, основним призначенням яких є робота з кадрами або частинами програми, а саме: копіювання, вставка, виділення, перенумерація кадрів тощо.

При переході за програмними клавішами «Свердління», «Фрезерування», «Фрезерування контурів» у вертикальному меню активуються набори стандартних циклів обробки.


У меню програмної клавіші «Різне» здійснюється налаштування розмірів заготовки (для візуалізації процесу обробки), повороту площини обробки, призначення режиму роботи верстату, тощо.

При переході в режим візуалізації на екрані відображається вікно із заготовкою і різальним інструментом. За допомогою вертикального меню здійснюється керування процесом візуалізації: старт/стоп/пауза візуалізації; вибір типів відображення процесу візуалізації (3D, вид зверху, по перерізах), зокрема доступна візуалізація траєкторії переміщення, масштабування об'єктів тощо. У нижній частині екрана здійснюється індикація необхідної для оператора інформації: поточних координат інструмента; кадр керуючої програми, який виконується; назва або номер різального інструмента, що використовується, номер коректора; режими різання; час обробки.

Програмна клавіша «Вибір»  дозволяє відправити керуючу програму на виконання в режим автоматичного відпрацювання керуючих програм.

### 3.3.6 Область керування програмами

В області керування програмами (рис. 3.41) оператору стають доступними функції, що дозволяють виконувати перенесення керуючих програм із директорії в директорію (із зовнішнього носія інформації на ЧПК тощо), змінювати їх назви, створювати нові файли і директорії тощо.

При переході в область керування програмами  в горизонтальному меню з'являється можливість вибору одного із місць зберігання керуючих програм: ЧПК (NC); локального диска; мережевого диска; USB накопичувача; диска FTP тощо.

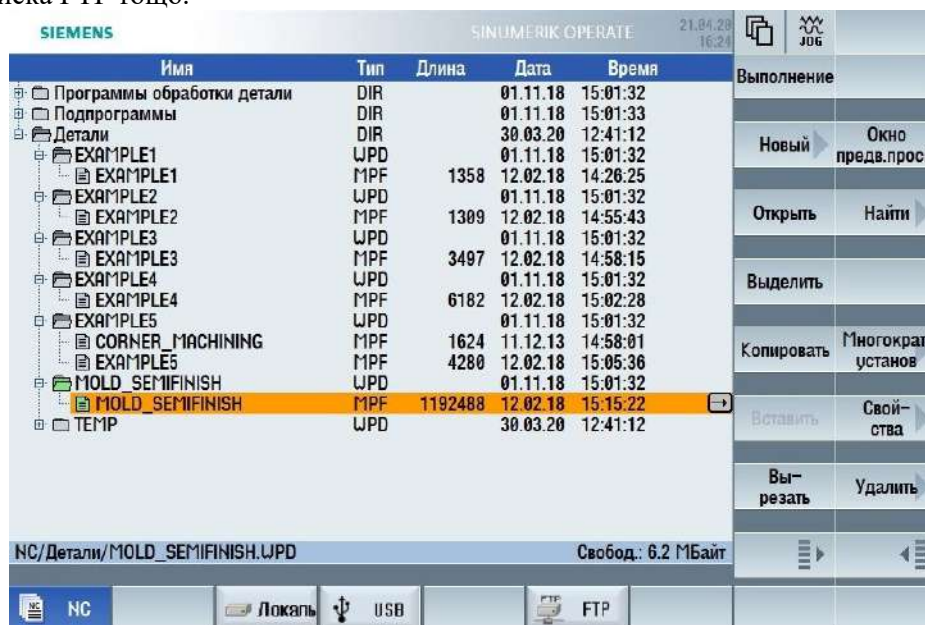


Рисунок 3.41 – Загальний вигляд і складові елементи вертикального і горизонтального меню областю керування програмами

При переході в одне із доступних місць зберігання керуючих програм на екрані відображається ім'я директорії/файлу, розширення, розмір і дата створення.

Ім'я директорії або файлу може максимально складатися із 24 символів. Використовуються великі літери, цифри і знак нижнього підкреслення. Малі літери при введенні автоматично трансформуються у великі після підтвердження вводу.

Існують наступні найчастіше використовувані типи файлів:

- WPD – директорія (папка);
- MPF – основна програма;
- SPF – підпрограма;
- INI – програми ініціалізації;
- TOA – параметри інструментів;





- UFR – нульові точки деталі;
- RPA – R-параметри;
- SEA – установочні дані.


За допомогою програмних клавіш вертикального меню можна створювати нові програми (на вибір у G-кодів або ShopMill) або директорії, копіювати директорії/файли в межах одного місця зберігання або між різними місцями (USB/Локальний диск), видаляти, перейменовувати, відкривати/закривати директорії/файли, виконувати пошук та відправляти програми на виконання.

### 3.3.7 Область діагностування


Якщо при роботі верстата виникли помилки, то система генерує аварійні повідомлення і в разі потреби припиняє обробку на верстаті. Робота з аварійними повідомленнями здійснюється в області діагностування.

Перегляд поточних аварійних повідомлень здійснюється через клавішу «Перелік помилок» у горизонтальному меню , яка активує вікно аварійних сповіщень (рис. 3.42). У ньому відображається перелік усіх наявних на цей час аварійних сповіщень, які містять наступну інформацію: дата та час створення сповіщення; спосіб деактивації (скидання); номер аварійного сповіщення; його зміст.

У вікні «Протокол помилок»  відображаються всі аварійні сповіщення, що виникали раніше. Усього може бути показано до 500 сповіщень.

У вікні «Сповіщення»  виводиться перелік усіх відображених системою сповіщень, які виникають у процесі обробки деталі, але не переривають його. У вікні відображається дата і час активації сповіщення, його номер (для сповіщень, які виводяться PLC (programmable logic controller – програмований логічний контролер верстата) та безпосередньо текст сповіщення.

За допомогою вертикального меню для оператора доступні функції з видалення аварійних сповіщень і їх сортування за рядом параметрів (датою і часом виникнення, номером тощо).

Скидання аварійних сповіщень найчастіше виконується за допомогою клавіші  на пульті керування.

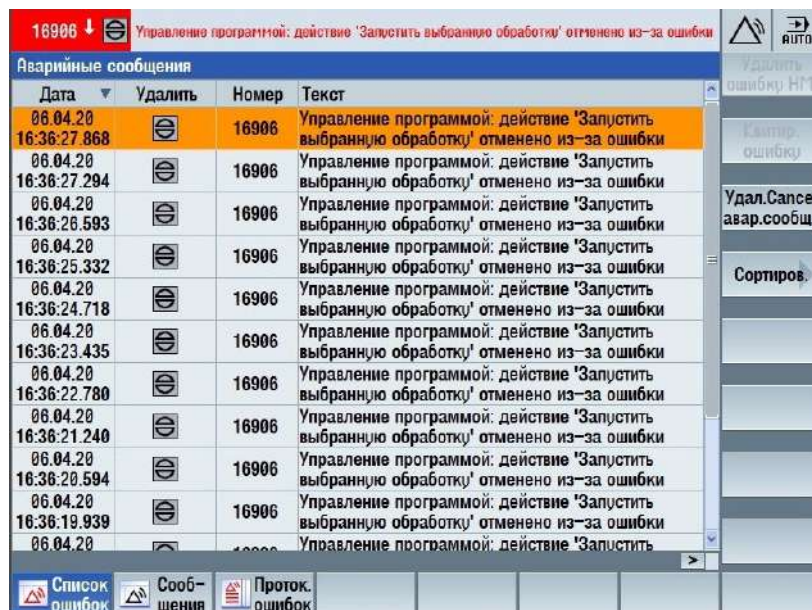


Рисунок 3.42 – Вікно аварійних сповіщень

## 3.4 Основи програмування верстатів з ЧПК

### 3.4.1 Системи координат верстатів з ЧПК

#### 3.4.1.1 Система координат верстата

Згідно з ISO 841-2001 і ГОСТ 23597-79 для верстатів із ЧПК приймається правостороння прямокутна система координат, осі якої направлені вздовж напрямних верстата (рис. 3.43). Приймаються три лінійні (X, Y, Z) і три кругові осі обертання (A, B, C). Додатний напрямок руху робочого органу верстата повинен відповідати напрямку відведення інструмента від заготовки. Додатним напрямком руху за осями A, B і C

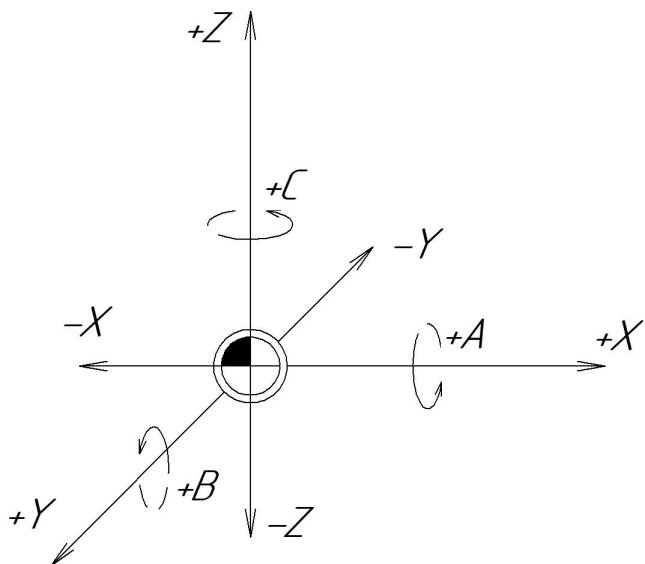


Рисунок 3.43 – Прямокутна система координат

Якщо паралельно із первинними обертальними рухами (A, B, C) здійснюються вторинні обертальні рухи, то вони на вибір позначаються як D і E.

Дві осі координат визначають площину. Таким чином утворюються три площини: XY, XZ, ZY. Система координат верстата складається з усіх його осей координат.

### 3.4.1.2 Нульова точка верстата і деталі

Усі переміщення, які необхідно виконати в процесі механічної обробки заготовки, описуються відносно нульової точки деталі (НТД) (рис. 3.44). Положення НТД у робочому просторі верстата задається відносно нульової точки верстата (НТВ), яка приймається за початок відліку системи координат верстата (СКВ). Розташування НТД відносно НТВ визначається в процесі налаштування верстата на виконання кожної окремої операції. Система координат деталі збігається з нульовою точкою деталі.

Сутність процесу налаштування верстата полягає у визначенні координат нульової точки деталі в СКВ за всіма осями (зокрема за поворотними).

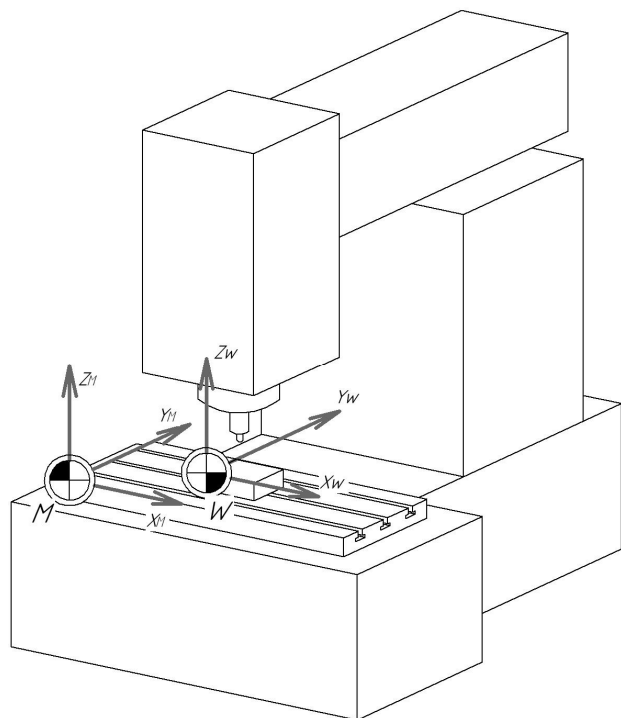


Рисунок 3.44 – Приклад розташування нульової точки верстата (M) і деталі (W)

вважається обертання в напрямку загвинчування гвинтів з правою різью в додатному напрямку осей X, Y і Z. За вісь Z зазвичай приймається вісь шпинделя головного руху. За відсутності шпинделя в кінематичній схемі верстата вісь Z розміщується перпендикулярно до робочої поверхні стола. Рух за віссю Z у додатному напрямку повинен збігатися з переміщенням, при якому інструмент віддаляється від заготовки.

Вісь X переважно розміщують горизонтально в площині встановлення заготовки. На верстатах токарної групи вісь X спрямовується вздовж радіуса заготовки.

Додатний напрямок вісі Y вибирається з урахуванням необхідності утворення з осями X, Y і Z правосторонньої прямокутної системи координат.

Якщо додатково до основних переміщень за осями X, Y і Z здійснюються інші переміщення, паралельні основним, то осі, за якими виконуються ці переміщення, позначатимуться як U, V, W відповідно.

Слід також мати на увазі, що сучасні системи ЧПК дозволяють встановлювати одразу декілька НТД, звернення до яких під час обробки здійснюється послідовно. Застосування декількох НТД застосовується в разі використання багатомісних пристосувань або для зручності розробки керуючих програм і контролю оброблених деталей та вузлів згідно з вимогами конструкторської і технологічної документації.

### 3.4.1.3 Нульова точка інструменту

Процес обробки будь-якої деталі полягає у переміщенні різального інструмента по траєкторії, яка описує контур деталі. Необхідною умовою забезпечення точності обробки в такому разі є чітко визначена позиція різального інструмента в робочому просторі верстата.

Параметри різального інструменту встановлюються відносно нульової точки інструмента E (рис. 3.45, а), яка у просторі прив'язана до нульової точки верстата (M). Таким чином положення нульової точки інструмента E у будь-який момент є визначеним. Нульова точка інструмента у фрезерних верстатах розташована на передньому торці шпинделя (рис. 3.45, а), а в токарних верстатах найчастіше на перетині осі різцевого блока і переднього торця револьверної

головки (рис. 3.45, б).

Параметри різального інструмента заносяться в таблицю інструмента, з якої ЧПК зчитує необхідну для розрахунку задану керуючою програмою траєкторію руху. При виконанні обробки на заданій КП координаті (наприклад, свердлінні) ЧПК позиціонує шпиндельний вузол у потрібну точку, зміщуючи передній торець шпинделя від заданої координати на величину вильоту інструмента  $L$ , попередньо занесену в таблицю інструмента. Принцип роботи параметрів радіуса і діаметра інструмента при виконанні обробки з корекцією буде розглянуто в п.п. 3.4.3.

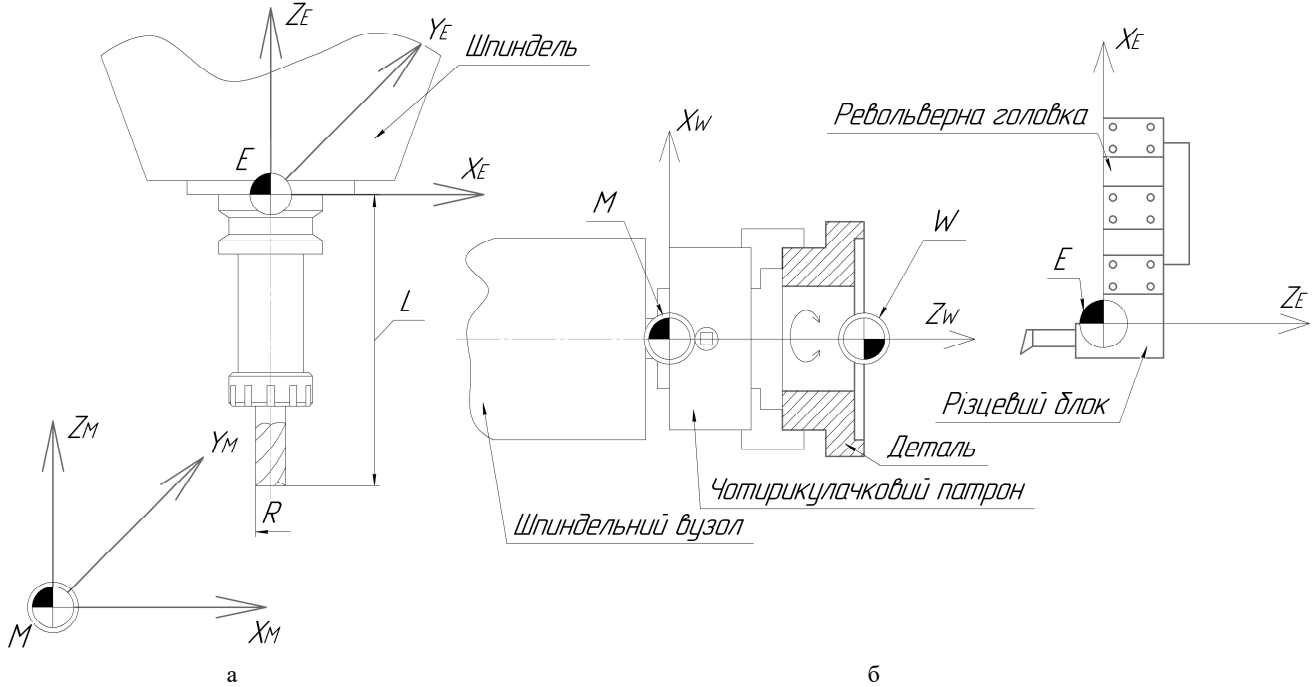


Рисунок 3.45 – Розташування нульової точки інструменту (E) на фрезерних(а) і токарних верстатах з ЧПК(б)

### 3.4.2 Структура і запис керуючої програми

#### 3.4.2.1 Код ISO 7-bit

Для програмування сучасного обладнання використовується спеціальний код ISO 7-bit, який було розроблено ще в 60-ті роки минулого сторіччя. З того часу компанії розробники систем ЧПК покращували і розвивали код ISO 7-bit, додаючи нові функції і можливості.

Найбільшого поширення на теренах як України, так і всього світу набули системи з ЧПК таких компаній як: Fanuc, Siemens (Sinumerik), Heidenhain і Mitsubishi. Серед вітчизняних систем ЧПК безумовним лідером є West Labs (м. Харків).

Базою коду ISO 7-bit є використання G і M функцій (кодів).

G – функції називаються підготовчими, і вони визначають умови і налаштування роботи верстата. За допомогою G – команд визначається тип переміщення робочих вузлів верстата (лінійна, кругова інтерполяція), цикли обробки (свердління отворів, нарізання різі, обробка карманів тощо), а також параметри системи координат та інструментів. Перелік основних G – функції наводиться в додатку Б.

M – функції називаються допоміжними і використовуються для управління режимами роботи верстата. M – функції визначають напрямок обертання шпинделя, технологічні зупинки, подачу охолоджувальної рідини та інші. Перелік основних M – функції наводиться в додатку В.

#### 3.4.2.2. Структура керуючої програми

Керуюча програма представляє із себе послідовність NC-кадрів, кожен із яких виступає в якості окремого кроку обробки. Кожен NC-кадр повинен бути повністю визначеним, тобто містити в собі всю інформацію, необхідну для виконання якоїсь дії. У системі ЧПК Sinumerik 840D один кадр може максимально складатися із 512 символів.

Кожна програма повинна починатися з назви файлу, яка записується у форматі: %<ім'я>. Назва не повинна бути довшою за 24 знаки і може складатися із символів A...Z; a...z; 0...9 і \_ . Наприклад:

%\_Obrobka karmanu\_

Кожна програма повинна закінчуватися підготовчими функціями M30, M2 – для основних програм і M17 – для підпрограм.

При створенні керуючих програм використовується наступний набір символів:

A, a, B, b, C, c, D, d, E, e, F, f, G, g, H, h, I, i, J, j, K, k, L, l, M, m, N, n, O, o, P, p, R, r, S, s, T, t, U, u, V, v, W, w, X, x, Y, y, Z, z, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 - а також символи, що наводяться в додатку А.

Кожна керуюча програма складається щонайменше з одного технологічного переходу – частини керуючої програми, у межах якої здійснюється обробка однієї або кількох поверхонь, контурів, елементів деталі одним або кількома одночасно працюючими різальними інструментами.

### 3.4.2.3 Структура кадрів керуючої програми

Розрізняється два типи кадрів: головні і допоміжні.

**Головний кадр** використовується для пошуку окремого переходу в межах програми для поновлення або продовження обробки. Ідентифікація головного кадру здійснюється за допомогою символу «:» і додатного цілого числа, яке позначає номер кадру (від 0 до 9999). Для забезпечення однозначності отримання результатів пошуку головного кадру в програмі необхідно, щоб їх номери в межах однієї програми не повторювалися.

Головний кадр може містити додаткову інформацію або записуватися лише у вигляді номера кадру:

:10 – головний кадр;

:10 F500 S2500 – головний кадр з додатковою інформацією.

Для зручності програмування і пошуку головних кадрів у керуючій програмі можна використовувати систему їх нумерації, у якій номер головного кадру складається з трьох частин у наступній послідовності: номер технологічного переходу (9...1), розділова частина (0, або 00) і номер інструменту (наприклад 901: де 9 – номер технологічного переходу; 0 – розділова частина; 1 – номер інструменту).

Кожен різальний інструмент у процесі обробки може бути використаний на декількох технологічних переходах. Нумерація технологічних переходів здійснюється у зворотному порядку. Наприклад 901 – перший технологічний перехід з використанням першого інструменту, 801 - другий технологічний перехід з використанням першого інструменту, ..., 101 – дев'ятий технологічний перехід з використанням першого інструменту, і відповідно 902 - перший технологічний перехід з використанням другого інструменту, 7011 - третій технологічний перехід з використанням одинадцятого інструменту тощо.

Головні кадри технологічних переходів, що виконуються різними інструментами

**Допоміжний кадр** несе всю необхідну інформацію для виконання якоїсь дії або команди.

Допоміжний кадр може починатися як з номера кадру (символу «N» і додатного цілого числа, яке позначає порядковий номер кадру), що завжди повинен стояти на його початку, так і без нього. Наявність у допоміжному кадрі номера забезпечує можливість швидкого пошуку необхідного кадру в керуючій програмі. Нумерація кадрів, у першу чергу, необхідна для позначення ключових кадрів у програмі або переходів, тому рекомендується, щоб у межах однієї керуючої програми номери кадрів, як і головні кадри, не повторювались.

Кожен кадр складається із набору слів. Слово – частина кадру, яка утримує в собі інформацію щодо функції, яка програмується. Кожне слово включає в себе літерний символ – адресу й одну або декілька цифр – величину або значення. Перелік спеціальних символів, які використовуються для програмування в коді ISO 7-bit, наводяться в додатку А.

Зчитування кадру відбувається цілком, тому послідовність наведених у ньому параметрів фактично не важлива, однак для практичної зручності прийнята наступна послідовність слів:

N10 G... X... Y... Z... F... S... T... D... M... H...

де: N – адреса номера кадру;

10 – номер кадру;

G – функція переміщення, умова траєкторії;

X, Y, Z – координати переміщення;

F – подача;

S – частота обертання шпинделя;

T – номер інструмента;

D – номер корекції інструмента;

M – додаткова функція;

H – допоміжна функція.

Величини, які присвоюються певному адресу, можуть бути як зі знаком, так і без знака. Для позначення додатних і від'ємних величин застосовують символи «+» і «-». При присвоєнні додатної величини знак «+» може не вказуватись.

G1X10 рівнозначно G1X+10 – присвоєння адресі X значення +10;

G1X-10 – присвоєння адресі X значення -10.

Окремі слова в складі одного кадру допускається не розділяти пробілами.

N10T1D1 рівнозначно N10 T1 D1

У якості десяткового роздільника дробових чисел використовується знак «.» . Якщо ціла частина величини, що задається, дорівнює нулю, то її можна опускати.

G1X+0.125 рівнозначно G1X.125 – присвоєння адресі X значення +0,125. Тоді як використати X замість X0 неможливо.

Деякі адреси можуть повторюватися декілька разів у межах одного кадру (M; H; G).

Для внесення пояснень у програму стосовно виконання якихось дій або просто для викладення додаткової інформації в тексті основної програми широкого застосування набули коментарі. У тексті програми коментар позначається символом «;». Усі символи, слова і словосполучення, які йдуть за символом «;» не обробляються системою ЧПК, але відображаються як в режимі редагування, так і в режимі відпрацювання керуючої програми в полі індикації актуального кадру. Коментар може стояти як в кінці кадру, так і на його початку.

N10 T1 D1 ;Freza D20 R0.6

N20 M6;Viklik tsiclu zminy instrumentu

;Frezerovka paза

Ще одним способом додавання повідомлень у керуючу програму є використання функції «MSG». У такому разі у верхньому полі екрану індикації системи ЧПК буде відображатися повідомлення оператора, задане програмістом після функції MSG («») в середині лапок.

Повідомлення буде відображатися в процесі обробки доти, доки не буде введено новий коментар. Стирається коментар за допомогою функції «MSG()»). Максимальна довжина повідомлення складає 124 символи.

MSG (“Perevir stan instrumentu”) – активація повідомлення

MSG () – стирання повідомлення

У процесі впровадження або виконання керуючої програми виникають ситуації, коли необхідно пропустити окремі кадри. Для пропуску кадру на його початку необхідно поставити символ «/». Оператори і функції, що вказуються в кадрах, які пропускаються, не виконуються. Пропуск діє тільки в кадрі, де стоїть символ «/».

N10 T1 D1 M6 – кадр виконується

/ N20 G1 X100 Y0 F300 – кадр пропускається

N30 G1 X50 Y0 F300 – кадр виконується

/ N40 G1 X50 Y0 F300 – кадр пропускається

/ N50 G02 X50 Y-50 I0 J-50 F300 – кадр пропускається

Адреси, які вказуються в якомусь окремому кадрі і зберігають свою значимість в усіх наступних кадрах до моменту присвоєння адресі нової величини, називаються **модальними**. Усі інші адреси зберігають значимість тільки в тому кадрі, де вони задаються.

N10G1X100Y0 F300 рівнозначно

N10G1X100Y0F300

N20X50

N20G1X50Y0F300

N30Y50

N30G1X50Y0F300

N40G02Y-50J-50

N40G02X50Y-50I0J-50F300

Адреси G, X, Y, F у наведеному прикладі є модальними, тому, наприклад, функція лінійної інтерполяції G1 (або G01), яка задається в кадрі N10, може не вказуватися в наступних кадрах, доки не буде вказана функція кругової інтерполяції G2/G3 (G02/G03) або прискореного переміщення G0 (G00). Те саме стосується і функції подачі F300. Задана хвилинна подача залишається актуальною в усіх наступних кадрах, поки подачі не буде присвоєна нова величина, або не буде запрограмована функція прискореного переміщення G0 (G00).

### 3.4.2.4 Принцип розробки керуючих програм

Розробка керуючої програми – достатньо складний і трудомісткий процес, який виконується в кілька етапів. Основною метою, яку повинен переслідувати програміст, є досягнення найменшого часу обробки при забезпеченні необхідних показників якості оброблених поверхонь і точності обробки. Крім часу обробки деталі, програміст повинен урахувати затрати на виробництво, пов'язані із кількістю різального інструмента, що використовується, періодичністю його заміни (періоду стійкості), необхідність виготовлення пристосувань і їх уніфікацію тощо.

Процес розробки КП як уручну, так і за допомогою САПР, поділяється на три основні етапи, кожен з яких, у свою чергу, складається з декількох основних складових:

– технологічне опрацювання карти ескізів:

- призначення нульової точки деталі;
  - визначення розташування осей системи координат, необхідності використання додаткових або кількох нульових точок деталі (наприклад, при використанні багатомісного пристосування), їх перенесення, трансформації тощо;
  - аналіз пристосування, що використовується;
  - аналіз повноти вказаної на карті ескізів інформації;
  - опрацювання відповідності технічних можливостей технологічного обладнання до вимог карти ескізів (точність позиціонування, діапазон робочих швидкостей переміщень і частот обертання шпинделя, розміри робочої зони тощо).
- складання плану обробки:
- установлення послідовності обробки елементів деталі – розбиття операції обробки на технологічні переходи;
  - установлення параметрів різального інструмента (тип, геометричні розміри), необхідних для забезпечення можливості обробки окремих елементів, контурів тощо, в межах технологічного переходу;
  - призначення різального інструмента (матеріал інструмента, кількість різальних зубців, геометричні розміри (радіус при вершині, довжина різальної частини, діаметр інструмента, загальна довжина тощо) із урахуванням марки оброблюваного матеріалу, а також фактичної наявності різального інструмента з необхідними параметрами;
  - підбір необхідного інструментального оснащення (інструментальних оправок, геометричних розмірів);
  - визначення вильотів різального інструмента із інструментальної оправки;
  - призначення режимів різання;
  - аналіз можливості використання підпрограм або використання повторення частини програми для обробки однакових чи схожих елементів, застосування циклів обробки різноманітних елементів (карманів, бобишок, отворів, різей) або масивів елементів (круговий і прямокутний масив).
- розробка і підготовка керуючої програми:
- формування NC – кадрів керуючої програми: виклик різального інструмента; визначення режимів різання, підготовчих функцій; програмування траєкторії руху інструмента, допоміжних переміщень, циклів, тощо; введення корекції інструмента;
  - перевірка керуючої програми (верифікація);
  - запис програми на верстат; (це один з етапів)
  - упровадження обробки на верстаті – відпрацювання кожного окремого технологічного переходу для визначення помилок у траєкторії руху, режимах різання, підходах/відходах різального інструмента, можливих зіткненнях рухомих вузлів.

#### 3.4.2.5 Характеристики переміщень

Оскільки головний кадр окрім свого номера може містити додаткову інформацію і функції, то дуже часто в ньому вказують номер актуального інструмента **T** і номер необхідного коректора **D**. Додаткова функція **M6** – цикл зміни інструмента, може задаватися як у головному кадрі, так і окремим кадром.

:9001T1D1M6 або :9001T1D1

M6

Як зазначалося в п.п. 3.3.4. один різальний інструмент може мати кілька різних налаштувань різальної кромки – коректорів **D**, які можуть по чергово викликатися в межах одного переходу.

Як зазначалося в п.п. 3.1.2. існує два шляхи завдання розмірів для переміщень за осями: абсолютне і відносне. Команда **G90** використовується для абсолютного і **G91** – для відносного (інкрементного, складеного) завдання розмірів. Ці дві команди діють модально і залишаються активними в усіх кадрах, які йдуть після кадру виклику цих підготовчих функцій. Зазвичай G90/G91 задаються на початку переходу після виклику інструмента і перед початком установчих переміщень.

Для зручності програмування існує можливість завдання абсолютного і відносного (інкрементного) розмірів в одному кадрі. У такому разі після зазначення осі координат, за якою виконується переміщення (X/Y/Z), вказується адреса «=AC(...）」 - для абсолютного і «=IC(...）」 - для відносного (інкрементного) завдання розмірів.

Приклади програмування траєкторій переміщень за допомогою абсолютного та інкрементного завдання розмірів наведені нижче (рис.3.46):

N10G90  
 N20G0X0Y0  
 N30G1X50Y50F50  
 N40X100Y=IC(20)  
 N50X=IC(-10)Y0  
 Рівнозначно:  
 N10G91  
 N20G0X=AC(0)Y=AC(0)  
 N30G1X50Y50F50  
 N40G1X=AC(100)Y20  
 N50X-10Y-70

При використанні кругових осей (A, B, C) для обробки деталей або позиціонування поворотних вузлів багатокординатних верстатів існує можливість вибору стратегій переміщення вузла за обраною віссю координат. Для цього після зазначення осі, за якою здійснюється переміщення (A/B/C), указується адреса «=DC(...)» - для виконання переміщення за найкоротшим шляхом (діапазон переміщення не може бути

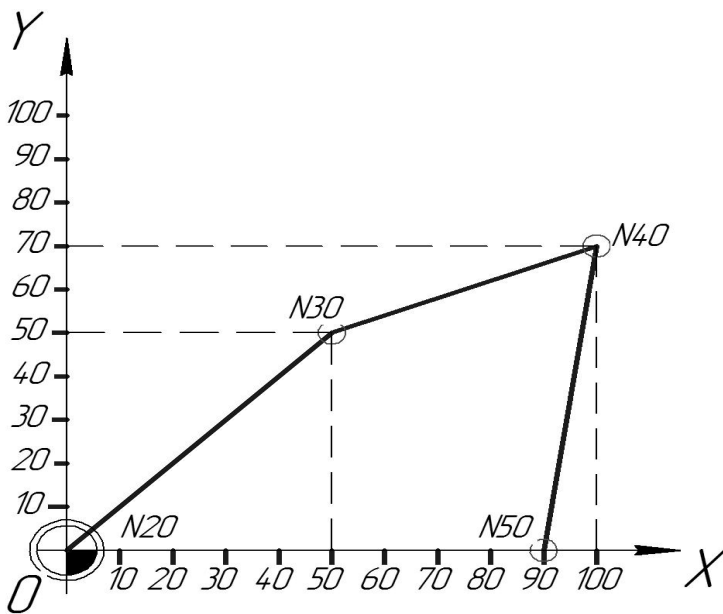


Рисунок 3.46 – Траєкторія переміщення

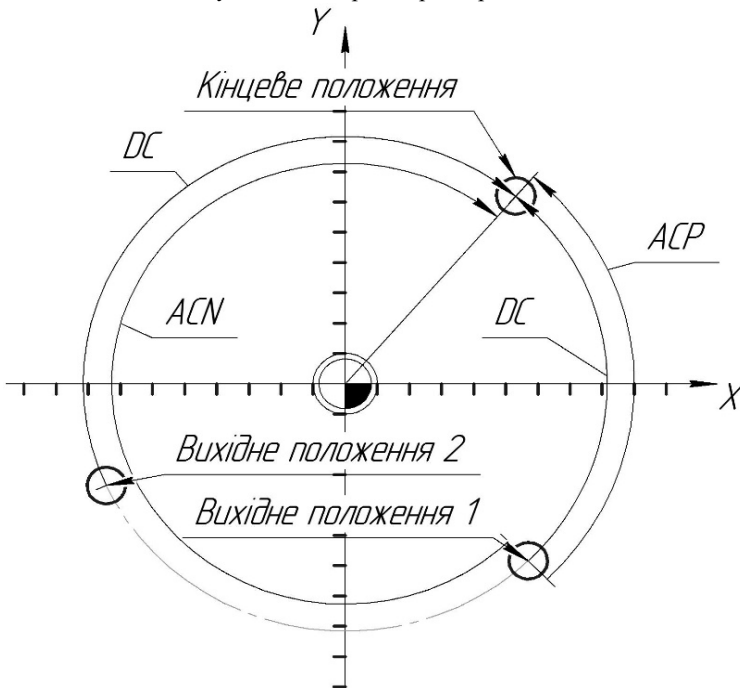


Рисунок 3.47 – Вибір стратегії переміщень для кругових осей

більшим за  $180^\circ$ ), «=ACP(...)» - для виконання переміщення в додатному напрямку і «=ACN(...)» - для виконання переміщення у від'ємному напрямку (рис. 3.47).

N10 C=ACN(50) ; стіл повертається на 50 градусів проти годинникової стрілки, а обробка ведеться за годинниковою стрілкою;

N20 C=ACP(100) ; стіл повертається на 100 градусів за годинникової стрілкою, а обробка ведеться проти годинникової стрілки.

Оскільки при програмуванні координат переміщень допускається використання величин як у метричній, так і у дюймовій системах вимірювання, то на початку кожного технологічного переходу або принаймні керуючої програми, рекомендується визначити систему зазначення розмірів, що застосовується. Для цього використовуються команди **G70** – для зазначення розмірів у дюймах і **G71** – для зазначення розмірів у міліметрах. Підготовчі функції **G70/G71** діють модально і можуть використовуватись поперемінно.

**G90G71**

G0X0Y0; метричне зазначення розмірів  
G01G70X50Y50F50 – дюймове

зазначення розмірів  
X100Y=IC(20) – дюймове

зазначення розмірів  
G71X=IC(-10)Y0 – метричне

зазначення розмірів

Неодмінним атрибутом початку будь-якої програми є завдання номеру нульової точки деталі. В одній програмі можуть використовуватись декілька нульових точок, але тільки по чергово, оскільки функція виклику нульової точки діє модально. Порядок налаштування верстата і визначення положення його нульових точок описано в п.п. 3.2 і 3.3.

Найчастіше використовуються перші чотири зміщення нульових точок: **G54, G55, G56, G57**. Але за необхідності існує можливість використати ще 94 зміщення нульових точок: з **G505** по **G599**.

Для скасування дії актуального зміщення нульової точки деталі використовується команда **G53**, при виконанні якої при переміщеннях використовується система координат верстата М (рис. 3.44).

Звернення до нульової точки деталі необхідно виконувати перед першим позиціонуванням робочих органів верстатів. Для запобігання виникненню можливих аварійних ситуацій рекомендується перед зверненням до будь-якої нульової точки деталі здійснювати скасування актуального зміщення нульової точки деталі (**G53**).

|                          |   |
|--------------------------|---|
| :801T1D1                 | – вибір інструмента і номера коректора  |
| N10M6                    | – виклик циклу зміни інструмента  |
| N20MSG(" RASTOCHKA_D 8") | – повідомлення оператору  |
| N30S120M3                | – завдання частоти обертання шпинделя і ввімкнення обертів  |
| N40 <b>G53Z0</b>         | – скасування дії актуального зміщення нульової точки і позиціонування шпинделя в координату Z0 відносно нульової точки верстата |
| N50 <b>G54G90G71</b>     | – завдання зміщення нульової точки деталі, вибір абсолютного способу і метричної системи завдання розмірів                      |
| N500 <b>G53Z0</b>        | – основний текст програми   |
| M30                      | – те саме, що і кадр N40  |
|                          | – кінець програми   |

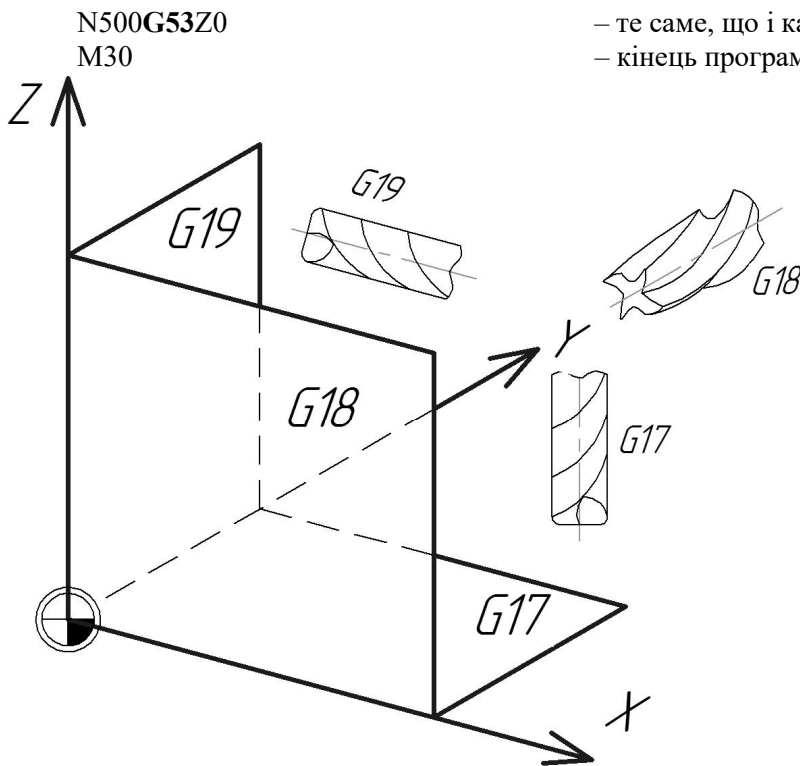


Рисунок 3.48 – Робочі площини в прямокутній системі координат

Вибір і завдання робочої площини обробки є обов'язковою умовою при розробці керуючої програми. Усього існує три робочі площини обробки, для кожної з яких є відповідна підготовча функція: **G17** для площини XY, **G18** – XZ, **G19** – YZ (рис.3.48).

