

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

на тему:

**«Розширення технологічних можливостей фрезерного верстату
шляхом модернізації»**

**«Expanding technological capabilities of the milling machine through
modernisation»**

Виконавець: здобувач гр. ПМ-22М-З

_____ Вікторія ГАЛАТА

Керівник: к.т.н., доц.

_____ Олександр ЛИСЕНКО

Рецензент:

_____ д.т.н., проф. Віктор АУЛІН

Зав. каф. ММіР: к.т.н., доц.

_____ Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММіР
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Вікторія ГАЛАТА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розширення технологічних можливостей фрезерного верстату шляхом модернізації»
«Expanding technological capabilities of the milling machine through modernisation»

2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр ЛИСЕНКО

3. Строк подання роботи до захисту 05 січня 2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є забезпечення технологічної операції обробку двох отворів деталі "Корпус люнету" шляхом модернізації горизонтально координатно-розточувального верстату з поворотним столом 2A459AФ4.

Завдання:

- замінити систему ЧПУ на сучасну;
- замінити на сучасні та дооснастити приводи верстата датчиками зворотнього зв'язку лінійних та кутових переміщень;
- замінити силові двигуни в приводах виконавчих органів верстата;
- визначити технологічні вимоги до модернізованого верстата;
- провести проектувальний розрахунок основних вузлів верстата, що підлягають модернізації;
- провести перевірочний розрахунок модернізованих вузлів верстата при роботі в нових умовах силових навантажень.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Організаційно-економічний	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	Вересень-жовтень 2023	
2.	Вступ	Вересень-жовтень 2023	
3.	Мета та задачі роботи	Вересень-жовтень 2023	
4.	Методика роботи	Жовтень-листопад 2023	
5.	Теоретична робота	Жовтень-листопад 2023	
6.	Визначення економічної ефективності	Листопад-грудень 2023	
7.	Висновки	Грудень 2023	
8.	Оформлення роботи	Грудень 2023	

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи _____ Олександр ЛИСЕНКО
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2023 р.

Здобувач _____ Вікторія ГАЛАТА
(підпис)

Анотація

ГАЛАТА Вікторія. Розширення технологічних можливостей фрезерного верстату шляхом модернізації. Випускна кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2024. – 102 с. Матеріали презентації 9 іл.

Актуальність: Залишається значна кількість виробничих завдань, для рішення яких, достатньо існуючого верстатного парку, за умови модернізації приводів та систем управління.

У роботі виконана модернізація верстата з ЧПУ. При модернізації: замінена на сучасну систему ЧПУ; замінені та дооснащені в приводах верстата датчиками зворотного зв'язку лінійних та кутових переміщень; замінені силові двигуни в приводах виконавчих органів верстата; проведений проектувальний розрахунок основних вузлів модернізованого верстата модернізації; проведено перевірочний розрахунок модернізованих вузлів верстата при роботі в нових умовах силових навантажень.

Практичне значення: Запропонована методика комплексної модернізації сучасною системою керування з використанням ЧПУ, програмувальних контролерів і приводів, при всіх варіантах модернізації дозволяє надати верстатам нові функціональні можливості, розширити їх технологічні можливості й забезпечити якісно більше високий рівень їх експлуатації.

Ключові слова: модернізація, технологічні можливості, верстат з ЧПУ.

Summary

HALATA VIKTORIIA. Expanding technological capabilities of the milling machine through modernisation. Graduation thesis for the educational degree "Master": CNTU, 2024. – 102 p. Presentation materials 9 slides.

Relevance: There remains a significant number of production tasks, for the solution of which, the existing machine park is sufficient, provided that drives and control systems are modernized.

Modernization of the CNC machine was carried out in the work. During modernization: replaced by a modern CNC system; replaced and retrofitted in the machine tool drives with feedback sensors of linear and angular movements; replaced power motors in the drives of the executive bodies of the machine; the design calculation of the main nodes of the modernized modernization machine was carried out; a verification calculation of the modernized units of the machine was carried out when working under new conditions of power loads.

Practical meaning: The proposed method of comprehensive modernization of a modern control system using CNC, programmable controllers and drives, with all modernization options, allows you to provide new functional capabilities to machines, expand their technological capabilities and ensure a qualitatively higher level of their operation.

Key words: modernization, technological capabilities, CNC machine

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОГО ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ОБРОБКИ ВЕРСТАТУ	8
1.1. Характеристика об'єкту виробництва	8
1.2. Формування вимог до верстату для обробки об'єкту виробництва	10
1.3. Аналіз та вибір моделей верстатів	13
1.4. Характеристика горизонтально координатно-розточувального верстату з обертальним столом 2A459A	22
1.5. Обґрунтування вибору верстата для забезпечення обробки об'єкту виробництва	26
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	28
2.1. Визначення системи ЧПУ для модернізації верстата	28
2.2. Датчики зворотнього зв'язку в приводах лінійних та кутових переміщень виконавчих органів верстату	37
2.3. Визначення технологічних вимог до модернізації верстату	46
2.4. Проектувальний розрахунок вузлів верстата, що модернізуються	53
2.5. Перевірочні розрахунки основних вузлів модернізованого верстату	63
3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНО КООРДИНАТНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ МОД. 2A459Ф4	86
3.1. Загальні вихідні дані до розрахунку	86
3.2. Конструкторська підготовка виробництва верстата	87
3.3. Технологічна підготовка виробництва	88
3.4. Визначення витрат на модернізацію верстата	89
3.5. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)	91
3.6. Розрахунок показників економічної ефективності	93
ВИСНОВКИ	95
ЛІТЕРАТУРА	97
ДОДАТКИ	100

ВСТУП

В сучасному світі розвиток усіх сфер, в тому числі і машинобудування, відбувається все більш прискореними темпами. Подібному стрімкого розвитку характерне швидке устарівання наявного парку верстатного обладнання.

Однак, далеко не всі машинобудівні підприємства мають змогу своєчасно оновлювати свій верстатний парк в необхідних обсягах за рахунок придбання достатньої кількості нового сучасного верстатного обладнання.

В такому випадку найкращим рішенням є модернізація верстатів. Вона дозволяє зробити верстати наявні на підприємстві високопродуктивними і сучасними, підвищити якість обробки виробів.

Завдяки такій модернізації підприємства отримують можливість впровадити сучасні технології, спираючись на світові стандарти разом з тим заощадити чималу суму коштів.

Модернізація суттєво змінює можливості та термін служби верстата. Впровадження модернізованих технологій дозволяє підвищити якість обробки на виході та прискорити процес виготовлення деталей.

Найбільш істотне розширення технологічних можливостей верстата відбувається при модернізації електроніки. Заміна застарілих як морально, так і фізично вузлів на аналоги, виконані на сучасній елементній базі, значно підвищують надійність, безпеку і ремонтпридатність верстату. Крім того, у складі сучасних технічних засобів є пристрої, застосування яких виводить верстат на новий рівень.

Модернізація верстатів націлена на поліпшення і розширення функціональних властивостей, підвищення експлуатаційної надійності. На практиці існуючий верстатний парк має відносно хорошу механічну частину, але, як правило, застарілі систему ЧПУ і приводи. В цьому випадку необхідна модернізація верстата.

Саме такій модернізації горизонтального координатно-розточувального верстата з ЧПУ та обертальним столом присвячена дана робота.

1. АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОГО ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ОБРОБКИ ВЕРСТАТУ

1.1. Характеристика об'єкту виробництва

Об'єкт виробництва представляє собою деталь "Корпус люнети" (рис. 1.1). Заготовка виготовлена з матеріалу сірий чавун СЧ 20 за ГОСТ1412-85 та має масу 28,8 кг.

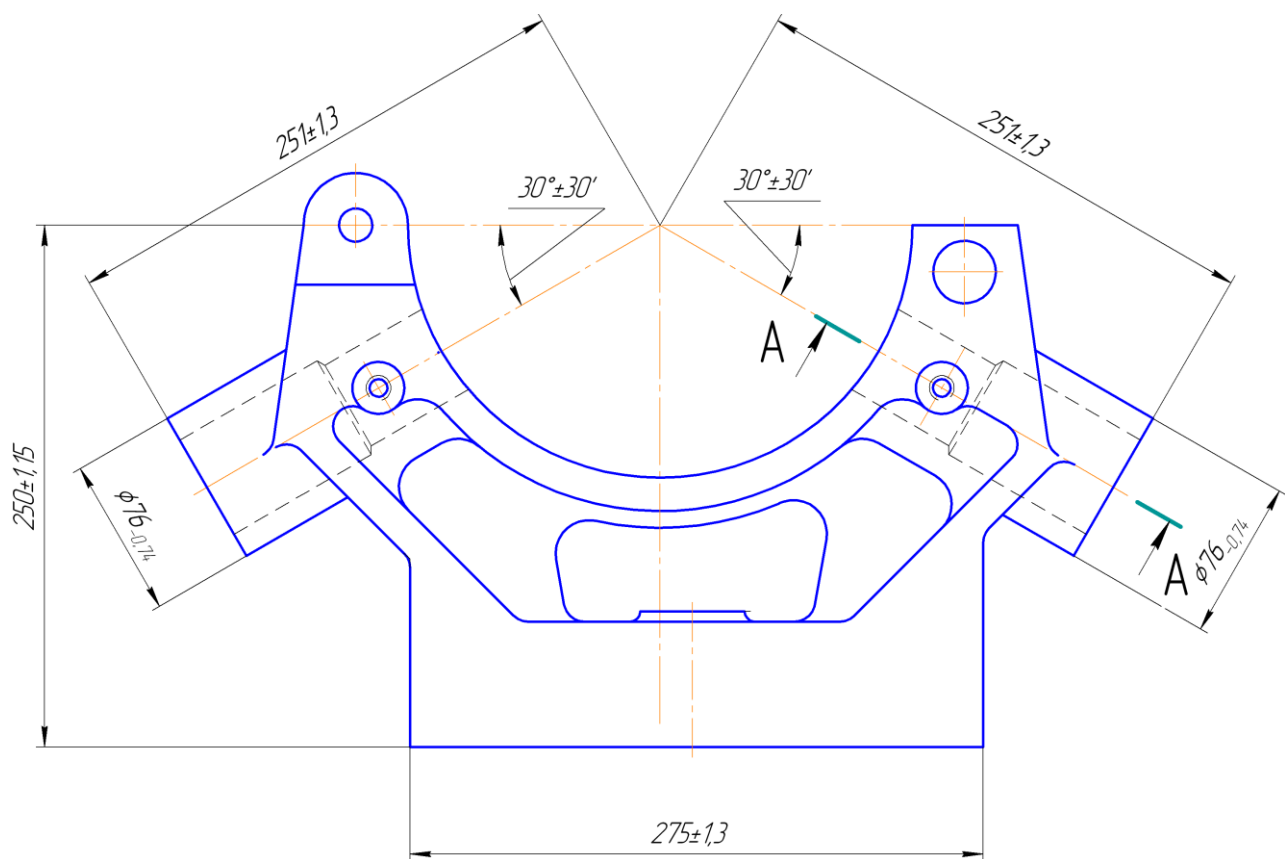


Рис. 1.1. Об'єкт виробництва – деталь "Корпус люнети"

В даній деталі необхідно забезпечити обробку двох отворів розріз А-А (рис. 1.2), що розташовані під кутом $30^{\circ} \pm 30'$ до горизонтальної вісі. Кожен з цих отворів має довжину $95^{+0,054}$ мм та складається з двох ділянок різних діаметрів. Частини отворів оберненні на зовні деталі довжиною $76^{+0,046}$ мм мають більші розміри $\varnothing 52^{+0,03}$ мм, частини що обернені всередину деталі, мають менші розміри $\varnothing 45^{+0,025}$ мм.

A-A (2:1)

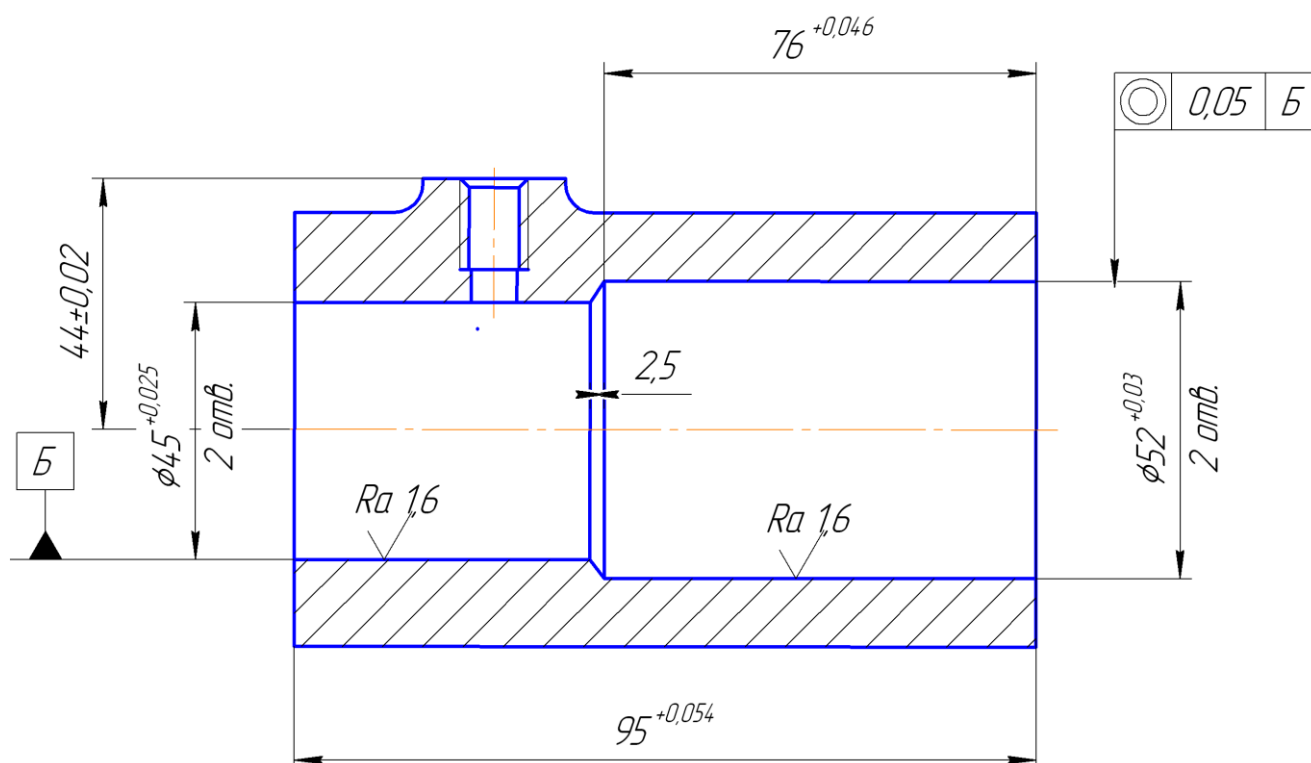


Рис. 1.2. Оброблювані отвори в деталі "Корпус люнеты"

Оскільки ступень точності оброблюваних отворів відповідає високому сьомому квалітету точності, при обробці необхідно забезпечити мінімальний вплив на оброблювану деталь будь-яких технологічних зусиль, що виникають при різанні. Технологічні складові сили різання P_z , P_y , P_x , сили затиску деталі та власної ваги деталі призводять до її деформації в процесі обробки та, в кінцевому підсумку, до небажаної похибки обробки. Для отримання похибки обробки в допустимих межах необхідно розбити процес обробки отворів на дві операції, а саме попереднє чорнове та кінцеве чистове розточування.

Виконання обробки отворів у заданій деталі має ще одну серйозну ускладнюючу особливість, а саме необхідність забезпечення між оброблюваними отворами конкретного визначеного кута з достатньо високим ступенем точності. Крім того, необхідно також забезпечити задану якість обробки й самих отворів з різними діаметрами.

1.2. Формування вимог до верстату для обробки об'єкту виробництва

З наведеної у попередньому підпункті характеристики оброблюваної деталі стає зрозумілим, що є недоцільним здійснювати її обробку на універсальних верстатах. Оскільки, забезпечення необхідної якості обробки в такому випадку буде, крім наявності на виробничому підприємстві універсальних верстатів необхідного типу та достатнього ступеня точності, вимагати розробку та виготовлення спеціального затискного пристрою, що забезпечить гарантоване базування деталі, для досягнення необхідної співвісності отворів та якості їх обробки.

Забезпечити необхідну якість обробки об'єкту виробництва зможе наявність на верстаті системи автоматичного управління верстатом ЧПУ не менше чим за 4-ма координатами та вбудованого поворотного столу з механізмом точного позиціонування. Наявність у верстаті вказаних механізмів дозволить швидко та точно позиціонувати оброблювану деталь в процесі обробки. Додатковою вимогою до обраного верстата є ступінь точності, яка дозволить забезпечити необхідну якість обробки об'єкту виробництва.

Зазначеним вимогам найбільше відповідають координатно-розточувальні верстати обладнані системами ЧПУ.

Координатно-розточувальні верстати призначені для обробки отворів з високою точністю взаємного розташування відносно базових поверхонь в корпусних деталях, кондукторних плитах, штампах в одиничному і дрібносерійного виробництва.

Координатно-розточувальні верстати призначаються для точного розточування отворів методом координат. Цей метод полягає в тому, що положення центру кожного з отворів визначається за допомогою координат цього центру. Робочий стіл і шпиндель верстата при розточуванні кожного наступного отвори встановлюються відповідно координатам цього отвору, а отже, виключається необхідність вимірювати відстань між центрами оброблюваних отворів. Цей метод продуктивний і простий, дає високу точність.

Координатно-розточувальні верстати застосовуються для обробки отворів з високою точністю (в межах 0,005-0,01 мм) без попередньої розмітки поверхні деталі і без застосування кондуктора. Установка координат центрів отворів по двох осях прямокутної системи координат проводиться шляхом переміщення столу з деталлю в одностійкових верстатах або шпиндельної бабки з інструментом в двостійкових верстатах. Для вимірювання установчих переміщень рухомих вузлів верстата застосовують дзеркальні лінійки або валики.

Координатно-розточувальні верстати призначені в основному для обробки циліндричних отворів з підвищеними вимогами до точності їх форми (у поздовжньому і поперечному перетинах) і розташування осей отворів: відносно один одного (відстані між осями оброблюваних отворів, їх паралельність, перпендикулярність, перетин, співвісність та ін. Ці верстати використовують також для точної координатної розмітки заготовок і в якості вимірювального пристрою для контролю точності розмірів, форми і розташування поверхонь деталей. Відмінною особливістю таких верстатів є наявність в них точних відліково-вимірювальних систем різних типів, що дозволяють відраховувати лінійні переміщення заготовки відносно системи координат верстата з точністю до 0,001 мм. Вхідні в комплект таких верстатів поворотні столи дають можливість встановлювати заготовки під заданим кутом щодо системи координат верстата.

На верстатах цього типу виконують практично всі операції, характерні для розточувальних верстатів.

Для точного вимірювання координатних переміщень верстати обладнані різними індуктивними, механічними, оптико-механічними та електронними пристроями відліку, які дозволяють вимірювати переміщення рухомих вузлів з високою точністю.

Верстати обладнані універсальними поворотними столами, що дають можливість обробляти отвори в полярній системі координат і похилі отвори.

За компонуванні верстати бувають одностійкові і двостійкові. Головним рухом є обертання шпинделя, а рухом подачі – вертикальне переміщення шпинделя.