Завдання робочої площини обробки дозволяє визначити площину для виконання кругової інтерполяції, корекції на радіус інструмента тощо.

Рекомендується задавати робочу площину обробки на початку переходу, після визначення параметрів інструмента. Зміна робочої площини у ході виконання керуючої програми застосовується при використанні поворотних головок і поворотних шпиндельних вузлів.

|                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| :801T1D1                 |                                |
| N10M6                    |                                |
| N20MSG(" RASTOCHKA_D 8") |                                |
| N30S120M3                |                                |
| N40 <b>G53Z0</b>         |                                |
| N50 <b>G17G54G90G71</b>  | – завдання площини обробки G17 |

### 3.4.2.6 Програмування траєкторії переміщення

У цьому підпункті розглядатимуться основні функції, які дозволяють повною мірою описати траєкторію руху інструмента. Будь-яке переміщення необхідно розглядати як рух від однієї точки до іншої. Траєкторія переміщення може бути запрограмована у декартовій і полярній системах координат, причому різні системи координат можуть використовуватися в межах однієї траєкторії руху по чергово. Використання тієї чи іншої системи координат обирається інженером-програмістом і базується на зручності програмування того чи іншого переміщення згідно зі способом завдання розмірів на кресленні. Використання обох систем координат в одній програмі, або технологічному переході, спрямовано на досягнення максимального спрощення роботи інженера-програміста при розробці керуючої програми.

#### Поняття полярних координат і формат запису основних команд

Програмування переміщень у полярних координатах використовується для завдання траєкторії переміщення інструмента по дузі відносно полюса. Для програмування переміщення в полярних координатах



необхідно визначити положення полюса відносно нульової точки деталі **G111**; останньої запрограмованої координати переміщення **G110**; попередньо заданого полюса **G112**. Полюс може задаватися в декартових або полярних координатах (за допомогою радіуса – **RP** і кута – **AP**).

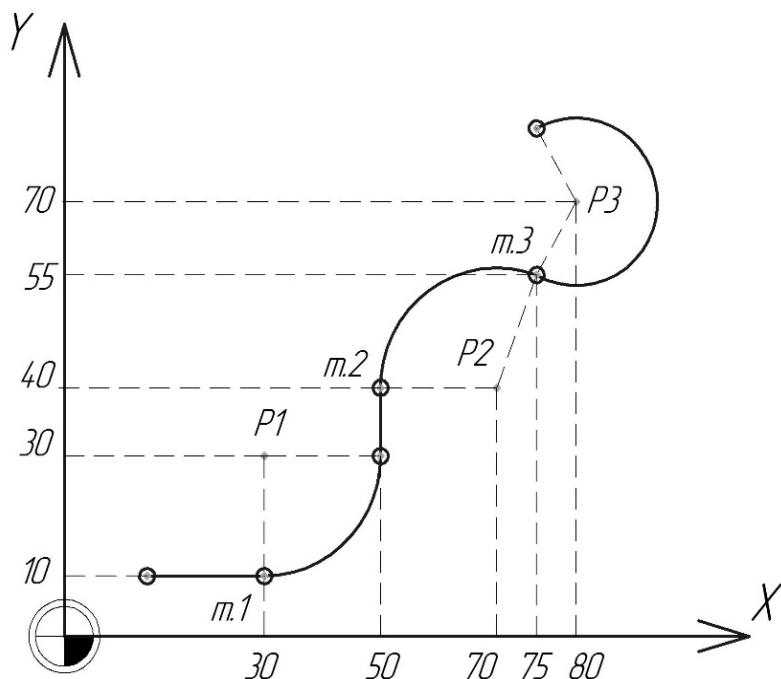


Рисунок 3.49 - Траекторія руху із переміщеннями, що програмуються в полярних координатах

Полярний кут **AP** задається в межах від 0 до 360° і при абсолютному завданні розмірів відкладається від горизонтальної осі координат. Додатнім напрямком відкладання полярного кута встановлено напрямок проти руху годинникової стрілки.

Кадр визначення полюса записується наступним чином:

**G111/G110/G112 X... Y... Z...** –

для завдання положення полюса в декартових координатах;

**G111/G110/G112 AP=... RP=...** –

для завдання положення полюса в полярних координатах.

Розглянемо приклади завдання полюсів за допомогою різних команд згідно з прикладом, наведеним на рисунку 3.49:

Полюс P1 - **G111 X30 Y30**

або - **G110 X0 Y20**

– відносно

m.1

Полюс P2 - **G112 X40 Y10**

або - **G111 X70 Y40**

або - **G110 X20 Y0**

– відносно m.2

Полюс P3 - **G110 X5 Y15**

– відносно m.3

або - **G111 X80 Y70**

або - **G112 X10 Y30**

Визначений полюс діє модально, тобто усі наступні кадри переміщення в полярних координатах будуть виконуватися відносно останнього визначеного полюса. Крім того допускається чергування переміщень у декартових і полярних координатах (рис. 3.50):

**N10 G1 X30 Y10 F50**

**N20 G111 X30 Y30**

**N30 G1 RP=20 AP=0** – належить до полюсу (X30, Y30)

**N40 G1 X10** - переміщення в декартових координатах

**N50 G1 RP=20 AP=270** – належить до полюсу X30; Y30

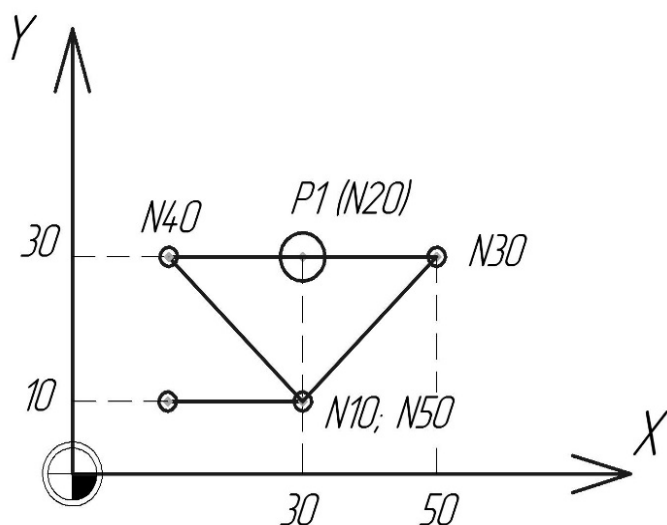


Рисунок 3.50 – Приклад прямолінійних переміщення відносно полюса P1

Допускається використання інкрементного завдання полярного кута. У такому разі полярний кут буде відкладено від останнього заданого кутового положення.

Полярний радіус **RP** є відстанню від полюсу до точки, яка лежить на описуваній траекторії руху. Полярний радіус завжди є додатною величиною і діє модально до завдання нового полярного радіусу.

Розглянемо приклад завдання точок у полярних координатах згідно з прикладом, наведеним на рис.3.51:

Точка m.1 – **G0 RP=90 AP=45**

Точка m.2 – **G0 RP=90 AP=120**

або – **G0 RP=90 AP=IC(75)**

Точка m.3 – **G0 RP=90 AP=190**

або – **G0 RP=90 AP=IC(70)**

## Лінійна інтерполяція

Лінійною інтерполяцією називаються прямолінійні робочі переміщення в будь-якому напрямку у просторі.

Лінійна інтерполяція задається підготовчою функцією **G1**, яка діє модально. Існує два формати завдання переміщення залежно від використання декартових або полярних координат:

G1 X... Y... Z... F...

G1 AP=... RP=... F...

Оскільки лінійна інтерполяція використовується при виконанні робочих переміщень, тобто різання, то число обертів **S** і напрямок обертання шпинделя **G3/G4** повинні бути задані та активовані відповідно.

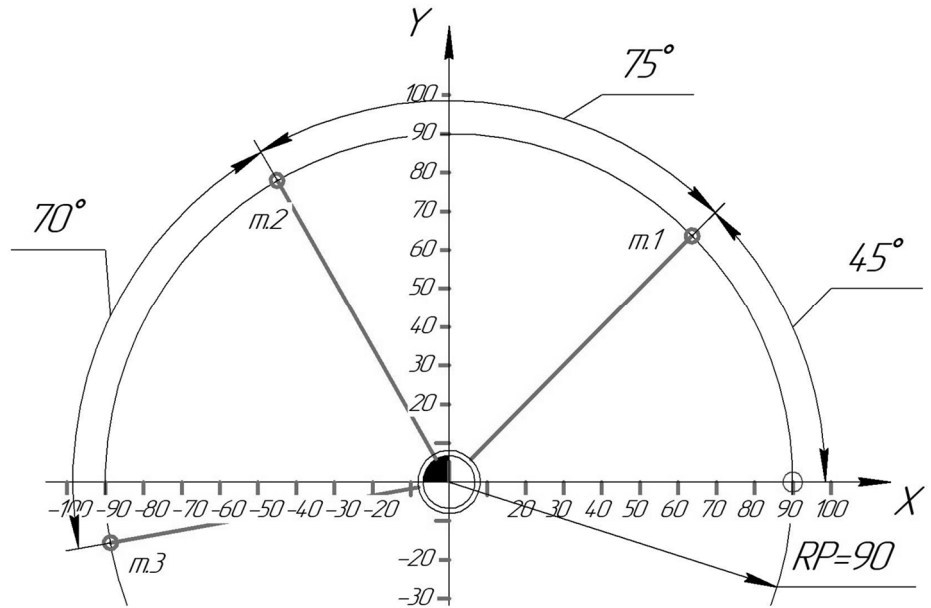


Рисунок 3.51 - Приклад завдання точок в полярних координатах

## Прискорені переміщення

Прискорені переміщення використовуються для забезпечення позиціонування інструмента в точку початку обробки, зміни положення інструмента між проходами, відведення інструмента в референтні точки верстата. Прискорені переміщення здійснюються з максимально допустимою швидкістю, яка встановлюється в параметрах верстата. Прискорене переміщення задається підготовчою функцією **G0**, яка діє модально і має такі формати запису:

G0 X... Y... Z...

G0 AP=... RP=...

Після виконання прискореного переміщення в наступному кадрі при завданні переміщення з подачею необхідно **обов'язково** задавати швидкість подачі.

ПРАВИЛЬНО

G0 X0 Y0

X 100 Z10

G1 X150 Y50 F50

X200 Y100

НЕПРАВИЛЬНО

G0 X0 Y0

X 100 Z10

G1 X150 Y50

X200 Y100 F50

## Кругова інтерполяція

Використання кругової інтерполяції дозволяє задавати переміщення по дузі, а також повними колами. Кругова інтерполяція задається підготовчими функціями **G2** – напрямком руху інструмента по дузі за годинниковою стрілкою, та **G3** - напрямком руху інструмента по дузі проти годинникової стрілки, які діють модально і мають наступні формати запису:

G2/G3 X... Y... Z... I... J... K...

G2/G3 AP=... RP=...

G2/G3 X... Y... Z... CR=...

G2/G3 AR=... I... J... K...

G2/G3 AR=... X... Y... Z...

CT X... Y... Z...

де: X, Y, Z – координати кінцевої точки дуги (кола) в декартових координатах; I, J, K – координати центру дуги (кола) в декартових координатах відносно початкової точки кола; CR – радіус дуги (кола); AR – апертурний кут; CT – дуга з тангенційним переходом.

Перед першим застосуванням у керуючій програмі або технологічному переході функцій G2/G3 необхідно визначити робочу площину обробки (G17/G18/G19).

Вибір способу завдання кругової інтерполяції в першу чергу залежить від параметрів (розмірів), якими ця дуга задається й описується: радіус кола, координати центру і кінцевої точки, апертурний кут або полярні координати. Розглянемо детальніше кожен із запропонованих видів завдання переміщення по дузі (колу).

### Кругова інтерполяція через кінцеву точку і центр дуги.

#### Введення абсолютного і відносного розмірів

Центр дуги може бути заданий введенням абсолютного або відносного (інкрементного) розмірів (координат). Попередньо визначене налаштування способу завдання переміщень G90/G91 дійсно виключно для координат кінцевої точки дуги, тому в такому разі під завданням координат центру дуги (I, J, K) відносними розмірами маємо на увазі те, що вони задаються відносно початковою точки дуги. Формат запису руху по круговій траєкторії наступний: G2/G3 X... Y... Z... I... J... K... .

Завдання координат центра дуги абсолютними розмірами відносно нуля системи координат деталі матиме такий вигляд: I=AC(...), J=AC(...), K=AC(...).

Розглянемо приклад завдання переміщення по дузі проти годинникової стрілки (рис. 3.52, а) за допомогою програмування центру дуги відносними розмірами:

G1 X80 Y80 F20

**G3 X60 Y25 I-30 J-20**

та абсолютними розмірами:

G1 X80 Y80 F20

**G3 X60 Y25 I=AC(50) J=AC(60),**

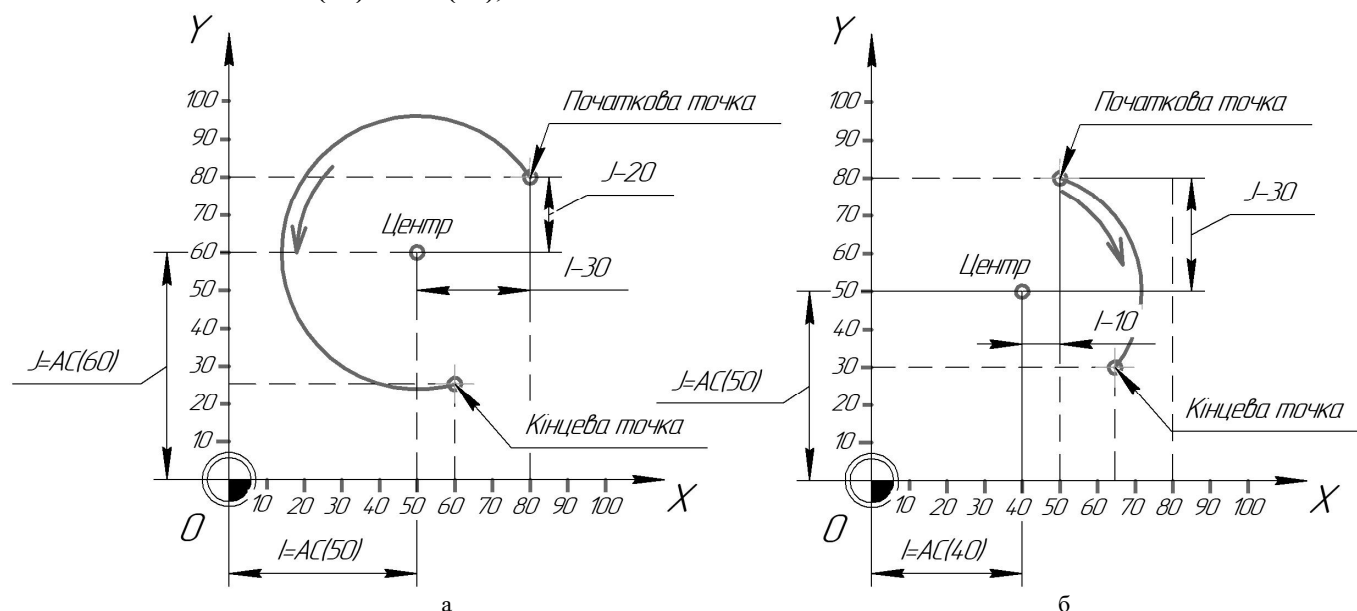


Рисунок 3.52 – Приклад кругової інтерполяції через кінцеву точку і центр дуги при переміщенні проти (а) і за (б) напрямком обертання годинникової стрілки

а також за годинниковою стрілкою (рис. 3.52, б) за допомогою програмування центру дуги відносними розмірами:

G1 X50 Y80 F20

**G2 X65 Y30 I-10 J-30**

та абсолютними розмірами:

G1 X50 Y80 F20

**G2 X65 Y30 I=AC(40) J=AC(50)**

При програмуванні повного кола координата початкової і кінцевої точки збігатимуться. Приклад програмування повного кола для переміщення проти годинникової стрілки (рис. 3.53) для завдання центру кола відносними розмірами:

G1 X80 Y80 F20

**G3 X80 Y80 I-30 J-20**

та абсолютними розмірами:

G1 X80 Y80 F20

**G3 X80 Y80 I=AC(50) J=AC(60)**

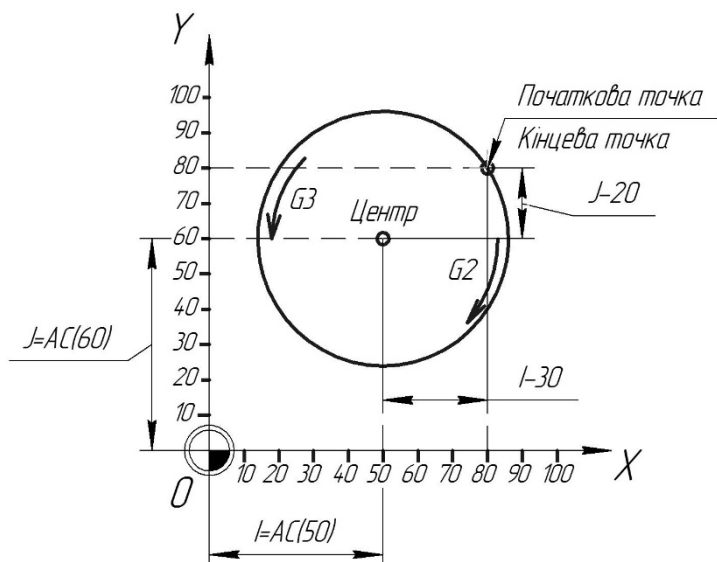


Рисунок 3.53 - Приклад програмування переміщення по повному колу

Приклад програмування повного кола для переміщення проти годинникової стрілки (рис. 3.53) для завдання центру кола відносними розмірами:

G1 X80 Y80 F20

**G2 X80 Y80 I-30 J-20**

та абсолютним розміром:

G1 X80 Y80 F20

**G2 X80 Y80 I=AC(50) J=AC(60)**

### Кругова інтерполяція через кінцеву точку і радіус дуги

У форматі запису руху за круговою траєкторією G2/G3 X... Y... Z... CR=... переміщення по дузі описується через завдання радіуса дуги (CR=...) та координати кінцевої точки (X, Y, Z). Радіус дуги вказується із знаком +/-, який указує на величину кута переміщення: CR=+... - для переміщення по дузі меншій або рівній 180°; CR=-... - для переміщення по дузі

більшій за 180°.

Повне коло через завдання радіуса дуги не програмується.

Розглянемо приклад завдання переміщення по дузі проти годинникової стрілки для кута переміщення меншого за 180° (рис. 3.54, а):

G1 X80 Y80 F20

**G3 X60 Y25 CR=+30**

та більшого за 180°

G1 X80 Y80 F20

**G3 X60 Y25 CR=-30,**

а також завдання переміщення по дузі за годинниковою стрілкою для кута переміщення меншого за 180° (рис. 3.54, б):

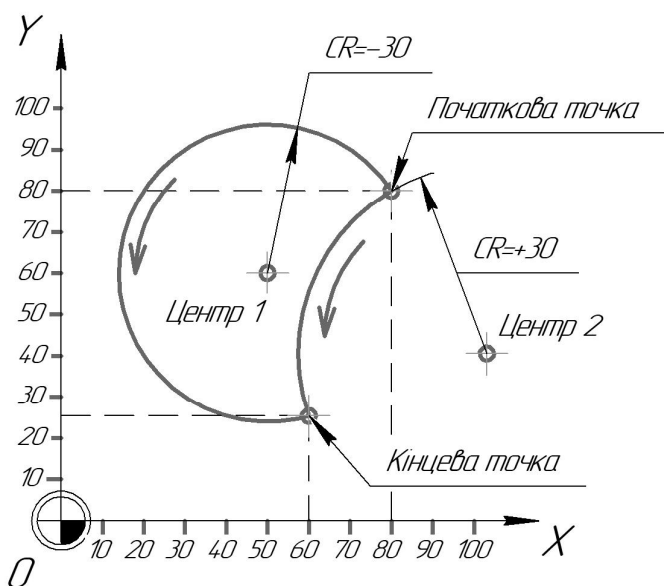
G1 X80 Y50 F20

**G2 X65 Y30 CR=+30**

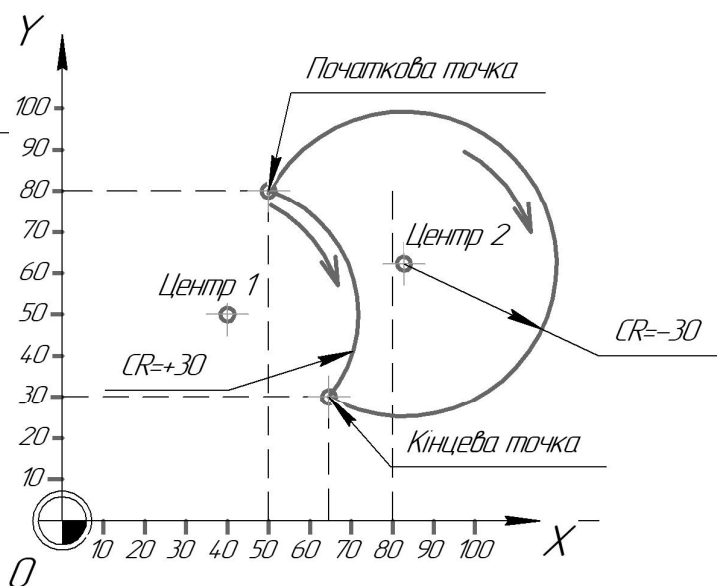
та більшого за 180°

G1 X80 Y50 F20

**G2 X65 Y30 CR=-30**



а



б

Рисунок 3.54 – Приклад кругової інтерполяції через кінцеву точку і радіус дуги при переміщенні проти (а) і за (б) напрямком обертання годинникової стрілки

### Кругова інтерполяція через апертурний кут, кінцеву точку або координати центру дуги

У форматі запису руху по круговій траєкторії  $G2/G3 \text{ AR}=\dots \text{ I} \dots \text{ J} \dots \text{ K} \dots$  переміщення по дузі описується через завдання апертурного кута ( $\text{AR}=\dots$ ) з діапазоном значень від  $0$  до  $360^\circ$  та координат центру дуги ( $\text{I}, \text{J}, \text{K}$ ). Координати центру дуги можуть задаватися як відносними, так і абсолютними розмірами.

Під апертурним кутом розуміють кут між відрізками, які з'єднують центр кола і початкову та кінцеву точки дуги.

Також існує можливість програмування переміщення через апертурний кут і координати кінцевої точки дуги з форматом запису  $G2/G3 \text{ AR}=\dots \text{ X} \dots \text{ Y} \dots \text{ Z} \dots$

Повне коло через завдання апертурного кута не програмується.

Розглянемо приклад завдання переміщення по дузі проти годинникової стрілки через завдання координат центру дуги відносними розмірами (рис. 3.55, а):

**G1 X80 Y80 F20**

**G3 AR=250 I-30 J-20**

та абсолютними розмірами:

**G1 X80 Y80 F20**

**G3 AR=250 I=AC(50) J=AC(60),**

а також завдання переміщення по дузі за годинниковою стрілкою через завдання координат кінцевої точки дуги (рис. 3.55, б):

**G1 X50 Y80 F20**

**G2 X65 Y30 AR=110**

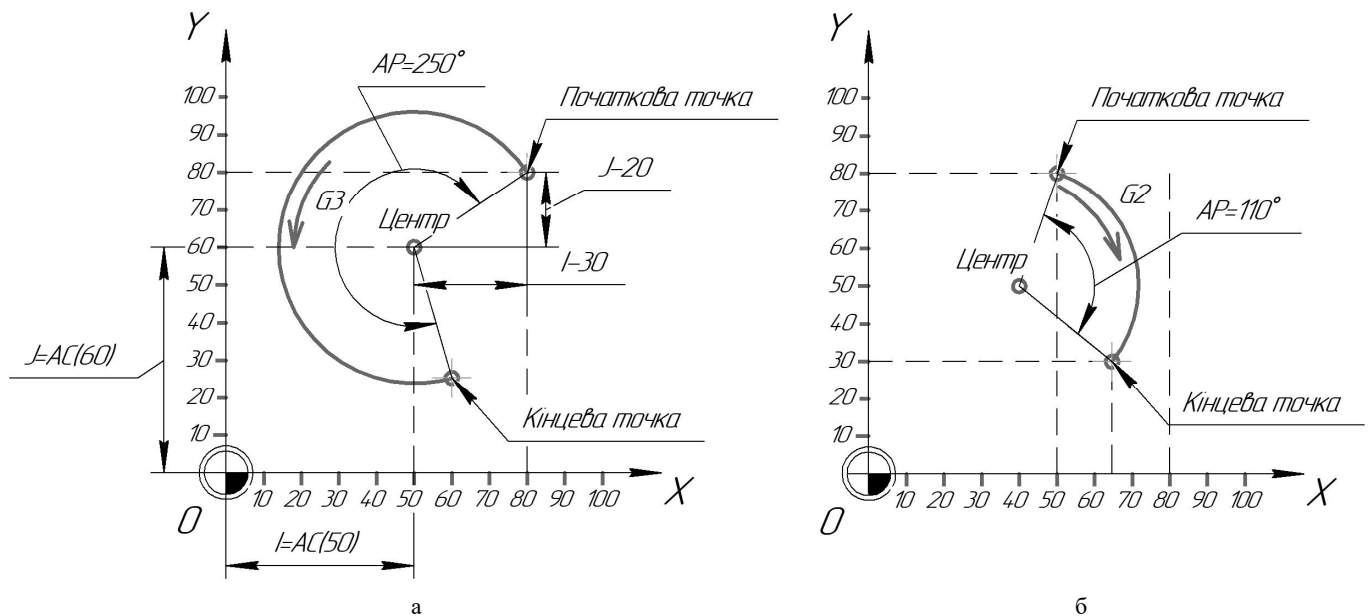


Рисунок 3.55 – Приклад кругової інтерполяції через: апертурний кут і координати центру дуги (а), апертурний кут і координати кінцевої точки дуги (б)

### Кругова інтерполяція в полярних координатах

Для здійснення переміщення за круговою траєкторією в полярних координатах необхідно задати величини полярного кута ( $\text{AP}=\dots$ ) і полярного радіуса ( $\text{RP}=\dots$ ), а також попередньо визначити положення центру полюса. Формат запису переміщення за круговою траєкторією в полярних координатах матиме такий вигляд:

**G110/G111/G112** – завдання полюса

**G2/G3 AP=... RP=...** – переміщення по дузі

Розглянемо приклад завдання переміщення по дузі в полярних координатах проти напрямку обертання годинникової стрілки (рис. 3.56, а):

**G1 X80 Y80 F20**

**G111 X50 Y60**

**G3 AP=285 PR=35**

та за напрямком обертання годинникової стрілки (рис. 3.56, б):

G1 X50 Y80 F20  
 G111 X40 Y50  
 G2 AP=320 PR=30

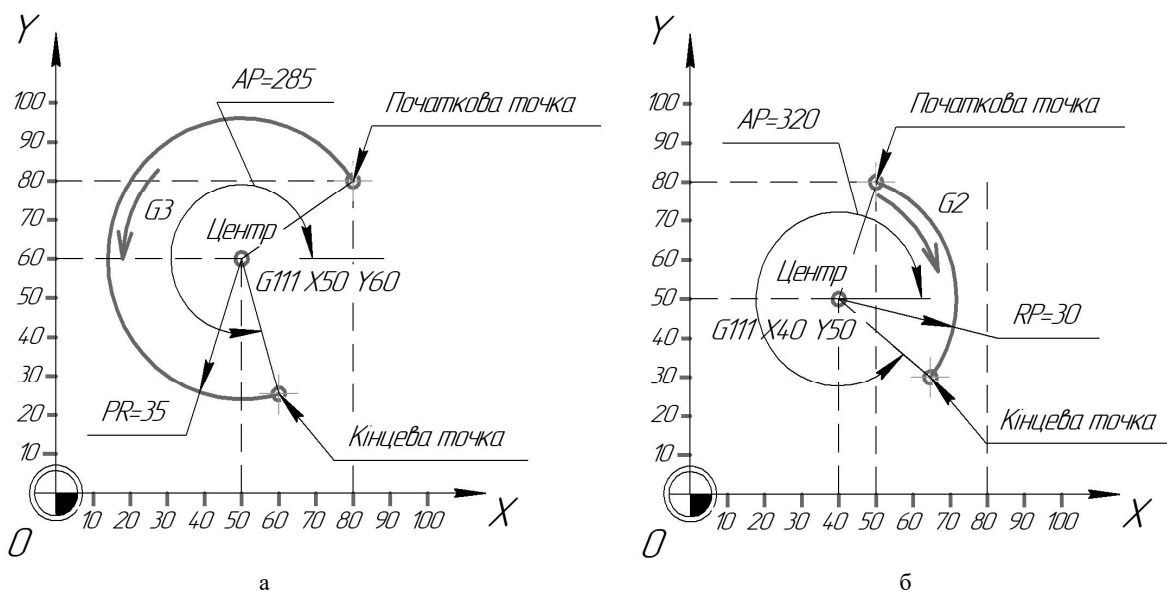


Рисунок 3.56 – Приклад кругової інтерполяції в полярних координатах при переміщенні проти (а) і за (б) напрямком обертання годинникової стрілки

### Програмування кола з тангенційним переходом

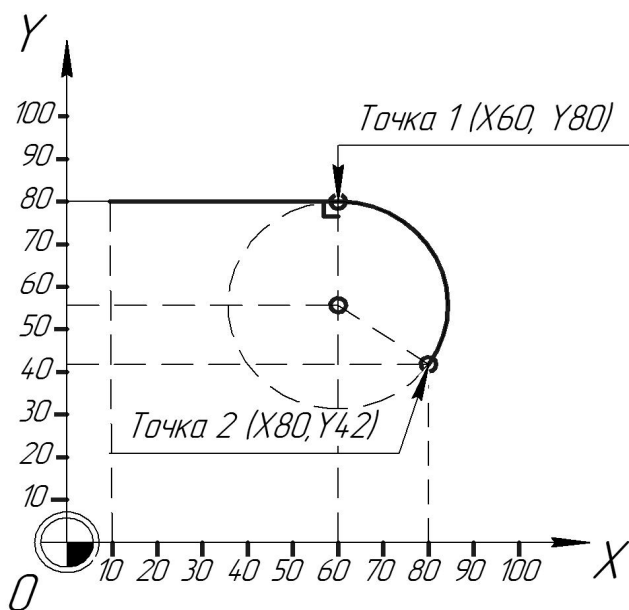


Рисунок 3.57 – Приклад програмування кола з тангенційним переходом

Функція програмування «кола з тангенційним переходом» використовується для побудови частини кола, яке дотичне до кінцевої точки попередньо запрограмованого контуру і проходить через визначену точку в просторі. Визначення радіуса дуги і координат центру дуги відбувається автоматично.

Для програмування переміщення по колу з тангенційним переходом достатньо вказати координати кінцевої точки дуги СТ X... Y... Z... після закінчення програмування прямолінійного переміщення.

Розглянемо приклад програмування переміщення по колу з тангенційним переходом (рис. 3.57):

G1 X10Y80 F20

G1 X60 Y80 – кінцева точка контуру (точка 1)

СТ X80 Y42 – кінцева точка кола з тангенційним переходом (точка 2).

### Гвинтова інтерполяція

Гвинтова інтерполяція передбачає переміщення колами із рівномірною вертикальною подачею. Траєкторія руху при гвинтовій інтерполяції відповідає спіралі. Використання гвинтової інтерполяції дозволяє виконувати нарізання різі, канавок, розфрезерування отворів тощо.

Програмування гвинтової інтерполяції здійснюється через завдання центру і кінцевої точки дуги, в полярних координатах, та через апертурний кут. Формат запису переміщення за гвинтовою траєкторією відрізняється від кругової інтерполяції тільки необхідністю додатково вказувати кількість повних кіл за допомогою адреси «TURN=». Для визначення кроку гвинта обов'язково повинні бути вказані координати початкової і кінцевої точок за віссю, уздовж якої здійснюється вертикальна подача.

G2/G3 X... Y... Z... I... J... K...TURN=

G2/G3 AP=... RP=... TURN=

G2/G3 AR=... X... Y... Z... TURN=

G2/G3 AR=... I... J... K... TURN=

Розглянемо приклад гвинтової інтерполяції в декартових координатах при переміщенні за напрямком обертання годинникової стрілки (рис. 3.58, а):

G1 X60 Y80 Z90 F20 – точка 1

G2 X80 Y42 Z22 I0 J-25 TURN=3 – точка 2.

Система автоматично розраховує крок гвинта, враховуючи необхідність виконання 3-х повних обертів і частини 4-ого, величина якого буде пропорційна відношенню величини довжини переміщення від точки 1 до точки 2 відносно довжини повного кола. У такому разі крок кола дорівнюватиме 20 мм (рис. 3.58, б).

При збігу початкової і кінцевої точки гвинта координати кінцевої точки, за аналогією з круговою інтерполяцією, можуть не вказуватись:

G1 X60 Y80 Z90 F20

G2 Z22 I0 J-25 TURN=3.

У такому разі крок кола дорівнюватиме 22,666 мм.

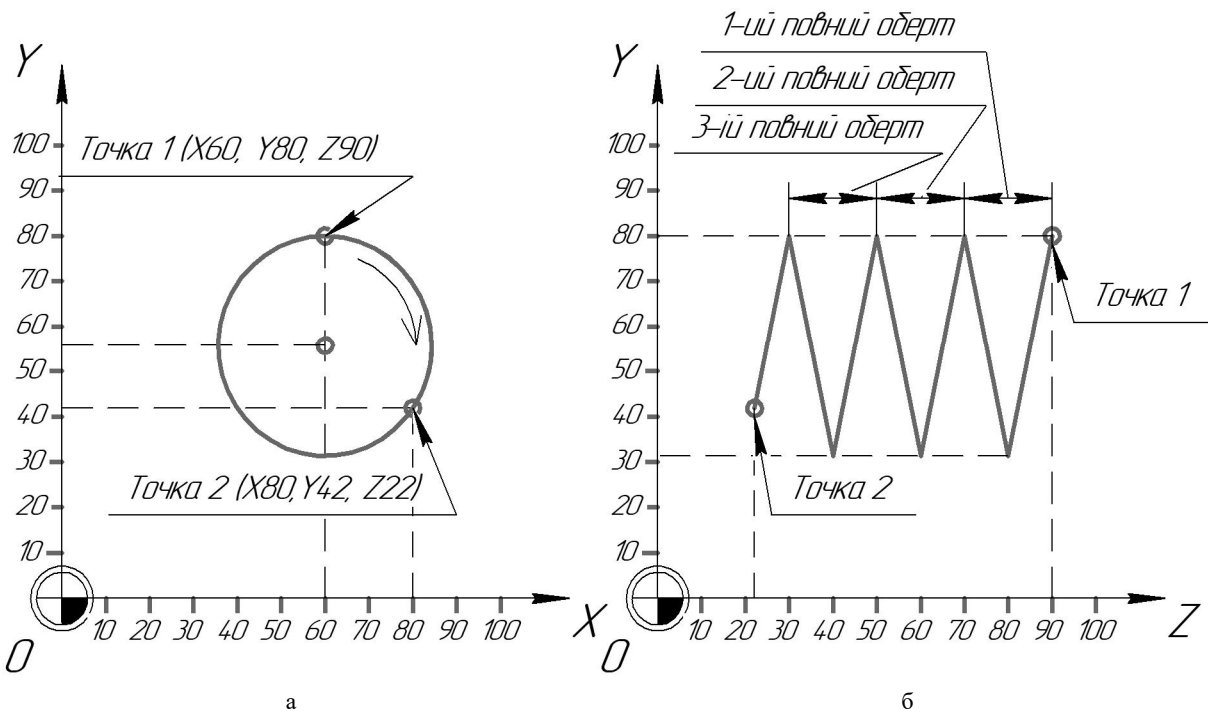


Рисунок 3.58 – Приклад гвинтової інтерполяції в декартових координатах при переміщенні за напрямком обертання годинникової стрілки. Вид у площинах XY (а) і YZ (б)

### Програмування фасок і заокруглень

Між двома елементами контуру може бути вставлена фаска або заокруглення. Фаска програмується за допомогою команди «CHF=» і «CHR=», які використовуються в залежності від способу завдання фаски. «CHF=» застосовується у випадках завдання довжини фаски, а «CHR=» - ширини фаски в напрямку руху за траєкторією. Команди «CHF=» і «CHR=» задаються в кадрі лінійного переміщення по першій з двох прямих, між якими необхідно запрограмувати фаску.

Розглянемо приклад програмування обох видів фасок (рис. 3.59, а):

G1 X10 Y80 F20

G1 X60 Y80 CHF=10 – точка 1

G1 X80 Y42 – точка 2,

або:

G1 X10 Y80 F20

G1 X60 Y80 CHR=6 – точка 1

G1 X80 Y42 – точка 2.

У свою чергу заокруглення може бути запрограмоване як між лінійними, так і між круговими елементами контуру в будь якій комбінації. Заокруглення програмується за допомогою команди «RND=»,

після якої задається величина радіуса заокруглення.

Розглянемо приклад програмування обох видів заокруглення між двома прямими, а також між прямою і дугою (рис. 3.59, б):

G1 X10 Y80 F20

G1 X60 Y80 RND=12 – точка 1

G1 X80 Y40 RND=16 – точка 2

G2 X97 Y10 CR=+20 – точка 3.

При багаторазовому повторенні команди заокруглення з однаковою величиною радіуса використовується команда модального заокруглення «RNDM=». Скасування виконання модального заокруглення здійснюється за допомогою команди «RNDM=0».

Програміст під час розробки керуючої програми постійно стикається із ситуаціями, коли обробка одного і того самого контуру може повторюватися на деталі в декількох різних місцях, під кутом один до одного тощо. Тоді програмісту необхідно той самий контур перерахувати відносно нульової точки деталі декілька разів. Для спрощення програмування в подібних випадках використовуються спеціальні функції перетворення системи координат, найбільш поширені з яких будуть розглянуті далі.