Установчі руху в одностійкових верстатах – це поздовжнє і поперечне переміщення столу на задані координати і вертикальне переміщення шпиндельної бабки залежно від висоти деталі.

У двостійкових верстатах – це поздовжнє переміщення столу, поперечне переміщення шпиндельної бабки по траверсі і вертикальне переміщення траверси з шпиндельної бабкою.

Координатно-розточувальні верстати з ЧПУ. Клас точності цих верстатів А і С. Їх випускають в одностійковому і двостійковому вертикальному виконанні з шириною столу 32-2000 мм.

За рівнем автоматизації розрізняють верстати з цифровою індикацією і попередніми набором координат; просто з ЧПУ; і з ЧПУ і автоматичною зміною інструментів і заготовок.

На координатно-розточувальних верстатах з ЧПУ можна виконувати і фрезерні роботи, зберігаючи високу точність.

Аналіз обробки корпусних деталей, найбільш трудомістких за характером виконання технологічного процесу, показав, що на свердління отворів і нарізання різьб витрачається 70 % часу обробки, на фрезерування – 20 % і на розточування – 10 %. Тому одним з найважливіших шляхів підвищення продуктивності обробки на верстатах свердлильно-розточувальної групи є скорочення часу встановлення заготовки в робочу позицію, зміни і закріплення інструмента, введення комплексної обробки різними інструментами.

Це може бути досягнуто застосуванням пристроїв попереднього набору координат, систем знаковою індикації, ЧПУ, попередньої розмірного налагоджування інструменту поза верстатом, автоматичною зміною інструменту, розширенням можливостей верстатів за рахунок зміни конструкції верстатів з револьверними інструментальними головками або інструментальними магазинами з швидкою заміною інструменту. Продуктивність багатоопераційних верстатів в 3-8 разів вище в порівнянні з універсальними верстатами.

Таким чином, верстат, що найбільше підходить для обробки заданої деталі має бути горизонтальним координатно-розточувальним достатньо високої точності, обладнаний поворотним столом та системою ЧПУ.

1.3. Аналіз та вибір моделей верстатів

Розглянемо ряд моделей верстатів представлених, що відповідають вимогам сформульованим у попередньому підпункті.

Горизонтально-розточувальні верстати серії TRX (рис. 1.3) обладнання призначене для обробки деталей з високою точністю в середньо та багатосерійній промисловості.



Рис. 1.3. Горизонтально-розточувальні верстати серії TRX

Горизонтальний фрезерно-розточувальний верстат моделі TRX6111B є верстатом з хорошими експлуатаційними характеристиками. Верстат моделі TRX6111B/2 має додаткову вбудовану напрямну. Поперечина столу розташовується на нижніх напрямних, збільшуючи жорсткість верстата. Верстат має високу точність обробки завдяки виключенню деформацій конструкції і відмінною жорсткості.

Верстати серії TRX6111B/3 із збільшеними переміщеннями столу і шпиндельної бабки розширюють можливості обробки. Розмір столу збільшений і витримує навантаження до 3 тонн. Шпиндель з конусним отвором ISO 7:24 No 50 може бути оснащений автоматичним пристроєм затиску/розтиску інструменту.

Горизонтальний фрезерно-розточувальний верстат моделі TRX6111C/3 має частотно-регульований двигун замість традиційного двигуна змінного струму, який дозволяє змінювати швидкість шпинделя в широкому діапазоні в межах обох передач. Верхня і нижня напрямні покриті антифрикційним, і зносостійким покриттям для підвищення довговічності і точності обробки. Жорсткий шпиндель має конус ISO 7:24 No50.

Горизонтальний фрезерно-розточувальний верстат моделі TRX6113 застосовується для розточування, фрезерування і нарізання різьб у великих корпусних деталях.

Фрезерно-розточувальний верстат моделі TRX6211 має діаметр отвору в шпинделі 110 мм і поєднує можливості горизонтального фрезерного центру та розточувального верстата. Він призначений для обробки великогабаритних деталей. Верстат моделі TX6211 може виконувати операції свердління, розсвердлювання, розточування, розгортання, зенкерування, різьбонарізання і фрезерування плоских поверхонь.

Модернізовані моделі верстатів TRX6211X30, TRX6211x59, TRX6211x70 і TRX6213x56 застосовуються для обробки дуже довгих деталей.

Конструктивні особливості верстатів серії TRX: Механічний пристрій вивантаження поєднаний з ходом колони. Централізована гідравлічна система використовується для зміни подач і швидкості шпинделя і переміщення осей. Шпиндельна бабка з автоматична висуненням шпинделя і затискним пристроєм інструмента роблять верстат зручним і надійним в експлуатації.

Горизонтально-розточувальний верстат марки ТК6411В з ЧПУ Fanuc/Siemens (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Горизонтально-розточувальний верстат марки ТК6411В (Китай)

ТК6411В (табл. 1.1) є горизонтально-розточувальним верстатом з системою ЧПУ. Довільний контроль осей X, Y, Z і одночасний контроль всіх трьох осей, при необхідності верстат може бути укомплектований четвертою віссю. Завдяки обертовому столу можна робити обробку складних і великих фігурних деталей і штампів.

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики верстата марки ТК6411В

Характеристика	Значення
Діаметр шпинделя	D 130 мм
Хід осі X	1500 мм (попер-й хід)
Хід осі Y	1200 мм (верт-й хід)
Хід осі W	1000 мм (повзд-й хід)
Хід осі Z (шпинделя)	550 мм (повзд-й хід)
Розмір робочого стола	1000 X 1350 мм
Максимальне завантаження робочого стола	5000 кг
Відстань від центра шпинделя до стола	0 - 1200 мм
Конус шпинделя	BT50
Синхронізація шпинделя	Безступінчаста
Кількість Т-подібних отворів	7
Ширина отворів	22 мм
Відстань між двома отворами	125 мм
Діапазон швидкостей шпинделя	12-1100 про/хв
Швидкість подачі (x, y, w)	5-2000 мм/хв
Швидкий хід (x, y, w)	10000 мм/хв
Швидкий хід (z)	5000 мм/хв
Точність індексації обертання робочого стола	±6"(4 X 90°)
Точність присохлого при обертання стола	±3"(4 X 90°)
Макс. діаметр розточування	D 250 мм
Макс. діаметр розсвердлювання	D 50 мм
Макс. припустимий обертаючий момент на шпинделі	1330 Н·М
Обертаючий момент двигуна подачі (x, z)	22 Н·М (FANUC)
Обертаючий момент двигуна подачі (y, w)	30 Н·М (FANUC)
Двигун шпинделя	11/15 кВт
Розмір кулькового гвинта	D 50 X 10 мм
Точність двонаправленого позиціонування (x, y)	X:0.04 мм
Точність двонаправленого позиціонування (z, w)	X:0.03 мм
Точність двонаправленого покрокового позиціонування (x, y)	X:0.02 мм
Точність двонаправленого покрокового позиціонування (z, w)	X:0.015 мм
Загальні габарити (Дов. X Ш. X В.)	5010 X 3700 X 3600 мм
Вага верстата	15000 кг

Верстат оснащений 4 напрямними, які підтримують робочий стіл протягом усього ходу. Напрямні осей X, Y, Z квадратної форми, що значно знижує фактор динамічного і статичного тертя, забезпечує високу швидкодію, точне позиціонування і високу точність верстата. Елементи приводу осей X, Y, Z представляють собою групи високоточних кулькових гвинтів, які оснащені спеціальними підшипниками, що значно покращує точність обертання ходового гвинта і точність позиціонування координат ходу.

Сервопривід подачі осей X, Y, Z здійснюється за допомогою серводвигуна, керованого напівзамкненим ланцюгом. Двигун шпинделя оснащений перетворювачем частоти змінного струму, номінальна потужність двигуна – 15 кВт, а також двигун має великий вихідний крутильний момент.

Верстат обладнаний пружиною для затиску ріжучих інструментів і ослаблення ріжучих інструментів. Обертний робочий стіл може фіксуватися вручну і встановлюватися з високою точністю в чотирьох точках – 0° , 90° , 180° і 270° .

Горизонтально-розточувальний верстат 2A622-2. Горизонтально-розточувальний верстат 2A622-2 (рис. 1.5) призначений для обробки корпусних деталей до 3000 кг, що мають точні отвори, пов'язаних між собою точними відстанями.



Рис. 1.5. Горизонтально-розточувальний верстат 2A622-2

Горизонтально-розточувальний верстат 2A622-2 (табл. 1.2) призначений для виконання наступних операцій: контурне фрезерування, об'ємне фрезерування площин, обробка зовнішніх і внутрішніх конусів, фрезерування площин, пазів, обточування поверхонь, нарізання різьби в отворах, зенкування і центрування отворів, розточування і розгортання отворів, обробка корпусів з чотирьох сторін.

Особливості горизонтально-розточувального верстата 2А622 - 2:

- Вбудований поздовжньо і поперечно – рухомий поворотний стіл;
- Вертикально-рухома бабка обладнана висувним шпинделем;
- Шпиндельний вузол змонтований на прецизійних підшипниках кочення;
- Механізований затиск інструменту;
- Кулько-гвинтові передачі кочення з попереднім натягом.

Таблиця 1.2.

Технічні характеристики верстата 2А622 – 2

Характеристика	Значення
Розміри робочої поверхні столу	1250x1250 мм
Вантажопідйомність столу	3000 кг
Найбільший діаметр розточування	110 мм
Потужність головного приводу	15 кВт
Габарити верстата	6070x3970x3220 мм
Маса верстата	17000 кг

Горизонтально-розточувальний верстат марки ТХК160 з ЧПУ Fanuc (рис. 1.6.). Горизонтально-розточувальний верстат ТХК160 (табл. 1.3.) (забезпечує контроль по 4-м вісям). На верстатах проводиться свердління, зенкування, розгортання отворів, розточування отворів консольними і двохопорними оправками, фрезерування площин (у тому числі по прямокутному контуру), нарізування різьб, обточування торців і циліндричних поверхонь за допомогою радіального супорта планшайби.



Рис. 1.6. Горизонтально-розточувальний верстат марки ТХК160 з ЧПУ Fanuc

Таблиця 1.3.

Технічні характеристики верстат марки ТХК160

Характеристика	Значення
Розмір робочого столу	1300 X 600 мм
Ширина Т-подібного паза / кількість пазів	18 мм /5
Переміщення по осі X	1050 мм
Переміщення по осі Y	800 мм
Переміщення по осі Z	500 мм
Конус шпинделя	BT50
Максимальна швидкість обертання шпинделя	3000 об/хв.
Потужність електродвигуна основного вала	5.5 / 7.5 кВт
Швидкість подачі X,Y,Z	1-3000 мм/хв.
Прискорення вільного переміщення X,Y,Z	18000 мм/хв.
Точність присохлого по осях X,Y,Z	± 0.015 мм
Точність повторюваності X,Y,Z	± 0.005 мм
Обертання четвертої осі / робоча поверхня	600 X 500
Максимальна швидкість обертання	5.5 про/хв.
Мінімальний кут різання	5°
Точність різання	± 3'
Система керування	E60, M64AS, FANUC
Сумарна потужність	20 KVA
Габарити	2550 X 3000 X 2500
Нетто	6000 кг

Верстат має збільшену площа робочого столу і горизонтальне переміщення. На осях X/Y/Z використовуються прямолінійні напрямні, що забезпечує високу точність позиціонування.

Горизонтально-розточувальний верстат TOS WH-80. Горизонтально-розточувальний верстат WH-80 (рис. 1.7) призначений для свердління, зенкерування, розгортання отворів, нарізування різьб, фрезерування площин (у тому числі по прямокутному контуру), розточування отворів двохопорними і консольними оправками, обточування торців і циліндричних поверхонь.



Рис. 1.7. Горизонтально-розточувальний верстат TOS WH-80 (Чехія)

Верстат горизонтально-розточувальний WH-80 може використовуватися як в одиничному, так і в серійному виробництві.

Горизонтально-розточувальний верстат WH-80 має стіл, розмір затискної поверхні якого становить 1000x1090 мм. Відстань від осі робочого шпинделя до затискної поверхні столу може становити 0-940 мм. Діаметр робочого шпинделя – 80 мм. Завдяки двигуну потужністю 7,5 кВт, швидкість обертання шпинделя може досягати 1400 об/хв.

Верстат WH-80 відрізняється високою продуктивністю, прогресивною технічною концепцією і надійністю.

Таблиця 1.4.

Технічні характеристики горизонтально-розточувального верстата WH- 80

Характеристика	Показник
Діаметр робочого шпинделя	80 мм
Конічна порожнина робочого шпинделя	Морзе 5
Висування робочого шпинделя	710 мм
Відстань від осі робочого шпинделя до затискної поверхні столу	0-910 мм
Розмір затискної поверхні столу	1000x1090 мм
Глибина центрувального отвору	15 мм
Поздовжнє переміщення полозка й столу	1250 мм
Швидкість обертання шпинделя	14-1400
Потужність двигуна	75 кВт
Маса	11000 кг

Обробний центр фрезерний горизонтальний ІР-500, (рис. 1.8), ІР-800. Виробниками свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів – горизонтальних оброблювальних центрів з інструментальним магазином барабанного (револьверного) типу ІР-500, ІР-800 були Іванівський завод важкого верстатобудування та Гомельський верстатобудівний завод.

Сьогодні Іванівський завод важкого верстатобудування випускає досконаліші високоточні обробні центри ІС-500 (ІС-500ПМФ4 , ІСБ500ПМФ4), а Гомельський верстатобудівний завод випускає обробні центри ГДН-500, ГДН-630 з інструментальним магазином барабанного (револьверного) типу.



Рис. 1.8. Обробний центр фрезерний горизонтальний ІР-500

ІР-500, ІР-800 (табл. 1.5) багатоопераційний горизонтальний обробний центр – свердлильно-фрезерно-розточний верстат з ЧПУ, автоматичною зміною інструменту і зміною оброблюваних деталей призначений для високопродуктивної обробки корпусних деталей масою до 700 кг з конструкційних матеріалів від легких сплавів до високоміцних сталей.

Широкий діапазон частоти обертання шпинделя і швидкостей подач дозволяє робити свердління, zenкування, розгортання, розточування точних отворів, пов'язаних координатами, фрезерування по контуру з лінійною і круговою інтерполяцією, нарізання різьби мітчиками.

Таблиця 1.5.

Технічні характеристики верстата IP-500, IP-800

Найменування параметра	IP-500ПМФ4	IP-800ПМФ4
Основні параметри верстата		
Клас точності за ДСТ 8-82	П	П
Розміри робочої поверхні стола (довж. х шир.), мм	500 х 500	800 х 800
Переміщення поперечне стола (вісь X), мм	800	1000
Переміщення вертикальне шпиндельної бабки (вісь Y), мм	500	710
Переміщення поздовжнє стійки (вісь Z), мм	500	800
Обертання індексованого поворотного стола (вісь B), град	5° 72 поз.	3° 120 поз.
Найбільший діаметр свердління в сталі, мм	40	40
Найбільший діаметр отвору, що розточується, мм	160	160
Найбільший діаметр торцевої фрези, мм	160	160
Точність присохлого по осях X/ Y, мм	0.018/0.015	
Точність присохлого по осях Z, мм	0.022	
Робоча подача по осях X, Y, Z, мм/хв	1..2000	1..3200
Швидкість швидких настановних переміщень по осях X, Y, Z, м/хв	8..10	10
Найбільше припустиме зусилля подачі стола й стійки по осях X, Z, Н	8000	10000
Найбільше припустиме зусилля подачі шпиндельної бабки (вертикальне) по осі Y, Н	4000	8000
Відстань від осі шпинделя до стола, мм	50..550	50..760
Модель пристрою ЧПУ	2C45-65	2C45-65
Кількість керованих координат	3	3
Кількість одночасно керованих координат при лінійній/круговій інтерполяції	3/3	3/3
Максимальне навантаження на стіл (по центрі), кг	700	150
Шпиндель		
Частота обертання шпинделя, об/хв	21.2..3000	21.2..3000
Кількість швидкостей шпинделя	89	89
Найбільший крутильний момент, Нм	700	630
Конус шпинделя для кріплення інструмента 7:24	50	50
Електроустаткування й привод		
Електродвигун постійного струму привода головного руху, кВт	14	18
Електродвигуни привода подач (X, Y, Z, B) і магазину, кВт	2,8	2,8
Габарити й маса верстата		
Габарити верстата (довжина ширина), мм	4450 х 4655	5388 х 4635
Габарити верстата (висота), мм	3100	3455
Маса верстата, кг	11370	10050

Наявність поворотного столу, встановлюваного з високою точністю (± 5 с через 5°), розширює технологічні можливості верстата, дозволяє обробляти співвісні отвори консольним інструментом.

Підвищена ступінь точності верстата (клас II) забезпечує обробку отворів по 7, 8 квалітетами точності з шорсткістю поверхні Ra 2,5 мкм.

Високий ступінь автоматизації допоміжних функцій верстата включає автоматичну зміну інструменту і оброблюваних деталей, дозволяє вбудовувати його в автоматичну лінію з управлінням від ЕОМ.

Всі вузли верстата змонтовані на жорсткій Т-подібній станині, яка є загальною основою. Лобова безконсольна шпиндельна бабка розташована всередині порталної стійки.

З усіх розглянутих можливих варіантів найкращим є використання горизонтально координатно-розточувальний верстату з обертальним столом 2А459АФ4 за умови його модернізації сучасними вимірально-управляючим обладнанням. Розглянемо цей верстат більш докладно.

1.4. Характеристика горизонтально координатно-розточувального верстату з обертальним столом 2А459А

Горизонтально координатно-розточувальний верстат з обертальним столом 2А459А (рис. 1.9) призначений для виконання з високою точністю і продуктивністю розточувальних і фрезерних робіт. Верстат має можливість роботи в ручному режимі «Цифрової індикації».

Галузь застосування верстата – одиничне, дрібносерійне, серійне виробництво високоточних деталей в інструментальних і механічних цехах машинобудівних заводів.

Характерною рисою верстата є обробка отворів, розташованих на одній осі, на паралельних, перпендикулярних або розташованих під довільними кутами, паралельних дзеркалу столу осях з високою точністю як по геометрії, так і по їхньому взаємному розташуванню.



Рис. 1.9. Горизонтально координатно-розточувальний верстат з обертальним столом та ЧПУ 2A459A

Наявність у верстаті вбудованого поворотного столу, робить можливою обробку співвісних отворів у великогабаритних деталях (використовуючи поворот столу на 360°) з високою точністю. Крім того, на верстаті можна виконувати операції розгортання, зенкерування, розсвердлювання, підрізання торців, нарізування різьб мітчиками, виконуваних по заданій програмі, вести обробку криволінійних контурів та контурну обробку круглих отворів фрезою.