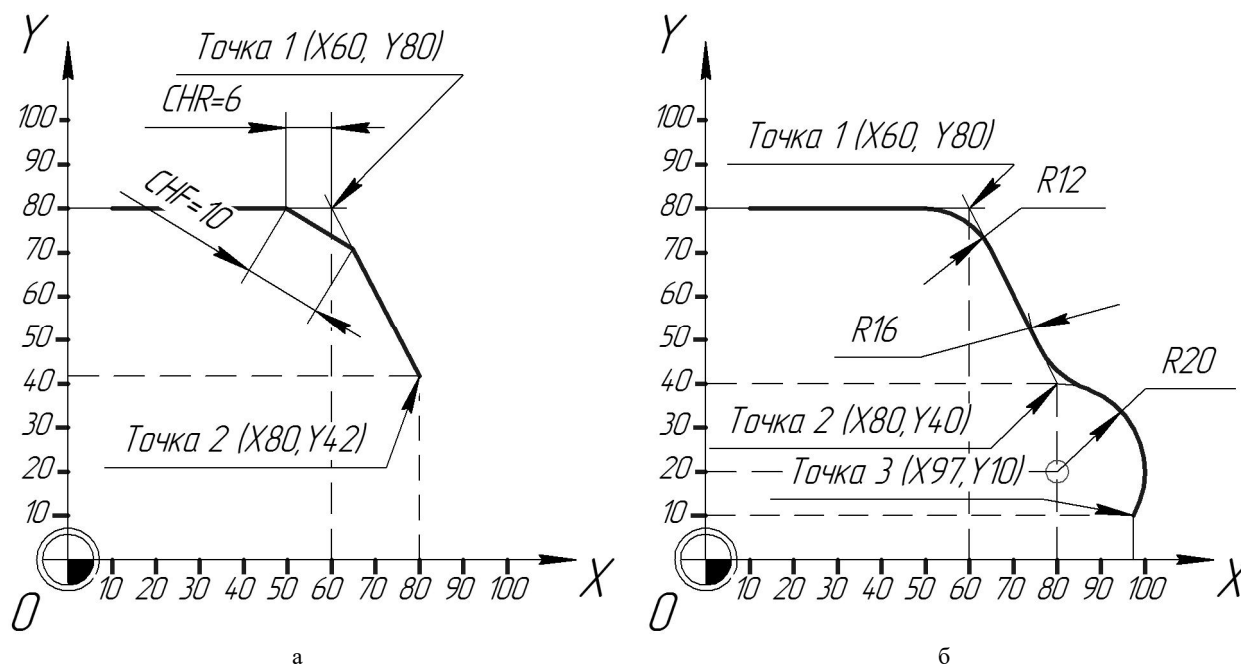


Рисунок 3.59 – Приклад програмування фасок (а) і заокруглень (б)

### 3.4.2.7 Функції трансформації системи координат деталі

#### Зміщення нульової точки деталі

Застосування функції зміщення нульової точки деталі дозволяє повторювати обробку в будь-якому місці деталі. Дуже часто переміщення системи координат використовують при обробці декількох деталей на багатомісних пристосуваннях.

Зміщення системи координат деталі активується за допомогою команди «TRANS», після якої йдуть значення зміщення за кожною із осей координат: TRANS X... Y... Z... .

При наступному програмуванні команди «TRANS X... Y... Z...» усі попередньо встановлені зміщення нульової точки скасовуються і приймаються нові запрограмовані значення зміщень за осями.

Для скидання усіх попередньо встановлених зміщень нульової точки деталі використовується команда «TRANS».

Для виконання зміщення нульової точки деталі відносно останнього запрограмованого зміщення використовується команда «ATRANS», після якої йдуть значення зміщення за кожною із осей координат: ATRANS X... Y... Z... .

Розглянемо приклад зміщення нульової точки деталі при обробці контуру L1 для трьох різних позицій (рис.3.62).

G1 G54 G17 – виклик нульової точки деталі

L1 – виконання підпрограми обробки контуру



TRANS X60 Y20 – зміщення G54 із позиції 1 в позицію 2  
L1 – виконання підпрограми обробки контуру  
TRANS X40 Y80 – зміщення G54 із позиції 1 в позицію 3  
L1 – виконання підпрограми обробки контуру  
ATrans X-20 Y60 – зміщення G54 адитивно із позиції 2 в позицію 3  
L1 – виконання підпрограми обробки контуру  
TRANS – скидання попередньо встановлених зміщень нульової точки деталі. Повернення до позиції 1.

### Поворот системи координат деталі

Функція повороту системи координат деталі переважно використовується для обробки деталей з кількох сторін. При завданні команди «**ROT X... Y... Z...**» система координат деталі обертається навколо заданих осей координат (X, Y, Z) на визначений кут. Додатним напрямком обертання вважається обертання за годинниковою стрілкою, якщо дивитися вздовж осі в додатному напрямку.

При завданні команди «**ROT X... Y... Z...**» усі попередньо задані перетворення системи координат і зміщення нульових точок деталі скидаються і задається поворот системи координат деталі відносно базового положення. Для виконання адитивного повороту системи координат деталі відносно активного перетворення (зміщення, обертання тощо) використовується команда «**AROT X... Y... Z...**».

При використанні команд «**ROT RPL=>**» і «**AROT RPL=>**» поворот системи координат виконується в активній робочій площині: при G17 навколо осі Z; при G18 навколо Y; при G19 навколо X.

Для скидання активних поворотів системи координат використовується команда **ROT** без зазначення осей.

Розглянемо приклад зміщення і повороту нульової точки деталі при обробці контуру L1 для трьох різних позицій (рис.3.60).

N10 G1 G54 G17

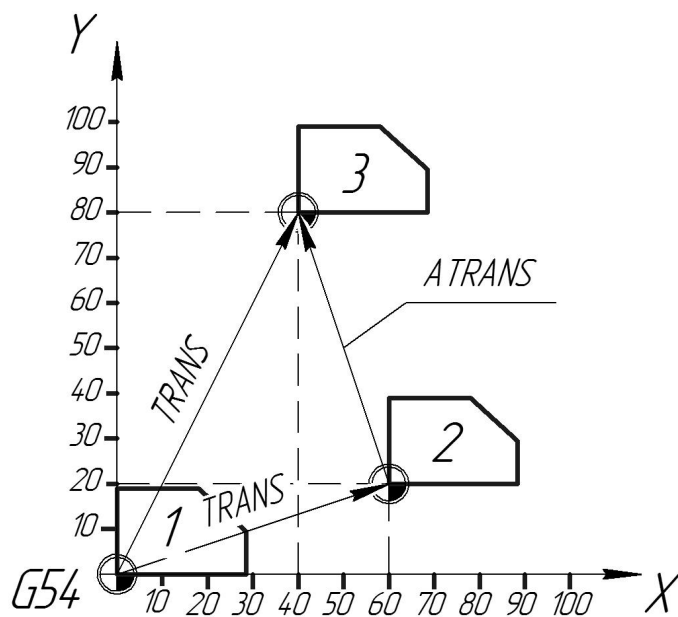


Рисунок 3.60 – Зміщення нульової точки деталі

N20 L1  
N30 TRANS X60 Y20 – зміщення G54 із позиції 1 в позицію 2  
N40 AROT RPL=45  
або N40 AROT Z45 – поворот G54  
N50 L1  
N60 ATRANS X-20 Y60 – зміщення G54 із позиції 2 в позицію 3  
N70 L1  
N80 TRANS, або N80 ROT – скидання попередньо встановлених зміщень нульової точки деталі. Повернення G54 до позиції 1.

### Програмування дзеркального відображення

Функція дзеркального відображення використовується у випадках, коли в деталях необхідно виконати обробку контурів, отворів та інших елементів, які лежать симетрично відносно нульової точки деталі (в різних квадрантах). Усі переміщення при цьому виконуються у

відображеному вигляді. Дзеркальне відображення програмується за допомогою команди **MIRROR** із подальшим зазначенням осі координат, уздовж якої здійснюється відображення (осі, напрямок якої необхідно змінити (X0, Y0, Z0)). Формат запису кадру дзеркального відображення наступний: **MIRROR X0 Y0 Z0**. Вихідний контур програмується один раз, а після віддзеркалення використовується траєкторія переміщення вихідного контуру.

Команда **MIRROR X0 Y0 Z0** скидає усі попередньо запрограмовані перетворення системи координат, тому для виконання адитивного віддзеркалення відносно активного перетворення (зміщення, обертання тощо) використовується команда «**AMIRROR X0 Y0 Z0**».

Для скидання активного дзеркального відображення системи координат використовується команда **MIRROR** без зазначення осей.

Розглянемо приклад віддзеркалення запрограмованого контуру L1 (1) в положення 2, 3, 4 (рис.3.61).

N10 G1 G54 G17

N20 L1 – обробка контуру в положенні 1

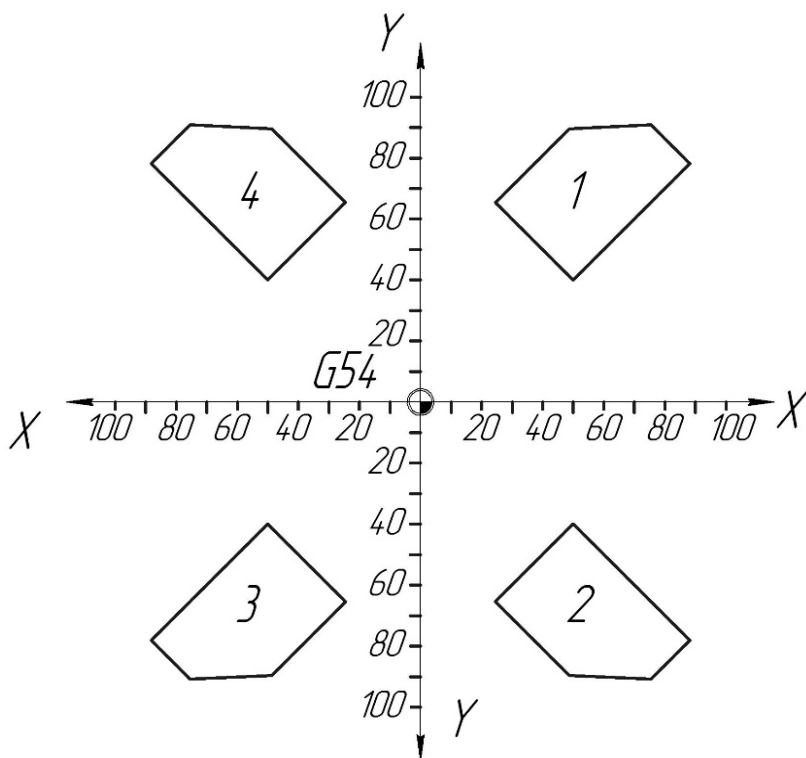


Рисунок 3.61 – Дзеркальне відображення траєкторії обробки

траєкторію руху інструмента, яка еквідистантно відкладається від запрограмованого контуру на величину радіуса інструмента, який внесено в таблицю інструмента.

Для ввімкнення функції корекції на радіус інструмента використовують підготовчі функції **G41** – для еквідистантного зміщення вліво і **G42** – для еквідистантного зміщення вправо відносно контуру, що обробляється, за напрямком руху інструмента (рис. 3.62, а). Для вимкнення функції корекції на радіус інструмента використовується функція **G40**.

Основною умовою для здійснення введення корекції є те, що відстань від осі інструмента до контуру по нормалі (або еквідистантно) повинна бути більшою за радіус інструмента. Для введення корекції найчастіше використовують підведення до контуру перпендикулярно до траєкторії руху (рис. 3.62, в, г), під кутом (рис. 3.62, б), по дузі тощо. Відповідним чином здійснюється і виведення корекції.

Розглянемо приклади обробки прямокутного контуру із введенням корекції на радіус інструмента, коли інструмент перебуває зліва від контуру, що обробляється (рис. 3.62, в):

```

N10 G17 G54
N20 G0 X20 Y30          – точка 1
N30 G1 G41 X45 Y30 F50 – точка 2
N40 Y75                 – точка 3
N50 X85                 – точка 4
N60 Y35                 – точка 5
N70 X40                 – точка 6
N80 G40 Y10             – точка 7
N90 M30

```

та коли інструмент перебуває справа від контуру, що обробляється (рис. 3.62, г):

```

N10 G17 G54
N20 G0 X40 Y10          – точка 1
N30 G1 G42 X40 Y35 F50 – точка 2
N40 X85                 – точка 3
N50 Y75                 – точка 4
N60 X35                 – точка 5
N70 Y30                 – точка 6
N80 G40 X20             – точка 7
N90 M30

```

N30 MIRROR Y0 – віддзеркалення  
N50 L1 – обробка контуру в положенні 2

N60 MIRROR X0

N70 L1 – обробка контуру в положенні 4

N80 AMIRROR Y0 – адитивне віддзеркалення

N70 L1 – обробка контуру в положенні 3

N80 MIRROR – скидання попередньо встановлених зміщень нульової точки деталі.

### 3.4.3 Програмування корекції на радіус інструмента

Використання корекції на радіус інструмента дозволяє виконувати обробку запрограмованих контурів на деталі без прив'язки до фактичного діаметру інструмента. При використанні корекції на радіус інструмента програмується контур із фактичними розмірами без врахування радіуса або діаметра інструмента. СЧПК автоматично визначає

Ще однією значною перевагою використання корекції на радіус інструмента є можливість впливати на розміри оброблених деталей за рахунок внесення коригувань у налаштування різального інструменту (таблицю інструменту), детально розглянутих в п.п. 3.2.7.

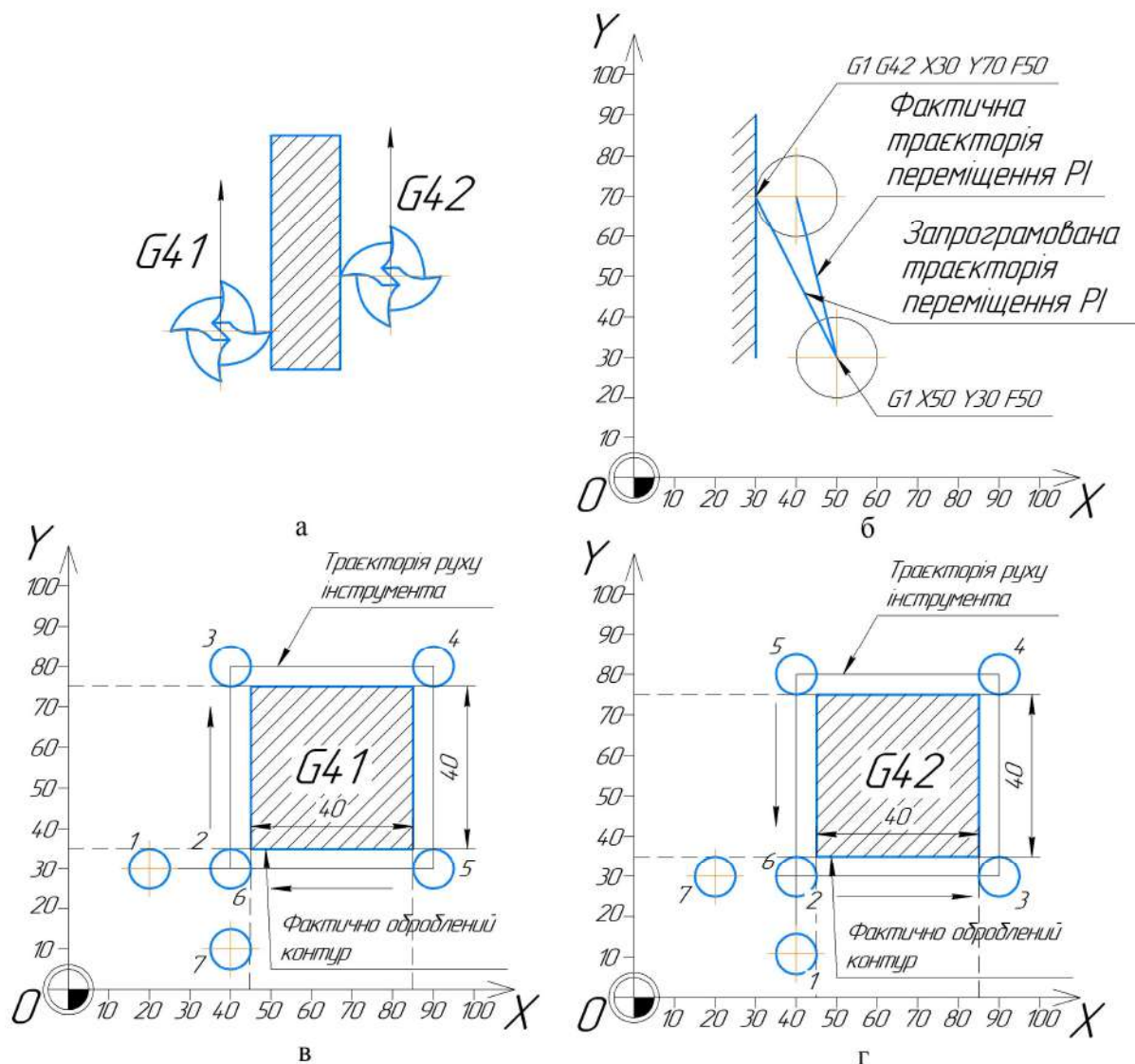


Рисунок 3.62 – Корекція на радіус інструмента: види корекції (а); введення корекції (б); приклади обробки контурів із введенням корекції, коли інструмент знаходиться зліва (в) і справа (г) від оброблюваного контуру

### 3.4.4 Використання підпрограм

За своєю структурою і можливостями підпрограми повністю ідентичні головним програмам. Підпрограми найчастіше використовують, коли якусь послідовність дій у головній програмі необхідно повторити декілька разів. Такі послідовності дій виносяться за межі основної програми у підпрограми для зменшення обсягу основної програми за рахунок зменшення кількості повторювань однакових траєкторій руху.

На відміну від основної програми підпрограми закінчуються командою **M17** (в основній програмі **M30**), яка повертає до виконання основної програми з точки виклику підпрограми. Як зазначалося в п.п. 3.3.6. підпрограми мають розширення .SPF. Назва підпрограми повинна починатися з двох латинських літер, після яких можуть стояти цифри, знаки підкреслення, літери. Максимальна довжина назви підпрограми не більше 31 символу. Наприклад: PROHOD.SPF; OTV\_12.SPF; CH1.SPF

Існує спеціальна адреса «L», яка використовується для виклику підпрограм. Після адреси «L», у назві підпрограми, може бути використано до семи цифр. Наприклад: L1.SPF; L356.SPF; L0123456.SPF.

У свою чергу кожна підпрограма може викликати іншу підпрограму. Кількість можливих рівнів вкладень максимум становить 12 з урахуванням рівня основної програми.

Для виклику підпрограми в основній програмі або іншій підпрограмі програмується кадр із назвою підпрограми без зазначення типу файлу (розширення).

Наприклад:

N10 PROHOD – виклик програми PROHOD.SPF

N10 CH1 – виклик програми CH1.SPF

N10 L356 – виклик програми L356.SPF.

Головна програма може бути викликана так само, як і підпрограма. Принцип виклику головної програми і підпрограми ідентичні.

Розглянемо приклад виклику підпрограми L1.SPF, яка містить програму обробки контуру, зображеного на рисунку 3.65, в.

N10 G17 G54 G90

N20 G0 X40 Y10

N30 G1 G42 X40 Y35 F50

N40 X85

N50 Y75

N60 X35

N70 Y30

N80 G40 X20

N90 M17

В основній програмі необхідно обробити заданий контур за 4 рівні по Z із кроком 10мм:

:901T1D1- головний кадр;

N10 M6

N20 MSG(" FREZA\_D4")

N30 S500 M3

N40 G75 Z0

N50 FGROUП(X,Y,Z)

N60 G0 G54 G90

N70 G0 X40 Y10

– вихід у початкову позицію за осями X, Y

N80 G1 Z50 F100

N90 G1 Z40 M8 F30

– вихід у початкову позицію за Z

N100 L1

– виклик підпрограми L1.SPF

N110 G1 Z30 F30

– перехід на наступний рівень по Z

N120 L1

– виклик підпрограми L1.SPF

N110 G1 Z20 F30

N120 L1

N110 G1 Z10 F30

N120 L1

N46 G0 Z50 M9

– підйом на безпечну висоту по Z

N456 G75 Z0

M30

– кінець головної програми.

### 3.4.5 Використання R- параметрів

R-параметри використовуються, коли при програмуванні необхідно виконати розрахунки деяких значень або ці значення можуть змінюватися протягом виконання як окремої програми, так і при кожному новому виконанні однієї й тієї ж самої програми.

R-параметрам можуть присвоюватись значення як безпосередньо у керуючій програмі, так і в області керування «Параметри» (п.п.3.3.4). У програмному коді R-параметр записується як Rn: де R – визначник R-параметра, а n – номер R-параметра. R-параметру може присвоюватись числове значення в діапазоні від 0,000 0001 до 999 999. Наприклад: R3=49,85; R55=-12; R18=123,1.

Значення, що присвоюється R-параметру, може бути результатом математичного розрахунку за участю інших R-параметрів або навіть цілого рівняння: R1=SIN(30); R5=R1-R2\*(SQRT(R6)/2); R3=R1/15 тощо.

У керуючій програмі усім адресам, окрім N, G, L, може бути присвоєний R-параметр. Присвоєння значення R-параметра певній адресі здійснюється в такому форматі: «адреса» = R-параметр Розглянемо декілька варіантів присвоєння різним адресам R-параметрів:

R1=5

R2=30

R3=R1\*sin(R2)

G1 X=R1 Y=R3  
X=-R1

### 3.4.6 Програмування циклів обробки

Цикли обробки в системах ЧПК Sinumerik 840D представляють підпрограми, які дозволяють виконувати певні процеси обробки, такі як: фрезерування, свердління, нарізання різь тощо. Усі необхідні для виконання обробки параметри записуються послідовно після завдання імені циклу у форматі «ім'я циклу»(параметр 1, параметр 2...параметр n).

#### 3.4.6.1 Цикл свердління CYCLE81

Для прикладу розглянемо цикл свердління CYCLE81. Для програмування циклу свердління CYCLE81 необхідно задати наступні параметри (рис.3.63):

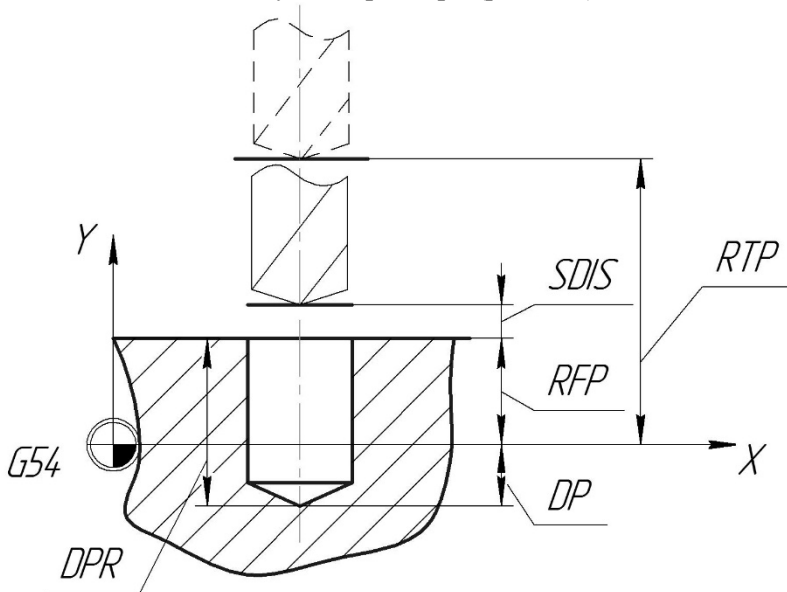


Рисунок 3.63 – Параметри циклу свердління

RTP – площина відведення – безпечна відстань над поверхнею заготовки, на якій здійснюється переміщення між точками обробки;

RFP – базова площина – відстань від системи координат деталі до поверхні, у якій виконано отвір (отвори);

SDIS – безпечна відстань – проміжок між базовою площиною і точкою початку свердління. Параметр SDIS завжди є додатною величиною;

DP – кінцева глибина свердління – відстань між нульовою точкою деталі і кінцевою глибиною свердління;

DPR – глибина свердління відносно базової площини RFP (без знаку).

Залежно від способу завдання кінцевої глибини свердління (DP або DPR) CYCLE81 програмується так:

при програмуванні кінцевої глибини

свердління DP: CYCLE81(RTP, RFP, SDIS, DP);

при програмуванні глибини свердління відносно базової площини RFP: CYCLE81(RTP, RFP, SDIS, ,DPR).

Виклик циклу здійснюється після програмування кожної координати свердління.

Якщо параметри циклу свердління незмінні для ряду отворів, що обробляються, то існує можливість використовувати модальний виклик циклу. Модальний виклик циклу виконується за допомогою команди MCALL, після якої в одному кадрі програмується цикл з параметрами:

MCALL CYCLE81(RTP, RFP, SDIS, ,DPR)

Цикл свердління виконується після кожної координати переміщення, яка буде програмуватися після вищенаведеного кадру. Вимкнення функції здійснюється програмуванням команди MCALL. Наприклад:

MCALL CYCLE81(50, 10, 2, ,10)- ввімкнення модального виклику циклу;

G0 X100 Y10- координата отвору 1;

X50 Y20- координата отвору 2;

X0 Y50- координата отвору 3;

MCALL - вимкнення модального виклику циклу.

#### 3.4.6.2 Цикли завдання систем отворів

Цикли завдання систем отворів не несуть жодної інформації щодо геометрії отворів, а описують їх розташування у просторі. Розглянемо декілька варіантів циклів завдання систем отворів.

##### Ряд отворів (HOLES1)

За допомогою циклу завдання ряду отворів задається система отворів, які лежать на одній прямій на рівному віддаленні один від одного. Для програмування циклу завдання ряду отворів HOLES1 необхідно задати наступні параметри (рис.3.64):

SPCA – координата початку відліку системи отворів за віссю X;  
 SPCO – координата початку відліку системи отворів за віссю Y;  
 STA1 – кут між системою отворів і віссю X (від -180 до 180°);  
 FDIS – відстань між першим отвором системи і початком відліку системи отворів;  
 DBH – відстань між отворами;  
 NUM – кількість отворів.

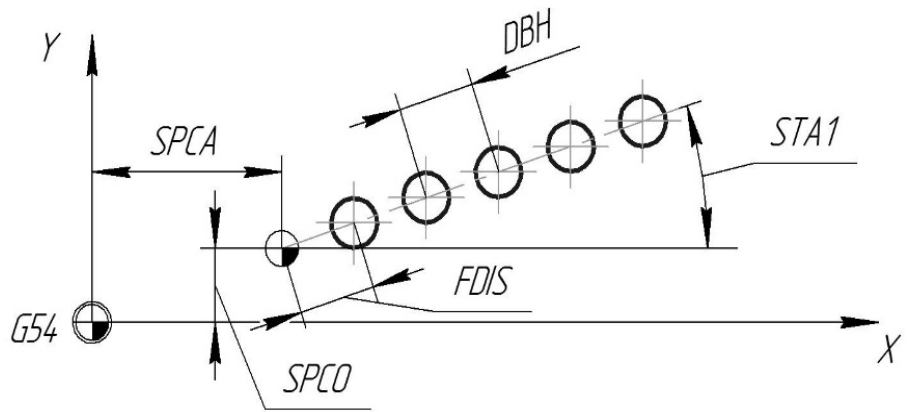


Рисунок 3.64 – Параметри циклу завдання ряду отворів HOLES1

Таким чином цикл завдання ряду отворів матиме такий вигляд:  
 HOLES1(SPCA, SPCO, STA1, FDIS, DBH, NUM).

Поєднання циклів свердління і завдання системи отворів здійснюється через модальний виклик циклу свердління. Наприклад:

MCALL CYCLE81(50, 10, 2, ,10) – ввімкнення модального виклику циклу;  
 HOLES1(100, 0, 45, 0, 10, 8) – завдання системи отворів;  
 MCALL – вимкнення модального виклику циклу.

### Матриця отворів (HOLES801)

За допомогою циклу завдання матриці отворів з'являється можливість визначення положення отворів, які розміщуються в декількох рядах і на однаковій відстані один від одного. Для програмування циклу завдання ряду отворів HOLES801 необхідно задати наступні параметри (рис.3.65):

SPCA – координата початку відліку системи отворів за віссю X;  
 SPCO – координата початку відліку системи отворів за віссю Y;  
 STA – кут між системою отворів і віссю X (від -180 до 180°);  
 DIS1 – відстань між отворами в стовпцях;  
 DIS2 – відстань між отворами в рядах;  
 NUM1 – кількість отворів в одному стовпці;  
 NUM2 – кількість отворів в одному ряду.

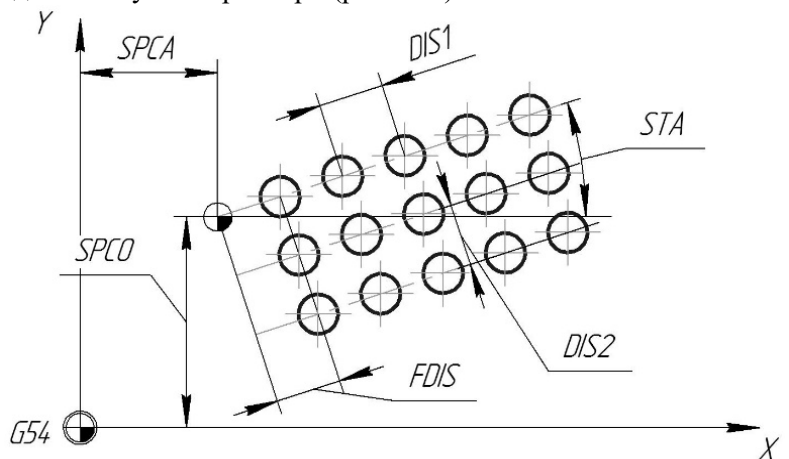


Рисунок 3.65 – Параметри циклу завдання матриці отворів HOLES801

Цикл завдання ряду отворів матиме такий вигляд:

HOLES801(SPCA, SPCO, STA, DIS1, DIS2, NUM1, NUM2).

### Круговий ряд отворів (HOLES2)

За допомогою циклу завдання кругового ряду отворів HOLES2 може бути оброблена система отворів, центри яких розміщуються на колі визначеного радіуса. Для програмування циклу завдання кругового ряду отворів HOLES2 необхідно задати наступні параметри (рис.3.66):

CPA – координата центру кола за віссю X;  
 CPO – координата центру кола за віссю Y;  
 RAD – радіус кола;  
 STA1 – кут між першим отвором і віссю X (від -180 до 180°);  
 INDA – кут між сусідніми отворами;  
 NUM – кількість отворів.

Цикл завдання ряду отворів матиме такий вигляд:  
 HOLES2(CPA, CPO, RAD, STA1, INDA, NUM).

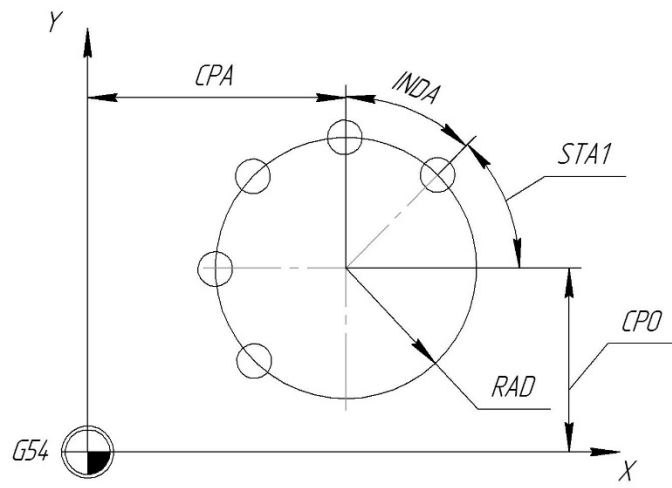


Рисунок 3.66. Параметри циклу завдання ряду отворів HOLES2.

### Контрольні питання до розділу 3

1. Дайте визначення числовому програмному керуванню верстатом. Які переваги мають верстати з числовим програмним керуванням у порівнянні з універсальним обладнанням?
2. Які існують системи числового програмного керування за способом управління робочими органами верстата?
3. Які існують системи числового програмного керування за ступенем досконалості і функціональним можливостям? Які їх основні відмінності?
4. З яких підсистем складається система числового програмного керування верстатом?
5. Які існують способи розробки керуючих програм? Назвіть їхні основні недоліки і переваги.
6. Назвіть основні етапи процесу технологічного налагодження верстата з ЧПК.
7. У чому полягає сутність процесу налагодження різального інструменту для верстатів з ЧПК? Назвіть і коротко опишіть основні способи налагодження різального інструмента.
8. У чому полягає сутність процесу встановлення нульової точки деталі? Назвіть і коротко опишіть основні способи встановлення нульової точки деталі. Які інструменти і пристосування при цьому використовуються?
9. Яка різниця між процесами налагодження фрезерних і токарних верстатів з ЧПК?
10. Коли вдаються до коригування налаштувань різального інструмента? У чому полягає сутність процесу коригування налаштувань?
11. Назвіть базові набори клавіш, які використовуються на пульті ЧПК Sinumerik 840D.
12. Назвіть основні елементи інтерфейсу екрану панелі управління стійки з ЧПК Sinumerik 840D.
13. Назвіть і коротко охарактеризуйте режими роботи в області управління «Верстат».
14. Назвіть і коротко охарактеризуйте призначення складових елементів області параметрів.
15. Назвіть призначення та основні функціональні можливості складових елементів області програмування.
16. Назвіть основні призначення і можливості областей управління програмами і діагностування.



## Тести для перевірки знань

1. Числове програмне керування верстатом, при якому переміщення його робочих органів виконується за заданою траєкторією та із заданою швидкістю, це:
  - a) позиційне числове програмне керування;
  - b) контурне числове програмне керування;
  - c) адаптивне числове програмне керування;
  - d) пряме числове програмне керування.
  
2. Управління кількома верстатами, промисловими роботами, гнучкими виробничими лініями одночасно через електронно-обчислювальну машину (ЕОМ) верхнього рівня здійснюється системою:
  - a) DNC (Direct Numerical Control);
  - b) HNC (Hand Numerical Control);
  - c) NC (Numerical Control);
  - d) CNC (Computer Numerical Control).
  
3. Система, у якій є тільки один потік інформації від відлікового пристрою до виконуючого органу називається:
  - a) розімкненою;
  - b) замкнутою;
  - c) самоналагоджуваною;
  - d) потоковою.
  
4. Функції, які відповідають за працездатність верстата в цілому і виведення інформації про стан технологічної системи верстата оператору, належать до групи:
  - a) допоміжних функцій;
  - b) функціонування;
  - c) управління;
  - d) індикації.
  
5. Верифікацією керуючої програми називається:
  - a) підтвердження і перевірка працездатності керуючої програми, її безпечного використання;
  - b) запис керуючої програми на верстат;
  - c) переведення керуючої програми з однієї на іншу мови програмування;
  - d) візуалізація і симуляція обробки деталі.
  
6. Юстируванням називається:
  - a) процес коригування налаштувань різального інструмента;
  - b) процес налагодження різального інструмента;
  - c) процес встановлення нульових точок деталі;
  - d) процес регулювання і перевірки точності приладів.
  
7. Налагодження та управління верстатом здійснюється в:
  - a) покадровому режимі;
  - b) режимі підведення до референтної точки;
  - c) режимі ручного введення даних;
  - d) режимі ручного управління.
  
8. Таблиця інструментів заповнюється оператором верстата з ЧПК в області управління:
  - a) «Параметри»;
  - b) «Верстат»;
  - c) «Програмування»;
  - d) «Діагностування».
  
9. Тип файлів основної програми в системі ЧПК Sinumerik 840D:
  - a) WPD;
  - b) UFR;

- c) SPF;
  - d) MPF.
10. Сутність програмування в абсолютних координатах полягає у тому, що:
- a) координати точок відраховуються від нульової точки верстата;
  - b) координати точок відраховуються від попередньої точки;
  - c) координати точок відраховуються від нульової точки деталі;
  - d) координати точок відраховуються від визначеної референтної точки.
11. Слова з адресом G у програмуванні називають:
- a) допоміжними;
  - b) базовими;
  - c) функціональними;
  - d) підготовчими.
12. Підпрограма закінчується M-кодом:
- a) M3;
  - b) M8;
  - c) M30;
  - d) M17.
13. Яка адреса використовується для визначення номера коректора різального інструмента:
- a) D;
  - b) B;
  - c) M;
  - d) R.
14. Функція G17 відповідає робочій площині:
- a) XZ;
  - b) XY;
  - c) AX;
  - d) YZ.
15. Із чого складається слово даних у керуючій програмі:
- a) кадр+значення;
  - b) адреса+значення;
  - c) значення+символ;
  - d) перемінна+адреса.
16. Обертання шпинделя за годинниковою стрілкою програмується за допомогою команди:
- a) M5;
  - b) M8;
  - c) M3;
  - d) M4.
17. Код G41:
- a) умикає корекцію на радіус інструмента;
  - b) змінює нульову точку деталі;
  - c) вимикає корекцію на радіус інструмента;
  - d) перемикає на прискорені переміщення.
18. Величина подачі задається за допомогою адреси:
- a) M;
  - b) F;
  - c) S;
  - d) T.

19. Для переривання обробки деталі за керуючою програмою на будь-якому етапі її виконання, а також видалення помилок використовується клавіша:

- a) SELECT;
- b) CYCLE STOP;
- c) INSERT;
- d) RESET.

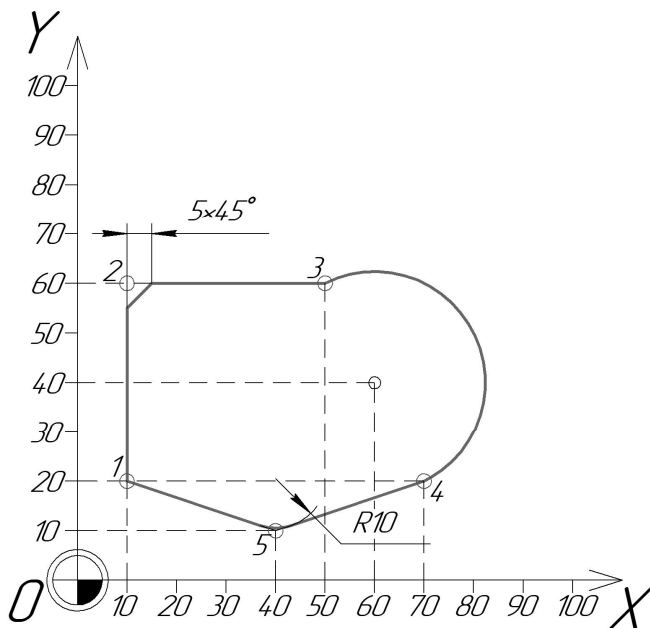
20. Для визначення робочої системи координат використовують коди:

- a) G41-G49;
- b) G84-G89;
- c) G54-G59;
- d) G90-G91.