Технічні характеристики верстата приведені у табл. 1.8

Таблиця 1.8

Технічні характеристики координатно-розточувального верстату 2А459А

Характеристика	Значення
Клас точності	А
Робоча поверхня столу (довжина×ширина), мм	1000×1000
Конус отвору шпинделя (спеціальний)	50 (7:24)
Межі частоти обертання шпинделя Min, об/хв	10
Межі частоти обертання шпинделя Max, об/хв	2500
Найбільше переміщення по координаті X, мм	1250
Найбільше переміщення по координаті Y, мм	1000
Найбільше переміщення по координаті Z, мм	800
Найбільше переміщення по координаті B, град.	360
Найменша відстань від осі шпинделя до робочої поверхні столу, при установці стійки на координату 330, мм	30
Межі робочих подач по координаті X, Y, Z, мм/хв	2-2500
Припустима вага оброблюваного виробу, кг	2000
Швидкість швидкого переміщення X, Y, Z, мм/хв	8000
Швидкість швидкого переміщення B, град./хв.	0,72...1000
Максимальне зусилля подачі при різанні по координаті Z, Н	10000
Потужність двигуна, кВт	14
Кількість Т-подібних пазів на столі	7
Відстань між пазами, мм	125
Ширина паза, мм	22
Габарити верстата Довжина×Ширина×Висота, мм	4415×4265×3800
Маса (без приставного устаткування), кг	14600

Основою верстата є станина. У верхній частині станини розташовані дві (V-подібна і плоска) напрямні ковзання. На напрямних встановлений робочий стіл. Між напрямними станини встановлений привід переміщення салазок столу (по координаті X).

Привод лінійного переміщення робочого столу складається з пари гвинт-гайка кочення, з'єднаної безлюфтовою муфтою з електродвигуном. Ходовий гвинт встановлений в двох опорах на підшипниках кочення.

У основі станини виконані дві направляючі ковзання (V-подібна і плоска) для поперечного переміщення стійки по напрямних ковзання станини (*по координаті Z*).

Стійка представляє собою коробчасту деталь з двома вертикальними V-подібною та плоскою напрямними ковзання для переміщення каретки шпиндельної бабки.

У верхній частині стійки встановлений електродвигун, з'єднаний безлюфтовою муфтою з ходовим гвинтом, за допомогою якого переміщається шпиндельна бабка. Шпиндельна бабка переміщається у вертикальному напрямку (*по координаті Y*) по напрямних стійки.

Привод лінійного переміщення шпиндельної бабки складається з пари гвинт-гайка кочення, з'єднаної безлюфтовою муфтою з електродвигуном. Ходовий гвинт встановлений в двох опорах на підшипниках кочення.

Стіл має форму кола, на робочій поверхні якого прорізані T-подібні пази для закріплення оброблюваних деталей. Стіл встановлюється на салазках поздовжнього переміщення.

Привід кругового переміщення (обертання) столу (*по координаті B*) складається з черв'ячно-гвинтової пари, з'єднаної безлюфтовою муфтою з електродвигуном.

Шпиндельний вузол встановлюється в корпусі шпиндельної бабки. Він складається з нерухомої гільзи і шпинделя. В якості передньої і задньої опор шпинделя використані прецизійні дуплексіровані радіально-упорні шарикопідшипники.

Пристрій затиску інструменту змонтовано всередині шпинделя. Затиск інструмента здійснюється тарілчастими пружинами. При затиску тарілчасті пружини передають осьове зусилля через штовхач, цанзі, пелюстки якої заходять у втулку стискаються і блокують грибок, ввернутий в інструментальну оправку. Оправка притягується до конічної поверхні шпинделя.

1.5. Обґрунтування вибору верстата для забезпечення обробки об'єкту виробництва

Актуальність. Заміна координатно-розточувальних верстатів та іншого застарілого устаткування на сучасні обробні центри дозволяє:

- підвищити продуктивність праці в декілька разів рази – за рахунок скорочення допоміжного часу (час зміни інструмента від стружки до стружки 3-4 секунди);

- розширити асортимент виконуваних робіт і скоротити міжопераційний час на виготовлення деталей – крім фрезерних робіт на верстаті можливе виконання свердлильних, розточувальних різьбонарізних операцій, що дозволить скоротити до мінімуму міжопераційний термін зберігання деталей.

- досягти високої точності у виготовленні деталей і скоротити час на їх виготовлення – на сучасних обробних центрах можлива одночасна обробка в 4-х і 5-ти площинах;

- скоротити енерговитрати і навантаження на виробничу ділянку – за рахунок виведення з експлуатації непотрібного устаткування;

- скоротити чисельність працюючих, за рахунок багатOVERSTATного обслуговування – 3-4 обробні центри в зміну можуть обслуговувати 2 чоловік (оператор і наладчик), що дозволить збільшити заробітну плату працівникам, що обслуговують верстати і скоротити фонд оплати праці.

Однак, не зважаючи, на вказані переваги, сучасні обробні центри мають суттєвий недолік – значну ціну, яка для виробників є визначальною в сучасних умовах перманентного дефіциту грошових ресурсів.

Оскільки питома вага багатосерійних виробництв у промисловості країни зменшилася і продовжується зменшуватись, певний обсяг наявного парку верстатного обладнання підприємств виявився не задіяним.

Потреба в новому, сучасному, високоефективному, високопродуктивному верстатному устаткуванні, оснащеному ЧПУ, залишається, і таке устаткування продовжує закуповуватись підприємствами по мірі можливостей. Однак обсягів таких закупівель не досить для повного забезпечення виробництва.

У той же час залишається значна кількість виробничих завдань, для рішення яких достатньо як раз існуючого верстатного парку, при умові модернізації їх приводів та системи управління.

В цьому випадку комплексна модернізація сучасною системою керування з використанням ЧПУ, програмувальних контролерів і приводів, при всіх варіантах модернізації дозволяє надати верстатам нові функціональні можливості й забезпечити якісно більше високий рівень їх експлуатації. Напрацьований виробничими підприємствами практичний досвід підтверджує правильність зроблених висновків.

Метою роботи є забезпечення технологічної операції обробку двох отворів деталі "Корпус люнети" шляхом модернізації горизонтально координатно-розточувального верстату з поворотним столом 2А459АФ4.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні конструкторсько-технологічні **задачі**:

- замінити систему ЧПУ на сучасну;
- замінити на сучасні та дооснастити приводи верстата датчиками зворотнього зв'язку лінійних та кутових переміщень;
- замінити силові двигуни в приводах виконавчих органів верстата;
- визначити технологічні вимоги до модернізуємого верстата;
- провести проектувальний розрахунок основних вузлів верстата, що підлягають модернізації;
- провести перевірочний розрахунок модернізованих вузлів верстата при роботі в нових умовах силових навантажень.

Практична цінність роботи.

Запропонована методика комплексної модернізації сучасною системою керування з використанням ЧПУ, програмувальних контролерів і приводів, при всіх варіантах модернізації дозволяє надати верстатам нові функціональні можливості, розширити їх технологічні можливості й забезпечити якісно більше високий рівень їх експлуатації.

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Визначення системи ЧПУ для модернізації верстата

Для забезпечення можливості повноцінного функціонування модернізованого верстата, його необхідно обладнати системою ЧПУ, що здатна управляти чотирьох та більше координатною обробкою з достатнім ступенем точності. Оскільки модернізуємий верстат є свердлильно-фрезерним координатно-розточувальним, при виборі ЧПУ будемо орієнтуватися на системи, призначені для фрезерних та розточувальних верстатів.

Виробники сучасних систем ЧПУ пропонують цілий ряд можливих рішень. Від заміни у верстаті тільки системи ЧПУ до повного переоснащення та модернізації приводів та системи управління верстату.

Розглянемо конкретні технічні рішення, що пропонуються світовими виробниками систем ЧПУ провідних верстатобудівних країн світу та вітчизняних виробників.

GE Fanuc – спільне підприємство американського промислового гіганта General Electric і японської компанії Fanuc, відомої своїми пристроями ЧПУ і роботами. Сьогодні GE Fanuc – один з провідних виробників програмно-апаратних засобів для автоматизації промислових підприємств. Продукцією підприємства є системи ЧПУ FANUC 18M / 0i-B / 0i-Mate B (рис. 2.1).

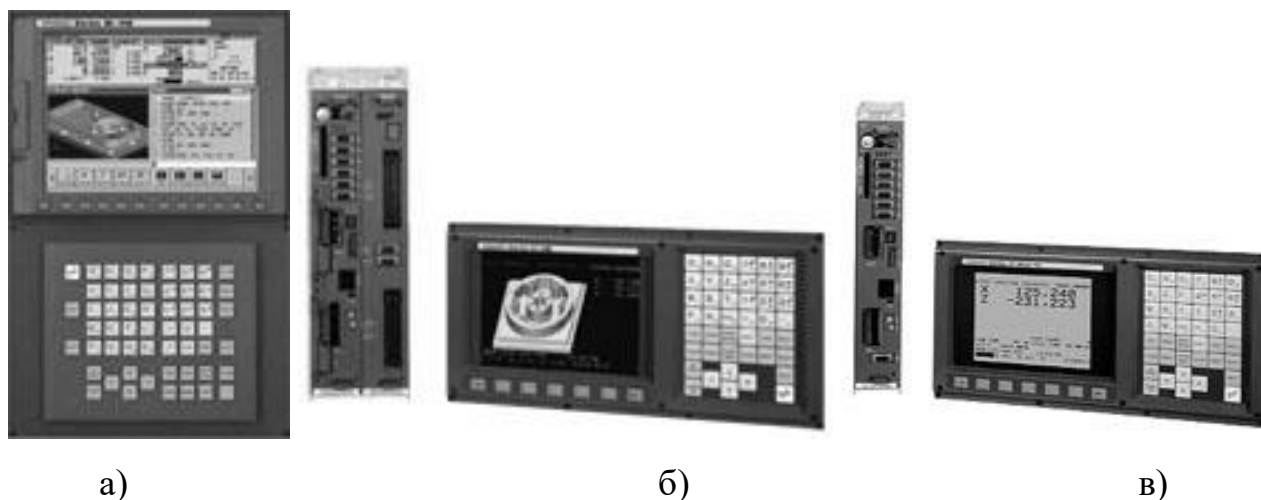


Рис. 2.1. Системи ЧПУ FANUC а – 18M; б – 0i-B; в – 0i-Mate B (США-Японія)

FANUC серії 0i та FANUC серії 0i Mate є високонадійними й економічно ефективними пристроями ЧПУ.

Відомі також системи ЧПУ фірми Mitsubishi (Японія), наприклад Mitsubishi 64M (рис. 2.2). Її відрізняють ергономічний інтерфейс і зручна для роботи панель оператора. Наприклад, у стандартній комплектації вертикальні обробні центри серії VMC оснащені ЧПУ.



Рис. 2.2. Система ЧПУ Mitsubishi 64М (Японія)

Переносний пульт керування істотно спрощує і полегшує роботу оператора при симуляції програми обробки і виконанні циклів вимірів.

Свої системи ЧПУ для верстатів пропонують також провідні Європейські виробники.

SIEMENS SINUMERIK 810D (Німеччина) (рис. 2.3) – моноблокова система ЧПУ. Система керування SINUMERIK 810D поєднує в модулі CCU (compact control unit) усі задачі ЧПУ, PLC, регулювання і комунікації. Потужний модуль CCU знаходиться в основному корпусі (блок CCU) з убудованими силовими модулями.

Конструкція системи керування SINUMERIK 810D сумісна із серією модулів цифрового перетворювача SIMODRIVE 611. За допомогою змінних модулів розширення осей вона може бути розширена із силовими модулями SIMODRIVE 611 до 5 приводів.

SINUMERIK 810D експлуатується з модулями нерегульованого живлення або модулями живлення/рекуперації серії SIMODRIVE 611.



Рис. 2.3. Система ЧПУ SIEMENS SINUMERIK 810D (Німеччина)

SINUMERIK 810D має 6 вимірювальних каналів і може здійснювати цифрове керування максимум 5 осями (або 4 осями + 1 шпинделем). Якщо кількість вбудованих вимірювальних каналів не досить, то для підключення додаткових вимірювальних систем у силові модулі SIMODRIVE 611 можна установити змінні модулі регулювання SIMODRIVE 611.

Система ЧПУ FAGOR CNC 8055/ 8055i (Іспанія) (рис. 2.4) призначена для складних і менш складних верстатів. Добре підходить для керування токарними і фрезерними обробними центрами. Не складна в інсталяції і роботі.

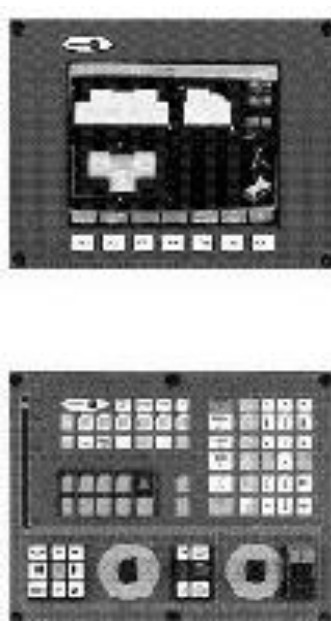


Рис. 2.4. Система ЧПУ FAGOR CNC 8055/ 8055i (Іспанія)

В 2007 році проведена уніфікація модельного ряду ЧПУ 8055/8055i. Зараз родина ЧПУ 8055/8055 і включає дві модульні моделі (8055 і 8055 Plus) і дві компактні моделі (8055 і 8055 i Plus). Модульні моделі мають CPU, що встановлюється в електрошафу, і час циклу PLC 3 ms/1000 інструкцій і 1 ms/1000 інструкцій відповідно. Компактні моделі мають CPU, інтегроване в монітор і час циклу PLC 3 ms/1000 інструкцій і 1 ms/1000 інструкцій відповідно. Таким чином, 4 моделі ЧПУ 8055/8055i замінили модельний ряд, що включав ЧПУ 8040, 8055i/A, 8055i/B, 8055i/C, 8055/A, 8055/B, 8055/C. При цьому збережена повна апаратно-програмна сумісність моделей і істотно поліпшені властивості без збільшення вартості. Підвищено швидкодію систем ЧПУ. Усі системи ЧПУ мають жорсткий диск (компакт флеш) до 2 GB, USB порт (8055i).

На додаток до ISO-програмування, діалоговий режим програмування Fagor дозволяє створювати програми обробки без знань мови програмування безпосередньо на ЧПУ, а редактор профілів – створювати користувальницькі постійні цикли обробки. Програмування PLC не вимагає спеціального середовища, досить будь-якого текстового редактора. Версії ЧПУ Fagor 8055 з відкритою архітектурою (MCO, TCO, GP) відрізняються більш низькою вартістю і дозволяють застосовувати їх для керування практично будь-якими типами верстатів і технологічного устаткування (фрезерне, шліфувальне, зубофрезерне і т.п.). При цьому немає необхідності витратити гроші за надлишкові токарні або фрезерні функції.

Непогане співвідношення ціна/якість дає можливість застосовувати ЧПУ Fagor 8055 як на простих токарних і фрезерних верстатах (16A20, 16M30, 65A80 і т.п.), додаючи таким верстатам нові технологічні можливості, так і на високотехнологічних сучасних обробних центрах і спеціалізованому устаткуванні.

ЧПУ 8055/8055i відрізняє надзвичайно висока насиченість робочими і технологічними функціями. Керування портальними і тандемними осями, кінематикою, синхронізація осей, трансформація координат і інші численні можливості дозволяють реалізувати верстат будь-якої конфігурації.

Останнім часом все більше з'являється пропозицій від верстатобудівної галузі Китаю. Вони відрізняються гарною функціональністю при помірній вартості. Пристрій числового програмного управління GSK CNC EQUIPMENT.,LTD (Китай). УЧПУ для фрезерних верстатів і обробних центрів GSK983M-H-3R (standard), приведений на рис. 2.5.



Рис. 2.5. УЧПУ для фрезерних верстатів і обробних центрів GSK983M-H-3R (standard) (Китай)

Однак не стоять осторонь й верстатобудівники України. Свої системи ЧПУ для верстатів фрезерної групи пропонують виробники: WL4M (Вест Лабс Лтд НПФ, м. Харків), "Маяк-622Е", НЦ31М (Mayak-Servis, DPKP).

Розглянемо декілька перспективних систем ЧПУ більш докладно.

Системи ЧПУ серії "Маяк" призначені для комплектування нових верстатів з ЧПУ і модернізації старих. УЧПУ "Маяк" широко застосовується для управління наступним обладнанням: фрезерні верстати, розточувальні верстати, свердлильні верстати, обробні центри та інші.

Зокрема, система ЧПУ "Маяк-622Е" (рис. 2.6.) – пристрій розподіленого типу, в якому конструктивно об'єднані пульт оператора і система управління. Встановлюється в пульт верстата або в електрошкафу. До каналів CAN можна підключати цифрові приводи і системи введення-виведення.



Рис. 2.6. Система ЧПУ "Маяк-622Е"
(Mayak-Servis, DPKP)

Можливості програмного забезпечення: лінійна, гвинтова інтерполяція по всіх осях одночасно; кругова інтерполяція в довільній площині; програмування в абсолютній та відносній системах координат, в полярних координатах, дзеркальне відпрацювання, поворот осей, масштабування, зсув; різні варіанти підведення/відведення до контуру; фаски, галтелі; арифметичні і логічні операції, тригонометричні функції; токарні, фрезерні, розточувальні, вимірювальні, профільні цикли, цикли користувача; графічне відображення руху інструменту, об'ємна візуалізація; компенсація дрейфу приводів, люфтів, похибок ходового гвинта, об'ємна компенсація; корекції на довжину інструменту, на радіус інструменту; табличні функції для корекції траєкторії і технологічних параметрів; управління синхронними осями; багаторівнева система доступу; моніторинг робочого часу, журнал дій оператора; синтаксичний і графічний контроль програми; довідкова система по параметрах, циклам, помилках і повідомленням, вхідним і вихідним сигналам; підготовка керуючих програм одночасно з відпрацюванням; широкі можливості введення керуючих програм (USB, DNC-термінал, Ethernet); віддалена діагностика та налаштування системи через GPRS, CDMA телефон або модем; дев'ятиканальний програмний осцилограф, паспортизація процесів, круглограмма для налагодження приводів.

Характеристики пристрою ЧПУ:

– Тип центрального процесора – x86-сумісний AMD LX800, 500 МГц

- Обсяг ОЗУ – 128 Мбайт
- Обсяг Flash – диск – 128 Мбайт
- Операційна система – RTLinux (ядро 2.6)
- Кількість координат – не більше 10 (базова комплектація)
- Такт управління приводами – 1 мс
- Кількість входів/виходів електроавтоматики – 512 і більше
- Типи вимірювальних перетворювачів – фотоелектричні (кругові та лінійні), індуктивні (ВТ, резольвер, індуктосіни, сельсіни)
- Типи приводів – постійного струму, частотно – регульовані, крокові, цифрові (управління по шині CAN).

Реалізовані в СЧПУ серії WL (рис. 2.7) (ВАТ „Вест Лабс Лтд НПФ” м. Харків) апаратні й програмні рішення забезпечують максимальні зручності в експлуатації й налагодженні. У СЧПУ серії WL закладені наступні можливості:

Підключення цифрових (енкодер) і аналогових (резольвер, сельсин, індуктосин) датчиків положення до 8 каналів оцифрування + можливість розширення; частота опитування датчиків задається параметрично, до 4.885 кГц;



Рис. 2.7. WL4M – СЧПУ для верстатів фрезерної групи
(Україна, м. Харків)

Аналогове (16-бітний ЦАП 10В) і цифрове керування регульованими приводами подач до 6 каналів керування + можливість розширення; частота відновлення керуючих впливів на привод задається параметрично, до 4.885 кГц;

Одночасна й незалежна обробка групових переміщень по осях (вихід у нуль, позиціонування в точку);

Лінійна, кругова, гвинтова, сплайнова інтерполяція (до 8 осей) із забезпеченням заданої контурної подачі; відпрацьовування поліноміальних параметрично заданих, згладжування кривих; частота сервоциклу інтерполяції задається параметрично, до 2 кГц; Перетворення координат: відбиття, поворот; Нарізання різьб з постійним і змінним кроком; обробка зворотно-поступального різьбового руху; Вимірювання розмірів за допомогою контактних щупів; Корекція на довжину й радіус інструмента; індивідуальна прив'язка інструментів;

Можливість розширення СЧПУ для керування багатосупортними верстатами (до 4 супортів); незалежна обробка програм для кожного супорта; синхронізація відпрацьовування програм на різних супортах;

Захист від помилок програмування з корекцією розгону й гальмування (виходячи із заданих максимальної подачі й максимальне прискорення);

Незалежна зонна корекція розмірів (компенсація похибки кроку КГП, кривизни напрямних), зонна компенсація люфтів до 2000 точок для кожного виду корекції, величина корекції до 255 дискрет;

Режим автонаналагодження СЧПУ; можливість зняття перехідної характеристики привода і її відображення на екрані;

Комбіноване керування по шляховому каналі (неузгодженість + швидкість + прискорення); можливість тонкого настроювання шляхового каналу й корекція швидкісного каналу керування (Пид-Регулятори); можливість застосування в приводах двигунів без тахогенераторів;

Сумісність керуючих програм з EIA RS-274-D (Interchangeable Block Data Format for NC Machines);

Довгострокова енергонезалежна пам'ять програм від 64 МБ;

Введення/виведення і виконання керуючих програм по RS-232, протоколам FTP, USB і з довгострокової пам'яті;

Редагування програм безпосередньо на верстаті;

Використання потужної макромови (змінні, функції, розгалуження, цикли,

підпрограми);

Корекція прив'язок інструмента й користувальницьких систем координат безпосередньо в ході виконання програми;

Діалоговий режим редагування програм: фаски, галтелі, закруглення, сполучення й т.д.

Пошук кадру з позиціонуванням у точку початку кадру; запуск програми з кадру; прискорений і покадровий режим відпрацьовування програм; виконання кадру в переднаборі;

Налагодження програми в графічному режимі без її відпрацьовування на верстаті; графічне відображення на екрані траєкторії руху інструмента з врахування і без врахування коректорів;

Оперативна зміна подачі й частоти обертання шпинделя від 0 до 130%;

Програмувальний контролер електроавтоматики; підключення до 120 вхідних і 64 вихідних дискретних сигналів з можливістю розширення; можливість каскадування контролерів і побудови розподіленої автоматики; CAN_інтерфейс для зв'язку зі СЧПУ;

Простота підключення різних пультів ручного керування;

Зручна система меню при роботі з терміналом;

Сервісні можливості й внутрішня діагностика; відображення стану оцифрування, виходів ЦАП, проміжних сигналів; відображення стану вхідних і вихідних сигналів електроавтоматики; можливість ручного включення/відключення сигналів електроавтоматики безпосередньо зі СЧПУ;

Інтуїтивно зрозумілий графічний русифікований інтерфейс користувача; можливість налаштування інтерфейсу відповідно до потреб і смаками користувача (тип і розмір шрифтів, колірне розфарбування); можливість налаштування інтерфейсу на іншу мову; убудований калькулятор.

З наведених систем ЧПУ необхідно обрати конкретну для переоснащення координатно-розточувального верстату. Розглянутий практично весь діапазон пропозицій по можливостям цих систем та по географії виробників. Охоплені провідні країни з розвиненим верстатобудуванням: американські (США), європейські (Німеччина, Іспанія), азійські (Японія, Китай) та українські.

За показником співвідношення ціни – надаваних можливостей та якості беззаперечним лідером є системи ЧПУ Харківського підприємства Вест лаб. серії

WL. Цьому є декілька важливих причин:

- по-перше ціна; за меншу ціну отримуємо більше функцій та кращу комплектацію,
- по-друге сервісне обслуговування швидше, внаслідок того, що фірма вітчизняна,
- по-третє з тої ж причини, що виробник український це позитивним чином відбивається на термінах виконання робіт.

Таким чином, для переоснащення горизонтально координатно-розточувального верстату з обертальним столом 2А459АФ4 обираємо 4-х координатну систему, призначену для верстатів фрезерної групи WL4М Харківського підприємства „Вест Лабс Лтд НПФ”.

2.2. Датчики зворотнього зв'язку в приводах лінійних та кутових переміщень виконавчих органів верстату

Точність верстата залежить в першу чергу від його здатності витримувати швидкоплинні умови експлуатації. Перехід від чорнової обробки до чистової спричиняє зміну механічного і термічного навантажень на верстат, який суттєво впливає на точність. Частий перехід від процесу зміни інструменту до процесу обробки призводить до коливань виділяється тепла, що істотно впливає на точність. Особливу роль при цьому відіграють приводи подач. Вони активно використовуються при великих швидкостях обробки і високих прискореннях і виділяють багато тепла, яке призводить до нагрівання частин верстата. За відсутності відповідних засобів позиціонування (наприклад, лінійних датчиків зворотнього зв'язку) за короткий час помилки позиціонування можуть досягти значень до 100 мкм.

Для забезпечення необхідної якості обробки приводи виконавчих органів верстату необхідно переобладнати та дообладнати сучасними датчиками зворотнього зв'язку. Це дуже важливо, оскільки точність положення та руху виконавчих органів верстату безпосередньо впливає на геометричну точність отриманої в процесі обробки деталі.

Серед найкращих пропозицій на нашому ринку датчики німецької компанії Heidenhain (Dr. Johannes heidenhain GmbH) та СКБ ВС.

Компанія Heidenhain (Dr. Johannes heidenhain GmbH) розробляє і виробляє датчики вимірювання лінійних і кутових переміщень, датчики обертання, пристрої цифрової індикації і системи числового програмного керування для задач позиціонування, що вимагають високої точності. Продукція компанії HEIDENHAIN застосовується, насамперед, у високоточних верстатах.

СКБ ВС (Спеціальне Конструкторське Бюро Вимірювальних Систем), було створене для виготовлення вітчизняних перетворювачів (датчиків) кутових і лінійних переміщень (вітчизняних енкодерів). СКБ ВС має величезний асортимент високоякісних енкодерів, які володіють різними функціональними можливостями і великою областю використання. СКБ ВС виготовляє та пропонує: енкодери, датчики лінійного переміщення, датчики кутового переміщення, абсолютні кутові магнітні датчики положення, інкрементні кутові фотоелектричні перетворювачі переміщень, абсолютні енкодери, інкрементні енкодери, резольвери.

Для модернізації приводів оберемо датчики виробник СКБ ВС, оскільки за своїми характеристиками аналогічні закордонним аналогам, при в декілька разів меншій ціні.

Для відліку лінійних переміщень салазок столу (по координаті X) застосуємо перетворювач лінійних переміщень ЛІР-8. Лінійку перетворювача закріпимо на столі, зчитувальну головку на станині. Лінійна координата фактичного положення рухомого органу – столу – індукується на пристрій системи ЧПУ.

У основі станини є направляючі ковзання для поперечного лінійного переміщення стійки по напрямних ковзання станини (по координаті Z). Для відліку переміщень стійки застосуємо перетворювач лінійних переміщень ЛІР-8. Лінійку перетворювача розташуємо на салазках, а зчитувальну головку на станині.

Для відліку лінійних переміщень шпиндельної бабки (по координаті Y) застосуємо перетворювач лінійних переміщень ЛІР-8. Лінійку перетворювача

закріпимо на стійці, а зчитувальну головку на шпиндельній бабці.

У приводі кругового переміщення (обертання) столу (*по координаті В*) для відліку кругових переміщень столу застосуємо перетворювач кругових переміщень ЛИР-1170А.

Для орієнтації шпинделя під час автоматичної зміни інструменту застосуємо датчик кругових переміщень ЛИР-158Д. Для цього виконаємо в приводі головного руху зубчасту передачу, яка зв'яже шпиндель з датчиком. Орієнтація шпинделя відбувається при його повільному повороті до тих пір, поки неузгодженість між задавальним сигналом і сигналом з датчика не досягне мінімуму.

В приводах повздовжнього і поперечного лінійних переміщень (приводи подачі верстату за координатами X , Y , Z) встановимо оптоелектронні датчики лінійних переміщень ЛИР-8 (виробник СКБ ВС). Ці датчики є повним аналогом датчиків LS403 фірми HEIDENHAIN, але при цьому їхня ціна не перевищує 30% ціни імпортного аналога. Характеристика ЛИР-8: Довжина виміру до 320 мм; габарити поперечного перетину 49x20 мм; точність ± 3 мкм/м.

Перетворювачі лінійних переміщень ЛИР-ДА8 здійснюють інформаційний зв'язок по положенню між виконавчими механізмами і пристроєм числового програмного управління (ПЧПУ) або пристроєм цифрової індикації (ПЦІ).

Перетворювач лінійних переміщень оптоелектронний датчик лінійних переміщень ЛИР-ДА8 (рис. 2.8) – це лінійна оптична вимірювальна система, що призначена для перетворення лінійних переміщень робочих органів верстатів в електричні сигнали, які містять інформацію про величину і напрямок цих переміщень. Вона має істотні переваги: не чуттєва до забруднення, вимагає менш точного регулювання відстані між головкою зчитування і лінійкою, а також у ній відсутні навідні електромагнітні поля.

Перетворювачі лінійних переміщень (ПЛП) перетворюють лінійні переміщення в електричні сигнали, що містять інформацію про величину і напрямок цих переміщень і придатні для наступної обробки в ПЧПУ й в ПЦІ.



Рис. 2.8. Перетворювач лінійних переміщень ЛІР-8

В основу дії ПЛП покладений принцип растрової модуляції. При відносному переміщенні растрової шкали 1 (рис. 2.9) і індикаторної пластини 2, яка містить растровий аналізатор, відбувається модуляція потоку, створюваного інфрачервоними випромінювачами 3 на платі освітлювачів 4. Модульований потік випромінювання реєструється кремнієвими фотодіодами 5 на платі фотоприймачів 6.

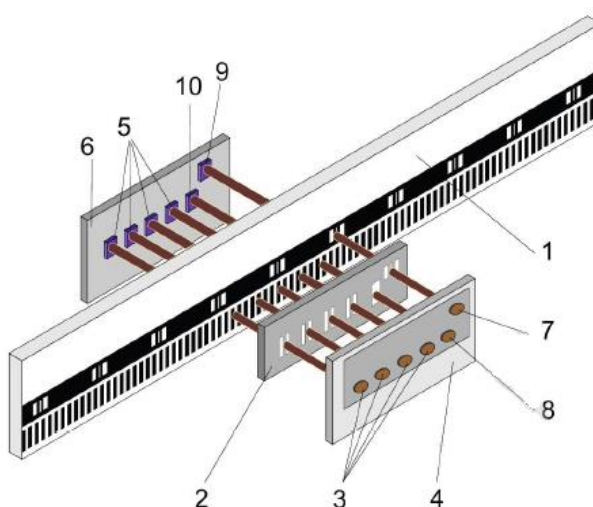


Рис. 2.9. Будова та принцип дії ЛІР – ДА8

Випромінювачі 7, 8 і фотодіоди 9, 10 утворюють канал формування сигналу референтної мітки. При відносному переміщенні шкали 1 і індикаторної пластини 2 у зоні сполучення полів референтної мітки відбувається модуляція інфрачервоного потоку випромінювання і на виході фотоприймача формується сигнал автокореляційної функції коду, що перетворюється в імпульсний сигнал референтної мітки.

Галузь застосування датчиків ЛИР-ДА8 (табл. 2.1) це металорізальні верстати класів точності П и В, робототехніка і вимірювальні системи різних пристроїв, що працюють у цехових і лабораторних умовах виробництва.

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики перетворювача ЛИР-ДА8

Найменування параметрів	Од. вим.	Величини
Довжина перетворюваного переміщення	мм	70, 120, 220, 270, 320, 370, 420, 470, 520, 570, 620, 720, 820, 920, 1020, 1140, 1240, 1340, 1440, 1540
Положення референтної мітки		Відсутнє, Довжина вимірів / 2, Через 50 мм
Максимальна швидкість механічних переміщень	м/хв	120
Максимальне прискорення	м/с ²	30
Наробіток на відмовлення, не менш	г	8500
Термін служби, не менш	років	14
Напруга живлення	В	+5В, +12В, ±12В
Типи вихідних інтерфейсів		Синус. токовий 11 мка, Синус. напруг. 1В, Прякут. імпульс. TTL, Прямут. імпульс. HTL, Синус. напруг. 8В,
Клас точності за ДСТ 26242-90		3; 4; 5
Довжина кабелю, до	м	3

При модернізації верстатів використовують кутові датчики, які здійснюють високоточну реєстрацію кутового переміщення валу.

Шпиндельний вузол обладнаємо датчиком кутового положення шпинделя – інкрементним кутовим фотоелектричним перетворювачем переміщень ЛИР-158Д.

Інкрементний перетворювач кутових переміщень (інкрементний енкодер) ЛИР-158Д (рис. 2.10), має фотоелектричний принцип дії і відноситься до класу фотоелектричних датчиків.



Рис. 2.10. Датчик кутового положення ЛИР-158 Д (інкрементний енкодер)

Даний перетворювач (рис. 2.11) має наступні особливості:

- Цілісний вал;
- Напруга живлення +5 В;
- Роздільна здатність до 1080000 дискрет на оберт;
- Діаметр корпусу 58 мм.

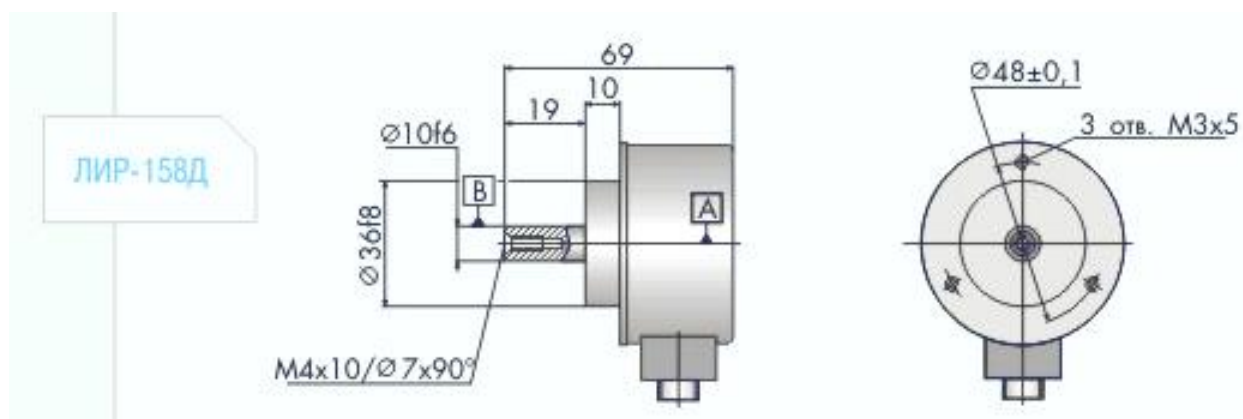


Рис. 2.11. Конструктивне виконання датчика кутового положення ЛИР-158Д

Інші технічні характеристики датчика ЛІР-158Д наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Технічні характеристики перетворювача кутових переміщень ЛІР-158Д

Найменування параметрів	Од. вим.	Величини
Роздільна здатність перетворювача	дискрет /оберт	до 320000
Особливість конструкції		з порожнім валом
Модифікація перетворювача		А
Конструктивне виконання		З
Напруга живлення	В	+ 5
Кількість штрихів на вимірювальному лімбі		100; 250; 360; 500; 512; 600; 900; 1000; 1024; 1500; 2000; 2048; 2500; 3600; 5000
Коефіцієнти інтерполяції		1,2,3,4,5,8, 10, 12, 16
Інтервал робочих температур	°С	від 0 до + 70
Клас точності		6 клас $\pm 30''$ 7 клас $\pm 75''$ 10 клас $\pm 1,5$
Маса (без кабелю)	кг	0,25
Ступінь захисту від зовнішніх впливів		IP64
Максимальна швидкість обертання вала	об/хв	10000
Вібраційне прискорення в діапазоні частот (55...2000) Гц	м/с ²	≤ 100
Момент рушання ротора (20°С)	Н·м	$\leq 0,01$
Ударне прискорення	м/с ²	≤ 300
Момент інерції ротора	кг·м ²	$1,4 \times 10^{-6}$
Діаметр корпусу,	мм	50

Для точного кутового позиціонування привод повороту столу обладнаємо датчиком кутового положення – інкрементним кутовим фотоелектричним перетворювачем переміщень ЛІР-1170А.

Прецизійний інкрементний перетворювач кутових переміщень (інкрементний енкодер) ЛІР-1170А (рис. 2.12) має фотоелектричний принцип дії і відноситься до класу фотоелектричних датчиків.



Рис. 2.12. Датчик кутового положення ЛІР-1170А (інкрементний енкодер)

Даний перетворювач (рис. 2.13) можна відрізнити за таких особливостей:

- Прецизійний;
- Цілісний вал;
- Напруга живлення +5 В;
- Роздільна здатність до 3600000 дискрет на оборот;
- Діаметр корпусу 170 мм.

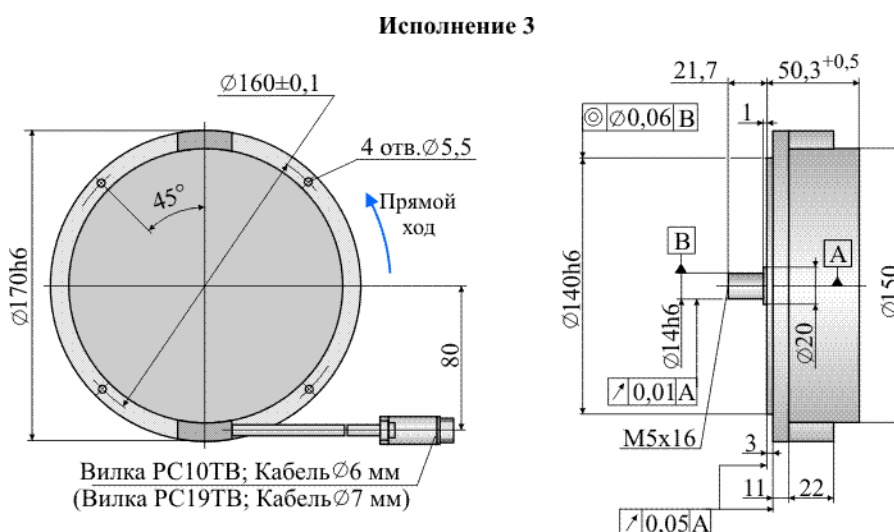


Рис. 2.13. Конструктивне виконання датчика кутового положення ЛІР-1170А

Інші технічні характеристики датчика ЛІР-1170А наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Технічні характеристики перетворювача кутових переміщень ЛІР-158Д

Найменування параметрів	Од. вим.	Величини
Роздільна здатність перетворювача	дискрет /оберт	до 360000
Особливість конструкції		з цілим валом
Модифікація перетворювача		А
Конструктивне виконання		З
Напруга живлення	В	+ 5
Кількість штрихів на вимірювальному лімбі		16384; 18000
Коефіцієнти інтерполяції		1,2,3,4,5,8, 10, 12, 16
Інтервал робочих температур	°С	від 0 до + 70
Клас точності		3 клас $\pm 2,5''$
Маса (без кабелю)	кг	3,5
Ступінь захисту від зовнішніх впливів		IP64
Максимальна швидкість обертання вала	об/хв	1000
Вібраційне прискорення в діапазоні частот (55...2000) Гц	м/с ²	≤ 100
Момент рушання ротора (20°C)	Н·м	$\leq 0,012$
Допустиме осьове навантаження на вал	Н	≤ 30
Допустиме радіальне навантаження на вал	Н	≤ 30
Ударне прискорення	м/с ²	≤ 300
Момент інерції ротора	кг·мІ	$3,7 \times 10^{-4}$
Діаметр корпусу,	мм	170

2.3. Визначення технологічних вимог до модернізації верстату

Перед проектувальним розрахунком модернізації верстата, необхідно визначити технологічні вимоги, яким він повинен задовольняти. Модернізуємий верстат є горизонтально координатно-розточувальним та призначений для виконання фрезерних, свердлильних та розточувальних операцій в заготовках з різних конструкційних матеріалів. Типовими предстваниками найрозповсюдженів випадків конструкційних матеріалів а саме зі сталі, чавуну, бронзи та кольорових сплавів інструментом з матеріалом різальної частини швидкорізальна сталь, твердий сплав та металокераміка.