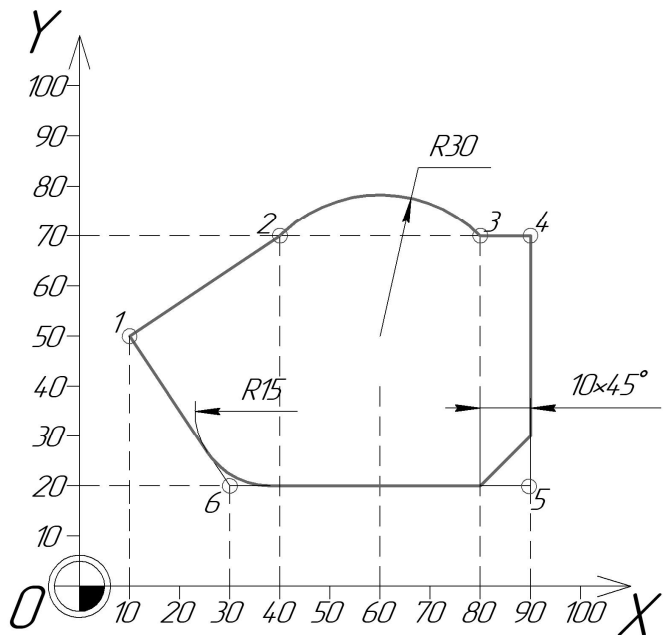
## Практичні завдання

1. Розробіть керуючу програму обробки заданого контуру.
  2. Додайте до керуючої програми введення корекції на радіус інструмента в будь якій точці контуру.
  3. Додайте до керуючої програми технологічний перехід, у якому виконується обробка заданого контуру, точка 1 котрого матиме координати X100, Y100.
  4. Додайте до керуючої програми технологічний перехід, у якому виконується обробка заданого контуру повернутого навколо нульової точки деталі на  $120^\circ$  за годинниковою стрілкою.
  5. Додайте до керуючої програми технологічний перехід, у якому виконується обробка заданого контуру дзеркально відображеного вздовж вісі X.
- Приклади керуючих програм наводяться в додатку Г.

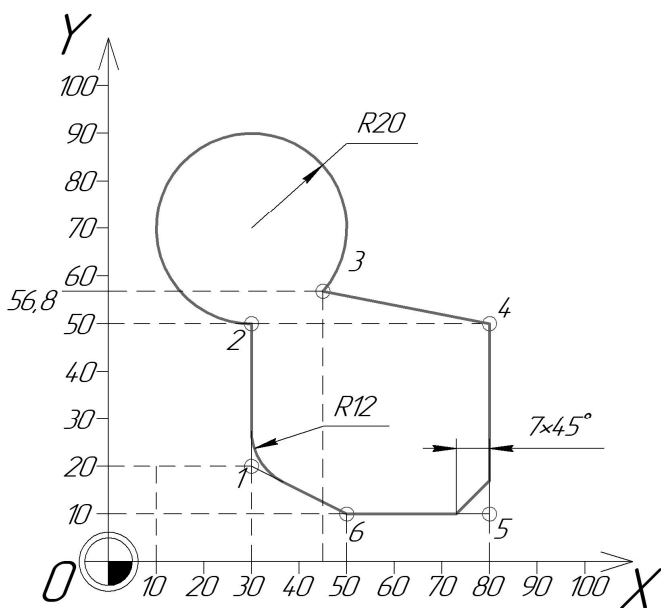
### Задача 1



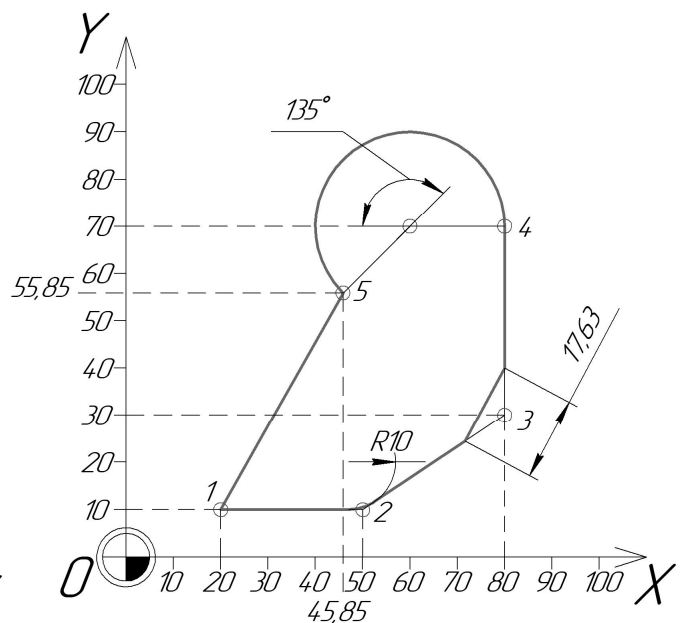
### Задача 2



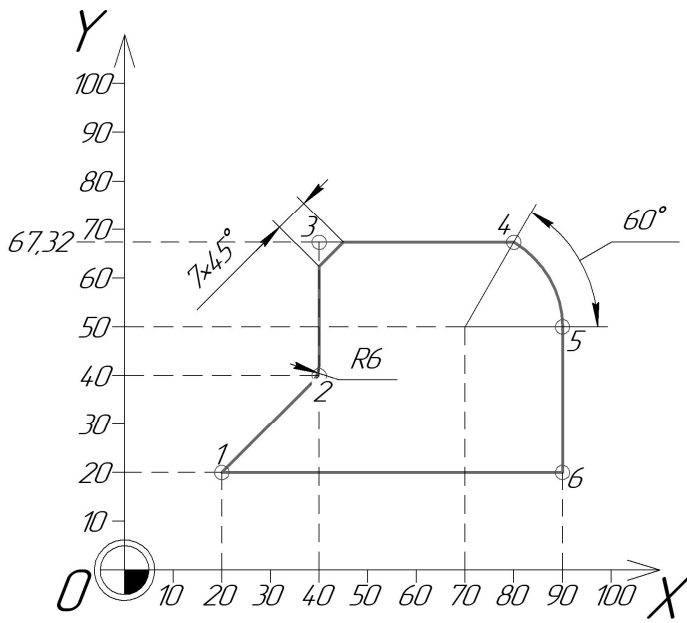
### Задача 3



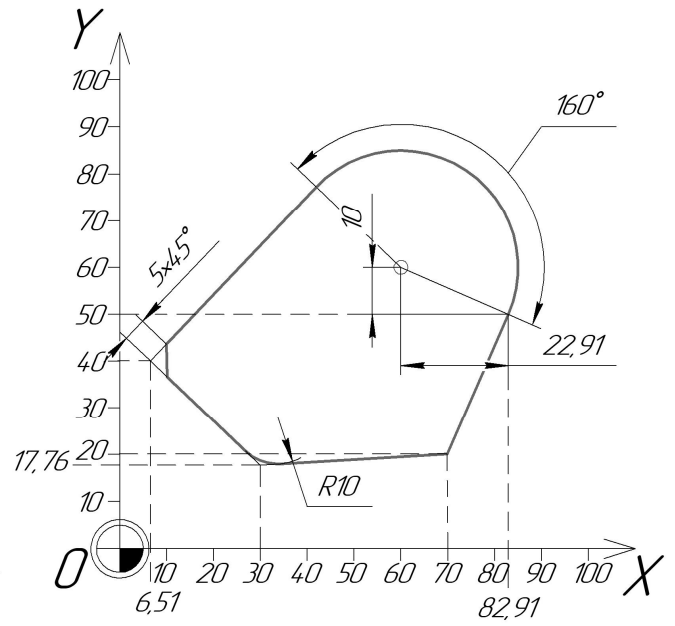
### Задача 4



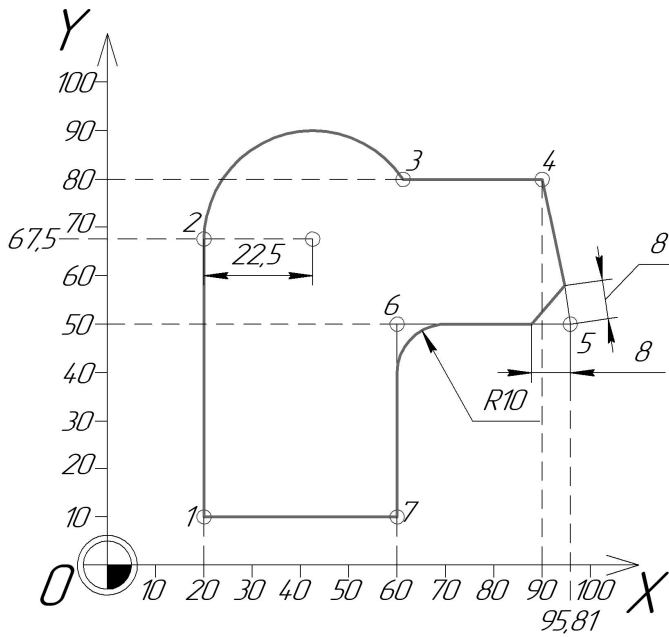
Задача 5



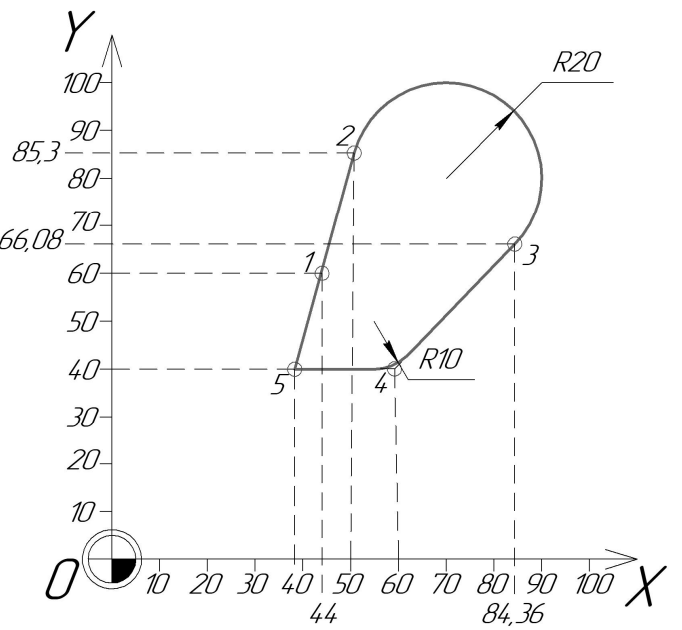
Задача 6



Задача 7



Задача 8



## РОЗДІЛ 4. Модернізація верстатів з ЧПК

Рівень розвитку машинобудування, а в кінцевому підсумку і промисловий потенціал країни значною мірою залежить від типу металорізальних верстатів, темпів розвитку верстатобудування, рівня якості верстатів, питомої ваги автоматизованого обладнання, в тому числі і з числовим програмним керуванням, мобільності верстатного парку для виготовлення різноманітних виробів, високої ефективності експлуатації верстатів.

На сьогодні у промисловості склалася ситуація, коли обладнання, яке використовується, морально та фізично застаріло, а закупівля нового потребує значних капіталовкладень. Експлуатація та ремонт внаслідок фізичного зношування та відсутності запасних частин стає дорожчою. В більшості випадків обладнання не відповідає технічним вимогам з причин зношування механічних та гідравлічних вузлів, а також електричної та електронної частин: електродвигунів, приводів і систем управління.

Верстат, як багатопараметрична система з великою кількістю внутрішніх зв'язків, повинен надійно функціонувати, із найбільшою продуктивністю виконувати покладені на нього технічні завдання. Все це зумовлює необхідність підтримки верстатів у відповідності з сучасними вимогами стані, що можливо здійснювати лише за рахунок високоякісної модернізації.

### 4.1 Загальні поняття та визначення

Слово модернізація походить від французького *modern*- новітній.

Модернізація діючого обладнання – це внесення у конструкцію машини змін та удосконалень, які підвищують її технічний рівень і експлуатаційні параметри – продуктивність, довговічність і точність, безпечність роботи, легкість обслуговування.

Модернізацію проводять також для усунення морального або фізичного зношування обладнання. В цьому випадку відпадає необхідність заміни морально застарілого обладнання. Причиною модернізації може бути низька ефективність використання технологічного обладнання та високі витрати на виробництво, а для розширення технологічних можливостей верстата, збільшують кількість керуючих координат. До основних напрямків модернізації відносять: підвищення швидкодійності, потужності, жорсткості, вібростійкості, надійності, скорочення допоміжного часу, автоматизацію робочого циклу, концентрацію операцій, покращення експлуатаційних якостей.

Заходи щодо поліпшення експлуатаційних якостей обладнання, підвищення довговічності та ремонтпридатності часто називають ремонтною модернізацією, а заходи які відносяться до інших напрямків модернізації – технологічною модернізацією. До робіт з модернізації відносять також конструктивні переробки обладнання, що дозволяють використовувати верстат для роботи, до якої він не був призначений, або робіт зовсім не притаманних для даного виду обладнання. Такого роду конструктивні зміни обладнання можна об'єднати в наступні групи, які являють додаткові напрямки модернізації:

- а) спеціалізація;
- б) зміна технологічного призначення;
- в) розширення технологічних можливостей.

На сьогодні, коли основна частина металообробного обладнання складається з верстатів, швидкодійність і потужність яких дозволяють повністю використовувати можливості сучасного різального інструменту, відмічені додаткові напрямки модернізації стають переважними.

Удосконаленню конструкції при експлуатації піддається не тільки застаріле обладнання, випуск якого припинений, а і верстати нових моделей, якщо вони не в змозі виконати необхідну специфічну роботу. Прикладом цього може слугувати модернізація багатокоординатного верстата для обробки нежорстких великогабаритних деталей з жароміцних матеріалів на підприємстві АО «Мотор Січ»

В залежності від технічної спрямованості, розрізняють загальнотехнічну і технологічну цільову модернізацію.

За умов одиничного і дрібносерійного виробництва, яке характеризується широкою номенклатурою продукції, що випускається, повинна переважати комплексна *загальнотехнічна модернізація*. Вона забезпечує покращення цілої низки технічних і експлуатаційних характеристик діючого обладнання. При серійному виробництві з обмеженою номенклатурою виробів, доцільно проводити часткову загальнотехнічну модернізацію, яка забезпечує підвищення технічних показників верстатів, що лімітують дане підприємство. *Часткова модернізація* – проводиться у відношенні до одиниць або елементів обладнання з мінімальною затримкою виробничого циклу і не впливає на номенклатуру продукції, що випускається. До випадків часткової модернізації на підприємстві можна віднести заміну окремих одиниць обробного обладнання або їх елементів. За умов багатосерійного і масового виробництва з вузькою номенклатурою продукції, що випускається, і усталеною технологією найбільше значення має *технологічна*

(цільова) модернізація. Вона спрямована на вирішення окремих технологічних завдань виробництва, впровадження прогресивних технологічних процесів та автоматизацію виробництва.

Основними напрямками модернізації застарілого парку верстатного обладнання машинобудівних підприємств є модернізація з доведення верстатів до рівня сучасних вимог техніки безпеки і підвищення їх технічних характеристик, збільшення потужності приводу, розширення діапазонів швидкостей і подач. Ці заходи супроводжуються виконанням робіт, пов'язаних з підвищенням жорсткості і вібробійкості верстата, що дозволяє підвищити режими обробки та скоротити машинний час.

Оснащення верстатів в процесі модернізації механізованими завантажувальними пристроями, системами програмного керування та іншими пристроями, які автоматизують цикл роботи верстата та скорочують допоміжний час і вивільнюють оператора, дають можливість для багатостатного обслуговування.

Підвищення експлуатаційних властивостей верстатів і подовження термінів їх працездатності можливе за рахунок заходів, що проводяться для забезпечення довговічності окремих деталей і вузлів, відновлення точності і продуктивності верстатів. Основний напрямок робіт тут пов'язаний зі зниженням інтенсивності зношування деталей верстата, особливо напрямних базових деталей (станин, стійок, траверс та інше) і, відповідно, зниженням його впливу на працездатність верстата.

#### 4.2 Підходи до модернізації верстата з ЧПК та типи робіт

Одним з найбільш важливих факторів, які визначають конкурентоздатність промислового підприємства, є наявність гнучкого, переналаджувального виробництва, до створення якого є декілька підходів. *Системний підхід* – визначає його економічну ефективність, в першу чергу, це випуск продукції з низькою собівартістю, яка буде максимально відповідати індивідуальним потребам. Це не просто поставка верстатів або їх капітальний ремонт, але й розробка технології керуючих програм, вибір і поставка інструменту, визначення стратегії обробки та режимів різання. Системний підхід має на увазі уніфікацію компонентів, автоматизацію процесів, сервісне обслуговування і навчання персоналу, можливість розширення і удосконалення виробництва. Такий підхід повинен реалізовуватись при модернізації технологічного обладнання.

Слід мати на увазі, що головним виробничим завданням будь-якого промислового підприємства є випуск продукції, що максимально точно відповідає вимогам технічної документації. Для цього, перш за все, необхідно виконувати вимоги стандарту ISO-9001, основною ідеєю якого є *процесний підхід*, коли будь-який об'єкт виробничих відношень (підприємство, цех, служба, відділ, дільниця, виробнича одиниця і ін.) розглядаються як самостійний процес. В ньому є визначена кількість входів і виходів, завдяки яким конкретний процес пов'язаний з іншими процесами:

- повинна бути єдина технічна політика в галузі модернізації верстатів з ЧПК;
- необхідний стандарт з експлуатації верстатів з ЧПК;
- повинні бути пропрацьовані при складанні плану модернізації питання, які знаходяться на межі областей відповідальності оператора, програміста-технолога, наладчика, ремонтника;
- слід чітко розподілити функції між оператором і наладчиком;
- необхідно обмежити доступ до керуючих програм за рахунок введення системи паролів, які використовуються для коректування, програмісту-технологу, наладчику, ремонтнику, оператору;
- максимально використовувати можливості CAD/CAM- систем.

Зазвичай питання пошуку рішень з модернізації діючих верстатів з ЧПК ставиться під конкретні групи деталей та конкретні технологічні завдання. Основою для таких рішень буде *модульний підхід* (принцип побудови обладнання, яке модернізується, або *агрегатування*). Наприклад такий підхід дозволяє підприємствам, які виробляють дрібносерійну продукцію, вести послідовну фрезерну (включаючи зубо- і шліцеобробку), токарну, свердлильну, розточувальну і навіть шліфувальну обробку різних деталей, з використанням високопродуктивної технології та різального інструменту, за одну установку, на одному робочому місці, в автоматизованому циклі без безпосередньої участі оператора. При цьому завдяки застосуванню інтегрованих CAD/ CAM – систем, сучасних приводів і систем ЧПК отримується висока гнучкість виробництва від проектування до виготовлення.

Для реалізації цього підходу використовуються базові деталі (основа верстата, що модернізується) та придбані вироби (системи, агрегати, механізми і ін.):

- системи з ЧПК;
- швидкодіючі сервоприводи (як вітчизняного так і закордонного виробництва);
- кульково-гвинтові пари;
- кулькові та роликові лінійні напрямні;

- лінійні приводи для переміщень за додатковими осями;
- силові та швидкісні кільцеві двигуни, що дозволяють виключити зубчасті передачі;
- мотор-шпинделі різного застосування;
- станції для температурного регулювання шпиндельних вузлів та лінійних напрямних;
- станції для циркуляційного та імпульсного мащення верстата;
- станції мастильно-охолоджуючих технологічних рідин;
- сучасні кабель-канали для укладення шин управління верстатом та засоби захисту напрямних;
- сучасні магазини і маніпулятори для заміни інструмента та спеціального оснащення;
- сучасні інтегровані CAD/CAM- системи з мережевою підтримкою керуючого обладнання, що дозволяють працювати безпосередньо з 3D- моделями та моделювати весь процес обробки.

Після вибору необхідних складових (ЧПК, приводів, КПП та ін.) для вирішення конкретного технологічного завдання проектується та виготовляється необхідний конструктивний елемент для механічного стикування з базовими деталями верстата, який модернізується.

Перевагами такого підходу є висока гнучкість та ефективність виробництва, що дозволяє не тільки скоротити час технологічного процесу та знизити фінансові витрати, а й повністю виключити суб'єктивний фактор у роботі. Для обслуговування верстата після модернізації замість декількох висококваліфікованих верстатників, потрібен один оператор для установлення-зняття деталі, прив'язки системи координат та візуального спостереження за процесом обробки.

Послідовність процедур, які використовуються в процесі прийняття рішення про модернізацію і її реалізації, не відрізняються новизною, але проблеми приховуються в деталях. Розробку проекту проводить підприємство власноруч або доручає спеціалізованим організаціям. Для цього створюються завдання на проектування, яке включає в себе базові показники обладнання, що модернізується.

В процесі підготовки і проведення модернізації вирізняють два взаємопов'язаних типи робіт: *організаційні та технічні*.

*Організаційні роботи* пов'язані з виробленням стратегії модернізації промислового виробництва, в структуру якої входить мережеві графіки ходу виконання технічних етапів робіт, включаючи попередню розробку проекту. Виконання цих графіків буде запорукою успішного завершення процесу.

*Технічні роботи* включають в себе безпосередньо роботи, пов'язані з виконанням функцій обладнання, яке модернізується, прив'язку або монтаж нових складових елементів до базових деталей та пусконаладжувальні роботи. Монтажні роботи виконуються по мережевому графіку, в якому установлюється послідовність і терміни монтажу. По закінченню робіт підписуються акти здавання-прийняття та пакет технічної документації.

#### **4.3 Підготовка технічної документації на модернізацію обладнання**

До технічної документації на модернізацію відносять перш за все проекти модернізації, які розробляються на основі технічних завдань. При їх складанні відділи головного технолога повинні передбачити підвищення техніко-економічних та експлуатаційних параметрів і показників верстата, який модернізується, до рівня, відповідного сучасним моделям. Відділ головного механіка доповнює технічне завдання заходами, що забезпечують підвищення надійності, довговічності і ремонтпридатності. Відділ техніки безпеки повинен слідкувати, щоб в технічному завданні були враховані вимоги техніки безпеки та передбачались заходи з полегшення праці на обладнанні, яке модернізується.

Технічний проект модернізації і робочі креслення розробляють конструкторські підрозділи, які знаходяться у складі відділів головних механіків підприємства або відділів головного технолога. Інколи на великих заводах ці роботи виконують спеціальні бюро механізації та модернізації, які підпорядковані головному інженеру, або його заміснику з підготовки виробництва.

Основою для організації систематичної і ефективної роботи з покращення експлуатаційних якостей обладнання слугує облік та аналіз відмов, використання даних про дефекти, які регулярно виникають у обладнанні, а також результатів вибіркового інспекторських обстежень працюючого обладнання, призначених для перевірки загального технічного стану. Результати цієї роботи необхідно використовувати при модернізації, яка проводиться з технологічних міркувань, оскільки при цьому вона отримує характер комплексної модернізації. Вони використовуються також для часткової модернізації, що здійснюється для підвищення ремонтпридатності з ініціативи відділу головного механіка. Підвищення ремонтпридатності досягається шляхом: конструктивних змін окремих механізмів обладнання, в результаті чого забезпечується більша доступність для ремонту і заміни деталей, спрощується і полегшується демонтаж і монтаж деталей і механізмів гідроапаратури, електроапаратури та ін.; створення і збереження технологічних баз і деталей для їх ремонтної обробки; установлення запобіжних і блокувальних пристроїв і діагностичних датчиків; застосування різних методів компенсації зносу; уніфікації деталей та вузлів і ін.



Зміни в конструкції і технічних параметрах верстата, що проведені при модернізації, вносять в його технічний паспорт. При великих обсягах змін в конструкції і параметрах, за умови зміни його технологічного призначення або спеціалізації, складають новий паспорт.

#### **4.3.1 Техніко-економічне обґрунтування модернізації металорізальних верстатів**

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) являє собою аналіз, розрахунок і оцінку економічної доцільності здійснення визначеного проекту підприємства, створення нового технічного об'єкту, або його модернізації. ТЕО ґрунтується на порівнянні затрат і результатів, установленні ефективності використання, терміну окупності вкладень.

##### **4.3.1.1 Загальні вказівки до виконання ТЕО**

Головною особливістю проектів модернізації за фахом «Металорізальні верстати та системи» є наявність бази порівняння розробок, тобто аналога. Такою базою є реально існуюча машина-технологічне обладнання для обробки металів різанням, тобто те, що бере безпосередню участь у виробництві продукції.

Таким чином, до моменту початку виконання економічних розрахунків, проектувальник, крім іншого, повинен визначити основні параметри розроблюваної і знати аналогічні параметри базової моделі машини. Ці дані є вихідними для проведення техніко-економічного обґрунтування проекту.

Сутність техніко-економічного обґрунтування полягає в наступному:

— розглядається два варіанти, згідно з якими підприємство починає одночасно експлуатувати базові і модернізовані верстати і порівнює отримані від їх експлуатації результати протягом першого року їх роботи. Для зручності порівняння результатів роботи машин в зазначений період передбачається, що в обох варіантах проводиться випуск однакової продукції. В силу різних технічних характеристик машин, при інших однакових умовах, кількість продукції, виробленої машинами за рік, буде різною;

— виконується порівняння результатів експлуатації верстатів – базового і модернізованого. Визначається економічна вигода від такого придбання за двома варіантами, і порівнюються отримані результати.

Як показують сучасні умови господарювання, використання тут традиційних методик (визначення економічного ефекту) не є цілком достатнім. Це обумовлено тим, що за такими методиками визначаються так звані «приведені витрати», простіше кажучи, витрати на придбання обладнання та виробництво на ньому продукції. В умовах ринкової економіки виробника продукції в більшій мірі цікавлять не власні витрати, а доходи від реалізації продукції, точніше різниця між доходами і витратами, тобто прибуток, який виробник може отримати від своєї діяльності і яким може розпоряджатися надалі на свій розсуд. Тому згадане вище порівняння повинно виконуватися і за собівартістю і за доходами від реалізації продукції.

Пропонована тут методика є універсальною для великого розмаїття тем проектування, тому що вона не вимагає в кожному новому випадку маси додаткових специфічних даних. Використання методики дозволяє, укрупнено врахувати всі можливі аспекти економічних розрахунків і отримати при цьому узагальнюючий результат.

Розробка спрощеного варіанту ТЕО модернізації передбачає виконання десяти етапів:

- 1 Вихідні дані.
  - 2 Організаційно-технічна частина.
  - 3 Опис продукції.
  - 4 Аналіз ринку.
  - 5 Ціни реалізації базового та модернізованого верстата.
  - 6 Вартість основних виробничих фондів підприємства, де буде установлений верстат.
  - 7 Фонд часу роботи нового верстата.
  - 8 Собівартість річного обсягу випуску продукції.
  - 9 Розрахунок ціни і чистого прибутку річного випуску продукції.
  - 10 Складання техніко-економічних показників проекту.
- Розглянемо більш детально зміст кожного етапу ТЕО.

##### **1 Вихідні дані**

Вихідні дані наводяться в самому початку ТЕО у вигляді таблиці (Додаток Д) відразу після назви розділу проекту.

##### **2 Організаційно-технічна частина**

Для виконання ТЕО повинні бути сформульовані вихідні положення. Всі вони наводяться у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Організаційно-технічні умови реалізації проекту

| Вихідні положення   | Формулювання умов положень |
|---|----------------------------|
| 1. Елементи технологічної та конструкторської новизни проекту   |                            |
| 2. Що імовірно дає реалізація проекту в порівнянні з базовим варіантом  |                            |
| 3. Можливі економічні показники використання модернізованого верстата (продуктивність, ремонтпридатність ін.) |                            |

### 3 Опис продукції

Необхідно конкретно і лаконічно відповісти на питання (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Опис верстата

| Питання  | Відповідь |
|--|-----------|
| 1. Де і для чого використовується верстат?                               |           |
| 2. Які якості дозволять віддати перевагу новому варіанту, а не базовому? |           |

### 4 Аналіз ринку

Наводяться конкретні відповіді на питання (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Оцінка ринку збуту

| Питання   | Відповідь |
|---|-----------|
| 1. Приблизна якість модернізованого і базового верстата |           |
| 2. Попит на подібні верстати на ринку                   |           |
| 3. Висновок про становище на ринку                      |           |

### 5 Ціна реалізації базового і нового верстата

В рамках цього підрозділу слід визначити ціну реалізації верстата за базовим і новим варіантам. Тут, вже на самому початку розрахунків, виникають певні складнощі, обумовлені відсутністю реальних даних про умови ринку, покупців, конкурентів, власне на підставі яких і призначається ціна продукції. Наприклад, в реальних умовах ринкового господарювання, на призначення ціни обладнання впливають такі чинники:

- гнучкість попиту – зростання цін зумовлює зменшення попиту, і навпаки;
- високі технічні параметри та низька вартість експлуатації – вони важливі для потенційного покупця не менше, ніж ціна;
- орієнтація на отримання прибутку і оцінка потенційних покупок, з огляду на їх ефективність – вони впливають на вибір товару покупцем і за ступенем їх важливості розташовуються так: якість, технічне обслуговування, ціна;
- можливість надати готовому виробу більшої привабливості для покупців – доступні ціни, узгоджені з показниками якості товару.

Зі сказаного вище випливає, що для обчислення ціни реалізації верстата за базовим і новим варіантам, необхідно прийняти певні попередні умови, тобто має виконуватися положення, відповідно до якого ціна реалізації верстата визначається за однією і тією ж методикою. Це дає можливість поставити варіанти в однакові початкові умови і проводити розрахунки виходячи з цих умов. При цьому реальні і розрахункові вартісні показники можуть відрізнитися, що говорить тільки про те, що в ринкових умовах господарювання, поняття «тверда ціна на продукцію» не є обов'язковим. Нижче наводиться методика розрахунку орієнтовної, тобто середньозваженої ціни реалізації машини, яка ставить базовий і новий варіанти в однакові початкові умови.

Величини вартості (цін) машин  $V_{VT}$ , грн., і різниця цін  $\Delta V_{VT}$ , визначається за формулами:

$$V_{VT}^B = 1,20 \times M_{VT}^B \times V_{ПОВН}^{1T} \times K_{ABT} \times K_T \times (1 + N_{ПР}) \times 1,10^{(PIK)} \quad (4.1)$$

$$V_{VT}^H = 1,20 \times M_{VT}^H \times V_{ПОВН}^{1T} \times K_{ABT} \times K_T \times K_{P.3} \times K_{EK} \times K_{ЧР} \times K_{СН.КВ} \times K_{ПР} \times K_{ТОЧН} \times (1 + N_{ПР}) \times 1,10^{(PIK)} \quad (4.2)$$

$$\Delta V_{VT} = V_{VT}^H - V_{VT}^B, \quad (4.3)$$

де  $1,20$  – коефіцієнт обліку податку на додану вартість для переходу від оптової ціни підприємства до роздрібною ціни;  $M_{VT}^B$ ,  $M_{VT}^H$  – маса верстата, т, (задана у вихідних даних);  $V_{ПОВН}^{1T}$  – повна середня собівартість випуску однієї тони маси верстата, грн./т, приймається рівною 12000...14000 грн./т (більші

значення для верстатів масою менше 3000 кг);  $K_{авт}$ ,  $K_T$  – коефіцієнти, що враховують наявність засобів автоматизації в машині і збільшення точності обробки заготовок в порівнянні з верстатом звичайної точності;  $N_{пр}$  – норма прибутку при реалізації верстата підприємством виробником, становить 0,25...0,35 (25...35%), або призначається самостійно, але в обох випадках вона повинна бути однаковою;  $K_{р.з}$  – коефіцієнт, що враховує зміну розмірів оброблюваних заготовок на машині нового варіанту в порівнянні з базовим;  $K_{ек}$  – коефіцієнт, що враховує економію електроенергії на машині нового варіанту в порівнянні з базовим;  $K_{чр}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення фонду часу роботи за рахунок скорочення часу регламентів, на верстаті нового варіанту в порівнянні з базовим;  $K_{пр}$  – коефіцієнт, що враховує підвищення продуктивності на верстаті нового варіанту в порівнянні з базовим;  $K_{точн}$  – коефіцієнт, що враховує підвищення точності обробки продукції в рамках одного квалітету;  $1,10^{(РІК)}$  – коефіцієнт врахування інфляційних процесів в економіці (в показник ступеня замість слова «рік» підставляються дані за часом розрахунку – число відповідне розрахунковому року). Призначення коефіцієнтів  $K_{авт}$ ,  $K_T$ ,  $K_{р.з}$ ,  $K_{ек}$ ,  $K_{чр}$ ,  $K_{пр}$ ,  $K_{точн}$  виконується на підставі вихідних даних. Порядок призначення наведено (Додаток Е).

## 6 Вартість капіталовкладень в основні виробничі фонди підприємства, де буде встановлено верстат

Основні виробничі фонди беруть участь у виробничому процесі тривалий час (не менше року), зберігаючи при цьому свою натуральну форму, а їх вартість переноситься на вартість продукції, що виготовляється поступово, по частинах, у міру зношування.

Загальна орієнтовна вартість капіталовкладення (або реальних інвестицій, або, простіше кажучи, грошових коштів) в основні виробничі фонди (ОВФ) в балансових цінах (тобто в цінах, по яких вони числяться на балансі підприємства, на першому році експлуатації) підприємства, яке придбає і встановить у себе машину  $K_{заг}$ , грн., визначається за формулами:

$$K_{заг}^B = V_{ст}^B + 1,2 \times V_{ст}^B \quad (4.4)$$

$$K_{заг}^H = V_{ст}^H + 1,2 \times V_{ст}^B, \quad (4.5)$$

де  $V_{ст}^B$ ,  $V_{ст}^H$  – вартість реалізації верстата в базовому і модернізованому варіантах, грн., визначена за формулами (4.1), (4.2);  $1,2$  – коефіцієнт врахування витрат на основні фонди (фундамент і комунікації, на виробничу будівлю, виробничий інвентар тривалого терміну використання, побутові і складські будівлі, споруди та ін.).

## 7 Фонд часу роботи нового верстата

Модернізація або реконструкція, визначеного завданням на проектування верстата, дозволяє змінити тривалість його експлуатації, тобто збільшити річний ефективний фонд часу роботи  $\Phi_E^H$ , год., в порівнянні з базовим  $\Phi_E^B$ , год. Визначимо ці величини:

$$\Phi_E^B = \Phi_{норм} \quad (4.6)$$

$$\Phi_E^H = \Phi_{норм} \times (I_{ф.ч}/100\%), \quad (4.7)$$

де  $\Phi_{норм}$  – нормативний ефективний фонд часу роботи обладнання, год., призначається за даними (Додаток Е);  $I_{ф.ч}$  – зміна фонду часу роботи на модернізованому верстаті в порівнянні з базовим (задано у вихідних даних).

## 8 Собівартість річного випуску продукції

*Собівартість* – це грошовий вираз використовуваних в процесі виробництва продукції сировини, матеріалів, палива, енергії, трудових ресурсів, основних фондів та інших витрат на її виготовлення.

Модернізація або реконструкція, визначеного завданням на проектування верстата, дозволяє змінити обсяг річного випуску продукції і як результат змінити собівартість річного випуску продукції.

Собівартість річного випуску продукції  $C_{п. рік}$  визначається за формулами:

$$C_{п. рік}^B = 0,85 \times (\Phi_E^B / T_p) \times M_{дет} \times C_{с.іт} \times 1,10^{РІК} \quad (4.8)$$

$$C_{п. рік}^H = [0,85 \times (\Phi_E^H / T_p) \times (I_{пр}/100\%) \times M_{дет} \times C_{с.іт} \times 1,10^{РІК}] - [0,30 \times N_{прив} \times \Phi_E^H \times (1 - (I_{п.е}/100\%)) \times 0,35] - [0,08 \times V_{ст}^H \times (1 - (I_{в.рем}/100\%))], \quad (4.9)$$

де  $0,85$  – середній коефіцієнт завантаження металорізального обладнання,  $\Phi_E^B$ ,  $\Phi_E^H$  – ефективні фонди часу роботи машин, визначені за формулами (4.6) і (4.7);  $T_p$  – трудомісткість виготовлення деталі-представника, н-год. (задана у вихідних даних);  $M_{дет}$  – маса деталі-представника, т (задана у вихідних даних);  $C_{с.іт}$  – собівартість однієї тони оброблених деталей (Додаток Е);  $0,30$  – середній коефіцієнт попиту при відборі електроенергії на металорізальних машинах в одиничному виробництві;  $I_{пр}$  – зміна продуктивності нової машини, в порівнянні з базовою, % (задано у вихідних даних);  $N_{прив}$  – потужність головного приводу верстата (задана у вихідних даних);  $I_{п.е}$  – зміна споживання електроенергії, % (задано у вихідних даних);  $0,35$  – вартість одного кВт-год. електроенергії для підприємств, грн.;  $V_{ст}^H$  – вартість нової

машини (формула 4.2);  $I_{в.рем}$  – зміна витрат на ремонт (див. п.4 – вхідні данні);  $1,10^{(РІК)}$  – (формули (4.1), (4.2)).

### 9 Розрахунок ціни і чистого прибутку річного випуску продукції

Розрахунок ціни здійснюється, виходячи з прогнозованих обсягів виробництва на рік, сформованих на ринку цін на аналогічну продукцію, внутрішніх витрат підприємства та багатьох інших факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру. Відповідно до цього припускаємо, що за перший рік випуску продукції її собівартість буде такою, якою ми визначили, і вся продукція буде реалізована.

Існує три стратегії ціноутворення:

- *стратегія, заснована на витратах*: розраховують витрати виробництва, а потім додають бажаний прибуток, попит не враховується, використовуються нижня ціна товару-мінімальний рівень покриття витрат;
- *стратегія, заснована на попиті*: встановлюють ціну після вивчення потреб ринку, при цьому призначається максимальний рівень ціни, який споживач може «осилити»;
- *стратегія, заснована на конкуренції*: ціни призначають в залежності від споживачів, наданого сервісу, реальних і передбачуваних відмінностей між власними товарами і товарами конкурентів.

Використовуючи першу стратегію визначимо ціну на продукцію за спрощеною методикою і розраховуємо за двома варіантами-базовому і новому. Величина оптової ціни продукції (без ПДВ)  $Ц_{пр}$  грн., визначається за формулами:

$$Ц_{пр}^B = C_{п.рик}^B \times (1 + N_{пр}) \times 1,10^{(РІК)} \quad (4.10)$$

$$Ц_{пр}^H = C_{п.рик}^H \times (1 + N_{пр}) \times K_{точн} \times 1,10^{(РІК)}, \quad (4.11)$$

де  $C_{п.рик}^B$ ,  $C_{п.рик}^H$  – визначені за формулами (4.8) і (4.9);  $N_{пр}$  – норма прибутку при реалізації машини підприємством виробником, становить 0,25...0,35 (25...35%), або призначається самостійно, але в обох випадках вона повинна бути однаковою;  $K_{точн}$  – коефіцієнт, що враховує підвищення точності обробки продукції в рамках одного квалітету, призначається на підставі вихідних даних (Додаток Д);  $1,10^{(РІК)}$  – див. формули (4.1), (4.2).

Щорічний чистий прибуток від реалізації продукції,  $П_{чист}$ , грн., і приріст чистого прибутку  $\Delta П_{чист}$ , грн., визначається за формулами:

$$П_{чист}^B = (1 - 0,19) \times (Ц_{пр}^B - C_{п.рик}^B) \quad (4.12)$$

$$П_{чист}^H = (1 - 0,19) \times (Ц_{пр}^H - C_{п.рик}^H) \quad (4.13)$$

$$\Delta П_{чист} = П_{чист}^H - П_{чист}^B, \quad (4.14)$$

де 0,19 – норма податку на прибуток;  $Ц_{пр}^B$ ,  $Ц_{пр}^H$  – визначені за формулами (4.10) і (4.11);  $C_{п.рик}^B$ ,  $C_{п.рик}^H$  – визначені за формулами (4.8) і (4.9).

Чистий прибуток  $П_{чист.мод}$  і приріст чистого прибутку, отриманий за рахунок модернізації металорізального верстата  $\Delta П_{чист.мод}$  грн., визначається за формулою:

$$П_{чист.мод}^B = Ч_{тр} \times П_{чист}^B \quad (4.15)$$

$$П_{чист.мод}^H = Ч_{тр} \times П_{чист}^H \quad (4.16)$$

$$\Delta П_{чист.мод} = Ч_{тр} \times \Delta П_{чист}, \quad (4.17)$$

де  $Ч_{тр}$  – частка трудомісткості виготовлення продукції на даному металорізальному верстаті в загальному часу трудомісткості виготовлення деталі, %, задана у вихідних даних.

### 10 Складання техніко-економічних показників проекту

Складання техніко-економічних показників (ТЕП) зводиться до порівняння двох варіантів проекту верстата – до і після модернізації. Це порівняння виконується за кількома показниками.

**10.1** Різниця повної річної собівартості випуску продукції або економічна ефективність  $\Delta C_{п.рик}$  грн., визначається за формулою:

$$\Delta C_{п.рик} = C_{п.рик}^B - C_{п.рик}^H \times [\Phi_E^B / (\Phi_E^H \times I_{пр} / 100\%)], \quad (4.18)$$

де  $\Phi_E^B$ ,  $\Phi_E^H$  – ефективні фонди часу роботи верстата, визначені за формулами (4.6) і (4.7);  $I_{пр}$  – зміна продуктивності нової машини, в порівнянні з базовою, % (задано у початкових даних).

**10.2** Різниця в наведених витратах або економічний ефект від модернізації,  $\Delta B_{прив}$  грн., визначається за формулою:

$$\Delta B_{прив} = \Delta C_{п.рик} = 0,20 \times [K_{заг}^H \times (\Phi_E^B / \Phi_E^H \times (I_{пр} / 100\%)) - K_{заг}^B], \quad (4.19)$$

де 0,20 – коефіцієнт порівняльної економічної ефективності вкладень в основні фонди (при окупності загальних вкладень за п'ять років);  $K_{заг}^B$ ,  $K_{заг}^H$  визначено за формулами (4.4) і (4.5).

**10.3** Термін окупності коштів, вкладених в модернізацію,  $T_{ок.мод}$ , грн., визначається за формулою:

$$T_{ок.мод} = \Delta B_{ст} / \Delta П_{чист.мод}, \quad (4.20)$$

де  $\Delta B_{ст}$  – визначені за формулою (4.3);  $\Delta П_{чист.мод}$  визначені за формулою (4.17).

**10.4** Показник конкурентоспроможності є найбільш узагальнюючим і характеризує перевагу конкурентоспроможності однієї машини над іншою. Складність встановлення цього показника зумовлена необхідністю проведення експертної оцінки, яку обов'язково повинні виконувати незалежні від виробника фахівці-експерти. В рамках ТЕО обмежимося лише суб'єктивними, тобто залежними від авторів розробок, показниками, а саме: ціновими і експлуатаційними характеристиками продукції. Суб'єктивність оцінок полягає ще і в тому, що їх проставляє сам автор проекту. Оцінка маркетингового забезпечення, тобто забезпечення збуту продукції (рекламна підготовка, канали збуту продукції, передпродажне і післяпродажне обслуговування, гнучка система знижок і ін.) проводиться не буде.

Показник конкурентоспроможності  $K_{кон}$  визначається з допомогою табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок показника конкурентоспроможності

| №  | Показники ціни і експлуатаційні показники, розмірність | Величина порівнюваних показників за варіантами |       | Важливість показника $V_{п}$ | Оцінка « $O_i$ » і « $O_i \times V_{п}$ » за варіантами |                    |                              |                    |
|--|--|--|-------|------------------------------|---|--------------------|------------------------------|--------------------|
|  |  | Базовий  | Новий |                              | Базовий   |                    | Новий                        |                    |
|  |  |  |       |                              | $O_i$   | $O_i \times V_{п}$ | $O_i$                        | $O_i \times V_{п}$ |
| 1  | Ціна, грн.   |  |       |                              |   |                    |                              |                    |
| ...  | .....  |  |       |                              |   |                    |                              |                    |
| ...  | .....  |  |       |                              |   |                    |                              |                    |
| ...  | .....  |  |       |                              |   |                    |                              |                    |
| Разом  |  |  |       | $\sum V_{п}^i=1,0$           | $(\sum O_i \times V_{п})^B=$                            |                    | $(\sum O_i \times V_{п})^M=$ |                    |
| $K_{кон} = (\sum O_i \times V_{п})^M / (\sum O_i \times V_{п})^B=$ |  |  |       |                              |   |                    |                              |                    |

В якості інших, крім ціни, показників слід використовувати: продуктивність, точність обробки, надійність в експлуатації, жорсткість, безпечність, зусилля різання і крутний момент, величину подачі, максимальні розміри і масу оброблюваної заготовки, ступінь універсальності або спеціалізації, масу верстата і ін. Перед початком розрахунків визначається важливість кожного з показників « $V_{п}$ ». Обов'язковою умовою тут має бути положення, при якому  $\sum V_{п}^i=1,0$ . Оцінка « $O_i$ » призначається самостійно за п'яти або десятибальною шкалою. Крім цього, за кожним показником обчислюється добуток « $O_i \times V_{п}$ » а результати обчислень підсумовуються в кінці таблиці.

Якщо величина  $K_{кон}$  більше одиниці – конкурентоздатність проєктованого виробу вище і навпаки. Завершенням роботи є оформлення техніко-економічних показників проєкту у вигляді табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Техніко-економічні показники проєкту

| №   | Найменування показників, позначення, розмірність       | Варіанти |       | $\Delta$<br>(+ -) | Звідки взято    |
|-----|--|----------|-------|-------------------|-----------------|
|     |  | Базовий  | Новий |                   |                 |
| 1.  | Встановлена потужність, $N_{уст}$ , кВт                |          |       |                   | Вих. дані       |
| 2.  | Режим роботи обладнання (кількість змін)               |          |       |                   | Вих. дані       |
| 3.  | Зміна фонду часу роботи, $U_{ф.вр}$ , %                | 100%     |       |                   | Вих. дані       |
| 4.  | Зміна продуктивності роботи, $U_{пр}$ , %              | 100%     |       |                   | Вих. дані       |
| 5.  | Зміна використання електричної енергії, $U_{в.е}$ , %  | 100%     |       |                   | Вих. дані       |
| 6.  | Збільшення точності виготовлення продукції             |          |       |                   | Вих. дані       |
| 7.  | Вартість машини $V_{ст}$ , грн.                        |          |       |                   | Ф.(3.1),(3.2)   |
| 8.  | Вартість капіталовкладень, $K_{заг}$ , грн.            |          |       |                   | Ф.(3.4),(3.5)   |
| 9.  | Фонд часу роботи верстата, $\Phi_e$ , год.             |          |       |                   | Ф.(3.6),(3.7)   |
| 10. | Обсяг випуску продукції, $N_{вип}$ .                   |          |       |                   | Ф.(3.8)         |
| 11. | Собівартість річного випуску, $С_{п.рчн}$ , грн.       |          |       |                   | Ф.(3.9)         |
| 12. | Чистий прибуток, $П_{чист}$ , грн.                     |          |       |                   | Ф.(3.13),(3.14) |
| 13. | Чистий прибуток на модернізацію, $П_{чист.мод}$ , грн. |          |       |                   | Ф.(3.15),(3.16) |
| 14. | Економічна ефективність, $\Delta C_{п.рчн}$ , грн.     |          |       |                   | Ф.(3.18)        |
| 15. | Економічний ефект, $\Delta V_{прив}$ , грн.            |          |       |                   | Ф.(3.19)        |
| 16. | Термін окупності модернізації, $T_{ок.мод}$ , років    |          |       |                   | Ф.(3.20)        |

### 4.3.2 Технічне завдання на модернізацію

Технічне завдання (ТЗ) – основний документ проекту, яким установлюються основні мета та завдання модернізації; її призначення; технічні та інші значущі характеристики об'єкту, який проектується; порядок і послідовність необхідних етапів реалізації проекту модернізації; створення об'єкту та контролю його якісних параметрів.

Текст технічного завдання до проектів повинен бути коротким і чітким, не допускати різних тлумачень. У технічному завданні повинні застосовуватися науково-технічні терміни, позначення та визначення, які установлюються відповідними стандартами, а за їх відсутності – загальноприйняті в науково-технічній літературі. Якщо у технічному завданні застосовується специфічна термінологія, то заявником повинен бути наведений перелік термінів з відповідними поясненнями. Аббревіатури повинні бути також розшифровані.

Наведемо деякі пояснення до технічного завдання.

Технічне завдання (у тексті подалі допускається скорочення – ТЗ).

На виконання робіт по проекту:

Номер проекту:

#### **1. Підстава для проведення робіт (навести тип верстата або обладнання).**

В цьому пункті ТЗ зазначається, на виконання яких нових технологій і/або видів продукту спрямований проект, описується відповідність проекту найкращим доступним технологіям (повна, часткова або відсутня), вказується на створення яких нових високотехнологічних виробництв направлено проект, в тому числі – шляхом модернізації технологічного переозброєння існуючих верстато-інструментальних виробництв, які забезпечують серійне промислове виробництво продукції. У випадку, коли проект реалізується в рамках якої-небудь державної або корпоративної програми – Заявник посилається на відповідний документ (держпрограма, план заходів, рішення вищестоящої організації та ін.).

#### **2. Тема і мета проекту.**

Тема проекту повинна відображати його сутність і характер. У визначенні мети проекту повинні вказуватися корисні (технічні, технологічні, техніко-економічні та ін.) ефекти, які можуть бути реалізовані внаслідок впровадження інноваційних науково-технологічних рішень, що пропонуються. Описується основна кінцева мета проекту модернізації і основні завдання проекту, що будуть вирішуватись в процесі її реалізації:

– на досягнення якого результату направлений проект;

– основні характеристики створюваного виробничого комплексу (продуктивність, точність, ремонтпридатність, та інші значні характеристики).

Наводиться опис виробничих потужностей, які створюються (використовуються для виробництва продукту, описуються матеріально-технічна база для реалізації проекту).

#### **3. Актуальність проекту модернізації (тип верстата або обладнання).**

В обґрунтуванні актуальності повинна бути надана характеристика вирішуваної проблеми з точки зору важливості подолання технічних, технологічних, ресурсних і ін. обмежень для вирішення господарських завдань, в тому числі імпортозаміщення, експорту високотехнологічної продукції, відповідності тематики проекту основним напрямкам критичних технологій. Заявником проводиться аналіз рівня науково-технологічного стану розвитку в предметній області проекту в нашій країні і інших країнах з характеристикою існуючих аналогів. Даються висновки про сучасні тенденції розвитку даної галузі науки і техніки і обґрунтовуються конкурентні позиції державних та іноземних виробників при реалізації проекту.

#### **4. Новизна технічних та технологічних рішень.**

Наводиться обґрунтування необхідності використання нових підходів та технічних рішень для досягнення мети проекту. Повинна бути охарактеризована новизна обраного способу вирішення поставленого завдання і надане обґрунтування можливості отримання результату, який був захищений правовим охоронним документом.

#### **5. Публікації за темою дослідження в тому числі і закордонні.**

Наводяться публікації за тематикою запропонованого проекту, які найбільш повно відображають світовий рівень в даній галузі (наукових досліджень, технологій) і автором яких є провідні вітчизняні і зарубіжні спеціалісти.

#### **6. Науково-технічний доробок за темою проекту модернізації об'єкту.**

В цьому розділі повинні бути наведені конкретні дані про наявність у Заявника позитивних результатів раніше проведених аналогічних досліджень та розробок, які будуть використані в запропонованому проекті. Наводяться посилання на існуючі патенти, публікації та звіти за темою проекту.

### **7. Виконавці робіт та проекту.**

Заявник визначає основні види робіт (наприклад, проектування, проведення випробувань, поставка обладнання, монтаж, інші заходи). Для усіх значущих розділів проекту – указує бажаного учасника (співвиконавця) проекту. Для робіт, які виконуються третіми особами (підрядниками, постачальниками) заявник вказує основних співвиконавців (повне найменування, місце знаходження і вид виконуваних робіт).

### **8. Завдання проекту та шляхи їх вирішення.**

Повинні бути чітко сформульовані науково-технологічні завдання проекту і описані підходи та шляхи їх вирішення, які застосовуються, для досягнення поставленої мети. Поряд з описом запропонованих підходів, порядку дії, ходу робіт та ін., що розкривають технічну сутність запропонованої розробки, необхідно показати, за рахунок яких нововведень буде створена конкурентоспроможна продукція.

### **9. План заходів і терміни виконання проекту.**

Перераховується склад запропонованих робіт до дати їх завершення, та зазначаються терміни початку і закінчення робіт по проекту.

### **10. Зміст робіт по реалізації проекту.**

Конкретизується науково-технічний зміст робіт, зазначаються можливі технічні ризики при досягненні поставленої мети. Особливу увагу слід приділити найбільш важливим фрагментам проекту, які пов'язані з вирішенням принципово нових завдань.

### **11. Очікувані результати робіт.**

Повинні бути наведені конкретні дані про досягнення заявленого позитивного ефекту (науково-технічного, економічного і ін.). Необхідно описати конкретні результати за підсумками реалізації проекту або його окремих етапів (наприклад, створення конструкторської документації, створення дослідних зразків, промислових моделей, реєстрації патентів, інші заходи, виконання яких носить значний і/або обов'язковий характер).

### **12. Продукт проекту.**

Описується, які конкретні продукти, процеси, пристрої створюються у проекті (наприклад, перелік технологічних операцій; виконувані функції; призначення і область застосування процесу; особливості продукту проекту в порівнянні з аналогами). Окрім цього тут повинен бути показаний результат від реалізації проекту в натуральному вираженні і зазначене місце реалізації проекту.

### **13. Технічні вимоги.**

Описуються критично важливі і значимі технічні характеристики продуктів проекту: застосовувані технології, продуктивність, параметри якості, інші характеристики. Перераховуються основні технічні вимоги, які забезпечують виконання поставлених завдань. При наявності на дану продукцію затвердженої нормативно-технічної документації, замість характеристик наводиться посилання на цю документацію.

#### **13.1 Основні параметри продукту проекту, які повинні бути досягнуті у результаті виконаної роботи:**

- номенклатура параметрів, які визначають кількісні, якісні, вартісні характеристики продукції/процесу;
- числові значення параметрів. Співставлення з існуючими аналогами;
- точність визначення параметрів;
- точність відтворення зовнішніх умов і режимів вимірювань для визначення параметрів.

#### **13.2 Основні конструктивні вимоги.**

#### **13.3 Вимоги до спеціального забезпечення продукту:**

- вимоги до автоматизації;
- метрологічне забезпечення;
- інші обов'язкові вимоги до управління, контролю;
- забезпечення в області безпеки і ін.

**13.4 Вимоги до стандартизації, уніфікації, сумісності зі спряженими об'єктами і взаємозамінності:**

- установлення на основі нормативно-технологічної документації (національних стандартів, стандартів підприємств і ін.) оптимальних вимог до номенклатури і якості продукції в інтересах споживачів і держави, які б забезпечували безпечність продукції для життя, здоров'я людей і майна, а також для навколишнього середовища;
- установлення вимог по сумісності (конструктивної, електричної, механічної та ін.), а також по взаємозамінності продукції;
- установлення і застосування параметричних і типорозмірних рядів і на їх основі уніфікація базових конструкцій, уніфікованих блочно-модульних складових частин виробів;
- нормативно-технічне забезпечення контролю (випробувань, аналізу, вимірювань) продукції.

**13.5 Вимоги надійності.**

**13.6 Вимоги з ергономіки та технічної естетики.**

**13.7 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування і ремонтпридатності.**

**13.8 Вимоги з сертифікації.**

**13.9 Інші вимоги.**

**14. Вимоги до патентної чистоти і патентоспроможності:**

- указати етапи робіт на які повинні бути проведені патентні дослідження;
- патентна частота на методи виготовлення і конструктивні рішення повинні бути забезпечені у відношенні України та країн куди можлива поставка виробів, а також передавання технічної, інформаційної і ін. документації.

**15. Вимоги до документації.**

Перерахувати усю документацію, яка розробляється в ході реалізації робіт, з посиланням на нормативні документи, що визначають вимоги до її оформлення і змісту.

**16. Склад обладнання у проекті, яке планується до придбання.**

Указується у табличному форматі перелік обладнання, яке планується придбати.

| № | Назва обладнання, яке закуповується | Основні технічні характеристики | Виробник (країна) | Кількість | Вартість, грн. |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------|----------------|
|   |                                     |                                 |                   |           |                |
|   |                                     |                                 |                   |           |                |
|   |                                     |                                 |                   |           |                |

**4.3.3 Розподіл обов'язків по модернізації обладнання на підприємстві**

Модернізація обладнання і її ефективність значною мірою залежить від її організації і, зокрема, чіткого розподілу обов'язків між функціональними підрозділами заводу. Загальне керівництво всією роботою з модернізації виконує головний інженер заводу. Він затверджує технічне завдання на модернізацію, план робіт з модернізації і контролює його виконання, а технічне керівництво модернізацією обладнання механічних цехів покладається звичайно на головного технолога. Відділ головного технолога має в наявності розрахунок потужностей і завантаження обладнання, матеріали, які характеризують можливості обладнання, що знаходиться в цехах та знає вузькі місця виробництва. Це дозволяє йому визначати об'єкти модернізації, установлювати вимоги до неї та необхідні терміни виконання. Виходячи з цього відділу головного технолога слід доручати складання плану модернізації обладнання в цілому по заводу і розробку технічних завдань на модернізацію. Цей відділ повинен також контролювати використання модернізованого обладнання.

При модернізації обладнання основною функцією головного механіка є практичне її втілення. Головний механік заводу організовує роботу по виконанню плану модернізації обладнання, який затверджено керівництвом заводу, оскільки він є не тільки виконавцем, але й приймає участь у складанні плану модернізації по заводу, а також може бути ініціатором включення в план того чи іншого обладнання. Відділ головного механіка бере участь у розробці технічних завдань на модернізацію, доповнюючи їх вимогами та заходами, які забезпечують покращення експлуатаційних якостей обладнання. Цей відділ визначає попередню вартість модернізації та складає кошторис витрат на модернізацію.

Економічну ефективність модернізації, як правило, визначає планово-економічний відділ за участю головного технолога і відділу праці та заробітної плати.



Модернізація обладнання, зазвичай, виконується ремонтно-механічними цехами, але на великих підприємствах, за наявності добре оснащених ремонтних баз, модернізація може доручатися їм. Однак механізми та усі складні деталі повинні виготовляти ремонтно-механічні цехи.

Якщо верстат при модернізації повинен бути оснащений контрольно-вимірювальними приладами та пристосуваннями, коли вони не є придбаними на стороні, їх виготовлення доручають інструментальному цеху. Інструментальному або іншим цехам заводу може доручатись також виготовлення особливо точних механізмів та деталей при відсутності у ремонтно-механічному цеху необхідного для цього обладнання або оснащення.

#### **4.4 Модернізація верстатів з ЧПК на підприємстві АТ «Мотор Січ»**

На підприємстві АТ «Мотор Січ» створено спеціальний підрозділ з ремонту і модернізації обладнання з ЧПК, в тому числі і зарубіжного виробництва. Основними напрямками діяльності цього підрозділу є:

- модернізація обладнання із заміною системи ЧПК, приводів, двигунів та вимірювальної системи;
- капітальний ремонт обладнання з відновленням геометрії і необхідною заміною механічних вузлів та гідравлічної системи;
- заміна електромеханічних пристроїв на електронні;
- установлення вимірювальних систем з цифровою індикацією на координатні верстати;
- виконання конструкторських робіт з модернізації обладнання за допомогою системи EPLAN, яка є світовим лідером в області систем автоматизації інженерної праці (CAE).

EPLAN дозволяє виконувати комбіновану обробку всієї графічної, технічної, комерційної та логічної інформації, яка відноситься до розробки електричних проектів та документації.

На підприємстві розробляються електросхеми і конструкторська документація з модернізації верстатів з ЧПК, розробляються алгоритми роботи верстатів з урахуванням вузлів і механізмів, що модернізуються. Ці розробки застосовуються при модернізації сотень верстатів, у тому числі і десятків моделей оброблювальних центрів і високоточних верстатів фірм Німеччини, Франції, Італії, Чехії, Угорщини, Австрії, Болгарії та Росії.

Обладнання ремонтується та модернізується на основі новітніх технологічних рішень із застосуванням сучасної елементної бази і комп'ютерних технологій, які дозволяють створювати гнучкі виробничі системи.

За базу ЧПК для оброблювальних центрів була вибрана система SINUMERIK 840-D – багатофункціональна модульна система з електродвигунами і комплектними приводами SIMODRIVE 611 фірми SIEMENS (Німеччина), а також системи ЧПК інших виробників, які дозволяють здійснювати керування практично будь-якими типами верстатів. Більш ніж 150 координатних верстатів обладнані вимірювальними системами з цифровою індикацією.

На підприємстві організоване навчання спеціалістів з модернізації обладнання з ЧПК. Частина з них пройшла навчання в компанії SIEMENS, а також на спеціалізованих підприємствах Німеччини, Італії, Швейцарії, Чехії, Росії та ін.

##### **4.4.1 Порядок проведення модернізації**

Проведення модернізації здійснюється в наступній послідовності:

1. Підготовка технічного завдання (ТЗ) на необхідне обладнання для обробки нової деталі.
2. Підбір моделей застарілого обладнання.
3. Дефектація і відновлювальний ремонт компонентів застарілого обладнання для використання в процесі модернізації.
4. Складання технічних вимог (ТВ) до систем верстата, який модернізується.
5. Підбір нових компонентів.
6. Розробка та узгодження з замовником робочого проекту на модернізацію.
7. Розробка конструкторської документації (КД) на модернізацію.
8. Виготовлення нових вузлів і складання.
9. Налаштування і контроль параметрів модернізованого обладнання.
10. Розробка керуючих програм під деталь, яку планується виготовляти.
11. Виготовлення тестової деталі.
12. Впровадження обладнання в цеху.

#### 4.4.1.1 Підготовка технічного завдання на необхідне обладнання для обробки деталі, яка планується до виготовлення

ТЗ на розробку верстата / оброблювального центру, на базі застарілого устаткування, складається цехом-замовником спільно з передбачуваним розробником проекту. Склад ТЗ обов'язково має містити наступну інформацію:

- тип обладнання (токарне, фрезерне, шліфувальне ...);
- передбачуване компонування (вертикальне чи горизонтальне), кількість, взаємне розташування лінійних і кругових осей, діапазони переміщень;
- тип оброблюваної деталі (корпуси, фланці, лопатки);
- діапазон габаритів і матеріалів деталей;
- чистота обробки і норми точності;
- режими різання, швидкості лінійних і кругових рухів за осями, діапазон частот обертання шпинделя;
- тип інструментального хвостовика;
- система заміни інструменту і ємність інструментального накопичувача;
- тип і інтенсивність охолодження зони різання;
- краща система ЧПК.

#### 4.4.1.2 Підбір моделей застарілого обладнання

Для забезпечення економічної ефективності при виготовленні нових видів продукції необхідно прагнення до мінімізації витрат на усіх напрямках і етапах освоєння виробництва:

- підбір схем базування оброблюваних деталей з найменшою кількістю переустановлень;
- застосування обладнання вже наявного на підприємстві;
- використання обладнання та технологій раніше освоєних на виробництві.

Визначившись зі схемою обробки деталі особливу увагу слід приділити підбору верстата під модернізацію. Найчастіше на підприємстві з різних причин є обладнання задіяне у виробництві не на повну потужність (з коефіцієнтом використання менш 0,3- 0,5).

Вдихнути в таке обладнання «друге життя» можливо проведенням модернізації за такими напрямками:

- заміною окремих систем (гидравлічної, системи управління та ін.);
- розширенням вихідних функціональних можливостей (введенням додаткової лінійної, налагоджувальної або кругової осі);
- комплексною заміною елементної бази всіх систем верстата з одночасним розширенням числа робочих координат, використовуючи основні елементи станини.

Рівень різних обсягів модернізації можливо розглянути на прикладі верстата МА-655А (рис. 4.1), виробництва Савелівського машинобудівного заводу. Верстат виконаний за вертикально-фрезерною схемою, має 3 програмно-керованих лінійних координати  $X$   $Y$   $Z$ , управління забезпечується системою ЧПК, магазин зміни інструментів на 8 позицій.

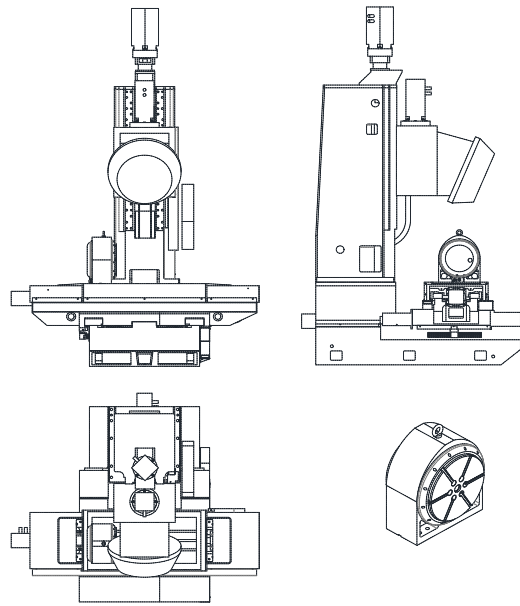
Заміна застарілої системи ЧПК новою українською системою WL-4 дозволила за рахунок мінімальної заміни датчиків та електродвигунів приводу осей скоротити число програмних збоїв застарілої апаратури, підвищити швидкість подачі і точність роботи верстата. Крім того, з'явилася можливість до трикоординатної схеми обробки виконати прив'язку додаткової поворотної осі (програмно-поворотний стіл), що істотно розширило можливості даного верстата (рис. 4.2, а).



Рисунок 4.1 – Вертикально-фрезерний верстат МА-655А (до модернізації)



а



б

Рисунок 4.2 – Вертикально-фрезерний верстат (а), схема установки четвертої колової осі (б)

Для обробки деталей типу «лопатка», де поверхні мають складний математичний профіль, комплексна заміна шпинделя на високошвидкісний, фірми Fisher, всіх лінійних напрямних і КПП, системи подачі і очищення МОР, нове обладнання ЧПК Siemens 840D, комплектація новими гідравлічною та пневматичною системами, захисним кабінетом і системою заміни інструмента на базі робота Fanuc, перетворили верстат в 5-тикоординатний обробний центр (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – П'ятикоординатний оброблювальний центр

Також на підприємстві «Мотор Січ» із застосуванням для високошвидкісної фрезерної чотирьох і п'ятикоординатної обробки модернізовані верстати моделей ІС-800, ІВ-500, ІР-800, ІР-500, ГФ-2171, Horizon-3 (рис. 4.4), Horizon-4, МСFHD-80 та багато інших.



Було:

- морально та фізично застаріла, яка давала збої, система ЧПК CN-5D, не забезпечувала реалізацію технічних можливостей верстата;
- застаріла система введення програм;
- приводи зношені та працювали нестабільно;
- відсутність запасних частин та великі витрати на ремонтно-відновлювальні роботи;
- порушення геометрії верстата при експлуатації, що привело до невідповідності технічних характеристик паспортним даним.



Стало:

- заміна систем управління на SINUMERIK 840-D;
- заміна приводів подачі та головного руху на SIMODRIVE 611;
- заміна шаф електрообладнання включно до усії низьковольтної апаратури та пультів оператора;
- заміна громіздкої релейної апаратури на програмований логічний контролер (PLC);
- установлення сучасних вимірювальних систем з застосуванням комплектуючих фірми HEIDENHEIN;
- ремонт та заміна гідравлічних та пневматичних вузлів;
- установлення високошвидкісних та високомоментних столів, котрі виготовлені на АТ «Мотор Січ» з двигунами фірми ETEL.

Рисунок 4.4 – Модернізація обладнання на базі Horizon-3 ( Італія «OLIVETTI»)

За рахунок розширення технологічних можливостей модернізованого обладнання, застосування нового інструменту при використанні п'ятикоординатної обробки час виготовлення деталей зменшено у середньому на 50%, а на деяких деталях у декілька разів.

Напрацювання і навички отримані при проведенні модернізації фрезерних верстатів, дозволили зробити модернізацію 20-ти метрового двухпортального верстата ПФП-5 і перетворити його в обробний центр з фрезерування зовнішнього профілю лонжерона вертолітної лопасті (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Перетворення двоportalного верстата ПФП-5 в обробний центр

#### **4.4.1.3 Дефектація і відновлювальний ремонт компонентів застарілого обладнання для використання в процесі модернізації**

При проведенні дефектації верстатів, підібраних під подальшу модернізацію, оцінюється стан, працездатність елементів і систем верстата, що плануються для подальшого використання при модернізації без заміни, з проведенням їх відновлювального ремонту.

В першу чергу звертають увагу на стан поверхонь напрямних лінійних осей. На даних поверхнях не допустимі тріщини, задирки, забоїни. Контроль площинності слід виконувати за допомогою оцінки відбитка фарби, котрий має бути не менше 90% без розривів по контуру. Стикові поверхні елементів станин також повинні забезпечувати надійне з'єднання, без перекосів і зсувів. Виступи і напливи усувають за допомогою шліфування (для невеликих деталей), або ручним шабруванням (для великогабаритних компонентів).

Підшипникові вузли перевіряють на плавність ходу, проводять промивання в нефрасі для видалення продуктів зношування тіл кочення і сепараторів. При постановці на виріб вузли заповнюють новим мастилом.

Гідравлічна апаратура перевіряється на відсутність течії, при необхідності проводять заміну всіх ущільнень, гнучких рукавів високого тиску, фітингів, ніпелів та інших швидкозношуваних елементів. Так само перевіряється спрацьовування електрокерованих розподільників, при виявленні відмов проводять підбір нової апаратури з ідентичними параметрами по прохідних перетинах і робочому тиску.

#### **4.4.1.4 Складання технічних вимог (ТВ) до систем модернізованого верстата**

Для підбору покупних комплектуючих і формування схеми модернізованого обладнання з певними характеристиками міцності, нормами точності та ін. необхідно скласти основні технічні вимоги до основних і допоміжних систем верстата. Головними вихідними даними є вимоги технічного завдання, техніко-

економічне обґрунтування, але при цьому обов'язково враховуються цілі, які досягаються за рахунок модернізації:

- повне відновлення працездатності;
- підвищення точності;
- підвищення продуктивності;
- скорочення витрат на обслуговування;
- підвищення зручності для оператора;
- нові можливості в обслуговуванні і діагностиці верстата;
- компенсація похибок механіки;
- збільшення обсягу пам'яті для програм;
- можливість передачі керуючих програм через дискету, флеш-носії або локальну мережу;
- можливість обробки більш складних деталей.

#### 4.4.1.5 Підбір нових компонентів

Для розробки робочого проекту модернізації, з урахуванням розроблених ТВ основних і допоміжних систем верстата і бюджету проекту, необхідно провести підбір, узгодження можливості та умов поставки покупних комплектуючих виробів (ПКВ), агрегатів і систем. При вивченні комплектації зразків імпортного обладнання провідних фірм виробників, можна виділити основні пріоритети.

Перелік комплектуючих використовуваних при модернізації обладнання:

- високомоментні торові і лінійні двигуни – Etel, Hiwin, Parker, Siemens;
- мотор-шпинделі, шпинделі – Fisher, Kessler, Ibag;
- силові поворотні головки – СуТесу;
- гальмівні лінійні і кругові системи – Roto Clamp, Zimmer;
- системи лінійних переміщень (КПП, кулькові і роликові рейкові напрямні з каретками) – Hiwin, ТНК, Bosch Rexroth, Schneeberger;
- системи вимірювання кутового і лінійного переміщення – Renishaw, Heidenhain;
- системи інструментального забезпечення – Miksch, Pragati, SanJet, Deta;
- агрегати очищення МОТС, скребкові конвеєри – Knoll;
- гідроапаратура – Гідрома, Ponar;
- система змащування – Dropsa, Vogel;
- пневмоапаратура – Festo, Camozzi;
- телескопічні захисти, міхи, ролети – Hennlich, KabelSchlep;
- кабелеукладчики – Iigus, Lap Group;
- муфти R + W;
- підшипники – Ina Fag, SKF;
- привідні системи і ЧПК – Siemens, West Labs.

Для визначення постачальників покупного устаткування необхідно враховувати не тільки вартість і умови поставки, але в першу чергу *слід звертати увагу на наявність технічної підтримки, гарантійних зобов'язань і післягарантійного обслуговування.*

#### 4.4.1.6 Розробка та узгодження з замовником робочого проекту на модернізацію

Розробка робочого проекту – найважливіший етап модернізації, оскільки є основою всього процесу. Робочий проект та його затвердження остаточно визначає компонування, комплектацію, всі особливості конструкції модернізованого обладнання. На цьому етапі в обов'язковому порядку опрацьовується можливість здійснення модернізації в повному обсязі, а саме:

- технічне оснащення виробництва;
- наявність необхідного спеціального обладнання;
- метрологічне забезпечення;
- рівень підготовки персоналу по конструкторському та технологічному супроводу, виробничників, спеціальна підготовка слюсарів механоскладальних робіт, електронщиків з пуско-налагодження систем ЧПК, програмістів і наладників.

При розробці робочого проекту необхідно максимально використовувати стандартизацію та уніфікацію, що веде до зменшення обсягів проектування за рахунок використання раніше розроблених конструкторських рішень, вузлів, агрегатів і механізмів, а також виключає можливість конструкторських помилок і необхідність відпрацювання та впровадження нових технологічних процесів.

Робочий проект повинен містити:

- планування розміщення устаткування на площах замовника;

- перелік і точки розміщення всіх необхідних комунікацій (електроживлення, стиснене повітря, витяжна вентиляція, оборотна вода та ін.);
- схема верстата із зазначенням всіх ходів лінійних і кругових, розміри і кріпильні елементи робочих поверхонь, їх взаємне розташування відносно осі і торця шпинделя (рис. 4.6);
- схема налагодження першої тестової деталі.

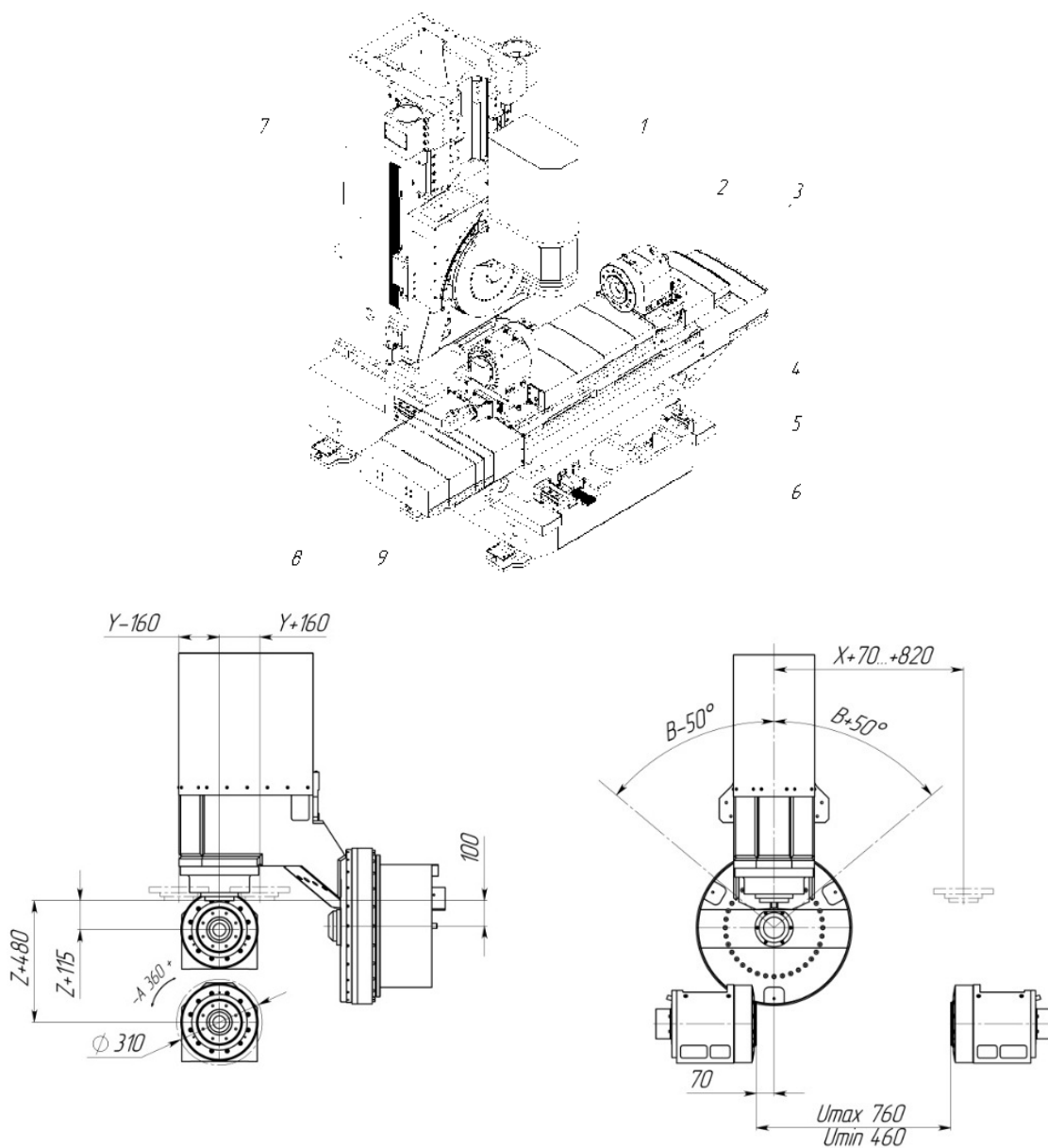


Рисунок 4.6 – Схема базового верстата (до модернізації): 1-поворотна силова голова з фрезерним шпинделем, 2- поворотні головки, 3- телескопічні захисти, 4- плита, 5- полозки, 6- станина, 7- стійка, 8- гідроопора, 9- башмаки

#### 4.4.1.7 Розробка конструкторської документації (КД) на модернізацію

Конструкторську документацію на виготовлення нового обладнання на базі станин застарілого обладнання (глибока модернізація) розробляється з урахуванням усіх вимог технічного завдання цеху-замовника і повинна включати:

- складальні креслення по кожному з вузлів або систем, які обумовлюють всі взаємозв'язки і точнісні характеристики елементів;
- КД на деталі, які заново виготовляються;
- електро-, гідро-, пневмосхеми нового верстата;
- посібник з програмування;
- посібник з експлуатації.