Сучасному машинобудуванню переважним чином притаманний серійний тип виробництва. З зазначених міркувань і будемо виходити при визначені технологічних вимог до верстату при модернізації.

Технологічні можливості верстата складаються з максимальних розмірів оброблюваних заготовок для різних операцій, та режимів різання (глибина, подача та швидкість різання) які він здатний на цих операцій забезпечити.

Визначимо максимальні розміри оброблюваних заготовок для різних операцій, в залежності від габаритних розмірів столу та виконавчих органів верстату.

На операції фрезерування максимальні та мінімальні довжина L та ширина B фрезерування дорівнюють:

$$B_{\max} = (0,3 \dots 0,4) \cdot B = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ мм}; \quad (2.1)$$

$$B_{\min} = 0,5 \cdot B_{\max} = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ мм};$$

$$L_{\max} = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 1000 = 500 \text{ мм}; \quad (2.2)$$

$$L_{\min} = 0,5 \cdot L_{\max} = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ мм}.$$

де B – ширина столу; $B = 1000$ мм;

L – довжина столу ; $L = 1000$ мм.

В залежності від граничних значень параметрів фрезерування визначаємо граничні значення розмірів самого інструменту фрези.

При торцевому фрезеруванні граничні розміри інструменту:

$$D_{\max} = (1,25 - 1,6) \cdot B_{\max} = 1,5 \cdot 300 = 450 \text{ мм}; \quad (2.3)$$

$$D_{\min} = (0,2 - 0,25) \cdot D_{\max} = 0,2 \cdot 450 = 90 \text{ мм}. \quad (2.4)$$

На операції свердління, для гарантованої обробки заданої деталі, граничні параметри повинні дорівнювати:

$$D_{\max} = 50 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = (0,15 - 0,25) \cdot D = 0,15 \cdot 50 = 7,5 \text{ мм}. \quad (2.5)$$

На операції розточування граничні параметри будуть дорівнювати:

$$D_{\max} = 500 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = (0,15 - 0,25) \cdot D = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ мм}. \quad (2.6)$$

Визначимо максимальні параметри режимів різання, які повинен забезпечувати модернізований верстат.

Максимальні значення величини глибини різання для різних видів обробки визначаємо на прикладі фрезерування, оскільки з усіх видів обробки саме на цій операції технологічні навантаження максимальні.

При чорновому фрезеруванні при обробці за один прохід:

$$t_{\max} = \Pi_{\max} - \Pi_{\text{чист}}, \quad (2.7)$$

де $\Pi_{\max}$ – максимальний припуск на бік, $\Pi_{\max \text{ сталі}} = 6 \text{ мм}$, $\Pi_{\max \text{ чавуну}} = 5 \text{ мм}$,

$$\Pi_{\max \text{ міді}} = 3 \text{ мм}$$

$\Pi_{\text{чист}}$ – припуск при чистовій обробці, $\Pi_{\text{чист}} = 0,5 \text{ мм}$.

$$t_{\max \text{ сталі}} = 6 - 0,5 = 5,5 \text{ мм};$$

$$t_{\max \text{ чавуну}} = 5 - 0,5 = 4,5 \text{ мм};$$

$$t_{\max \text{ міді}} = 3 - 0,5 = 3,5 \text{ мм}.$$

При чистовому фрезеруванні при обробці за один прохід для всіх матеріалів:

$$t_{\max} = \Pi_{\text{чист}} = 0,5 \text{ мм}.$$

Визначаємо граничні значення величини подачі S для різних видів обробки.

На операціях фрезерування:

$$S_{фрез} = S_z \cdot K_{SU} \cdot K_{Su} \cdot K_{Sф}, \quad (2.8)$$

де S_z – величина подачі на зуб, мм/зуб;

K_{SU} – коефіцієнт, який характеризує матеріал різальної частини інструменту;

K_{Su} – коефіцієнт, який залежить від шорсткості оброблюваної поверхні;

$K_{Sф}$ – коефіцієнт, який залежить від геометричної форми поверхні заготовки.

При обробці сталевих заготовок:

$$S_{\max} = 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,285 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,008 \text{ мм/об}.$$

При обробці чавунних заготовок:

$$S_{\max} = 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,57 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,016 \text{ мм/об}.$$

При обробці мідних заготовок:

$$S_{\max} = 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,57 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,016 \text{ мм/об}.$$

На операціях свердління:

$$S_{свердл} = S_o \cdot K_{Sl} \cdot K_{Sж} \cdot K_{SU} \cdot K_{Sd} \cdot K_{Sm}, \quad (2.9)$$

де S_o – величина подачі на оберт, мм/об;

K_{Sl} – коефіцієнт, який характеризує довжину оброблюваної поверхні;

$K_{Sж}$ – коефіцієнт, який залежить від жорсткості технологічної оброблювальної системи, $K_{Sж} = 0,75$;

K_{SU} – коефіцієнт, який характеризує матеріал різальної частини інструменту;

K_{Sd} – коефіцієнт, який характеризує вид отвору у заготовці;

K_{Sm} – коефіцієнт, який характеризує фізико-механічні властивості матеріалу заготовки.

При обробці сталевих заготовок:

$$S_{\max} = 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,285 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,008 \text{ мм/об}.$$

При обробці чавунних заготовок:

$$S_{\max} = 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,57 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,016 \text{ мм/об}.$$

При обробці мідних заготовок:

$$S_{\max} = 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,57 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,07 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,016 \text{ мм/об}.$$

На операціях розточування:

$$S_{\text{розт}} = S_0 \cdot K_{Sn} \cdot K_{SU} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{S3} \cdot K_{Sж} \cdot K_{Sm}, \quad (2.10)$$

де S_0 – значення подачі на оберт, мм/об;

K_{Sn} – коефіцієнт, який характеризує особливість поверхні заготовки;

K_{SU} – коефіцієнт, який характеризує матеріал різальної частини інструменту;

$K_{S\phi}$ – коефіцієнт, який залежить від геометричної форми поверхні заготовки;

K_{S3} – коефіцієнт, який залежить від загартованості поверхні заготовки;

$K_{Sж}$ – коефіцієнт, який залежить від жорсткості технологічної оброблювальної системи, $K_{Sж} = 0,75$;

K_{Sm} – коефіцієнт, який характеризує фізико-механічні властивості матеріалу заготовки.

При обробці сталевих заготовок:

$$S_{\max} = 0,68 \cdot 0,13 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,07 = 0,06 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,55 \cdot 0,08 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,45 \cdot 1,07 = 0,006 \text{ мм/об}.$$

При обробці чавунних заготовок:

$$S_{\max} = 0,68 \cdot 0,13 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,25 = 0,075 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,55 \cdot 0,08 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,45 \cdot 1,25 = 0,007 \text{ мм/об}.$$

При обробці мідних заготовок:

$$S_{\max} = 0,68 \cdot 0,13 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1,25 = 0,075 \text{ мм/об};$$

$$S_{\min} = 0,55 \cdot 0,08 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,45 \cdot 1,25 = 0,007 \text{ мм/об}.$$

Визначаємо граничні значення величини швидкості різання V для різних видів обробки.

На операціях торцевого фрезерування приймаємо за нормативами.

При обробці сталевих заготовок:

$$V_{\max} = 164 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 147 \text{ м/хв}.$$

При обробці чавунних заготовок:

$$V_{\max} = 141 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 112 \text{ м/хв}.$$

При обробці мідних заготовок:

$$V_{\max} = 450 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 415 \text{ м/хв}.$$

На операціях свердління одним свердлом в нормальних умовах роботи з застосуванням ЗОР, приймаємо за нормативами.

При обробці сталевих заготовок:

$$V_{\max} = 38 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 20 \text{ м/хв}.$$

При обробці чавунних заготовок:

$$V_{\max} = 48 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 25 \text{ м/хв}.$$

При обробці мідних заготовок:

$$V_{\max} = 96 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 46 \text{ м/хв}.$$

На операціях розточування:

$$V = V_T \cdot K_{VU} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{VП} \cdot K_{VO}, \quad (2.11)$$

де V_T – теоретична величина швидкості різання, м/хв;

K_{VU} – коефіцієнт, який характеризує матеріал різальної частини інструменту;

$K_{V\varphi}$ – коефіцієнт, який характеризує дію головного кута в плані φ ,

$$K_{V\varphi} = 0,9;$$

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, який залежить від жорсткості технологічної оброблювальної системи;

K_{Vn} – коефіцієнт, який характеризує особливість поверхні заготовки;

K_{Vo} – коефіцієнт, який характеризує дію ЗОР.

При обробці сталевих заготовок:

$$V_{\max} = 340 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 306 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 239 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 35 \text{ м/хв}.$$

При обробці чавунних заготовок:

$$V_{\max} = 200 \cdot 0,83 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 179 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 141 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \cdot 0,7 \cdot 1 = 21 \text{ м/хв}.$$

При обробці мідних заготовок:

$$V_{\max} = 555 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 599 \text{ м/хв};$$

$$V_{\min} = 362 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \cdot 0,7 \cdot 1 = 54 \text{ м/хв}.$$

При модернізації необхідно також врахувати гарантоване забезпечення виконання обробки заданої в вихідному завданні деталі "Корпус люнету" (див. рис. 1.1 та рис. 1.2), тому є необхідність попередньо розрахувати орієнтовні значення швидкостей різання на чорновому та чистовому розточуваннях. Згідно довідкової літератури швидкість різання визначається за залежністю:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \cdot K_v, \quad (2.12)$$

де C_v – коефіцієнт, що враховує умови різання;

T – нормативна стійкість інструмента, хв;

m – коефіцієнт, що враховує вплив умов обробки на стійкість інструмента;

t – глибина різання, мм;

x_v – коефіцієнт, що враховує ступінь впливу глибини різання на швидкість різання;

S – подача, мм/хв;

y_v – коефіцієнт, що враховує ступінь впливу подачі на швидкість різання.

На операції чорнового розточування $d = 45 \text{ мм}$ та $d = 52 \text{ мм}$:

$$V_{\text{чор.розт.}} = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 1,5^{0,2}} \cdot 0,6 = 52,8 \text{ м/хв}.$$

На операції чорнового розточування $d = 45 \text{ мм}$ та $d = 52 \text{ мм}$:

$$V_{\text{чист.розт.}} = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 1,0^{0,2}} \cdot 0,6 = 72,9 \text{ м/хв}.$$

За допомогою залежності між швидкістю різання та частотою обертання шпинделя, можливо визначити граничні значення частот обертання шпинделя:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (2.13)$$

звідки

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}. \quad (2.14)$$

а значить

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D_{\min}};$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D_{\max}}.$$

На операціях фрезерування:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 450}{3,14 \cdot 90} = 1592 \text{ об/хв};$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 112}{3,14 \cdot 450} = 79 \text{ об/хв}.$$

На операціях свердління:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 96}{3,14 \cdot 7,5} = 3076 \text{ об/хв};$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 50} = 127 \text{ об/хв}.$$

На операціях розточування:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 599}{3,14 \cdot 125} = 1526 \text{ об/хв};$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 21}{3,14 \cdot 500} = 13,4 \text{ об/хв}.$$

При обробці отворів в заданій деталі "Корпус люнети":

$$n_{\text{чорн}} = \frac{1000 \cdot 52,8}{3,14 \cdot 45} = 374 \text{ об / хв};$$

$$n_{\text{чист}} = \frac{1000 \cdot 72,9}{3,14 \cdot 45} = 516 \text{ об / хв}.$$

Всі отримані значення частот обертання шпинделя верстата порівнюємо та визначаємо максимальні граничні значення:

$$n_{\text{max}} = 3076 \text{ об / хв};$$

$$n_{\text{min}} = 13,4 \text{ об / хв}.$$

За нормальним рядом обираємо найближчі до розрахованих значень, остаточно для розрахунку приводу головного руху приймаємо:

$$n_{\text{max}} = 3150 \text{ об / хв};$$

$$n_{\text{min}} = 20 \text{ об / хв}.$$

Таким чином, якщо при проектуванні приводу головного руху забезпечити діапазон регулювання частот обертання шпинделя, що гарантовано перекриє розрахований – від 20 до 3150 об/хв, це дозволить забезпечити операції обробки на модернізованому верстаті заданої деталі.

2.4. Проектувальний розрахунок вузлів верстата, що модернізуються

2.4.1. Вибір двигуна для приводу головного руху верстата

Вибираючи двигун для приводу головного руху, необхідно виходити з міркувань достатності значень його технічних параметрів для забезпечення визначених у попередньому підпункті технологічних вимог до модернізованого верстату. Обраний двигун, повинен забезпечити певний діапазон частот обертання шпинделя та мати достатню потужність для виконання технологічних операцій по обробці різнорідних заготовок з різних конструктивних матеріалів (сталь, чавун, мідь та кольорові сплави) інструментами з різних інструментальних матеріалів (швидкорізальна сталь, твердий сплав та металокераміка).

Визначимо необхідну потужність двигуна для приводу головного руху верстата:

$$N_{\text{эл.дв.}} = \frac{N_{\text{оп.}}}{\eta \cdot K}, \quad (2.15)$$

де η – ККД приводу головного руху, $\eta = 0,7 \dots 0,85$, приймаємо $\eta = 0,7$;

K – коефіцієнт допустимого перенавантаження двигуна, $K = 1,25$;

$N_{\text{оп.}}$ – необхідна потужність для виконання технологічних операцій:

– на операціях фрезерування: $N_{\text{оп. фрез.}} = 12,1 \text{ кВт}$;

– на операціях свердління: $N_{\text{оп. свердл.}} = 8,3 \text{ кВт}$;

– на операціях розточування: $N_{\text{оп. розточ.}} = 6,4 \text{ кВт}$.

Для гарантованого забезпечення виконання всіх операцій на модернізованому верстаті обираємо для розрахунку необхідної потужності електродвигуна максимальне значення необхідної потужності $N_{\text{оп. фрез.}} = 12,1 \text{ кВт}$:

$$N_{\text{эл.дв.}} = \frac{12,1}{0,7 \cdot 1,25} = 13,8 \text{ кВт}.$$

Таким чином, необхідно обрати сучасний двигун постійного струму, потужністю не менше $13,8 \text{ кВт}$, який забезпечує безступеневе регулювання частот обертання в великому діапазоні.

Для безступінчастого регулювання швидкості в приводах верстатів в основному застосовують регульовані електродвигуни:

1. Електродвигуни постійного струму з тиристорною системою керування;
2. Асинхронні електродвигуни, регульовані за рахунок зміни частоти струму.

Кожен з наведених видів верстатів має свої переваги та недоліки. Для модернізації приводу головного руху обираємо двигун постійного струму **2ПН160ЛУХ4**, який має наступні характеристики:

$$N_{\text{эл.дв.}} = 14 \text{ кВт} ;$$

$$n_{\text{н}} = 800 \text{ об / хв} ;$$

$$n_{\text{max}} = 4000 \text{ об / хв} .$$

Однак більш раціональним для модернізації приводів верстату є використання сервоприводів, що представляють собою електродвигун з вбудованим датчиком кутових переміщень (енкодером).

Після вивчення пропозицій, за показником можливості-ціна для модернізації приводів виконавчих органів верстата було обрано сервоприводи фірми ESTUN Automation Technology Co., Ltd (Китай) серії ProNet.

Сервоприводи ESTUN серії ProNet мають імпульсне керування позицією, аналогове керування $\pm 10\text{В}$ швидкістю і моменту, позиціонування ModBus, CANopen, інкрементальний енкодер 2500 імп/об.

Для модернізації приводів подач по трьом координатам та приводу повороту столу замість наявних в базовій конструкції 4-х електродвигунів 2ПБВ112L обираємо співставимий по потужності ESTUN ProNet EMG-50-DPA-22 потужністю $N = 5,0 \text{ кВт}$, крутильним моментом $M_{кр} = 23,9 \text{ Н/м}$, $n = 2000 \text{ об/хв}$ з приводом ProNet-E-50D.

2.4.2. Кінематичний розрахунок приводу головного руху

Привід головного руху верстата повинен забезпечити визначений діапазон частот обертання шпинделя з безступеневим регулюванням:

$$n_{\text{шп. max}} = 3150 \text{ об / хв};$$

$$n_{\text{шп. min}} = 20 \text{ об / хв}.$$

У якості двигуна в приводі прийнятий **2ПН160ЛХ4**, який має наступні характеристики:

$$N_{\text{ел.дв.}} = 14 \text{ кВт}; n_n = 800 \text{ об / хв}; n_{\text{max}} = 4000 \text{ об / хв}.$$

Необхідний діапазон регулювання частот обертання:

$$R_n = \frac{n_{\text{шп. max}}}{n_{\text{шп. min}}} = \frac{3150}{20} = 157,5. \quad (2.16)$$

Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_{u.p} = n_{u.min} \sqrt[4]{R_n} \dots n_{u.min} \sqrt[3]{R_n} = 20 \sqrt[4]{157,5} \dots 20 \sqrt[3]{157,5} = 70,85 \dots 108 \text{ об / хв} \quad (2.17)$$

Приймаємо $n_{u.p} = 100 \text{ об / хв}$ з коефіцієнтом ряду $\phi = 1,12$.

Діапазон регулювання на шпинделі, при постійній потужності:

$$R_N = \frac{n_{u.max}}{n_{u.p}} = \frac{3150}{80} = 39,375. \quad (2.18)$$

Діапазон регулювання самого двигуна:

$$R_{\phi.N} = \frac{n_{max}}{n_u} = \frac{4000}{800} = 5. \quad (2.18)$$

Оскільки $R_{\phi.N} < R_N$, для забезпечення всього діапазону регулювання необхідно застосувати коробку швидкостей.

Кількість передач в коробці швидкостей дорівнює:

$$z = \frac{\lg R_N}{\lg R_{\phi.N}} = \frac{\lg 39,375}{\lg 5} \approx 2,28. \quad (2.19)$$

Оскільки кількість передач може бути тільки цілим, отримане значення z приведемо до найближчого цілого, $z = 3$.