При розробці КД на монтаж покупних комплектуючих і систем слід строго виконувати всі вимоги, умови та рекомендації виробника в частині норм точності, кріпильних елементів, розташування в просторі, умов експлуатації, схеми взаємного розташування і інші.

На етапі проектування верстата, повинні бути закладені компенсаційні пластини, товщиною не менше 3 мм (5...7 мм для високоточних вузлів) з точно обробленими поверхнями (контролювати площинність, паралельність і різномірність пластин), для регулювання і виставлення точних розмірів розташування основних вузлів верстата. При обробці пластин рекомендується одну площину пришабрувати по фарбі і використовувати її як базу. Не допускається використання пластин товщиною менше 3 мм, фольги, дроту при установці високоточних елементів верстата.

#### **4.4.1.8 Виготовлення нових вузлів і складання**

Виготовлення нових деталей, ремонт і відновлення станин і інших елементів старого обладнання необхідно проводити строго у відповідності до розроблених технологічних процесів, керуючись системою якості діючою на підприємстві, тільки на справному і атестованому обладнанні з дотриманням всіх режимів різання і інших спеціальних вимог.

Всі роботи пов'язані з монтажем, експлуатацією, обслуговуванням, складанням всіх елементів верстата повинні виконувати тільки особи, які пройшли спеціальне навчання і які мають право виконувати дану роботу.

До виконання складальних операцій необхідно поетапно контролювати основні базові поверхні під установку напрямних, КГП та ін.; всі корпусні деталі (станина, стійки, полозки, траверси, тощо), а саме: вимоги по площинності, паралельності і перпендикулярності, взаємного розташування поверхонь згідно з кресленням на контрольовану деталь / вузол – поверхні під установку оптичних лінійок, площадки під опори КГП.

Всі робочі поверхні деталей перед складанням слід очистити від мастила і бруду.

У розпорядженні робітника (слюсаря, налагоджувальника...) повинно бути:

- набір містків;

- еталонна плита для перевірки містків;

- притири.

При затягуванні гвинтів суворо дотримуватися визначених моментів затягнення для певного типорозміру гвинта і використовувати найбільш відповідну схему затягування (послідовна, хрестова та ін.). **КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** використання нерівномірного затягування гвинтів (зтягнення гвинтів одного типорозміру різними моментами) з метою запобігання виникнення напруженого стану деталі (вузла).

Збирання, підганяння і перевірку верстата виконують на технологічному атестованому по площині і рівню горизонту землі фундаменті. При опусканні на фундамент вузлів і агрегатів верстата необхідно уникати ударів і коливань. Перед складанням встановити в горизонт рівня землі (за допомогою регулювання башмаків) основні базові поверхні станини, використовуючи інклінометр.

Установлення рейкових напрямних здійснювати тільки відповідно до КД, застосовуючи тільки кріплення по специфікації, згідно з рекомендаціями виробника даного виробу. Для установки рейкових напрямних використовувати притискачі (для притиснення рейки до лобика). Перевірити отвори і площини, що з'єднуються, на наявність задирок. При необхідності – видалити.

Перед установленням напрямних контролювати по всій довжині базових поверхонь відхилення від прямолінійності і нахилу. Для забезпечення стабільної точності при затягуванні установних гвинтів рейки, затягувати їх по порядку від середини до кінців рейки.

Після установлення напрямних, проконтролювати точність переміщення кареток по всій довжині напрямної рейки, а саме відхилення від прямолінійності, паралельності, наявність крену і тангажу.

Встановити на каретки рейкових напрямних наступний вузол верстата (згідно КД і технології складання), наприклад полозки. Виконати контроль точності переміщення полозків.

Встановлювати датчики лінійного переміщення, згідно з документацією на даний виріб, витримуючи паралельність лінійки фактичному переміщенню, необхідну відстань між лінійкою і слайдером. Забезпечити захист датчиків лінійних переміщень від потрапляння бруду, пилу, стружки та ін.

Контролювати установлення корпусів підшипників та гайки КГП, а саме: відхилення від паралельності розташування корпусів підшипників відносно напрямних рейок (установчих поверхонь під напрямні), відхилення від співвісності гайки КГП (щодо корпусів підшипників).

При монтажі шпинделя перевірити відхилення перпендикулярності його осі від напрямних станини.

#### **4.4.1.9 Налагодження і контроль параметрів модернізованого обладнання**

Після установлення на фундамент в цеху замовника проводиться налагодження, контроль і



пред'явлення параметрів і норм точності модернізованого обладнання зі складанням відповідних актів здачі.

Даний процес можна розглянути на прикладі п'ятикоординатного ОЦ з обробки вентиляторних лопаток на базі верстата MA-655.

Під час монтажу та введення в експлуатацію 5-ти координатного ОЦ складаються протоколи і акти з заповненням норм точності ОЦ (усі дані вносяться в таблицю, Додаток Є).

### 1. Перевірка норм точності

З метою встановлення фактичних норм точності ОЦ проводиться перевірка параметрів відповідно до таблиці (Додаток Є). Перевірку точності проводити не рідше 1 разу на рік. При пошкодженнях ОЦ механічного характеру (удар, врізання та ін.) проводити повну перевірку норм точності.

ОЦ необхідно повністю відрегулювати і до початку робіт провести контроль геометрії.

В процесі контролю перевіряються всі параметри точності ОЦ: відхилення від паралельності, перпендикулярності, прямолінійності та ін. Результати цих вимірів, проведених при складанні верстата, див. у Додатку Є.

Необхідне обладнання та інструменти наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Обладнання та інструменти необхідні для перевірки геометрії верстата

| Найменування                                       | Опис, примітка   |
|--|--|
| Індикатор годинникового типу ІЧ-5 ГОСТ 577-82      | Допускається використання інших індикаторів з ціною ділення 0,01 або 0,001 мм.   |
| Магнітна опора                                     | Шарнірного типу для установки та фіксації індикатора   |
| Контрольна оправка Ø 60×350                        | Паспортна, циліндрична з фланцем для установки на планшайбу поворотної силової головки осі А та А <sub>1</sub> . Входить в комплектацію верстата                   |
| Контрольна оправка Ø 60×20                         | Паспортна, циліндрична з фланцем для установки на планшайбу поворотної силової головки осі А та А <sub>1</sub> . Входить в комплектацію верстата                   |
| Інструментальна оправка з контрольною сферою 24    | Паспортна: перевіряється по діаметру сфери, радіальному биттю та довжині.  |
| Контрольна оправка HSK63A Ø40×300                  | Паспортна: перевіряється по Ø40, радіальному биттю та довжині.   |
| Перевірочний гранітний кутник                      | Паспортна: перевіряється перпендикулярністю граней 430×280мм.  |
| Кронштейн для установки та фіксації кутника        | Кріпиться до планшайби поворотної силової головки осі А або А <sub>1</sub> і дозволяє позиціонувати та фіксувати положення кутника відносно лінійних осей верстата |
| Набір кінцевих мір, точністю 0,001 мм ГОСТ 9038-83 |  |

#### Є). 1.1 Торцеве биття планшайби поворотної головки осей А і А<sub>1</sub> на діаметрі 160мм (п. 1.1 Додаток Є).

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до робочої поверхні планшайби поворотної головки осі А.

Після цього необхідно обертати вісь А і постійно перевіряти торцеве биття.

Цим же способом необхідно перевірити биття осі А<sub>1</sub>.

#### 1.2 Радіальне биття центрувальних отворів планшайб поворотних головок осей А і А<sub>1</sub> на діаметрі 100 мм (п. 1.2 Додаток Є).

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до внутрішньої поверхні центрувального діаметра планшайби поворотної головки осі А.

Після цього необхідно обертати вісь А і постійно перевіряти радіальне биття.

Цим же способом необхідно перевірити биття осі А<sub>1</sub>.

#### 1.3 Відхилення від паралельності планшайб поворотних головок осей Y і Z (п. 1.3 Додаток Є).

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і

підвести вимірювальний елемент до верхньої точки торця планшайби поворотної головки А на  $\varnothing 160$  мм.

Необхідно за віссю Z переміщати індикатор уздовж торця планшайби поворотної головки осі А і постійно перевіряти відхилення від паралельності.

Після цього підвести вимірювальний елемент до крайньої лівої точки торця планшайби поворотної головки А на діаметрі  $\varnothing 160$  мм.

Необхідно за віссю Y переміщати індикатор годинникового типу уздовж торця планшайби поворотної головки осі А і постійно перевіряти відхилення від паралельності.

Цим же способом необхідно перевірити паралельність площини планшайби поворотної головки А<sub>1</sub>.

#### ***1.4 Відхилення від паралельності планшайби поворотної головки осей А і А<sub>1</sub> відносно осі Х (п. 1.4 Додаток Є).***

Установити контрольну оправку в планшайбу поворотної головки, осі А і виставити по радіальному биттю на довжині 350 мм. Биття не повинно перевищувати 0,004 мм.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до контрольної оправки.

Після цього переміщати індикатор по оправці віссю Х на довжину 300 мм і постійно перевіряти відхилення від паралельності в горизонтальному положенні.

Таким же чином перевірити відхилення від паралельності в вертикальному положенні.

Цим же способом необхідно перевірити паралельність осі А<sub>1</sub>.

#### ***1.5 Відхилення від паралельності осей планшайб поворотних головок А і А<sub>1</sub> щодо осі U (п. 1.5 Додаток Є).***

Встановити контрольну оправку на вісь А і виставити по радіальному биттю на довжині 350 мм. Биття не повинно перевищувати 0,004 мм.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на вісь U і підвести вимірювальний елемент до контрольної оправки.

Після цього індикатор переміщати по оправці за віссю U на довжину 300 мм і постійно перевіряти відхилення від паралельності в горизонтальному положенні.

Встановити контрольну оправку на вісь А<sub>1</sub> і виставити по радіальному биттю на довжині 350 мм. Биття не повинно перевищувати 0,004 мм.

Індикатор з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до контрольної оправки.

Після цього переміщувати індикатор годинникового типу віссю Х по оправці на довжину 300 мм і постійно перевіряти відхилення від паралельності в горизонтальному положенні.

Таким же чином перевірити паралельність осі А<sub>1</sub>.

#### ***1.6 Колінеарність осей А і А<sub>1</sub> на розмірі 700 мм між робочими торцями (п. 1.6 Додаток Є).***

Переміщенням осі U встановити відстань 700 мм між робочими торцями планшайб поворотних головок осей А і А<sub>1</sub>.

Встановити контрольну оправку на одну з планшайб поворотних головок і виставити по радіальному биттю фланця оправки. Биття не повинно перевищувати 0,004 мм.

Установити фланець на іншу поворотну головку і виставити по радіальному биттю. Биття не повинно перевищувати 0,004 мм.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до фланця контрольної оправки.

Після цього переміщувати вимірювальний елемент індикатора віссю Х до фланця на другій силовій голівці і перевіряти колінеарність в горизонтальному положенні.

Таким же чином перевірити колінеарність в вертикальному положенні.

#### ***1.7 Відхилення від прямолінійності осі Х (п. 2.1 Додаток Є).***

Установити гранітний кутник 430x280 за допомогою кронштейна на планшайбі поворотної головки осі А так, щоб сторона довжиною 430 мм була паралельна осі Х.

Підвести вимірювальний елемент до сторони 430 мм.

Після цього переміщувати віссю Х індикатор годинникового типу по кутнику на довжину 400 мм і постійно перевіряти відхилення від прямолінійності в вертикальному положенні.

Таким же чином перевіряти відхилення від прямолінійності в горизонтальному положенні, обернувши вісь А на 90°.

### **1.8 Відхилення від прямолінійності осі Y (п. 2.2 Додаток Є).**

Установити гранітний кутник 430x280 мм за допомогою кронштейна на осі планшайбі поворотної головки А так, щоб сторона довжиною 430 мм була паралельна осі Y.

Підвести вимірювальний елемент до сторони 430 мм.

Після цього переміщувати індикатор віссю Y по кутнику, на довжину 300 мм і постійно перевіряти відхилення від прямолінійності в вертикальному положенні.

Таким же чином перевірити перевіряти відхилення від прямолінійності в горизонтальному положенні.

### **1.9 Відхилення від прямолінійності осі Z (п. 2.3 Додаток Є).**

Установити гранітний кутник 430x280 за допомогою кронштейна на планшайбі поворотної головки осі А так, щоб сторона довжиною 430 мм була паралельна осі Z.

Підвести вимірювальний елемент до сторони 430 мм.

Після цього переміщувати віссю Z індикатор по кутнику на довжину 300 мм і постійно перевіряти відхилення від прямолінійності в поздовжньому напрямку.

Таким же чином перевірити відхилення від прямолінійності, в поперечному напрямку, закріпивши кутник безпосередньо на поворотній голівці.

### **1.10 Відхилення від перпендикулярності осей X і Y (п. 3.1 додаток Є).**

Установити гранітний кутник 430x280 мм за допомогою кронштейна на планшайбі поворотної головки осі А так, щоб сторона довжиною 430 мм була паралельна осі Y, а сторона довжиною 280 мм була паралельна осі X.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до сторони 280 мм.

Після цього індикатор переміщувати віссю X по кутнику на довжину 250 мм і постійно перевіряти відхилення від перпендикулярності.

### **1.11 Відхилення від перпендикулярності осей X і Z (п. 3.2 Додаток Є).**

Встановити гранітний кутник 430x280 мм за допомогою кронштейна на планшайбі поворотної головки осі А так, щоб сторона довжиною 430 мм була паралельна осі X, а сторона довжиною 280 мм була паралельна осі Z.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до сторони 280 мм.

Після цього індикатор переміщувати віссю X по кутнику на довжину 250 мм і постійно перевіряти відхилення від перпендикулярності.

### **1.12 Відхилення від перпендикулярності осей Z і Y (п. 3.3 Додаток Є).**

Установити гранітний кутник 430x280 мм безпосередньо на планшайбі поворотної головки осі А так, щоб сторона довжиною 430 мм була паралельна осі Y, а сторона довжиною 280 мм була паралельна осі Z.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус фрезерного шпинделя і підвести вимірювальний елемент до сторони 280 мм.

Після цього переміщувати циферблатний індикатор віссю Z по кутнику на довжину 250 мм і постійно перевіряти відхилення від перпендикулярності.

### **1.13 Биття торця шпинделя (п. 4.1 Додаток Є).**

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус поворотної головки і підвести вимірювальний елемент до торця шпинделя.

Після цього обертати шпиндель і постійно перевіряти биття торця.

### **1.14 Радіальне биття шпинделя (п. 4.2 Додаток Є).**

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус поворотної головки і підвести вимірювальний елемент до конусного отвору в шпинделі.

Після цього обертати шпиндель і постійно перевіряти радіальне биття.

### **1.15 Биття осі шпинделя (п. 4.3 Додаток Є).**

Установити контрольну оправку HSK 63A D40x300 в шпиндель.

Індикатор годинникового типу з магнітною опорою помістити на корпус поворотної головки і підвести вимірювальний елемент до основи оправки.

Після цього обернути шпиндель і постійно перевіряти биття біля основи.

Відвести вимірювальний елемент від оправки.

Перемістити вісь Z циферблатний індикатор на 250 мм уздовж оправки. Підвести вимірювальний елемент до оправки.

Після цього обернути шпиндель і постійно перевіряти биття на відстані 250 мм.

#### **1.16 Відхилення від паралельності осі шпинделя з віссю Z в поздовжньому і поперечному напрямках (п. 4.4 Додаток Є).**

Встановити контрольну оправку HSK 63A D40x300 в шпиндель. Індикатор з магнітною опорою помістити на корпус силової головки і підвести вимірювальний елемент до основи оправки.

Після цього переміщувати вісь Z індикатор по оправці на довжину 250 мм і постійно перевіряти відхилення від паралельності в поздовжньому напрямку.

Таким же чином перевірити відхилення від прямолінійності в поперечному напрямку.

#### **1.17 Фактична відстань від торця шпинделя до осі B (п. 4.5 Додаток Є).**

Установити кулькову оправку в шпиндель.

Встановити контрольну оправку на планшайбу поворотної силової головки осі A і виставити так, щоб сторона 350 мм була паралельна осі X, у вертикальному напрямку.

Установити вісь B на 0°.

Опускати кулькову оправку віссю Z, переміщувати до тих пір, поки відстань між кулькою та площиною кронштейна не становитиме 4,5 мм (величина C<sub>0</sub>). Відстань заміряти вимірювальними плитками.

Повернути вісь B на 45° і заміряти відстань від кульки до площини кронштейна вимірювальними плитками (величина C<sub>45</sub>).

Повернути вісь B на мінус 45° і заміряти відстань від кульки до контрольної оправки вимірювальними плитками (величина C<sub>-45</sub>).

Величини C<sub>45</sub> і C<sub>-45</sub> дорівнюють сумі товщини вимірювальних плиток мінус сума допусків цих плиток:

$$C_{45}(C_{-45}) = \sum_{i=1}^n l_{пл.i} - \sum_{i=1}^n T_{пл.i}$$

де  $l_{пл.i}$  – товщина  $i$ -ї плитки, мм;

$T_{пл.i}$  – допуск  $i$ -ї плитки, мм.

Визначити фактичну відстань від торця шпинделя до осі Y за такими формулами:

$$L_{осі-B} = L - b$$

де  $L$  – довжина від торця шпинделя до крайньої точки кульки, заміряється, як довжина від встановлюючого торця інструментальної оправки до крайньої точки кульки на мікроскопі, мм;

$b$  – відстань від осі B до точки дотику кульки та контрольної оправки, мм:

$$\left\{ \begin{array}{l} b = a + C \\ b = \frac{a}{\sin 45^\circ} \end{array} \right.$$

де  $a$  – умовна довжина;

$C$  – середня відстань від точки дотику кульки і контрольної оправки при повороті осі B, мм:

$$C = \frac{(L_{45} - L_0) + (L_{-45} - L_0)}{2}$$

#### **1.18 Зміщення осі шпинделя від осі B (п. 4.6 Додаток Є).**

Цей вимір необхідно проводити з виміром п. 4.5 додатка B (фактична відстань від торця шпинделя до осі B).

Визначити фактичну відстань від торця шпинделя до осі B за наступними формулами:

$$x = \frac{C_x}{\sin 45^\circ};$$

$$C_x = C_{45} - C_{-45}$$

Якщо величина  $x$  має позитивний знак, то вісь шпинделя зміщена вліво від осі B, якщо негативний – вправо.

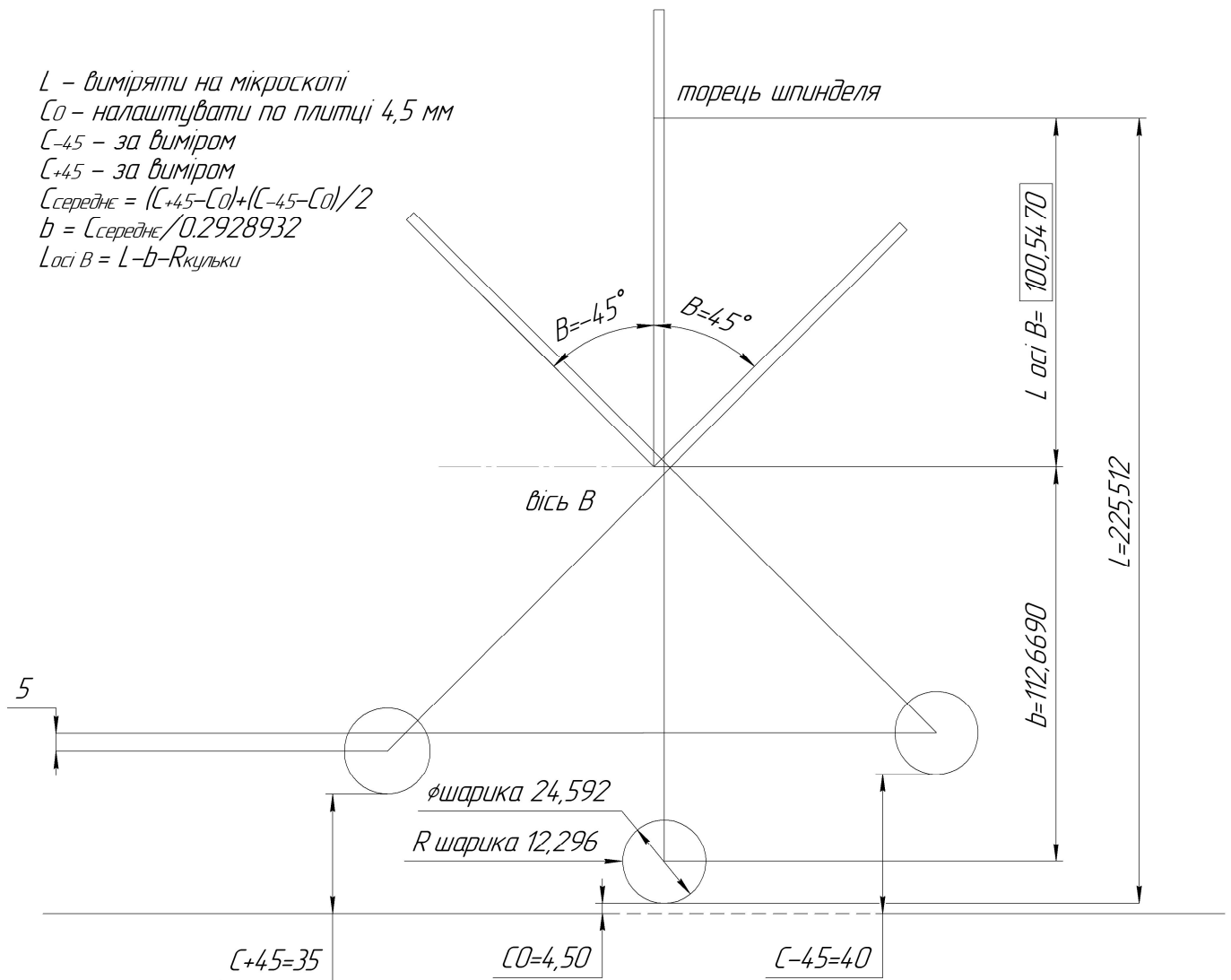


Рисунок 4.7 – Кінематична схема до розрахунків п. 1.17 та п. 1.18

#### Контрольні питання до розділу 4

1. Що таке модернізація?
2. З якою метою проводиться модернізація?
3. Назвіть основні напрямки модернізації металорізальних верстатів з ЧПК.
4. Що уявляє собою керуюча програма з ЧПК?
5. Назвіть основні комплектуючі при модернізації верстата з ЧПК.
6. В чому полягає модульний принцип побудови (або агрегування) обладнання, яке модернізується?
7. Які переваги має модульний принцип?
8. Назвіть основні покупні складові для реалізації модульного принципу модернізації верстатів.
9. В чому полягає підхід до модернізації технологічного обладнання?
10. Назвіть основні види модернізації металообробного обладнання.
11. Які вимоги висуваються до постачальників покупного обладнання?
12. Що повинен містити робочий проект модернізації верстата?
13. Що дає модернізація технологічного обладнання?
14. В чому полягає ремонтна модернізація?
15. Що уявляє собою технологічна модернізація?
16. В яких випадках проводиться часткова модернізація технологічного обладнання?
17. В яких випадках економічно обґрунтовано проводити модернізацію обладнання?
18. Що уявляє собою комплексна (глибока) модернізація?
19. Хто приймає участь у підготовці технічного завдання на модернізацію?
20. Які відділи промислового підприємства визначають економічну ефективність модернізації?
21. Яка інформація обов'язково має бути присутньою у технічному завданні на модернізацію верстатів з ЧПК?

## Тести для перевірки знань

1. Загальне керівництво всією роботою з модернізації виконує:
  - a) головний технолог;
  - b) головний металург;
  - c) головний інженер;
  - d) головний механік.
  
2. Економічну ефективність модернізації технологічного обладнання визначає:
  - a) планово-економічний відділ за участю відділу головного механіка;
  - b) планово-економічний відділ за участю відділу головного технолога та відділу праці і заробітної плати;
  - c) відділ праці та заробітної плати;
  - d) планово-економічний відділ за участю відділу головного конструктора.
  
3. Технічне завдання на модернізацію застарілого обладнання з ЧПК повинно містити обов'язково наступну інформацію:
  - a) тип обладнання, передбачуване компонування, тип оброблюваної деталі, шорсткість, норми точності, режими різання, система заміни інструменту, кількість позицій, найкраща система ЧПК;
  - b) тип обладнання та норми його точності;
  - c) передбачуване компонування верстата та режими різання;
  - d) тип обладнання та норми його точності, режими різання, система заміни інструменту, кількість позицій, найкраща система ЧПК, витрати на модернізацію.
  
4. Модернізація обладнання, верстатів означає:
  - a) ремонт, відновлення зношених поверхонь деталей;
  - b) оновлення, приведення у відповідність з новими технічними вимогами;
  - c) підвищення точності і працездатності;
  - d) зниження собівартості продукції.
  
5. Причиною модернізації існуючого технологічного обладнання може бути:
  - a) низька ефективність використання технологічного обладнання та високі затрати на виробництво продукції;
  - b) висока вартість запасних частин обладнання;
  - c) низький коефіцієнт використання матеріалу при виготовленні продукції;
  - d) низька ремонтоздатність обладнання.
  
6. До ремонтної модернізації відносять:
  - a) заходи щодо зниження собівартості продукції, яка випускається;
  - b) заходи щодо підвищення швидкохідності верстатів та їх жорсткості;
  - c) заходи щодо покращення експлуатаційних характеристик обладнання, підвищення довговічності та ремонтпридатності ;
  - d) заходи щодо скорочення допоміжного часу при обробці деталей.
  
7. При підготовці і проведенні модернізації застосовується організаційний тип робіт, який пов'язаний:
  - a) з розробленням заходів щодо полегшення умов праці верстатника;
  - b) з розробленням плану робіт підвищення безпеки життєдіяльності на виробництві;
  - c) з розробленням заходів спрямованих на підвищення динамічної якості верстатів;
  - d) з виробленням стратегії модернізації промислового виробництва, в структуру якого входять мережеві графіки ходу виконання технічних етапів робіт.
  
8. На чому ґрунтується агрегатно-модульний принцип модернізації верстатів?
  - a) на проведенні модернізації з використанням збірно-монтажних операцій;
  - b) на створенні конструкцій з окремих агрегатів вузлів, модулів;
  - c) на проведенні модернізації з урахуванням результатів розрахунково-експериментальних досліджень;
  - d) на проведенні глибокого аналізу конструкції базового верстату.

9. Базові вузли верстату, який модернізується повинні мати:
- правильно вибраний матеріал;
  - здатність гасити коливання між інструментом та заготовкою;
  - стабільність форми базових деталей;
  - високу точність, жорсткість, довговічність, малі температурні деформації, високі демпфуючі властивості.
10. Яким вимогам повинні відповідати несучі системи верстатів, які модернізуються?
- жорсткості, міцності, демпфуючої здатності ;
  - міцності, стабільності форми, довговічності;
  - повинні забезпечувати і зберігати впродовж заданого ресурсу можливість обробки з регламентованими режимами і необхідною точністю;
  - повинні виконувати своє функціональне призначення при експлуатації.
11. Що розуміється під поняттям «системний підхід» до модернізації верстатів?
- можливість виконувати модернізацію у всіх елементах верстата ;
  - уніфікація компонентів, автоматизація процесів, сервісне обслуговування та навчання персоналу можливість розширення та удосконалення виробництва;
  - створення необхідних умов праці всіх учасників процесу модернізації;
  - виконання усіх робіт з модернізації з урахуванням потреб виробництва.
12. Які роботи повинні виконуватись при модернізації верстатів з ЧПК?
- змінення систем ЧПК, розробка керуючих програм, розробка технології, підбір та поставка інструменту, визначення стратегії обробки та режимів різання;
  - поставка верстатів з ЧПК, капітальний ремонт верстатів, налаштування верстатів;
  - виконання робіт з метрологічного забезпечення після капітального ремонту верстатів з ЧПК;
  - роботи з метрологічного забезпечення верстатів, налаштування, тестування верстатів з ЧПК.
13. З якою метою при модернізації верстатів з ЧПК встановлюються додаткові координати(осі переміщень)?
- з метою підвищення ремонтпридатності верстата;
  - для розширення технологічних можливостей верстата;
  - для зниження собівартості продукції, яка випускається;
  - з метою скорочення частки ручної праці.
14. Що є головним виробничим завданням будь-якого промислового підприємства?
- випуск продукції з мінімальними витратами на її виробництво;
  - випуск продукції, яка максимально точно відповідає вимогам технічної документації;
  - випуск продукції, яка сприятиме довговічності виробів;
  - випуск конкурентоспроможної продукції.
15. Відхилення від перпендикулярності осі (прямої) X відносно осі (прямої) Y це:
- відстань між осями X і Y, виражена у лінійних одиницях на довжині нормованої ділянки;
  - відхилення кута між віссю (X) і базовою віссю (Y) від прямого кута, виражене у лінійних одиницях на довжині нормованої ділянки;
  - відстань між осями (X) і (Y) у взаємоперпендикулярному напрямку виражене у лінійних одиницях;
  - відхилення кута між віссю (X) і базовою віссю (Y) від прямого кута, виражене у кутових одиницях на довжині нормованої ділянки.
16. Відхилення від паралельності осей A і A<sub>1</sub> у спільній площині це:
- геометрична сума відхилень від паралельності проекцій осей A і A<sub>1</sub> у двох взаємоперпендикулярних площинах;
  - відхилення від паралельності проекцій осей A і A<sub>1</sub> на їх спільну площину;
  - сума відхилень від паралельності проекцій осей A і A<sub>1</sub> у двох взаємоперпендикулярних площинах;



d) найбільш допустиме значення відхилення від паралельності осей у спільній площині.

17. Відхилення від прямолінійності в площині це:

- a) найбільша відстань від точок реального профілю до прилеглої прямої в межах нормованої ділянки;
- b) найменша відстань від точок реального профілю до прилеглої прямої в межах нормованої ділянки;
- c) усереднена відстань від точок реального профілю до прилеглої прямої в межах нормованої ділянки;
- d) найбільше допустиме значення відхилення від прямолінійності.

18. Радіальне биття це:

- a) найбільша відстань від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною перпендикулярною до базової осі;
- b) різниця найбільшої і найменшої відстані від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною перпендикулярною до базової осі;
- c) найменша відстань від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною перпендикулярною до базової осі;
- d) допустима відстань від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною перпендикулярною до базової осі.

19. Що таке торцеве биття?

- a) найбільше значення відстані від точок реального профілю торцевої поверхні до площини перпендикулярної до базової осі;
- b) найбільше або найменше допустиме значення відстані від точок реального профілю торцевої поверхні до площини перпендикулярної до базової осі;
- c) різниця найбільшої і найменшої відстані від точок реального профілю торцевої поверхні до площини перпендикулярної до базової осі;
- d) найменше значення відстані від точок реального профілю торцевої поверхні до площини перпендикулярної до базової осі.

20. Робочий проект модернізації повинен містити:

- a) планування, розташування обладнання на площах замовника, перелік і точки розташування усіх необхідних комунікацій, кінематичну схему верстата, розміри і кріпильні елементи робочих поверхонь, схему налаштування першої тестової деталі;
- b) схему розташування обладнання, технічні характеристики верстата після модернізації, вартість модернізації, функціональні можливості модернізованого верстата;
- c) технічні характеристики верстата після модернізації, точки розміщення електропостачання та стиснутого повітря, точки розміщення модернізованого обладнання на площах замовника, схеми евакуації працівників;
- d) технічні характеристики модернізованого обладнання, схеми розташування вантажопідйомних засобів, основні куповані елементи для модернізації, інструкцію по заходам щодо безпеки життєдіяльності.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СПЕЦІАЛЬНИХ СИМВОЛІВ

|        |  |
|--------|--|
| %      | Початок керуючої програми              |
| (      | Взяття в дужки параметрів чи виразів   |
| )      |  |
| [      | Взяття в дужки адрес чи індексів полів |
| ]      |  |
| <      | Більше                                 |
| >      | Менше                                  |
| :      | Початок головного кадру                |
| =      | Рівність                               |
| /      | Ділення, пропуск кадру                 |
| *      | Множення                               |
| +      | Додавання                              |
| -      | Віднімання                             |
| “      | Лапки                                  |
| \$     | Системна ідентифікація змінних         |
| .      | Десяткова крапка                       |
| ,      | Знак розділення параметрів             |
| ;      | Початок коментаря                      |
| Tab    | Знак розділення                        |
| Пробіл | Знак розділення                        |

## ПЕРЕЛІК ПІДГОТОВЧИХ ФУНКЦІЙ

| Код G     | Функція   |
|-----------|---|
| G00       | Позиціонування (прискорений хід)  |
| G01       | Лінійна інтерполяція  |
| G02       | Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки                                   |
| G03       | Кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою                                     |
| G04       | Витримка (час очікування)   |
| G09       | Точна зупинка. Діє в одному актуальному кадрі                                     |
| G17       | Вибір робочої площини обробки XY  |
| G18       | Вибір робочої площини обробки XZ  |
| G19       | Вибір робочої площини обробки ZY  |
| G25       | Обмеження робочої зони. Нижнє обмеження   |
| G26       | Обмеження робочої зони. Верхнє обмеження  |
| G33       | Нарізання різі  |
| G34       | Нарізання різі зі зміною кроку різі   |
| G40       | Скасування корекції на радіус інструмента   |
| G41       | Введення корекції на радіус інструмента. Інструмент справа від контуру            |
| G42       | Введення корекції на радіус інструмента. Інструмент зліва від контуру             |
| G53       | Активація системи координат верстата. Відключення діючого зміщення нульової точки |
| G54...G59 | Активація системи координат деталі  |
| G60       | Точна зупинка. Діє в актуальному кадрі і усіх наступних кадрах                    |
| G63       | Нарізання внутрішньої різі з компенсаційним патроном                              |
| G70       | Введення розмірів в дюймах  |
| G71       | Введення розмірів в міліметрах  |
| G75       | Підведення до фіксованої точки  |
| G80       | Відміна циклу   |
| G90       | Програмування в абсолютних величинах  |
| G91       | Програмування в прирощенні  |
| G93       | Зворотна за часом подача в 1/хв – вказує на тривалість виконання кадру            |
| G94       | Подача в мм/хв.   |
| G95       | Подача в мм/оберт   |
| G96       | Ввімкнення постійної швидкості різання (для токарної обробки)                     |
| G97       | Вимкнення постійної швидкості різання (для токарної обробки)                      |

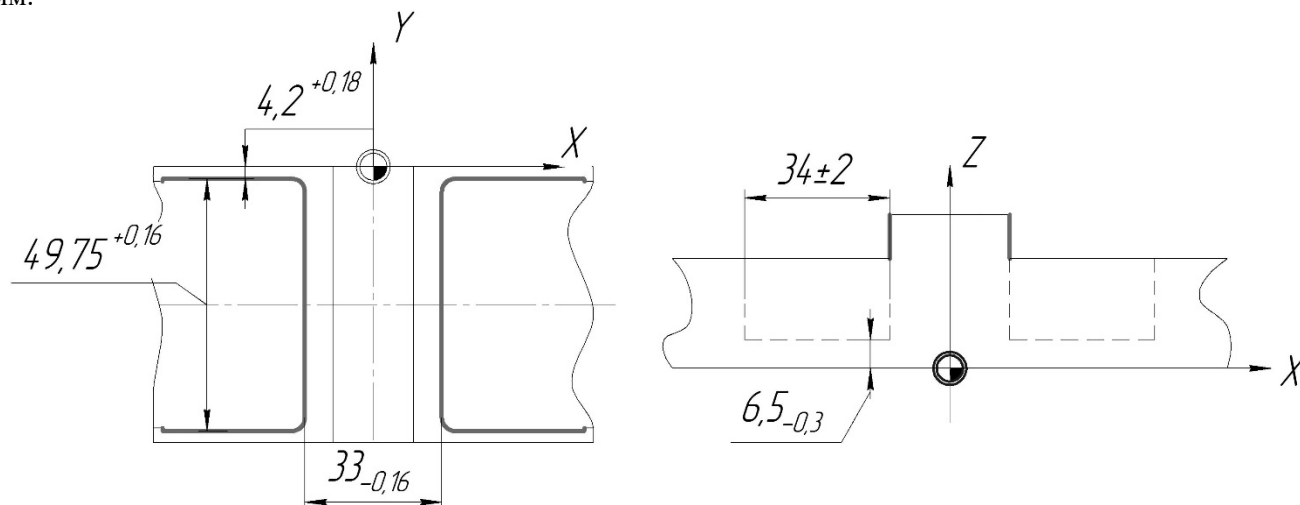
## ПЕРЕЛІК ДОПОМІЖНИХ ФУНКЦІЙ

| Код М     | Функція  |
|-----------|--|
| M00       | Безумовна зупинка програми                                   |
| M01       | Умовна зупинка програми                                      |
| M02       | Кінець програми  |
| M03       | Обертання шпинделя за годинниковою стрілкою                  |
| M04       | Обертання шпинделя проти годинникової стрілкою               |
| M05       | Зупинка шпинделя і охолодження                               |
| M06       | Заміна інструмента   |
| M07       | Ввімкнення подачі ЗОР в зону обробки в розпиленому вигляді   |
| M08       | Ввімкнення подачі ЗОР в зону обробки в вигляді струменя      |
| M09       | Вимикання охолодження  |
| M17       | Кінець підпрограми   |
| M19       | Позиціонування шпинделя                                      |
| M30       | Кінець програми  |
| M40       | Автоматичне перемикавання редуктора                          |
| M41...M45 | Перемикавання діапазонів швидкостей обертання шпинделя 1...5 |
| M70       | Перемикавання шпинделя в осьовий режим                       |

## ПРИКЛАДИ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ

## Приклад 1

Використання перетворення системи координат при обробці прямокутних карманів кінцевою фрезою  $\varnothing 16$  мм.



```

:9001 T1 D1
M6
N10 MSG("Freza D16")
N20 FGROUP(X,Y,Z)
N30 G0 G54 G64 G90 S300 M3
N40 G75 Z0
N50 G00 X-50.46
N60 G01 Y-29.385 F5000
N70 Z+6.35 M8
N80 G1 G41 Y-54.12 F15
N90 X-16.46
N110 Y-4.29
N120 X-50.46
N130 G1 G40 Y-29.385
N140 Z+150 F5000 M50
N150 G75 Z0 M5
N160 M0
:9002 T1 D1
N10 M6
N20 MSG("Freza D16")
N30 FGROUP(X,Y,Z)
N40 G0 G54 G64 G90 S300 M3
N50 G75 Z0
N60 MIRROR X0
N70 G00 X-50.46
N80 G01 Y-29.385 F5000 M8
N90 Z+6.35 M8
N100 G1 G41 Y-54.12 F15
N110 X-16.46
N120 Y-4.29
N130 X-50.46
N140 G1 G40 Y-29.385
N150 Z+150 F5000 M50
N160 MIRROR
N170 G75 Z0 M5
N180 M0

```

## Приклад 2

Використання підпрограм на прикладі свердління отворів шляхом обертання поворотного стола.