Визначимо чи можливо скоротити кількість передач в коробці швидкостей за рахунок проміжків у характеристиках:

$$z = \frac{\lg(R_N \cdot \Delta R)}{\lg(R_{\phi.N} \cdot \Delta R)} = \frac{\lg(39,375 \cdot 1,25)}{\lg(5 \cdot 1,25)} \approx 2,13. \quad (2.20)$$

Оскільки втрати потужності в проміжках характеристик перевищують 20 %, спростити привід головного руху не можливо.

Остаточно приймаємо $z = 3$.

Таким чином з врахуванням проведених розрахунків розробимо кінематичну схему приводу головного руху (рис. 2.14).

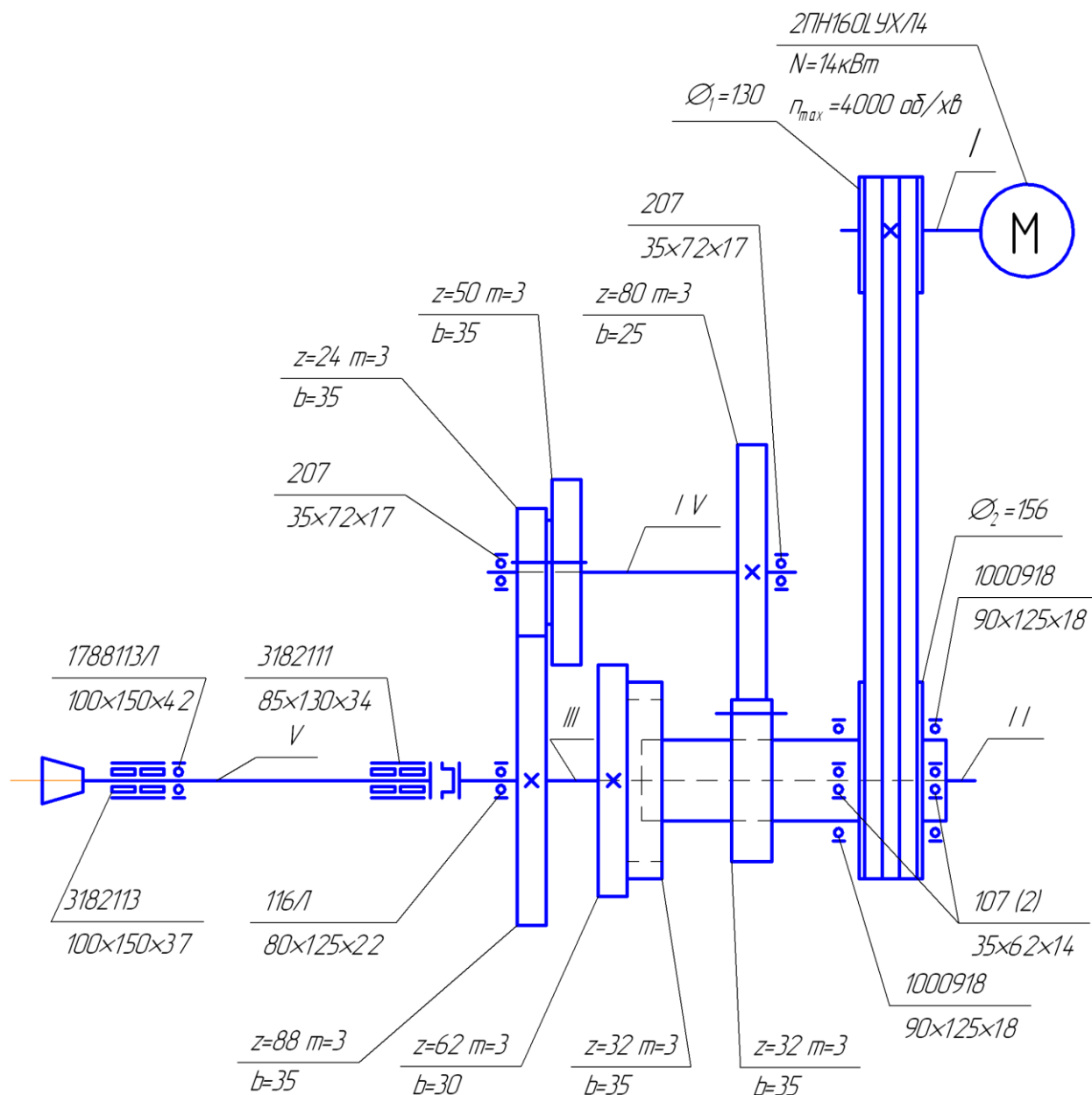


Рис. 2.14. Кінематична схема приводу головного руху верстату

По нормальному ряду чисел "Нормальні ряди чисел у верстатобудуванні" вибираємо стандартний ряд частот обертання (об/хв): 20, 22.4, 25, 28, 31.5, 35.5, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 12, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 353, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000 та будуємо графік частот обертання шпинделя (рис. 2.15).

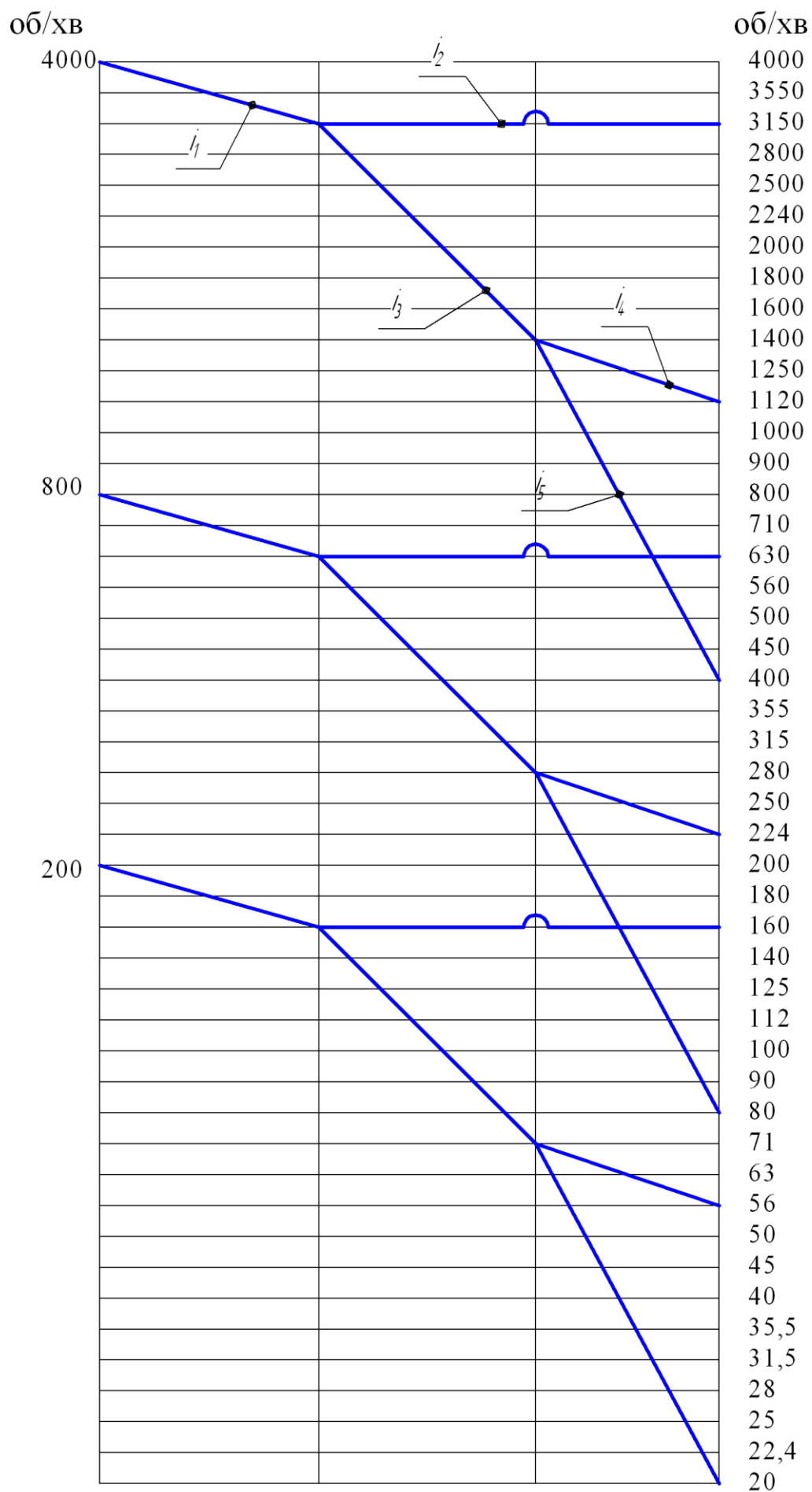


Рис. 2.15. Графік частот обертання шпинделя

З отриманого графіку частот обертання шпинделя, визначимо передатні відношення та кількості зубів зубчастих коліс та шестерень коробки швидкостей приводу головного руху верстату.

Передатне відношення i_1 в передачі між валами I та II:

$$i_1 = \varphi^{-2} = \frac{130}{156}.$$

Передатне відношення i_3 в передачі між валами II та III:

$$i_3 = \frac{1}{\varphi^7} = \frac{1}{1,12^7} = \frac{1}{2,21};$$

$$\sum Z = 112; Z_A = 32; Z_B = 80.$$

Передатне відношення i_4 в передачі між валами III та IV:

$$i_4 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{1,12^2} = \frac{1}{1,25};$$

$$\sum Z = 112; Z_A = 50; Z_B = 62;$$

Передатне відношення i_5 в передачі між валами IV та V:

$$i_5 = \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{1,12^{11}} = \frac{1}{3,47};$$

$$\sum Z = 112; Z_A = 24; Z_B = 88.$$

Передатне відношення i_2 в передачі між валами II та IV:

$$i_2 = \varphi^0 = 1; Z_A = 32; Z_B = 32.$$

Розрахуємо відхилення дійсних значень частот обертання шпинделя приводу головного руху для значень визначених за нормальним рядом з графіку частот шпинделя приведенного на рис. 2.15. Відхилення не повинно перевищити

$$\Delta = \pm 10 \cdot (\varphi - 1), \%.$$

Для значення коефіцієнту ділильника ряду $\varphi = 1,12$:

$$\Delta = \pm 10(\varphi - 1) = \pm 10(1,12 - 1) = \pm 1,2\% \quad (2.21)$$

Значення розрахованих відхилень не повинно перевищити 1,2 %.

$$\begin{aligned} 4000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 3136; \Delta = \frac{3150 - 3136}{3150} \cdot 100\% = -0,44\%. \\ 3550 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 2812; \Delta = \frac{2800 - 2812}{2800} \cdot 100\% = -0,42\%. \\ 3150 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 2514; \Delta = \frac{2500 - 2514}{2500} \cdot 100\% = -0,56\%. \\ 2800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 2246; \Delta = \frac{2240 - 2246}{2240} \cdot 100\% = -0,26\%. \\ 2500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 2008; \Delta = \frac{2000 - 2008}{2000} \cdot 100\% = -0,4\%. \\ 2240 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 1816; \Delta = \frac{1800 - 1816}{1800} \cdot 100\% = -0,88\%. \\ 2000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 1609; \Delta = \frac{1600 - 1609}{1600} \cdot 100\% = -0,56\%. \\ 1800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 1415; \Delta = \frac{1400 - 1415}{1400} \cdot 100\% = -1,07\%. \\ 1600 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} &= 1256; \Delta = \frac{1250 - 1256}{1250} \cdot 100\% = -0,48\%. \\ 4000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} &= 1117; \Delta = \frac{1120 - 1117}{1120} \cdot 100\% = 0,26\%. \\ 3550 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} &= 998; \Delta = \frac{1000 - 998}{1000} \cdot 100\% = 0,2\%. \\ 3150 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} &= 897; \Delta = \frac{900 - 897}{900} \cdot 100\% = 0,33\%. \\ 2800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} &= 799; \Delta = \frac{800 - 799}{800} \cdot 100\% = 0,13\%. \\ 2500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} &= 709; \Delta = \frac{710 - 709}{710} \cdot 100\% = 0,14\%. \end{aligned}$$

$$800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 632; \Delta = \frac{630 - 632}{630} \cdot 100\% = -0,32\%.$$

$$710 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 564; \Delta = \frac{560 - 564}{560} \cdot 100\% = -0,71\%.$$

$$630 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 503; \Delta = \frac{500 - 503}{500} \cdot 100\% = -0,6\%.$$

$$560 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 450; \Delta = \frac{450 - 450}{450} \cdot 100\% = 0\%.$$

$$4000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 404; \Delta = \frac{400 - 404}{400} \cdot 100\% = -1\%.$$

$$3550 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 358; \Delta = \frac{355 - 358}{355} \cdot 100\% = -0,84\%.$$

$$3150 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 317; \Delta = \frac{315 - 317}{315} \cdot 100\% = -0,64\%.$$

$$2800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 281; \Delta = \frac{280 - 281}{280} \cdot 100\% = -0,35\%.$$

$$2500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 253; \Delta = \frac{250 - 253}{250} \cdot 100\% = -1,2\%.$$

$$2240 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 222; \Delta = \frac{224 - 222}{224} \cdot 100\% = 0,89\%.$$

$$2000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 199; \Delta = \frac{200 - 199}{200} \cdot 100\% = 0,5\%.$$

$$1800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 178; \Delta = \frac{180 - 178}{180} \cdot 100\% = 1,11\%.$$

$$1600 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 159; \Delta = \frac{160 - 159}{160} \cdot 100\% = 0,63\%.$$

$$1400 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 140; \Delta = \frac{140 - 140}{140} \cdot 100\% = 0\%.$$

$$1250 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 124; \Delta = \frac{125 - 124}{125} \cdot 100\% = 0,8\%.$$

$$1120 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 111; \Delta = \frac{112 - 111}{112} \cdot 100\% = 0,89\%.$$

$$1000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 100; \Delta = \frac{100 - 100}{100} \cdot 100\% = 0\%.$$

$$900 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 89; \Delta = \frac{90 - 89}{90} \cdot 100\% = 1,11\%.$$

$$800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 79; \Delta = \frac{80 - 79}{80} \cdot 100\% = 1,2\%.$$

$$710 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 71; \Delta = \frac{71 - 71}{71} \cdot 100\% = 0\%.$$

$$630 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 63; \Delta = \frac{63 - 63}{63} \cdot 100\% = 0\%.$$

$$560 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 56,5; \Delta = \frac{56 - 56,5}{56} \cdot 100\% = -0,89\%.$$

$$500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 50,3; \Delta = \frac{50 - 50,3}{50} \cdot 100\% = -0,6\%.$$

$$450 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 45,4; \Delta = \frac{45 - 45,4}{45} \cdot 100\% = -0,88\%.$$

$$400 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 40,1; \Delta = \frac{40 - 40,1}{40} \cdot 100\% = -0,25\%.$$

$$355 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 35,5; \Delta = \frac{35,5 - 35,5}{35,5} \cdot 100\% = 0\%.$$

$$315 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 31,48; \Delta = \frac{31,5 - 31,48}{31,5} \cdot 100\% = 0,63\%.$$

$$280 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 27,88; \Delta = \frac{28 - 27,88}{28} \cdot 100\% = 0,43\%.$$

$$250 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 24,96; \Delta = \frac{25 - 24,96}{25} \cdot 100\% = 0,16\%.$$

$$224 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 22,38; \Delta = \frac{22,4 - 22,38}{22,4} \cdot 100\% = 0,56\%.$$

$$200 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 19,87; \Delta = \frac{20 - 19,87}{20} \cdot 100\% = 0,65\%.$$

Отримані значення відхилень всіх реальних значень частот обертання шпинделя від значень прийнятих з нормального ряду, знаходяться у визначених в залежності (2.21) межах, тобто не перевищують значення $\pm 1,2\%$.

2.5. Перевірочні розрахунки основних вузлів модернізованого верстату

2.5.1. Розрахунок на достатню міцність зубчатих коліс коробки швидкостей

Зубчаті колеса передачі 32/80 має параметри:

$$m = 3 \text{ мм}; b_1 = 30 \text{ мм}; b_2 = 25 \text{ мм}.$$

Величина крутильного моменту, що передається даною передачею:

$$M_{кр.} = 9554 \cdot \frac{N \cdot \eta}{n} = 9554 \cdot \frac{14 \cdot 0,961}{630} \approx 204 \text{ Нм} \quad (2.22)$$

Величина розрахункова крутильного моменту:

$$M_p = k \times M_{кр} = 1,5 \times 204 = 306 \text{ Нм}. \quad (2.23)$$

Величина кількості обертів:

$$n_p = 630 \text{ об / хв}.$$

Швидкість :

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 32 \times 3 \times 630}{1000 \times 60} = 3,17 \text{ м / с}. \quad (2.24)$$

Перед силовим перевірочним розрахунком зубчатих коліс приймемо ряд коефіцієнтів:

k_v – швидкісний коефіцієнт, $k_v = 0,5$;

y – коефіцієнт форми зуба, $Z_1 = 32 \ y_1 = 0,116$; $Z_2 = 80 \ y_2 = 0,139$;

C – коефіцієнт контактного тиску, $C = 670$.

Визначаємо напруження вигину:

$$\sigma_{u1} = \frac{6,35}{m^2 \times b_1 \times z_1 \times y_1} \times M_p \times \frac{1}{k_v}; \quad (2.25)$$

$$\sigma_{u1} = \frac{6,35}{3^2 \times 30 \times 32 \times 0,116} \times 306 \times \frac{1}{0,5} = 9 \text{ Н / м}^2;$$

$$\sigma_{u2} = \sigma_{u1} \times \frac{y_1 \times b_1}{y_2 \times b_2} = 9 \times \frac{0,116 \times 30}{0,139 \times 25} = 9,01 \text{ Н / м}^2.$$

Питомий тиск на робочих поверхнях зубів:

$$\sigma_K = \frac{C}{z_1 \times m} \times \sqrt{\frac{i+1}{i \times b_{\min}}} \times M_p \times \frac{1}{k_v} = \frac{670}{32 \times 3} \times \sqrt{\frac{\frac{80}{32} + 1}{\frac{80}{32} \times 25}} \times 306 \times \frac{1}{0,5} = 62 \text{ Н/м}^2. (2.26)$$

Матеріал коліс приймаємо Сталь 40Х, HRC 24..28, для неї як термообробка використовується об'ємне загартування. При цьому твердість становить HRC 45..50. Допустимі контактні напруги для умов даного зубчастого зачеплення: будуть:

$$[\sigma]_U = 38 \text{ Н/м}^2;$$

$$[\sigma]_K = 135 \text{ Н/м}^2.$$

Таким чином розраховані значення контактних напруг менші максимально допустимих для даних умов зачеплення. Умова міцності для даної передачі виконується.

Зубчаті колеса передачі 24/88 має параметри:

$$m = 3 \text{ мм}; b_1 = 34 \text{ мм}; b_2 = 30 \text{ мм}.$$

В даній передачі використані зубчаті колеса з кутовим корегуванням:

$$Z = 24 - \text{зміщення вихідного контуру зубчатого колеса } x = 0,4648;$$

$$Z = 88 - \text{зміщення вихідного контуру зубчатого колеса } x = 0,6.$$

Величина крутильного моменту, що передається даною передачею:

$$M_{кр.} = 99554 \cdot \frac{14 \cdot 0,941}{280} \approx 450 \text{ Нм}.$$

Величина розрахункова крутильного моменту:

$$M_p = k \times M_{кр.} = 1,5 \times 450 = 650 \text{ Нм}.$$

Величина кількості обертів:

$$n_p = 280 \text{ об/хв}.$$

Швидкість:

$$V = \frac{3,14 \times 24 \times 3 \times 280}{1000 \times 60} = 1,06 \text{ м/с}.$$

Перед силовим перевірочним розрахунком зубчатих коліс прийmemo ряд коефіцієнтів:

k_v – швидкісний коефіцієнт, $k_v = 0,8$;

y – коефіцієнт форми зуба, $Z_1 = 24$ $y_1 = 0,105$; $Z_2 = 88$ $y_2 = 0,14$;

C – коефіцієнт контактного тиску, $C = 670$.