:901 T1 D1

N1 M6

N2 FGROUP(X,Y,Z,B,C)

N3 G0 G56 G90

N4 G1 B0 C0 F500

N5 G0 G90 X209 Y0 S200 M3

N6 G1 C4.5 F200

N7 Z192.5 F1000

N8 Z137 M8

SPF11

N9 G1 C13.5 F200

SPF11

N10 G1 C22.5 F200

SPF11

N11 G1 C31.5 F200

SPF11

N12 G1 C40.5 F200

SPF11

N13 G1 C49.5 F200

SPF11

N14 G1 C58.5 F200

SPF11

N15 G1 C67.5 F200

SPF11

N16 G1 C76.5 F200

SPF11

N17 G1 C94.5 F200

SPF11

N18 G1 C103.5 F200

SPF11

N19 G1 C112.5 F200

SPF11

N20 M1

- умовна зупинка виконання програми для перевірки стану різального інструмента;

N21 G1 C121.5 F200

SPF11

N22 G1 C130.5 F200

SPF11

N23 G1 C139.5 F200

SPF11

N24 G1 C148.5 F200

SPF11

N25 G1 C157.5 F200

SPF11

N26 G1 C166.5 F200

SPF11

N27 G1 C175.5 F200

SPF11

N28 G1 C184.5 F200

SPF11

N29 G1 C205.5 F200

SPF11

N30 G1 C217.5 F200

SPF11

N31 G1 C229.5 F200

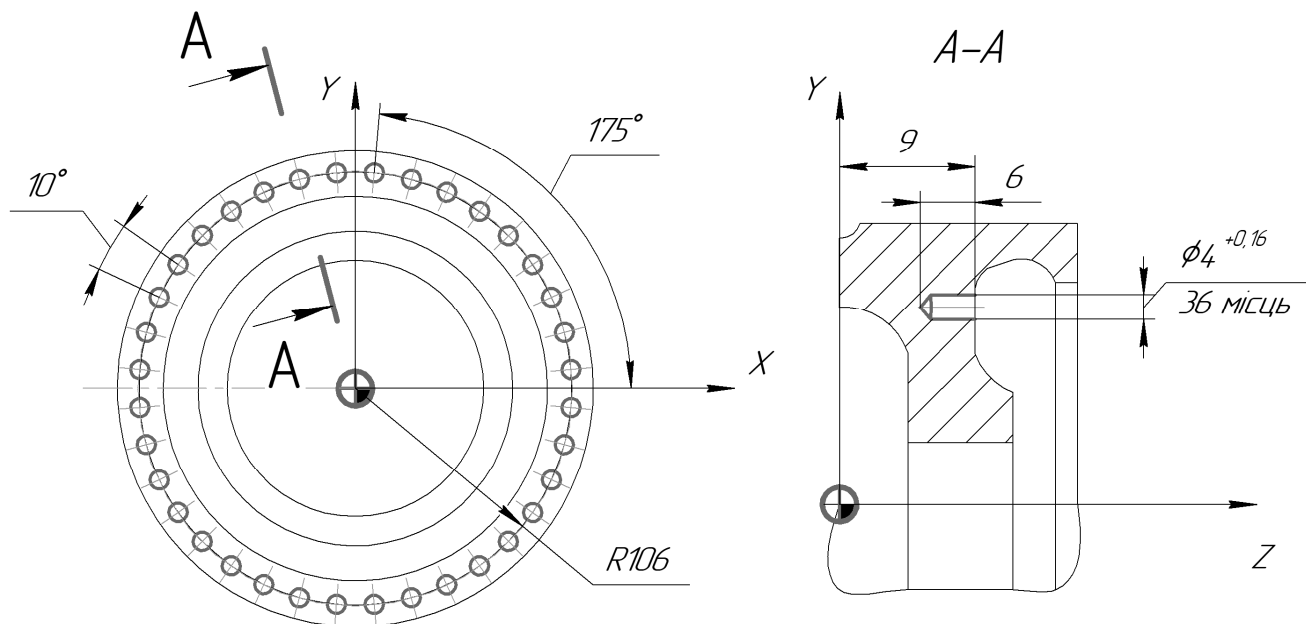
SPF11

M1  
N32 G1 C238.5 F200  
SPF11  
N33 G1 C247.5 F200  
SPF11  
N34 G1 C256.5 F200  
SPF11  
N35 G1 C265.5 F200  
SPF11  
N36 G1 C274.5 F200  
SPF11  
N37 G1 C283.5 F200  
SPF11  
N38 G1 C292.5 F200  
SPF11  
N39 G1 C301.5 F200  
SPF11  
N40 G1 C310.5 F200  
SPF11  
N41 G1 C319.5 F200  
SPF11  
N42 G1 C337.5 F200  
SPF11  
N43 G1 C346.5 F200  
SPF11  
N44 G1 C355.5 F200  
SPF11  
N45 G0 Z192.5  
N46 M5 M9  
N47 G75 Z0  
M30

Підпрограма SPF11  
N10 G1 Z130 F10  
N20 Z137 F200  
N30 Z132  
N40 Z125 F10  
N50 Z135 F200  
N60 Z127  
N70 Z121 F10  
N80 Z137 F200  
M17

### Приклад 3

Використання циклів обробки при свердлінні 36 рівно розташованих отворів  $\varnothing 4$  мм.



```

:901 T1 D1
M6
MSG("CENTROVKA")
FGROUP(X,Y,Z,A,C)
N10 G0 G54 G60 G90
N20 A0 C0
N30 G75 Z0
N40 G0 G90 X-105.6 Y9.24
N50 G1 Z150 D1 S500 F4000 M3
N60 G1 Z50 F2000 M8
N70 G1 F20
N80 MCALL CYCLE81(50,9,2,7)
N90 HOLES2(0,0,106,175,10,36)
MCALL
N100 G1 Z150 F2000 M9 M5
N110 G75 Z0
M1
;
:902 T2 D1
M6
MSG("SWERLO_D3.7")
FGROUP(X,Y,Z,A,C)
N10 G0 G54 G60 G90
N20 A0 C0
N30 G75 Z0
N40 G0 G90 X-105.6 Y9.24
N50 G1 Z150 D1 S500 F4000 M3
N60 G1 Z50 F2000 M8
N70 G1 F10
N80 MCALL CYCLE81(50,9,2,3)
N90 HOLES2(0,0,106,175,10,36)
MCALL
N100G1 Z150 F2000 M9 M5
N110 G75 Z0
M0 M30
    
```



#### Приклад 4

Модальний виклик циклу свердління через завдання координат розташування отворів.

```
:901T1D1  
M6  
MSG(" SVERLO_D 6.2")  
N48M41  
N49S400M3  
N8G75Z0  
FGROUP(X,Y,Z,A,C)  
N50G0G55G90  
N7G0A0C0  
N51G0G90X28.8256Y163.4781  
N52Z150  
N53Z80.3M8  
N54G1F30  
N55MCALL CYCLE81(80.3,76.3,2,,5.5)  
N56X28.8256Y163.4781  
N57G0X56.7753Y155.989  
N58X83Y143.7602  
N59X106.7027Y127.1634  
N60X127.1634Y106.7027  
N61X143.7602Y83  
N62X155.989Y56.7753  
N63X163.4781Y28.8256  
N64X166Y0  
N65X163.4781Y-28.8256  
N66X155.989Y-56.7754  
N67X127.1634Y-106.7028  
N68X106.7027Y-127.1634  
N69X83Y-143.7602  
N70X56.7753Y-155.989  
N71X28.8256Y-163.4781  
N72X0Y-166  
N73X-28.8256Y-163.4781  
N74X-56.7754Y-155.989  
N75X-83Y-143.7602  
N76X-106.7028Y-127.1634  
N77X-127.1634Y-106.7027  
N78X-155.989Y-56.7753  
N79X-163.4781Y-28.8256  
N80X-166Y0  
N81X-163.4781Y28.8256  
N82X-155.989Y56.7754  
N83X-143.7602Y83  
N84X-127.1634Y106.7028  
N85X-106.7027Y127.1634  
N86X-83Y143.7602  
N87X-56.7753Y155.989  
N88X-28.8256Y163.4781  
N89MCALL  
N90G0Z150M9  
N90G75Z0  
N91M30
```

## Початкові дані

| №   | Найменування даних, позначення, розмірність                                      | Базовий варіант | Новий варіант |
|-----|--|-----------------|---------------|
| 1.  | Загальна характеристика машини:  | -               |               |
| 1.1 | Маса машини, $M_{\text{маш}}$ , т.   |                 |               |
| 1.2 | Наявність коштів автоматики (є, немає)   |                 |               |
| 1.3 | Точність машини (нормальна, підвищена, висока)                                   |                 |               |
| 1.4 | Потужність головного приводу, $N_{\text{прив}}$ , кВт.                           |                 |               |
| 1.5 | Наявність коштів автоматики в машині (є, немає)                                  |                 | -             |
| 1.6 | Режим роботи машини (кількість змін)   |                 |               |
| 2.  | Характеристика результатів реконструкції машини:                                 | -               |               |
| 2.1 | Зміна розмірів заготовок, $I_{\text{р.з}}$ , %                                   | 100%            |               |
| 2.2 | Зміна продуктивності, $I_{\text{пр}}$ , %  | 100%            |               |
| 2.3 | Зміна фонду часу роботи, $I_{\text{ф.в}}$ , %                                    | 100%            |               |
| 2.4 | Зміна споживання електроенергії, $I_{\text{п.е}}$ , %                            | 100%            |               |
| 2.5 | Зміна точності обробки, $I_{\text{т.о}}$ , %                                     | 100%            |               |
| 3.  | Характеристика деталі – представника:  | -               |               |
| 3.1 | Тип заготовки (поковка, відливка, прокат)  |                 |               |
| 3.2 | Маса деталі - представника, $M_{\text{дет}}$ , т.                                |                 |               |
| 3.3 | Трудомісткість виготовлення на даній машині, $T_{\text{р}}$ , н-год.             |                 |               |
| 3.4 | Частка $T_{\text{р}}$ в загальному часі виготовлення деталі, $D_{\text{тр}}$ , % |                 | -             |
|     |  |                 | -             |

**Е.1 – Порядок призначення коефіцієнтів  $K_{\text{АВТ}}$ ,  $K_{\text{T}}$ ,  $K_{\text{Р.З}}$ ,  $K_{\text{ЕК}}$ ,  $K_{\text{ВР}}$ ,  $K_{\text{ПР}}$ ,  $K_{\text{Точн}}$** 

- $K_{\text{АВТ}}$ : при відсутності засобів автоматики  $K_{\text{АВТ}}=1,0$ , при наявності  $K_{\text{АВТ}}=1,15$ ;
- $K_{\text{T}}$ : при нормальній (Н) точності машини  $K_{\text{T}} = 1,0$ , при підвищеній (П) точності  $K_{\text{T}} = 1,15$ , при високій (В) точності  $K_{\text{T}} = 1,30$ ;
- $K_{\text{Р.З}}$ : при збільшенні розмірів заготовок, що обробляються на новій машині в порівнянні з базовою на 5%  $K_{\text{Р.З}} = 1,01$ , на 10%  $K_{\text{Р.З}} = 1,02$ , на 15%  $K_{\text{Р.З}} = 1,03$  і ін.;
- $K_{\text{ЕК}}$ : при економії електроенергії на новій машині в порівнянні з базовою на 1%  $K_{\text{ЕК}} = 1,01$ , на 2%  $K_{\text{ЕК}} = 1,02$ , на 3%  $K_{\text{ЕК}} = 1,03$  і ін.;
- $K_{\text{ВР}}$ : при збільшенні фонду часу роботи на новій машині в порівнянні з базовою на 1%  $K_{\text{ВР}} = 1,015$ , на 2%  $K_{\text{ВР}} = 1,030$ , на 3%  $K_{\text{ВР}} = 1,045$  і ін.;
- $K_{\text{ПР}}$ : при підвищенні продуктивності обробки на новій машині в порівнянні з базовою на 1%  $K_{\text{ПР}} = 1,020$ , на 2%  $K_{\text{ПР}} = 1,040$ , на 3%  $K_{\text{ПР}} = 1,060$  і ін.;
- $K_{\text{Точн}}$ : при підвищенні точності обробки в рамках одного квалітету (або класу точності)  $K_{\text{Точн}} = 1,035$ , на один квалітет (або клас точності)  $K_{\text{Точн}} = 1,050$ .


**Е.2 – Нормативний ефективний фонд часу роботи обладнання,  $\Phi_{\text{норм}}$ , год**

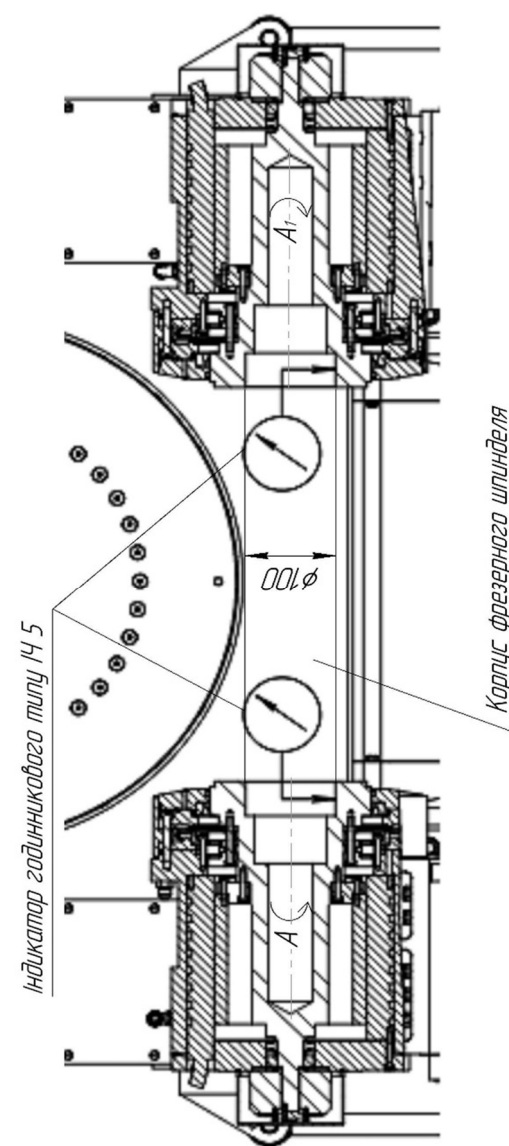
| Призначення машини  | Кількість змін роботи |               |               |               |
|---|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
|   | 1                     | 2             | 3             | 3 непр.       |
| Механічне обладнання для переробки продукції промислових підприємств                      | 1970-<br>2030         | 3730-<br>3960 | 5300-<br>5600 | 7250-<br>7550 |
| Примітка: менші значення відносяться до машин і агрегатів з великою ремонтною складністю. |                       |               |               |               |

**Е.3 – Орієнтовні дані про повну собівартість обробки однієї тони деталей, Сс.-ІТ**

| №  | Характеристика деталей   | Сс.-ІТ, грн. |
|--|--|--------------|
| 1  | Деталі середньої складності 7-го-9-го квалітету, що виготовляються з середньовуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей без використання гартування і подальшого шліфування (заготовка - прокат)                     | 27000-30000  |
| 2  | Деталі середньої складності 7-го-9-го квалітету, що виготовляються з середньовуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей без використання гартування і подальшого шліфування (заготовка – молотова поковка)           | 30000-33000  |
| 3  | Деталі середньої складності 7-го-9-го квалітету, що виготовляються з середньовуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей без використання гартування і подальшого шліфування (заготовка – пресована поковка)          | 33000-36000  |
| 4  | Деталі середньої складності 7-го-9-го квалітету, що виготовляються з середньовуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей з використанням гартування і подальшого шліфування (заготовка – молотова поковка)            | 36000-45000  |
| 5  | Деталі середньої складності 7-го-9-го квалітету, що виготовляються з середньолегованих конструкційних і легованих інструментальних сталей з використанням гартування і подальшого шліфування (заготовка – пресована поковка) | 48000-54000  |
| 6  | Деталі середньої складності 7-го і 9-го квалітету, що виготовляються зі сталевих виливків вуглецевої сталі   | 39000-42000  |
| 7  | Деталі середньої складності 7-го-9-го квалітету, що виготовляються з чавунних виливків сірого чавуну   | 26700-27900  |
| <p>Примітки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– більші значення беруться для більш дрібних виробів і напівфабрикатів;</li> <li>– в таблиці наведено дані для металу (сталь і чавун), отриманого методом електродугової плавки і мають склад шкідливих домішок (сірки і фосфору) на рівні не більш 0,03%;</li> <li>– при використанні металу зі зниженим вмістом шкідливих домішок (тонке рафінування, вакуумування, сталь з печі-ковша та ін.) собівартість деталей повинна бути підвищена на 25...30% у порівнянні з даними таблиці;</li> <li>– для деталей отриманих з використанням нарізування зубів (зубчасті колеса і шестерні, вали-шестерні, шліцьові вали) з їх подальшим гартуванням СВЧ і шліфуванням собівартість деталей повинна бути підвищена на 20...30% в порівнянні з даними таблиці;</li> <li>– для деталей 5-го-6-го квалітету собівартість деталей повинна бути підвищена на 10...15% у порівнянні з даними таблиці.</li> </ul> |  |              |

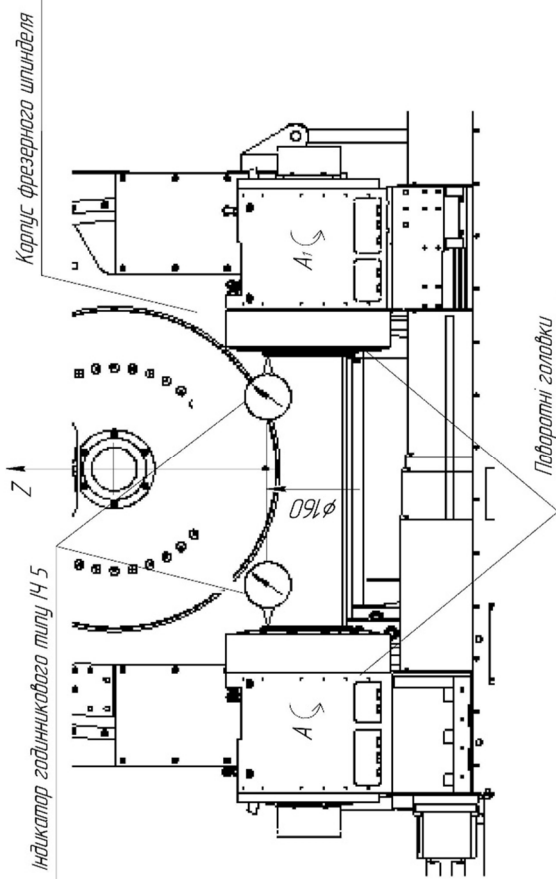
Перевірка норм точності

| №                  | Схема  | Опис   |                    |                          |                   |      |   |  |  |                |  |
|--------------------|--|--|--------------------|--------------------------|-------------------|------|---|--|--|----------------|--|
|                    | <p>Перевірка точності осей A та A<sub>1</sub></p>                                  |  |                    |                          |                   |      |   |  |  |                |  |
| 1.1                |  | <p><b>Торцеве биття планшайб поворотних головок осей A та A<sub>1</sub> на Ø 160 мм</b></p> <p>Для вимірювання використовувати індикатор годинникового типу 145 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм</p> <p>Величиною торцевого биття є різниця між найбільшим і найменшим показаннями за один оберт</p>   |                    |                          |                   |      |   |  |  |                |  |
|                    |  | <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="352 241 384 360">Допустиме значення</th> <th data-bbox="352 360 384 808">Осі та напрямки контролю</th> <th data-bbox="352 808 384 2011">Фактичне значення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="384 241 416 360">0,01</td> <td data-bbox="384 360 416 808">A</td> <td data-bbox="384 808 416 2011"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="416 241 448 360"></td> <td data-bbox="416 360 448 808">A<sub>1</sub></td> <td data-bbox="416 808 448 2011"></td> </tr> </tbody> </table> | Допустиме значення | Осі та напрямки контролю | Фактичне значення | 0,01 | A |  |  | A <sub>1</sub> |  |
| Допустиме значення | Осі та напрямки контролю   | Фактичне значення  |                    |                          |                   |      |   |  |  |                |  |
| 0,01               | A  |  |                    |                          |                   |      |   |  |  |                |  |
|                    | A <sub>1</sub>   |  |                    |                          |                   |      |   |  |  |                |  |

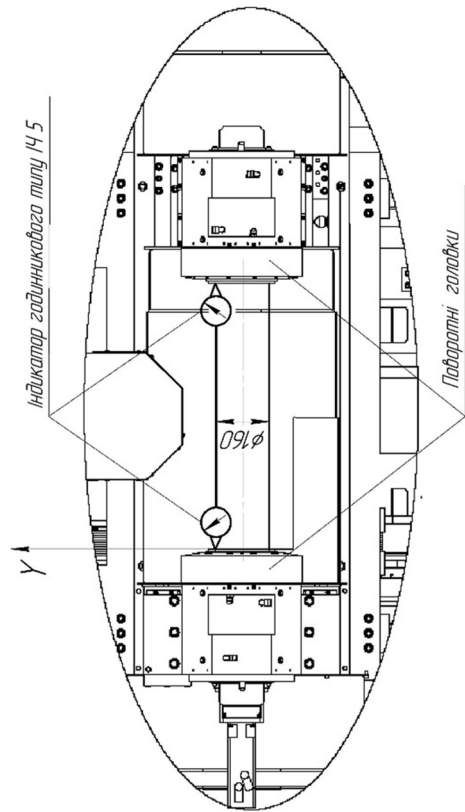
|   |                           |  |                          |
|---|---------------------------|--|--------------------------|
| <p><b>Радіальне биття центрувальних отворів планшайб поворотних головок осей А та А<sub>1</sub> на Ø100 мм</b></p> <p>Для вимірювання використовувати індикатор годинникового типу ІЧ5 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм</p> <p>Величиною радіального биття є різниця між найбільшим і найменшим показаннями за один оберт</p> | <p>Допустиме значення</p> | <p>Осі та напрямки контролю</p> <p style="text-align: center;">А</p> | <p>Фактичне значення</p> |
| <div style="text-align: center;">  </div>   | <p>0,01</p>               | <p>А<sub>1</sub></p>   |                          |

1.2

Паралельність Z



Паралельність Y



**Відхилення від паралельності площини  
планшайб поворотних головок Y і Z**

Для вимірювання використовувати індикатор годинникового типу ІЧ5 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм

Допустиме значення

0,01/160

Осі та напрямки контролю

A-Y

A-Z

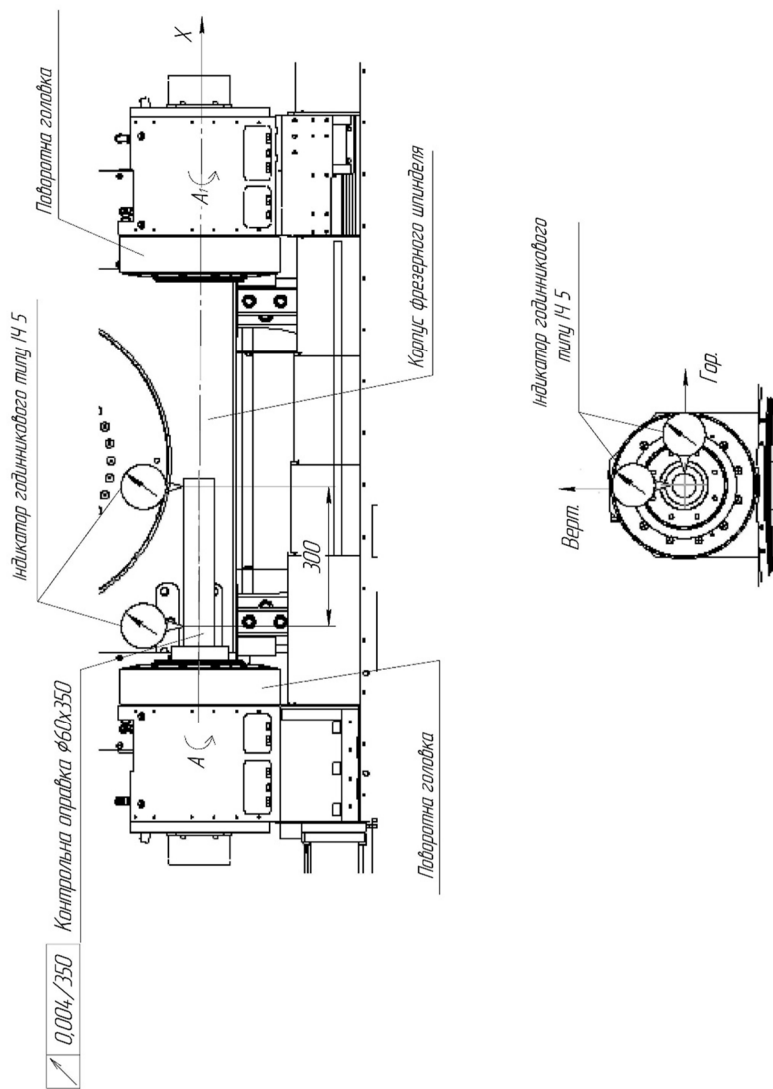
A1-Y

A1-Z

Фактичне значення

**Відхилення від паралельності осей A і A<sub>1</sub> відносно осі X в горизонтальному та вертикальному напрямках**

Для вимірювання використовувати:  
 - індикатор годинникового типу ІЧ5  
 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;  
 - контрольную оправку Ø 60x350

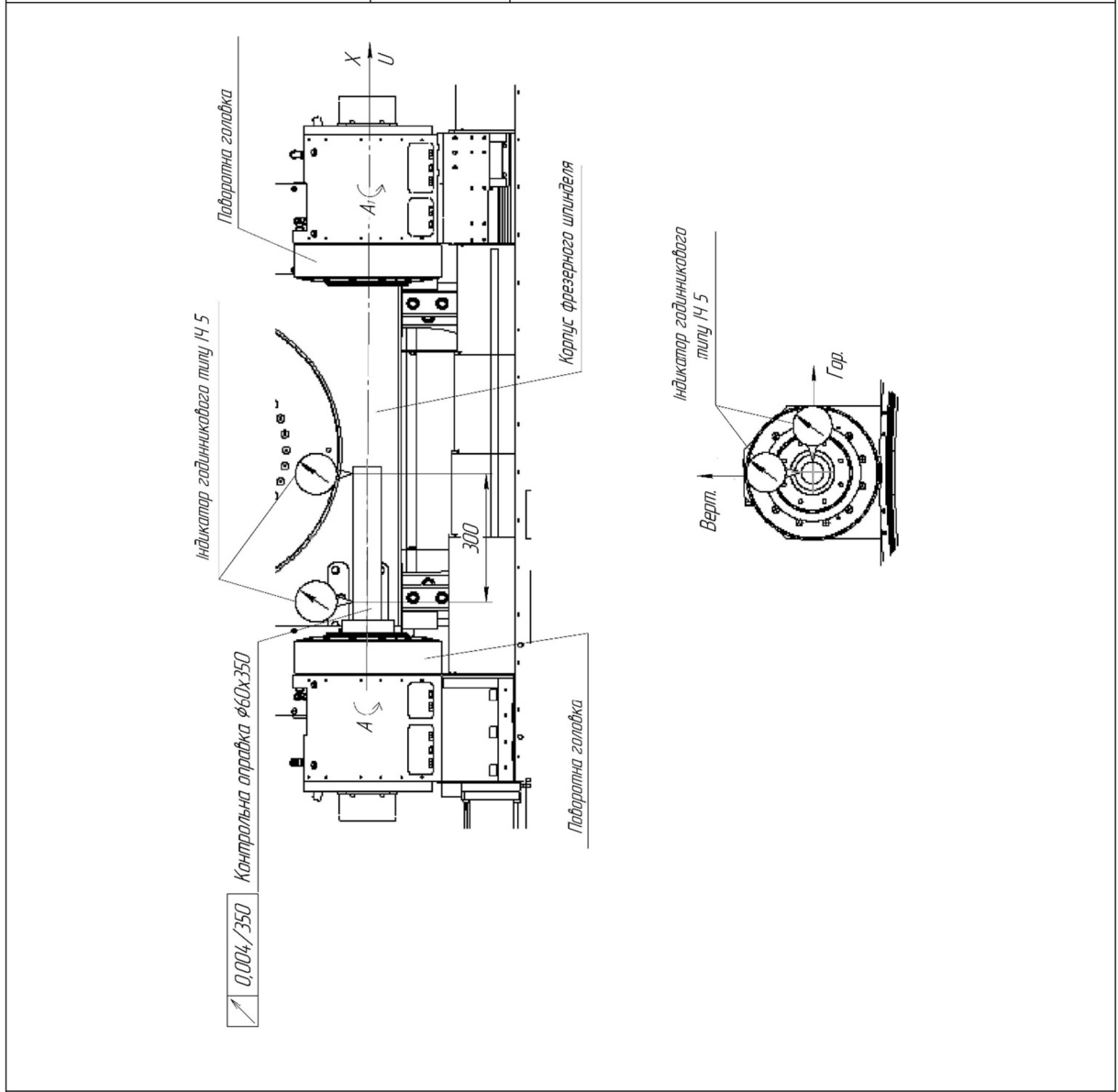


1.4

| Допустиме значення | Осі та напрямки контролю | Фактичне значення |
|--------------------|--------------------------|-------------------|
| 0,02/300           | A-X<br>горизонтально     |                   |
|                    | A-X<br>вертикально       |                   |
|                    | A1-X<br>горизонтально    |                   |
|                    | A1-X<br>вертикально      |                   |

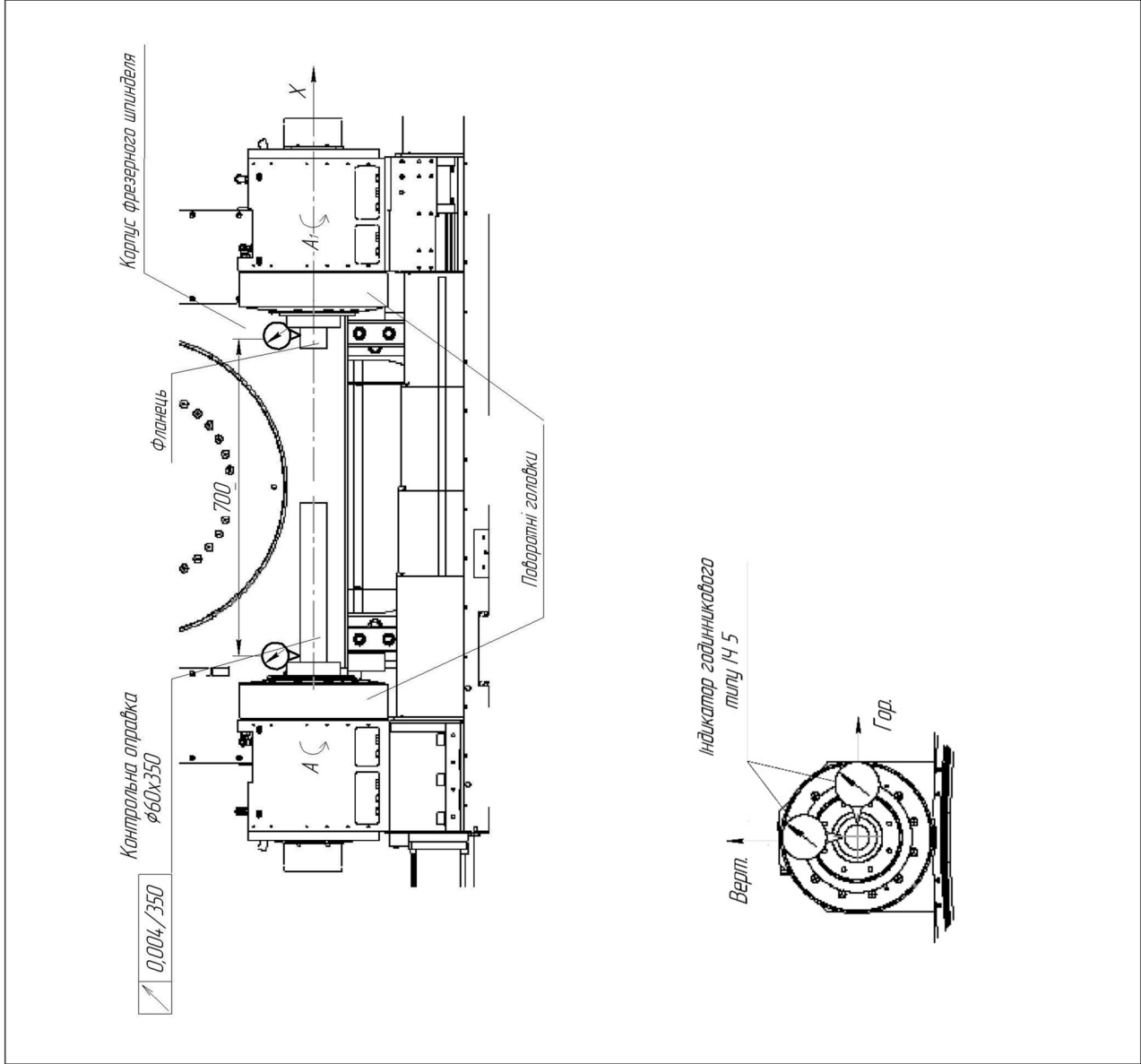


|  |                                    |                   |
|--|------------------------------------|-------------------|
| <b>Відхилення від паралельності осей <math>A_1</math> і <math>A_2</math> відносно осі <math>U</math> в горизонтальному і вертикальному напрямках</b> |                                    |                   |
| Для вимірювання використовувати:<br>- індикатор годинникового типу ІЧ5<br>ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;<br>- контрольную оправку Ø 60x350    |                                    |                   |
| Допустиме значення   | Осі та напрямки контролю           | Фактичне значення |
| 0,02/300   | A-U<br>горизонтально               |                   |
|  | A-U<br>вертикально                 |                   |
|  | A <sub>1</sub> -U<br>горизонтально |                   |
|  | A <sub>1</sub> -U<br>вертикально   |                   |



1.5

|  |                          |                       |                   |
|--|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| <p><b>Колінеарність осей А і А на розмірі 700мм між робочими торцями.</b></p> <p>Для вимірювання використовувати:<br/>         - індикатор годинникового типу ІЧ5<br/>         ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;<br/>         - контрольную оправку Ø 60x350;<br/>         - фланець</p> |                          |                       | Фактичне значення |
| Допустиме значення   | Осі та напрямки контролю | А-А1<br>горизонтально |                   |
| 0,02   |                          | А-А1<br>вертикально   |                   |



1.6

**Перевірка прямолінійності осей X, Y, Z**

**Відхилення від прямолінійності осі X**  
 Для вимірювання використовувати:  
 - індикатор годинникового типу ІЧ5  
 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;  
 - кронштейн;  
 - кутник гранітний 430x280

Допустиме значення

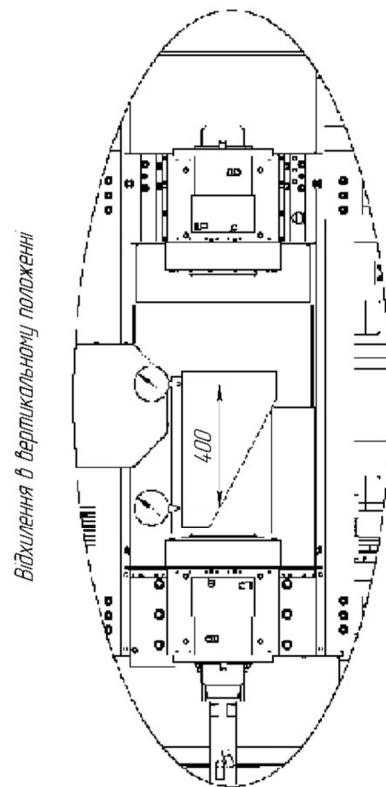
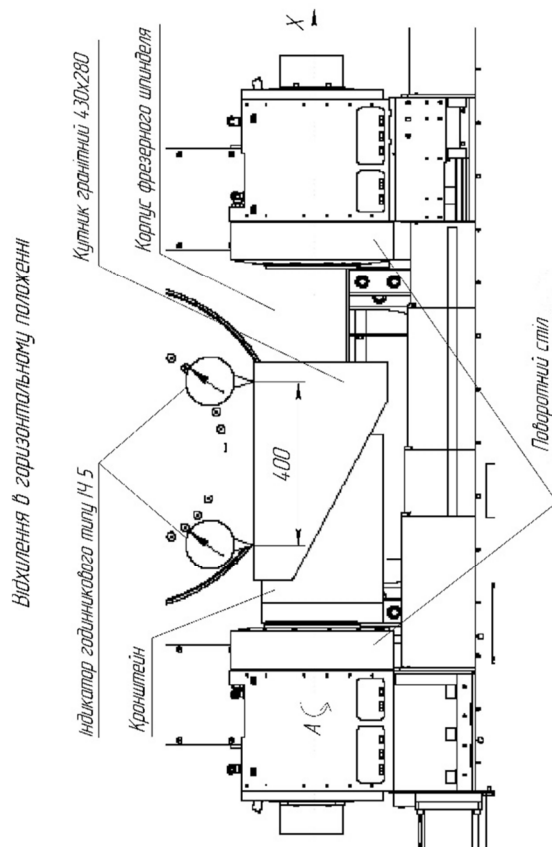
Осі та напрямки контролю

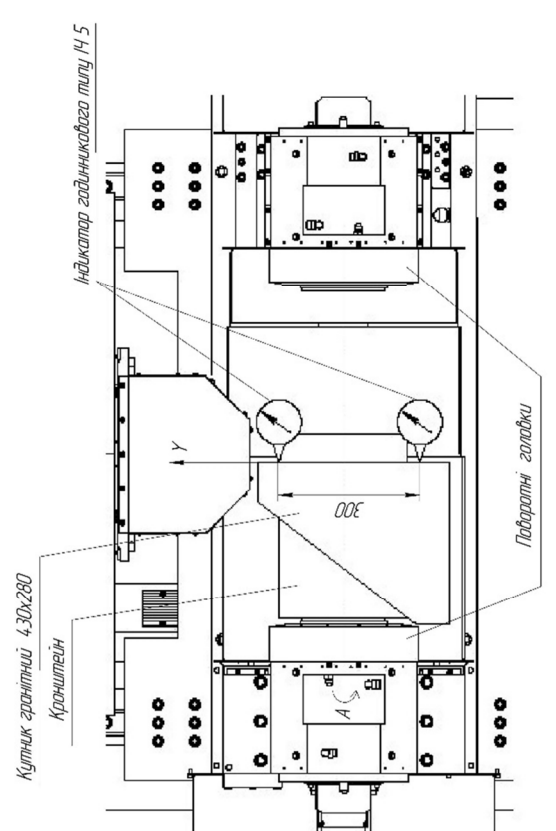
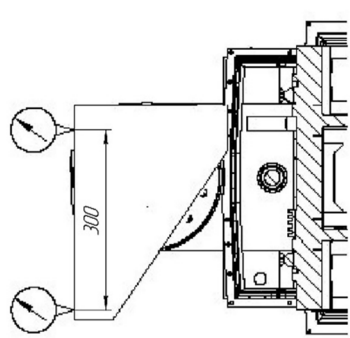
Фактичне значення