Визначаємо напруження вигину:

$$\sigma_{u1} = \frac{6,35}{m^2 \times b_1 \times z_1 \times y_1} \times M_p \times \frac{1}{k_v};$$

$$\sigma_{u1} = \frac{6,35}{3^2 \times 34 \times 24 \times 0,105} \times 675 \times \frac{1}{0,8} = 22 \text{ H / м}^2;$$

$$\sigma_{u2} = \sigma_{u1} \times \frac{y_1 \times b_1}{y_2 \times b_2} = 22 \times \frac{0,105 \times 34}{0,14 \times 30} = 18,7 \text{ H / м}^2.$$

Питомий тиск на робочих поверхнях зубів:

$$\sigma_K = \frac{C}{z_1 \times m} \times \sqrt{\frac{i+1}{i \times b_{\min}}} \times M_p \times \frac{1}{k_v} = \frac{670}{24 \times 3} \times \sqrt{\frac{\frac{88}{24} + 1}{\frac{88}{24} \times 30}} \times 675 \times \frac{1}{0,8} = 101,5 \text{ H / м}^2.$$

Матеріал коліс приймаємо Сталь 40Х, HRC 24..28, для неї як термообробка використовується об'ємне загартування. При цьому твердість становить HRC 45..50. Допустимі контактні напруги для умов даного зубчастого зачеплення: будуть:

$$[\sigma]_v = 38 \text{ H / м}^2;$$

$$[\sigma]_K = 135 \text{ H / м}^2.$$

Таким чином розраховані значення контактних напруг менші максимально допустимих для даних умов зачеплення. Умова міцності для даної передачі виконується.

Зубчаті колеса передачі 50/62 має параметри:

$$m = 3 \text{ мм}; b_1 = 35 \text{ мм}; b_2 = 30 \text{ мм}.$$

Величина крутильного моменту, що передається даною передачею:

$$M_{кр.} = 9554 \cdot \frac{14 \cdot 0,941}{280} \approx 450 \text{ Нм.}$$

Величина розрахункова крутильного моменту:

$$M_p = k \times M_{кр} = 1,5 \times 450 = 650 \text{ Нм.}$$

Величина кількості обертів:

$$n_p = 280 \text{ об / хв.}$$

Швидкість:

$$V = \frac{3,14 \times 50 \times 3 \times 280}{1000 \times 60} = 2,2 \text{ м / с}$$

Перед силовим перевірочним розрахунком зубчатих коліс прийmemo ряд коефіцієнтів:

k_v – швидкісний коефіцієнт, $k_v = 0,6$;

y – коефіцієнт форми зуба, $Z_1 = 50$ $y_1 = 0,13$; $Z_2 = 62$ $y_2 = 0,134$;

C – коефіцієнт контактного тиску, $C = 670$.

Визначаємо напруження вигину:

$$\sigma_{u1} = \frac{6,35}{m^2 \times b_1 \times z_1 \times y_1} \times M_p \times \frac{1}{k_v};$$

$$\sigma_{u1} = \frac{6,35}{3^2 \times 50 \times 35 \times 0,13} \times 675 \times \frac{1}{0,6} = 10 \text{ Н / м}^2;;$$

$$\sigma_{u2} = \sigma_{u1} \times \frac{y_1 \times b_1}{y_2 \times b_2} = 10 \times \frac{0,13 \times 35}{0,134 \times 30} = 11,4 \text{ Н / м}^2..$$

Питомий тиск на робочих поверхнях зубів:

$$\sigma_K = \frac{C}{z_1 \times m} \times \sqrt{\frac{i+1}{i \times b_{\min}}} \times M_p \times \frac{1}{k_v} = \frac{670}{50 \times 3} \times \sqrt{\frac{\frac{62}{50} + 1}{\frac{62}{50} \times 35}} \times 675 \times \frac{1}{0,6} = 57,6 \text{ Н / м}^2.$$

Матеріал коліс приймаємо Сталь 40Х, HRC 24..28, для неї як термообробка використовується об'ємне загартування. При цьому твердість становить HRC 45..50. Допустимі контактні напруги для умов даного зубчастого зачеплення: будуть:

$$[\sigma]_U = 38 \text{ H / м}^2;$$

$$[\sigma]_K = 135 \text{ H / м}^2.$$

Таким чином розраховані значення контактних напруг менші максимально допустимих для даних умов зачеплення. Умова міцності для даної передачі виконується.

2.5.2. Розрахунок клинопасової передачі

Приймаємо для передачі крутильного моменту від двигуна на вал коробки швидкостей пас для клинопасової передачі Б–1120Т за ГОСТ 1284-89.

Вихідні дані до розрахунку клинопасової передачі наступні:

$D_1 = 130 \text{ мм}$ – діаметр ведучого шківу;

$D_2 = 156 \text{ мм}$ – діаметр веденого шківу;

$Z = 4$ – кількість пасів (профіль “Б”);

$F_{сеч} = 1,38 \text{ см}^2$ – площа поперечного перетину паса;

$A = 335 \text{ мм}$ – міжосьова відстань;

$L = 1120 \text{ мм}$ – довжина пасів.

Визначаємо необхідна кількість пасів:

$$Z = \frac{N}{N_0 \times k_1 \times k_2}, \quad (2.27)$$

де N – потужність, що передається клинопасовою передачею;

N_0 – потужність, що передається одним пасом;

$k_1 = 0,99$; $k_2 = 0,8$ – коефіцієнти (кут охоплення $\alpha = 175^\circ$).

Для визначення загальної кількості пасів в клинопасовій передачі необхідно визначити кількість пасів для всіх можливих режимів роботи та з отриманих результатів обрати найбільше число. (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Необхідна кількість пасів

№	Можливі режими роботи клинопасової передачі	Потужність, що передається та необхідна для цього кількість пасів
1	$n_{\text{шп}} = 160 \text{ об/хв}; n_{\text{дв}} = 1600 \text{ об/хв};$ $V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 130 \times 1600}{1000 \times 60} = 10,8 \text{ м/с};$ $N_o = 2,11 \text{ кВт}.$	$N = 6,7 \text{ кВт}$ $Z = \frac{6,7}{2,11 \times 0,8 \times 0,99} = 3,8$
2	$n_{\text{шп}} = 200 \text{ об/хв}; n_{\text{дв}} = 2000 \text{ об/хв};$ $V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 130 \times 2000}{1000 \times 60} = 13,6 \text{ м/с};$ $N_o = 2,7 \text{ кВт}.$	$N = 8,6 \text{ кВт}$ $Z = \frac{8,6}{2,7 \times 0,8 \times 0,99} = 4,02$
3	$n_{\text{шп}} = 400 \text{ об/хв}; n_{\text{дв}} = 4000 \text{ об/хв};$ $V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 130 \times 4000}{1000 \times 60} = 27,2 \text{ м/с};$ $N_o = 4,14 \text{ кВт}.$	$N = 13,3 \text{ кВт}$ $Z = \frac{13,3}{4,14 \times 0,8 \times 0,99} = 4,05$
4	$n_{\text{шп}} = 125 \text{ об/хв}; n_{\text{дв}} = 1250 \text{ об/хв};$ $V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 130 \times 1250}{1000 \times 60} = 8,5 \text{ м/с};$ $N_o = 1,74 \text{ кВт}.$	$N = 5,3 \text{ кВт}$ $Z = \frac{5,3}{1,74 \times 0,8 \times 0,99} = 3,84$
5	$n_{\text{шп}} = 80 \text{ об/хв}; n_{\text{дв}} = 800 \text{ об/хв};$ $V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 130 \times 800}{1000 \times 60} = 5,3 \text{ м/с};$ $N_o = 1 \text{ кВт}.$	$N = 2,7 \text{ кВт}$ $Z = \frac{2,7}{1 \times 0,8 \times 0,99} = 3,4$
6	$n_{\text{шп}} = 180 \text{ об/хв}; n_{\text{дв}} = 1800 \text{ об/хв};$ $V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n}{1000 \times 60} = \frac{3,14 \times 130 \times 1800}{1000 \times 60} = 12,3 \text{ м/с};$ $N_o = 2,7 \text{ кВт}.$	$N = 8,6 \text{ кВт}$ $Z = \frac{8,6}{2,7 \times 0,8 \times 0,99} = 4,02$

Таким чином необхідну кількість пасів для гарантованої передачі потужності від двигуна приводу головного руху до коробки швидкостей приймаємо: $Z = 4$.

Визначимо натяг однієї частини пасу:

$$S_o = \frac{k_u \times N}{V_1 \times k_1 \times k_2 \times k_3} + 2 \times \theta \times V^2, \quad (2.28)$$

де N – потужність, що передається пасом;

$k_1 = 0,99$; $k_2 = 0,8$ – коефіцієнти;

k_3 – коефіцієнт, що враховує швидкість пасу;

$k_u = 84$ – чисельний коефіцієнт;

$\theta = 0,008$ – для профілю пасу типу “Б”.

Для випадку навантаження, розрахованого в 6 ряду (табл. 2.4)

$$S_o = \frac{84 \times 1}{5,3 \times 0,8 \times 0,99 \times 1} + 2 \times 0,008 \times 5,3^2 = 261,2 \text{ Н}.$$

Для випадку навантаження, розрахованого в 6 ряду (табл. 2.4)

$$S_o = \frac{84 \times 2,7}{12,3 \times 0,8 \times 0,99 \times 0,97} + 2 \times 0,008 \times 12,3^2 = 254 \text{ Н}.$$

Номінальне значення загального натягу пасу профілю ”Б” (ГОСТ1284-89):

$$2S_o = 250...500 \text{ Н}, \quad 2S_o = 500 \text{ Н}.$$

Величину натягу пасу контролюють, визначаючи зусилля Q , яке необхідне для відтягування пасу на величину, що становить 1,55 мм на кожні 100 мм міжцентрової відстані (рис. 2.16).

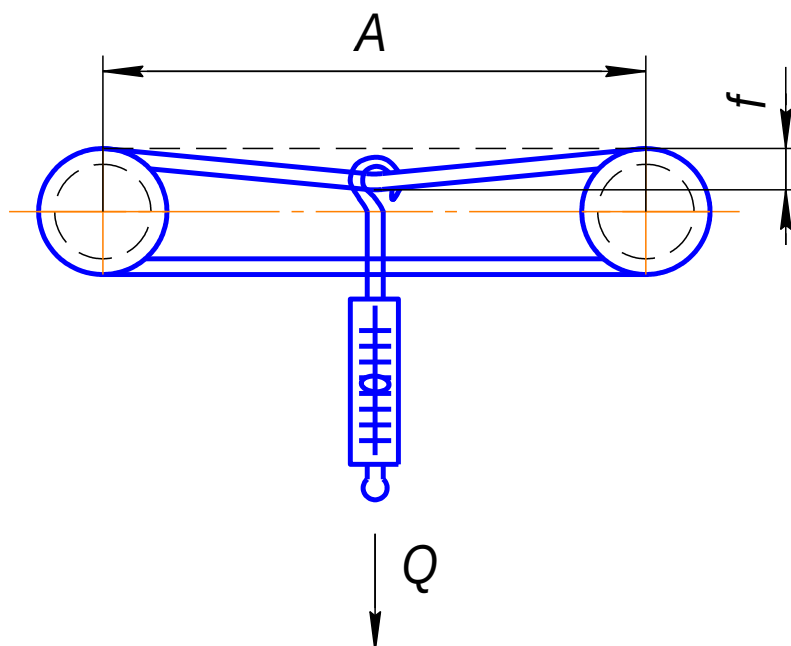


Рис. 2.16. Схема, що характеризує величину натягу пасу

Значення сили натягу для нового пасу типу “Б”, при $C_o = 6 \text{ кгс}$:

$$Q = \frac{1,4 \times S_o + C_o}{16} = \frac{1,4 \times 250 + 60}{16} = 25 \text{ Н.} \quad (2.29)$$

Значення сили натягу для припрацьованого пасу дорівнює:

$$Q = \frac{S_o + C_o}{16} = \frac{250 + 60}{16} = 20 \text{ Н;} \quad (2.30)$$

$$f = 1,55 \times \frac{A}{100} = 1,55 \times \frac{335}{100} = 5,2 \text{ мм.}$$

2.5.3. Розрахунок шпинделя на жорсткість

Для розрахунку шпинделя на жорсткість розглянемо розрахункову схему шпинделя на опорах.

При розрахунку приймемо шпиндель як консоль, оскільки в передній опорі шпиндельного вузла встановлений дворядний підшипник кочення. Разом з тим, в процесі розрахунку не будемо враховувати дію затискного моменту в підшипнику передньої опори.

Для розрахунку шпиндельного вузла на жорсткість, необхідно визначити значення технологічних зусиль, т. б. сил різання, що виникають при максимальному завантаженні верстата. Оскільки найбільш навантаженої операцією є фрезерування, розглянемо сили різання у випадку фрезерування.

Для визначення сили різання при фрезеруванні задамося умовами виконання даної операції, а саме матеріал фрези – швидкорізальна сталь Р6М5. Значення коефіцієнтів та показників ступеню у формули визначення сил різання приймемо по довідковій літературі. Для наступних умов обробки.

Умови обробки:

матеріал різальної частини фрези – швидкорізальна сталь Р6М5,

діаметр фрези 50 мм,

кількість різальних зубів $Z = 6$,

глибина фрезерування $t = 5$ мм,

значення подачі на зуб $S_z = 0,15$ мм / зуб,

ширина фрезерування $B = 30$ мм,

швидкість різання визначається через частоту обертання фрези $n = 200$ об / хв.

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^U \cdot Z}{D^q \cdot n^W} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5^{0,86} \cdot 0,15^{0,72} \cdot 30^1 \cdot 6}{50^{0,86} \cdot 200^0} = 5620,68 \text{ H}; \quad (2.31)$$

$$P_y = 0,4 \cdot 5620,68 = 2248,27 \text{ H}; \quad (2.32)$$

$$P_{\text{риз}} = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} = \sqrt{5620,68^2 + 2248,27^2} = 6053,66 \text{ H}. \quad (2.33)$$

Необхідно визначити значення середнього діаметру валу. Для визначення середнього діаметру валу можна скористатись наступним виразом:

$$d_{cp} = \frac{\sum d_i \ell_i}{\sum \ell_i}, \quad (2.34)$$

де d – діаметр поточного перетину валу;

ℓ – довжина ділянки валу однакового діаметру.

$$d_{cp} = \frac{27 \cdot 75 + 90 \cdot 56}{27 + 56} = 85 \text{ мм.}$$

Оскільки шпиндель представляє собою вал з отвором, внутрішній діаметр буде:

$$d = 40 \text{ мм.}$$

Розрахуємо моменти інерції в характерних перетинах шпинделя. У випадку перетину у формі кільця, моменти інерції розраховуються за залежністю:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4 (1 - k^4)}{64}; \quad k = \frac{D_i}{d_i}; \quad (2.35)$$

$$I = \frac{\pi \cdot 85^4 \cdot \left(1 - \left(\frac{40}{85}\right)^4\right)}{64} = 2,45 \cdot 10^6 \text{ мм}^4.$$

Пружна деформація вільного кільця шпинделя, який розглядаємо як балку затиснуту консольно, та поворот у передній опорі від сили різання, що виникає при фрезерування визначимо за схемою (рис. 2.17).

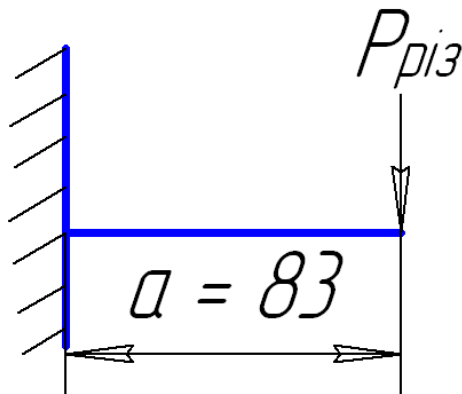


Рис. 2.17. Схема шпинделя, як консольно затисненої балки

Визначимо величину прогину та кут повороту переднього кінця шпинделю від технологічного навантаження при фрезеруванні:

Величина прогину шпинделя буде дорівнювати:

$$\delta = \frac{P_{пиз} \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{6053,66 \cdot 83^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,45 \cdot 10^6} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм.} \quad (2.36)$$

Величина куту провертання переднього кінця шпинделя:

$$\theta = \frac{P_{пиз} \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} = \frac{6053,66 \cdot 83^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,45 \cdot 10^6} = 4,26 \cdot 10^{-5} \text{ рад.} \quad (2.37)$$

Необхідно визначити найбільше допустимий прогин шпинделю та найбільше допустимий поворот кінця шпинделя в передній опорі:

$$[\delta] = 0,0002 \cdot a = 0,0002 \cdot 83 = 0,0166 \text{ мм;} \quad (2.38)$$

$$[\theta] = 0,001 \text{ рад.}$$

Оскільки розраховані значення максимального прогину та кута повороту кінця шпинделя від технологічного навантаження мають значення менші за максимально допустимі, умови жорсткості шпинделя виконуються.

2.5.4. Перевірочний розрахунок валів коробки швидкостей приводу головного руху

З аналізу умов навантаження всіх валів приводу головного руху (див. рис. 2.14), стає зрозумілим, що в найбільш складних умовах навантаження працює вал № IV.

Оскільки на даному валу знаходиться перемикальний блок, що складається з двох зубчатих коліс, в процесі роботи даного валу можливі два варіанти навантаження. Виконаємо розрахунок на міцність валу № 4 для обох варіантів навантаження.

Проведемо розрахунок для першого варіанту навантаження валу № 4 (рис. 2.18).