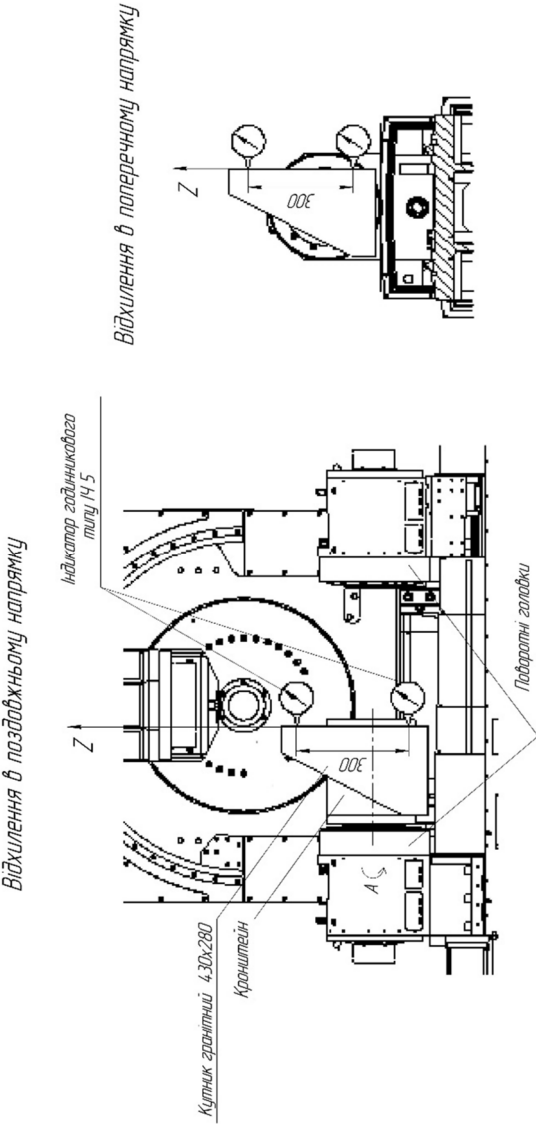
0,02/400

X  
вертикально

X  
горизонтально



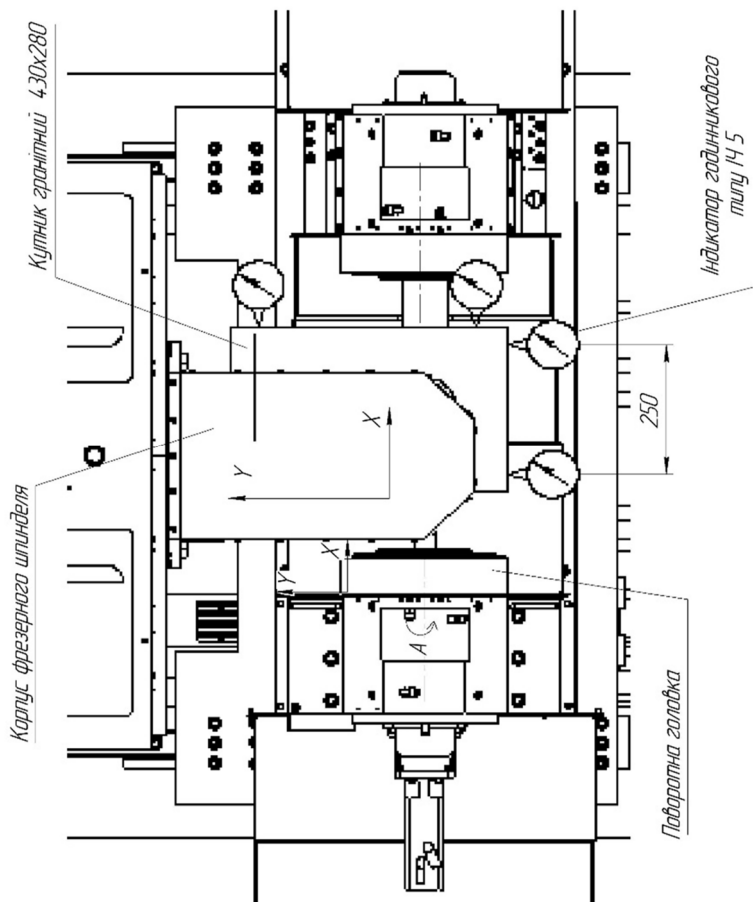
|  |  |                           |                                 |                          |
|--|--|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <p style="text-align: center;"><i>Відхилення в горизонтальному положенні</i></p>  | <p><b>Відхилення від прямилінійності осі Y</b></p> <p>Для вимірювання використовувати:<br/>         - індикатор годинникового типу Ч5<br/>         ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;<br/>         - кронштейн;<br/>         - кутник гранітний 430x280</p> | <p>Допустиме значення</p> | <p>Осі та напрямок контролю</p> | <p>Фактичне значення</p> |
|  |  | <p>0,02/300</p>           | <p>Y<br/>вертикально</p>        |                          |
| <p style="text-align: center;"><i>Відхилення в вертикальному положенні</i></p>  |  |                           | <p>Y<br/>горизонтально</p>      |                          |

|  |   |                           |                                  |                                 |
|--|---|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| <p style="text-align: center;"><i>Відхилення в поздовжньому напрямку</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Відхилення в поперечному напрямку</i></p> | <p><b>Відхилення від прямолінійності осі Z</b></p> <p>Для вимірювання використовувати:<br/>         - індикатор годинникового типу ІЧ5<br/>         ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;<br/>         - кронштейн;<br/>         - кутник гранітний 430x280</p> | <p>Допустиме значення</p> | <p>Осі та напрямки контролю</p>  | <p>Фактичне значення</p>        |
|  |   | <p>0,02/300</p>           | <p>Z<br/>         поздовжньо</p> | <p>Z<br/>         поперечно</p> |

*Перевірка взаємного положення осей X, Y, Z*

**Відхилення від перпендикулярності осей X і Y**

Для вимірювання використовувати:  
 - індикатор годинникового типу ІЧ5  
 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;  
 - кронштейн;  
 - кутник гранітний 430х280



3.1

Допустиме значення

0,02/250

Осі та напрямки контролю

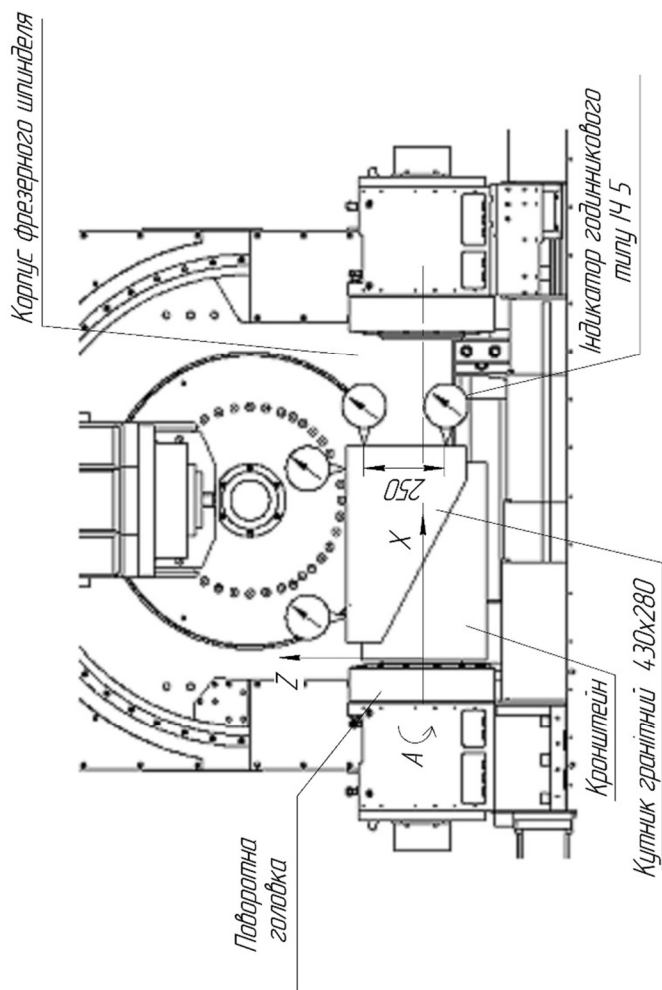
X - Y

Фактичне значення

**Відхилення від перпендикулярності осей X і Z**

Для вимірювання використовувати:  
 - індикатор годинникового типу ІЧ5  
 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;  
 - кронштейн;  
 - кутник гранітний 430х280

3.2



Осі та напрямки контролю

X-Z

Допустиме значення

0,02/250

Фактичне значення

**Відхилення від перпендикулярності осей Y і Z**

- Для вимірювання використовувати:  
 - індикатор годинникового типу ІЧ5  
 ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм;  
 - кронштейн;  
 - кутник гранітний 430х280

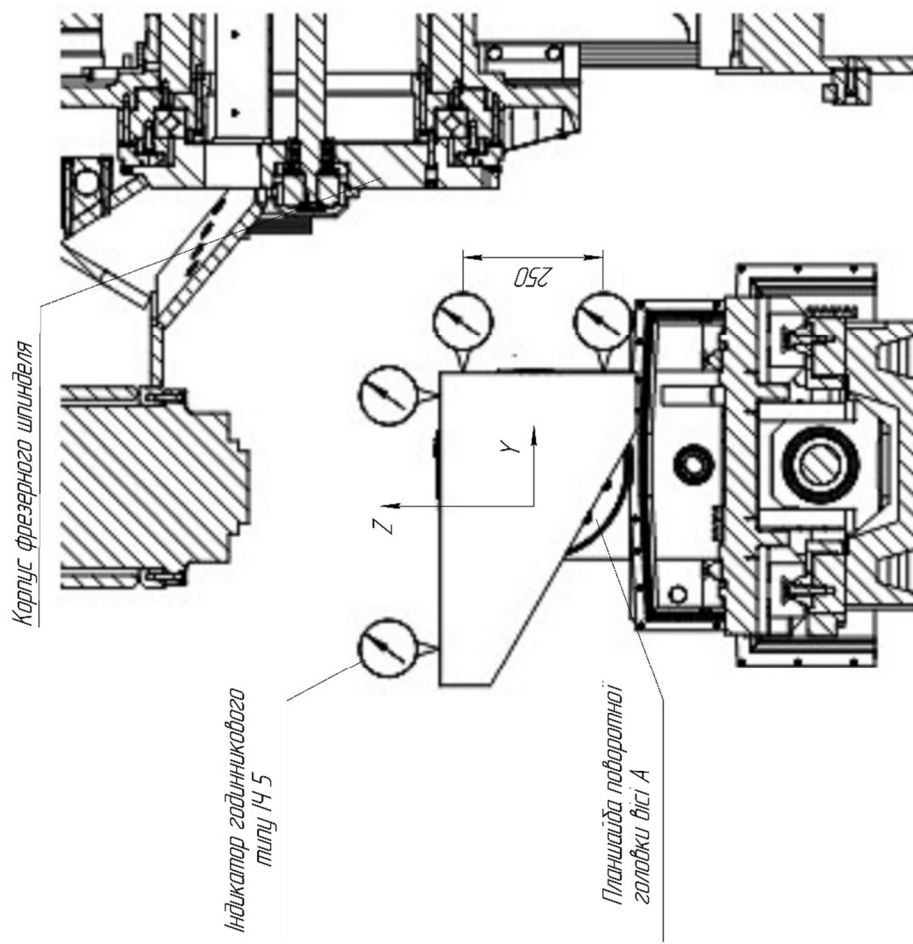
Фактичне значення

Осі та напрямки контролю

Y-Z

Допустиме значення

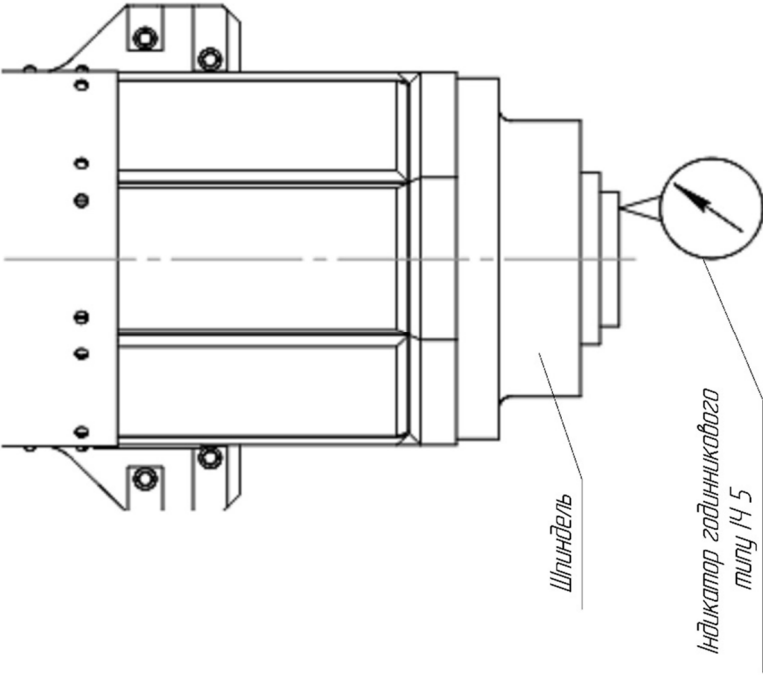
0,02/250



3.3



**Перевірка точності розташування шпинделя в осі В**

|  |   |  |  |                                 |                          |
|--|---|--|--|---------------------------------|--------------------------|
|  | <p><b>Биття торця шпинделя</b></p> <p>Для вимірювання використовувати:<br/>         - індикатор годинникового типу ІЧ5<br/>         ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм</p> <p>Величиною биття торця є різниця між найбільшим і найменшим показником за один оберт</p> |  | <p>Допустиме значення</p> <p>0,002</p> | <p>Осі та напрямки контролю</p> | <p>Фактичне значення</p> |
|--|---|--|--|---------------------------------|--------------------------|

4.1

*Радіальне биття шпindelя*

Для вимірювання використовувати:  
- індикатор годинникового типу ІЧ5  
ГОСТ 577-82 з ціною поділки 0,001 мм

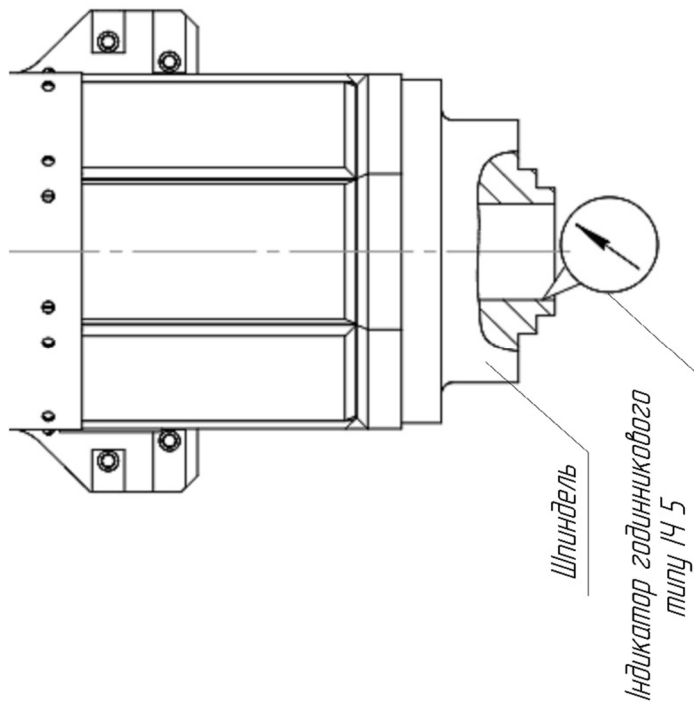
Величиною радіального биття є різниця між найбільшим і найменшим показником за один оберт

Фактичне значення

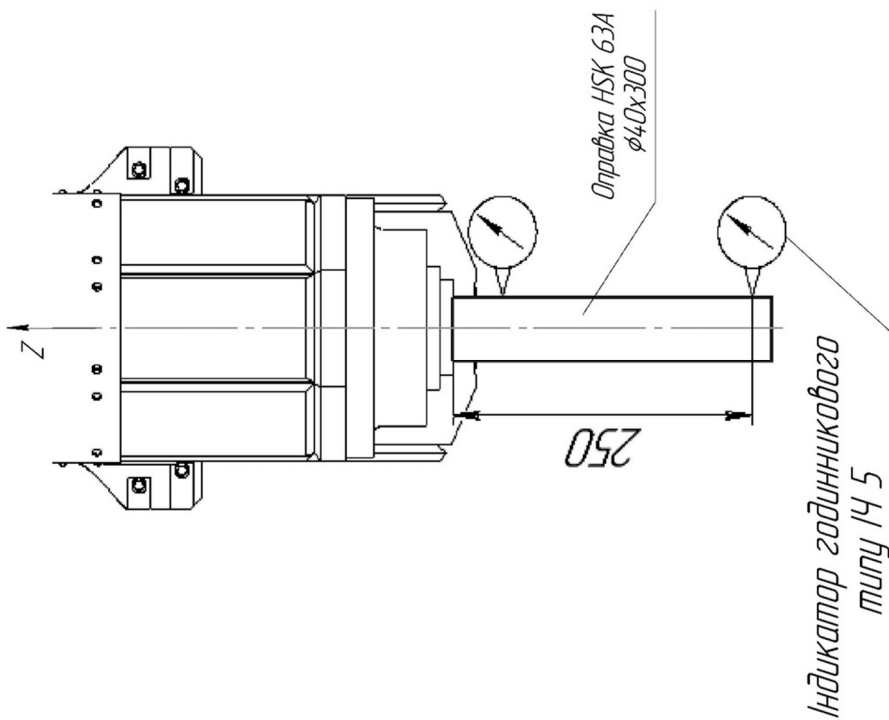
Осі та напрямки контролю

Допустимі значення

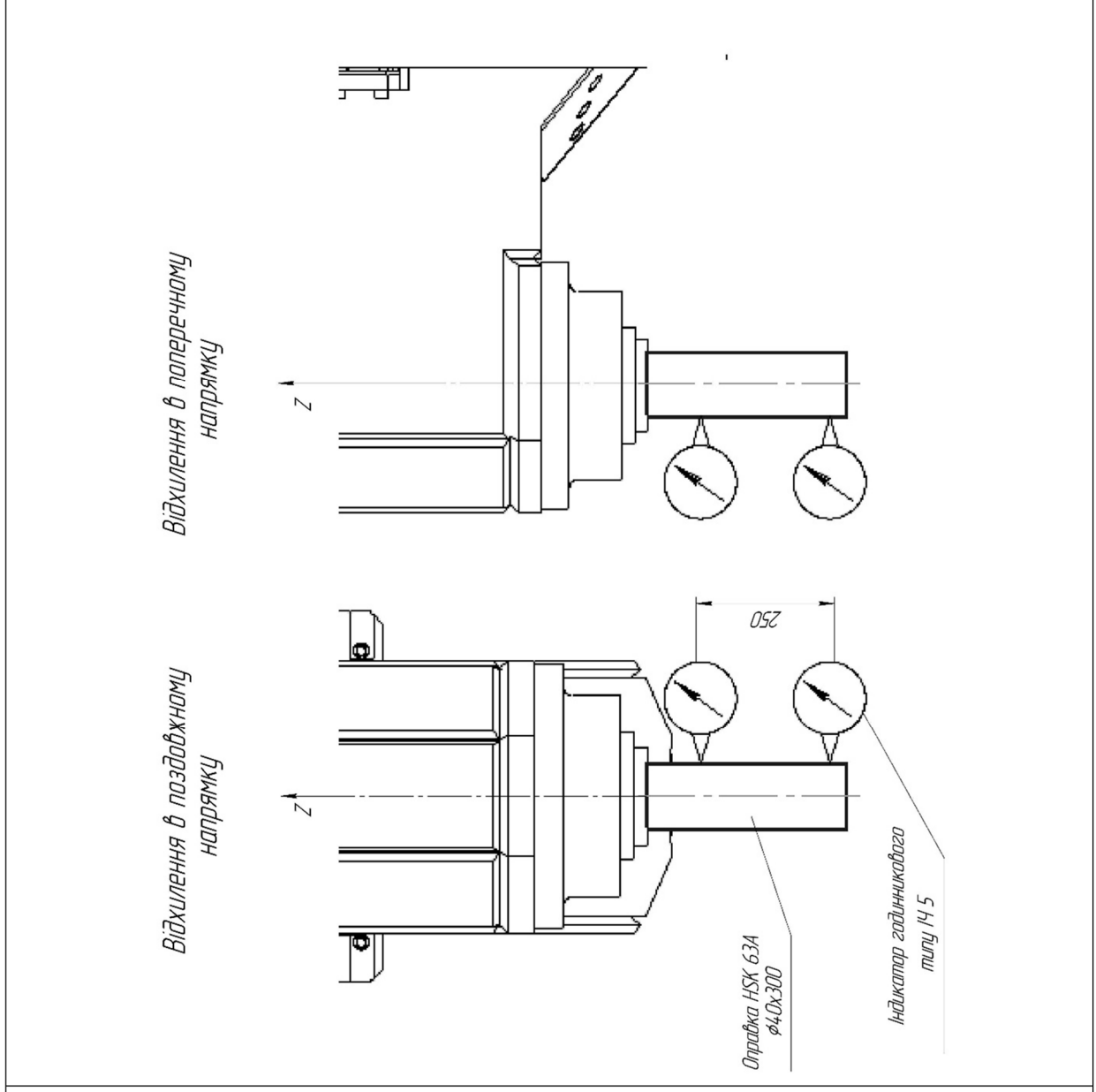
0,001



4.2

|   |  |                    |                          |                   |
|---|--|--------------------|--------------------------|-------------------|
| <p><b>Биття осі шпинделя</b><br/> а) основи;<br/> б) на відстані 250 мм</p> <p>Для вимірювання використовувати:<br/> - індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм;<br/> - оправку HSK 63A Ø40x300</p> <p>Величиною радіального биття є різниця між найбільшим і найменшим показником за один оберт</p> |  <p>Індикатор годинникового типу 145</p> <p>Оправка HSK 63A Ø40x300</p> <p>250</p> | Допустимі значення | Осі та напрямки контролю | Фактичне значення |
| 0,005   |  | основи             |                          |                   |
| 0,01  |  | на відстані 250 мм |                          |                   |

|   |                          |            |           |
|---|--------------------------|------------|-----------|
| <p><b>Відхилення від паралельності осі шпинделя за віссю Z в поздовжньому і поперечному напрямку</b></p> <p>Для вимірювання використовувати:<br/>         - індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм;<br/>         - оправку HSK 63A Ø40x300</p> | Фактичне значення        |            |           |
|   | Осі та напрямки контролю | Поздовжньо |           |
|   | Допустиме значення       | 0,02/250   | поперечно |

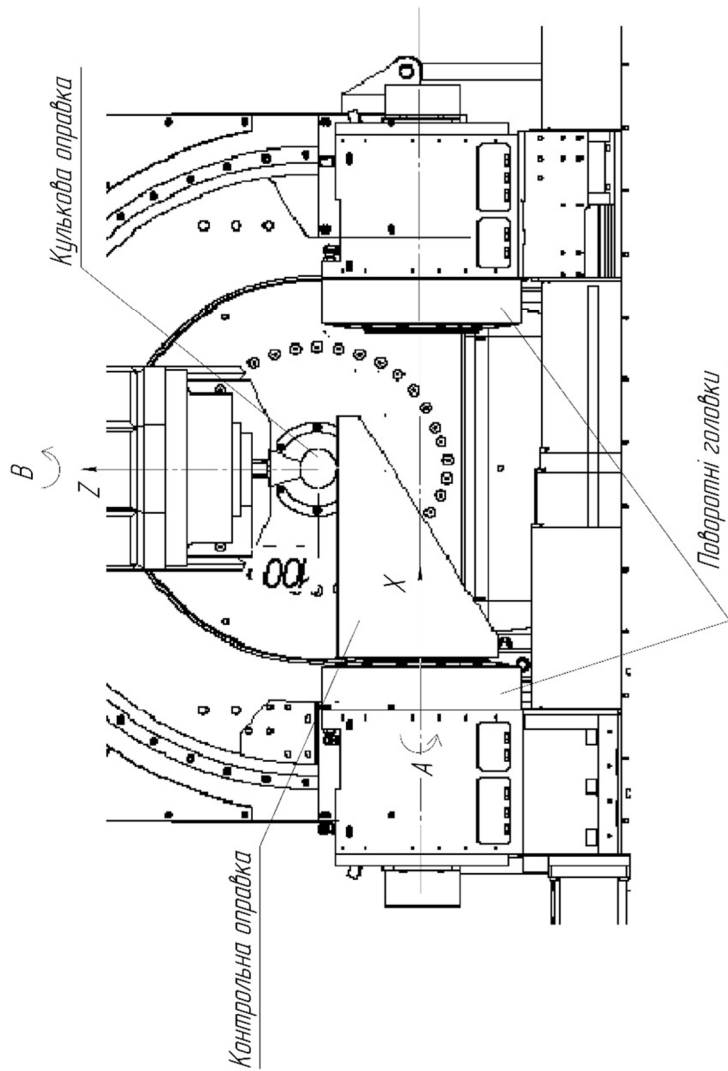


4.4

**Фактична відстань від торця  
шпинделя до осі В**

- Для вимірювання використовувати:
- індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм;
  - контрольну оправку;
  - кульову оправку;
  - плоскопаралельні кінцеві міри довжини ГОСТ 9038-83

Фактична відстань



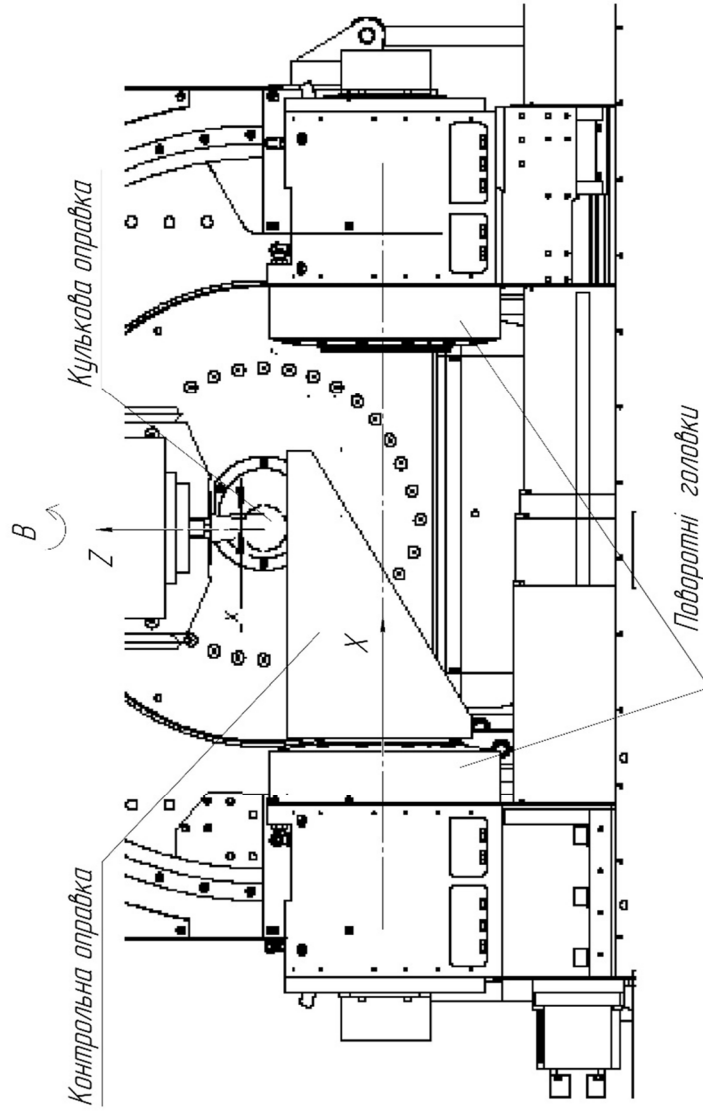
4.5

**Зміщення осі шпинделя від осі В**

Для вимірювання використовувати:

- індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм;
- контрольную оправку;
- кулькову оправку;
- плоскопаралельні кінцеві міри довжини ГОСТ 9038-83

Фактичне зміщення



4.6

## Рекомендована література

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: В 3-х частинах. За ред. Ю.М. Кузнецова /автори Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Кіріченко А.М. та інші. Кіровоград, 2003. — ч.1 — 422с. — ч.2 — 286с. — ч.3 — 507с.
2. Аніщенко, М. В. Системи числового програмного керування : посібник / М. В. Аніщенко – Харків : Підручник НТУ «ХП», 2012. – 312 с.
3. Бочков, В. М. Металорізальні верстати : Навч. посібник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О. В. Гаврильченко. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 268 с.
4. Бочков, В. М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів : Підручник за ред. Сіліна Р.І. / В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О. В. Гаврильченко. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 448 с.
5. Василюк, Г. Д. Конструювання, розрахунок та експлуатація токарних верстатів з ЧПК : навч. посібник / Г. Д. Василюк, В. Ю. Лоев, П. П. Мельничук. – Ж. : ЖІТІ, 2001. – 400 с.
6. Васин, А. Н. Основы программирования обработки на станках с ЧПУ [Текст] : учебное пособие / А. Н. Васин. – Саратов. : Изд-во СГТУ, 1997. - 90 с.
7. Гаврилин, А. М. Металлорежущие станки: В 2 т. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 304 с.
8. ДСТУ 2391:2010 Система технологічної документації. Терміни і визначення основних понять [Текст] . - Введ. 2010-12-9. – Київ. : Держспоживстандарт України, 2011. - 38 с.
9. ГОСТ 20523-80. Устройства числового программного управления станками. Термины и определения [Текст] . - Введ. 1981-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. - 10 с.
10. ГОСТ 22267-76. Станки металлорежущие Схемы и способы измерений геометрических параметров [Текст] . - Введ. 1988-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. - 149 с.
11. ГОСТ 23597-79. Станки металлорежущие с числовым программным управлением. Обозначение систем координат и направления движения. [Текст] . - Введ. 1980-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1993. - 15 с.
12. Должиков, В. П. Основы программирования и наладки станков с ЧПУ [Текст] / В. П. Должиков. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 143 с.
13. Доля, В. М. Програмування, введення та відпрацювання управляючих програм для верстатів з ЧПУ та РТК: Навчальний посібник. – Харків: НТУ „ХП”, 2004. – 169 с.
14. Емельянов, С. А. Модернизация станков с ЧПК: Семь практических советов [Текст] / С. А. Емельянов // Современные технологии автоматизации. – 2005. - №2. – С. 76-83.
15. Колошкіна, І. Е. Основы программирования для станков с ЧПУ [Текст] : Учебное пособие / И. Е. Колошкіна, В. А. Селезнев. - М. : Юрайт, 2019. - 26 с.
16. Комаров, Ю. Л., Сахно, А. С. Техніко-економічне обґрунтування модернізації парку металобробляючих станків з ЧПК [Текст] // Вестник Казанского технического университета. - 2009. - №4. - С. 126-130.
17. Контрольно-вимірювальні системи технологічного обладнання. За ред. Ю.М. Кузнецова /автори Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Бабич В.М. Кириченко А.М. – Кіровоград, КНТУ, 2005. — 500 с.
18. Кочергин, А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов: Курсовое проектирование : Учеб. пособие для машиностроительных спец. вузов. - Минск : Вышейш. шк., 1991. - 388 с.
19. Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.А., Діневич Г.Ю. Компонівка верстатів з механізмами паралельної структури /за ред. Ю.М. Кузнецова. — Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. — 456с.
20. Кузнецов, Ю. М. Верстати з ЧПУ та верстатні комплекси : підручник / Ю. М. Кузнецов. Підручник. – К. : Гнозіс, 2001. – 298 с.
21. Кузнецов, Ю. М. Технологічне обладнання з ЧПК : механізми і оснащення : Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / Ю. М. Кузнецов, О. Ф. Саленко, О. О. Харченко, В. Т. Щетинін. - Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. — 500 с. : іл.
22. Кузнецов Ю.М. Цільові механізми верстатів-автоматів і верстатів з ЧПК : підручник / Ю.М. Кузнецов. Підручник. – К. : Гнозіс, 2001. – 354 с.
23. Кузнецов Ю.М., Придальний Б.І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління; За ред. Ю.М.Кузнецова.-Луцьк: Вежа-Друк, 2012. – 425 с.
24. Ловыгин, А. А. Современные станки с ЧПУ и САД/САМ-системы / А. А. Ловыгин, А. В. Васильев, С. Ю. Кривцов. – М. : Эльф ИПР, 2006. – 286 с.
25. Майзель, И. Г., Платонов, В. В., Глушкин, Е. Я. Модернизация продольно-фрезерного станка 6М610Ф11-23 для современной технологии изготовления крупногабаритной литейной оснастки [Текст] // «Вестник Ир.ГТУ» : Механика и машиностроение. – 2015. - №4(99). - С. 22-32.
26. Мелехов, Р. К. Сучасні металорізальні верстати з ЧПК та інструментальні системи / Р. К. Мелехов, І. Є. Грицай. – Львів : Растр-7, 2008. – 240 с.

27. Металлорежущие станки [Текст] : учебник. В 2 т. / В. В. Бушуев, А.В. Еремин, А. А. Какоило и др.; под ред. В. В. Бушуева. Т. 2. - М.: Машиностроение, 2011. — Т. 1 – 608 с., Т. 2 - 586 с.
28. Методические указания к выполнению экономической части дипломного проекта студ. спец. «Металлорежущие станки и системы», ДГ№1А, 2005. – 18с.
29. Міранцов, С. Л. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК : навчальний посібник / С. Л. Міранцов, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко, Є. В. Мішура, О. С. Ковалевська. – Краматорськ : ДДМА, 2011. – 152 с.
30. Мирошин, Д. Г. Технология программирования и эксплуатации станков с ЧПУ [Текст] : Учебное пособие / Д. Г. Мирошин, Т. В. Шестакова, О. В. Костина. - Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2011. - 79 с.
31. Пайвин, А. С. Основы программирования станков с ЧПУ [Текст] : Учебное пособие для студентов направления подготовки : Технология и предпринимательство / А. С. Пайвин, О. А. Чикова. – Екатеринбург : Урал. гос. пед. ун-т, 2015. - 102 с.
32. Рижигов, В. С. Економіка підприємства : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В. С. Рижигов, В. А. Паков, В. В. Ровенська. – К. : Видавничий дім «Слово», 2004. – 272 с.
33. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка [Текст] : учеб. пособие / А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек, А. В. Аверченков, М. В. Терехов, В. А. Шкаберин– 2-е изд., стер. – М. : ФЛИНТА, 2014. - 355 с.
34. Стародубов, В.С. Модульный принцип построения металлорежущих станков с числовым программным управлением / В. С. Стародубов // Известия высших учебных заведений. – 2013. - №1. – С. 68-74.
35. Технологічне оснащення для високоефективної обробки на токарних верстатах / Кузнецов Ю.М., Луців І. В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. за ред. Ю.М. Кузнецова. – К. – Тернопіль; Терно-граф, 2011. – 692с.
36. Baruffaldi Machine tool components. Two-Speed Gearboxes guide [Электронный ресурс]. - 2015. – 48 p. ([www.baruffaldi.it](http://www.baruffaldi.it))
37. Baruffaldi Machine tool components. Radial driven tools turrets type TBMR for tool-holders as per DIN norms 69880 [Электронный ресурс]. – 24 p. ([www.baruffaldi.it](http://www.baruffaldi.it)).
38. DIN 66217 Koordinatenachsen und Bewegungsrichtungen fur numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen. [Текст] . - Введ. 1975-12-01. - 2001. - 27 с.
39. GA SERIES. Ultra Performance CNC Turning Centers. Goodway Machine Corp [Электронный ресурс]. - 2012. – 28 p. ([www.goodwaycnc.com](http://www.goodwaycnc.com)).
40. Hermle C42. Milling at its best. Technical modifications 1/13/C42/2500/EN/ST [Электронный ресурс]. – 72 p. ([www.hermle.de](http://www.hermle.de)).
41. HURON KX Large Series. High performance double column machining centres for machining of complex parts [Электронный ресурс]. – 8 p. (<http://huron.fr/our-products/kx-100/>).
42. ISO 6983-1:2009 Automation systems and integration- Numerical control of Machines
43. KOYO catalog. Precision Ball & Roller Bearings for Machine Tools. CAT. NO. B2005E. – 182 p. (<https://koyo.jtekt.co.jp/en/>).
44. Modular Clamping Technology OTT Spanntechnik Jakob. Каталог. – 102 p. ([www.Ott-Jakob.de](http://www.Ott-Jakob.de))
45. Motion Control SINUMERIK 840. Equipment for Machine Tools. Catalog NC 62 2016. Printed in Germany © Siemens AG 2016.- 724 p. ([www.siemens.com/automation](http://www.siemens.com/automation)).
46. Precision Machine Components. NSK Linear Guides, Ball Screws, Monocarriers. CAT. No. E3162c 2013 B-12 Printed in Japan © NSK Ltd. ([www.nsk.com](http://www.nsk.com)).
47. PUMA 2100/2600/3100 series. High-Performance Turning Center. EX 1007SP Doosan Infracore machine tools. – 72 p. (<http://domss.doosaninfracore.com>).
48. Rexroth IndraDyn T. Synchronous Torque Motors. Project Planning Manual. 5 Edition. 2008. - Printed in Germany © Bosch Rexroth AG.–264p. ([www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)).
49. SKF super-precision bearings. Catalogue P1 13383/2 EN. © SKF Group 2016. – 422 p.
50. SINUMERIK 810D/840D/840Di. Руководство по фрезерной и токарной обработке для начинающих [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://atpp.at.ua/\\_ld/0/88\\_840D810D\\_.pdf](http://atpp.at.ua/_ld/0/88_840D810D_.pdf).
51. SINUMERIK 840D/810D/FM-NC. Руководство оператора [Электронный ресурс]. Режим доступа : [www/URL:https://www.precision-machines.ru/download/file.php?id=2878&sid=3443621d956c63f230bc34c302d53388](http://www/URL:https://www.precision-machines.ru/download/file.php?id=2878&sid=3443621d956c63f230bc34c302d53388).





**Солоха Василь Васильович**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри металорізальних верстатів та інструментів Національного університету «Запорізька політехніка»



**Івщенко Леонід Йосипович**

Доктор технічних наук, професор кафедри металорізальних верстатів та інструментів Національного університету «Запорізька політехніка», Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки



**Бойко Ігор Андрійович**

Кандидат технічних наук, заступник начальника цеху з технічної частини ПАТ «Мотор Січ»



**Коцюба Віктор Юрійович**

Заступник генерального конструктора по створенню і модернізації вертольотної техніки – начальник ОКБ ПАТ «Мотор Січ», Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки



**Карнаух Володимир Леонідович**

Головний конструктор – начальник експериментально-дослідницького управління дослідницького конструкторського бюро ПАТ «Мотор Січ»