Визначимо сили, що діють на вал в даному варіанті положення перемикального блоку:

$$P_1 = \frac{2000 \times M_{KP}}{m \times z_1} = \frac{2000 \times 450}{3 \times 80} = 3750 \text{ H}; \quad (2.39)$$

$$P_{P1} = P_1 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 3750 \times 0,364 = 1365 \text{ H}; \quad (2.40)$$

$$P_2 = \frac{2000 \times M_{KP}}{m \times z_2} = \frac{2000 \times 450}{3 \times 50} = 6000 \text{ H};$$

$$P_{P2} = P_2 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 6000 \times 0,364 = 2184 \text{ H}.$$

Визначимо величини реакцій в опорах в площині дії колових сил:

$$R_A^| = \frac{P_2 \times 123 - P_1 \times 60}{260} = \frac{6000 \times 123 - 3750 \times 60}{260} = 1973 \text{ H}; \quad (2.41)$$

$$R_B^| = -\frac{P_1 \times 200 + P_2 \times 137}{260} = -\frac{3750 \times 200 + 6000 \times 137}{260} = -278 \text{ H}; \quad (2.42)$$

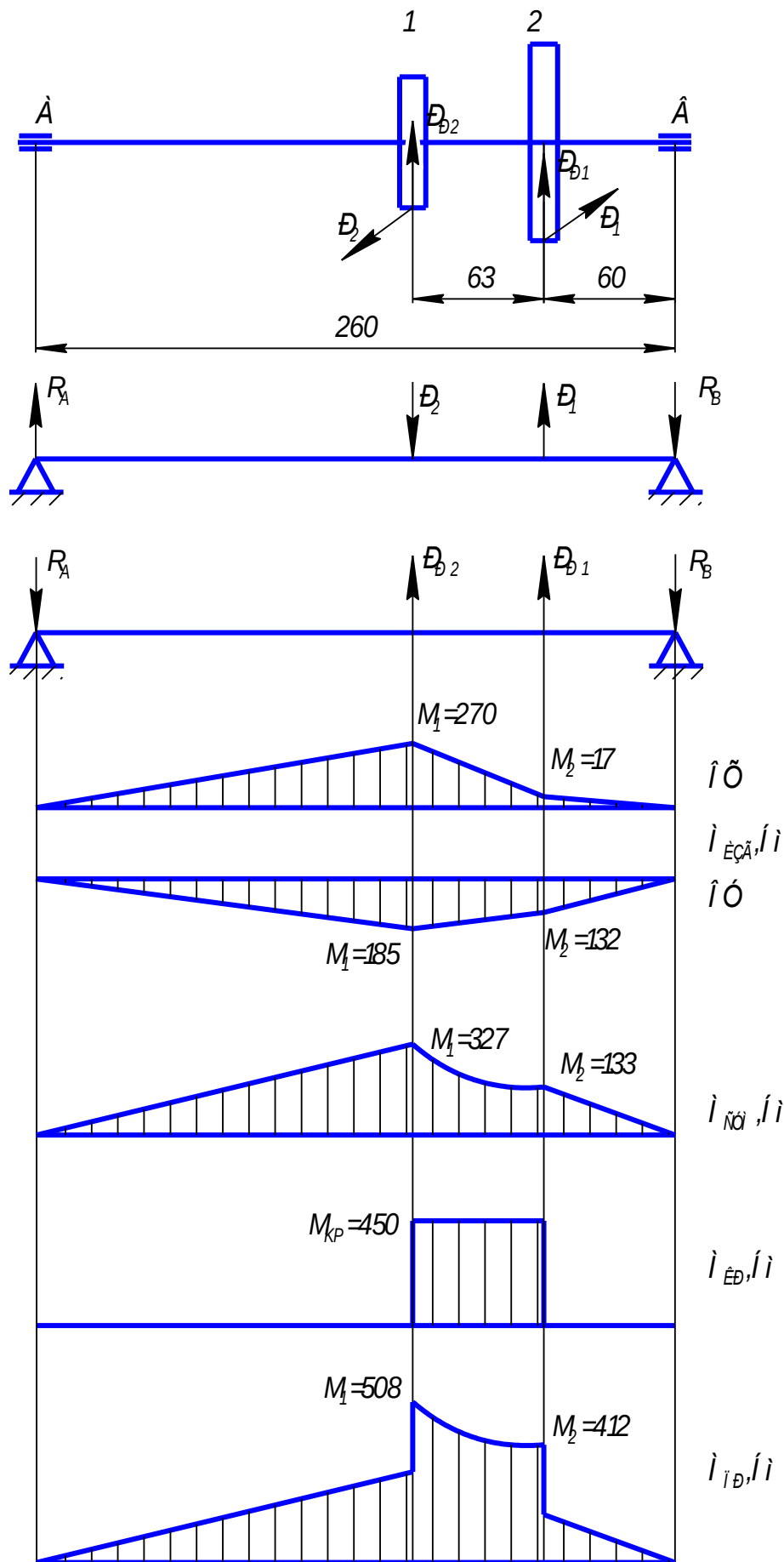


Рис. 2.18. Умови навантаження та епюри напружень IV валу у першому положенні перемикального блоку

Визначимо величини згинних моментів в площині дії колових сил:

$$M_1^{\perp} = R_A^{\perp} \times 0,137 = 1973 \times 0,137 = 270 \text{ Нм}; \quad (2.43)$$

$$M_2^{\perp} = R_B^{\perp} \times 0,06 = -278 \times 0,06 = -17 \text{ Нм}. \quad (2.44)$$

Визначимо величини реакцій в опорах в площині дії радіальних сил:

$$R_A^{\parallel} = \frac{P_{P2} \times 123 + P_{P1} \times 60}{260} = \frac{2184 \times 123 + 1365 \times 60}{260} = 1348 \text{ Н}; \quad (2.45)$$

$$R_B^{\parallel} = P_{P2} + P_{P1} - R_A^{\parallel} = 2184 + 1365 - 1348 = 2201 \text{ Н}; \quad (2.46)$$

Визначимо величини згинних моментів в площині дії радіальних сил:

$$M_1^{\parallel} = R_A^{\parallel} \times 0,137 = 1348 \times 0,137 = 185 \text{ Нм}; \quad (2.47)$$

$$M_2^{\parallel} = R_B^{\parallel} \times 0,06 = 2201 \times 0,06 = 132 \text{ Нм}. \quad (2.48)$$

Загальні значення реакцій в опорах, що дорівнюють сумі значень реакцій в площинах дій радіальних та колових сил:

$$R_A = \sqrt{R_A^{\perp 2} + R_A^{\parallel 2}} = \sqrt{1973^2 + 1348^2} = 2390 \text{ Н};$$

$$R_B = \sqrt{R_B^{\perp 2} + R_B^{\parallel 2}} = \sqrt{278^2 + 2201^2} = 2218 \text{ Н};$$

Загальні значення згинного моменту, що дорівнюють сумі значень в характерних перетинах:

$$M_1 = \sqrt{M_1^{\perp 2} + M_1^{\parallel 2}} = \sqrt{270^2 + 185^2} = 327 \text{ Нм}.$$

$$M_2 = \sqrt{M_2^{\perp 2} + M_2^{\parallel 2}} = \sqrt{17^2 + 132^2} = 133 \text{ Нм}.$$

Значення приведенного моменту в характерних перетинах:

$$M_{PP1} = \sqrt{M_{\Sigma 1}^2 + 0,75 \cdot M_{KP}^2} = \sqrt{327^2 + 0,75 \cdot 450^2} = 508 \text{ Нм}; \quad (2.49)$$

$$M_{PP2} = \sqrt{M_{\Sigma 2}^2 + 0,75 \cdot M_{KP}^2} = \sqrt{133^2 + 0,75 \cdot 450^2} = 412 \text{ Нм}. \quad (2.50)$$

Проведемо розрахунок для другого варіанту навантаження валу № 4 (рис. 2.19).

Визначимо сили, що діють на вал в даному варіанті положення перемикального блоку:

$$P_1 = \frac{2000 \times M_{KP}}{m \times z_1} = \frac{2000 \times 450}{3 \times 80} = 3750 \text{ Н};$$

$$P_{P1} = P_1 \times \tan 20^\circ = 3750 \times 0,364 = 1365 \text{ Н};$$

$$P_2 = \frac{2000 \times M_{KP}}{m \times z_2} = \frac{2000 \times 450}{3 \times 24} = 12500 \text{ Н};$$

$$P_{P2} = P_2 \times \tan 20^\circ = 12500 \times 0,364 = 4550 \text{ Н}.$$

Визначимо величини реакцій в опорах в площині дії колових сил:

$$R_A^{\perp} = \frac{P_2 \times 220 - P_1 \times 60}{260} = \frac{12500 \times 220 - 3750 \times 60}{260} = 9712 \text{ Н};$$

$$R_B^{\perp} = -\frac{P_1 \times 200 - P_2 \times 40}{260} = -\frac{3750 \times 200 - 12500 \times 40}{260} = 961 \text{ Н}.$$

Визначимо величини згинних моментів в площині дії колових сил:

$$M_1^{\perp} = R_A^{\perp} \times 0,04 = 9712 \times 0,04 = 388 \text{ Нм};$$

$$M_2^{\perp} = R_B^{\perp} \times 0,06 = 961 \times 0,06 = 58 \text{ Нм}.$$

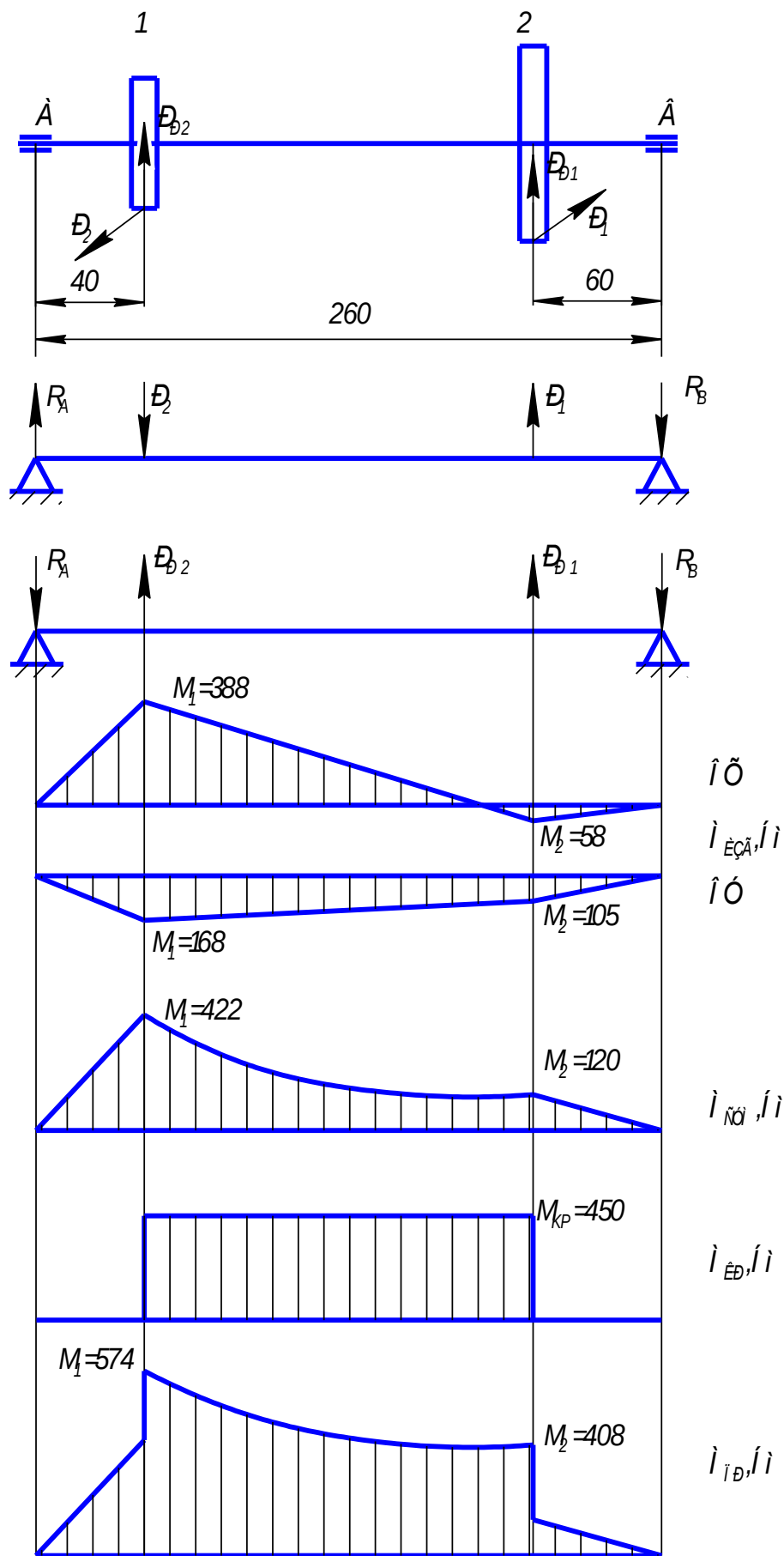


Рис. 2.19. Умови навантаження та епюри напружень IV валу у другому положенні перемикального блоку

Визначимо величини реакцій в опорах в площині дії радіальних сил:

$$R_A^{\parallel} = \frac{P_{P2} \times 220 + P_{P1} \times 60}{260} = \frac{4550 \times 220 + 1365 \times 60}{260} = 4165 \text{ H};$$

$$R_B^{\parallel} = \frac{P_{P1} \times 200 + P_{P2} \times 40}{260} = \frac{1365 \times 200 + 4550 \times 40}{260} = 1750 \text{ H}.$$

Визначимо величини згинних моментів в площині дії радіальних сил:

$$M_1^{\parallel} = R_A^{\parallel} \times 0,04 = 4165 \times 0,04 = 167 \text{ Hм};$$

$$M_2^{\parallel} = R_B^{\parallel} \times 0,06 = 1750 \times 0,06 = 105 \text{ Hм}.$$

Загальні значення реакцій в опорах, що дорівнюють сумі значень реакцій в площинах дії радіальних та колових сил:

$$R_A = \sqrt{R_A^{\perp 2} + R_A^{\parallel 2}} = \sqrt{9712^2 + 4165^2} = 10567 \text{ H};$$

$$R_B = \sqrt{R_B^{\perp 2} + R_B^{\parallel 2}} = \sqrt{961^2 + 1750^2} = 1997 \text{ H}.$$

Загальні значення згинного моменту, що дорівнюють сумі значень в характерних перетинах:

$$M_1 = \sqrt{M_1^{\perp 2} + M_1^{\parallel 2}} = \sqrt{388^2 + 167^2} = 422 \text{ Hм};$$

$$M_2 = \sqrt{M_2^{\perp 2} + M_2^{\parallel 2}} = \sqrt{58^2 + 105^2} = 120 \text{ Hм}.$$

Значення приведенного моменту в характерних перетинах:

$$M_{\text{IP1}} = \sqrt{M_{\Sigma 1}^2 + 0,75 \cdot M_{KP}^2} = \sqrt{422^2 + 0,75 \cdot 450^2} = 574 \text{ Hм};$$

$$M_{\text{IP2}} = \sqrt{M_{\Sigma 2}^2 + 0,75 \cdot M_{KP}^2} = \sqrt{120^2 + 0,75 \cdot 450^2} = 408 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Порівнявши значення приведених моментів в першому та другому положеннях валу № IV , робимо висновок що при навантаженні в другому положення перемикального блоку шестерень виникають більші значення приведенного моменту. Таким чином розрахунок величин прогинів даного валу від навантажень виконаємо для другого положення перемикального блоку.

Момент інерції перетину валу розраховуємо за наступною залежністю:

$$J = \frac{\pi \times d_{CP}^4}{64} = \frac{3,14 \times 3,85^4}{64} = 11,35 \text{ см}^4. \quad (2.51)$$

Величина прогину валу в перетині I – I в площині дії колових сил буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} y_{1-1} &= \frac{P_2 \times 4^2 \times 22^2}{3 \times E \times J \times 26} - \frac{P_1 \times 6 \times 4}{6 \times E \times J \times 26} \times (26^2 - 6^2 - 4^2) = \\ &= \frac{12500 \times 4^2 \times 22^2}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 26} - \frac{3750 \times 6 \times 4}{6 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 26} \times (26^2 - 6^2 - 4^2) = \quad (2.52) \\ &= 937 \times 10^{-6} \text{ см}; \end{aligned}$$

Величина прогину валу в перетині II – II в площині дії колових сил буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} y_{2-2} &= -\frac{P_1 \times 20^2 \times 6^2}{3 \times E \times J \times 25} + \frac{P_2 \times 6 \times 4}{6 \times E \times J \times 25} \times (26^2 - 6^2 - 4^2) = \\ &= -\frac{3750 \times 20^2 \times 6^2}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 25} + \frac{12500 \times 6 \times 4}{6 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 25} \times (26^2 - 6^2 - 4^2) = \\ &= 529,34 \times 10^{-6} \text{ см}. \end{aligned}$$

Величина прогину валу в перетині I – I в площині дії радіальних сил буде дорівнювати:

$$y_{1-1} = \frac{4550 \times 4^2 \times 22^2}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 26} + \frac{1365 \times 6 \times 4}{6 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 26} \times (26^2 - 6^2 - 4^2) =$$

$$= 567,59 \times 10^{-6} \text{ см};$$

Величина прогину валу в перетині II – II в площині дії радіальних сил буде дорівнювати:

$$y_{2-2} = \frac{1365 \times 20^2 \times 6^2}{3 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 26} + \frac{4550 \times 6 \times 4}{6 \times 2,1 \times 10^6 \times 11,35 \times 26} \times (26^2 - 6^2 - 4^2) =$$

$$= 632,94 \times 10^{-6} \text{ см}.$$

Величина загального прогину в характерних перетинах навантаження I – I та II – II:

$$y_1 = \sqrt{9,37^2 + 5,67^2} = 10,95 \text{ мкм};$$

$$y_2 = \sqrt{5,29^2 + 6,32^2} = 8,24 \text{ мкм}.$$

Отримані значення величин прогину валу під дією навантажень в характерних перетинах знаходяться у допустимих межах, що свідчить про працездатність валів механізму приводу головного руху верстата в умовах технологічного навантаження.

2.5.5. Визначення достатності довговічності працездатності підшипникових опор

Для підшипника № 207 35×72×17; $C=20100 \text{ Н}$.

Значення величини довговічності підшипника визначається в годинах за залежністю:

$$Lh = \frac{10^6}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P} \right)^p; \quad (2.53)$$

$$P = (V \times X \times F_r + Y \times F_a) \times k_\delta \times k_T, \quad (2.54)$$

де n – кількість обертів;

$p = 3$ – ступеневий показник для кулькових підшипників;

P – значення еквівалентного динамічного навантаження;

V – коефіцієнт обертання відносно вектора навантаження внутрішнього кільця радіально упорного підшипника, $V = 1$;

X – коефіцієнт навантаження, для однорядного підшипника $X = 1$;

$k_\delta = 1,2$ – динамічний коефіцієнт, який враховує дію динамічних умов;

$k_T = 1$ – температурний коефіцієнт;

F_a – осьове навантаження;

F_r – значення еквівалентного динамічного радіального навантаження:

$$F_r = \sqrt[3]{\frac{R_1^3 \times n_1 \times t_1 + R_2^3 \times n_2 \times t_2}{n_1 \times t_1 + n_2 \times t_2}}; \quad (2.55)$$

$$F_r = \sqrt[3]{\frac{2390^3 \times 280 \times 0,6 + 2218^3 \times 630 \times 0,3}{280 \times 0,6 + 630 \times 0,3}} = 2750 \text{ Н},$$

де $n_1 = 280 \text{ об/хв}$ – середній режим у I діапазоні, 60% часу роботи приводу;

$n_2 = 630 \text{ об/хв}$ – середній режим в II діапазоні, 30% часу роботи приводу;

$R_1 = 2390 \text{ Н}$; $R_2 = 2218 \text{ Н}$ – сили реакції в опорах

Підставивши отримані значені у залежність, отримаємо

$$P = 2750 \times 1 \times 1 \times 1,2 \times 1 = 3300 \text{ кгс};$$

$$n = 280 \times 0,6 + 630 \times 0,3 = 357 \text{ об/хв};$$

$$Lh = \frac{10^6}{60 \times 357} \times \left(\frac{20100}{3300} \right)^3 = 1,05 \times 10^4 \text{ год.}$$

Отримана в результаті розрахунку довговічність підшипника задовольняє необхідним вимогам.

Для підшипника №116 80×125×22; $C=37400 \text{ Н}$.

$$k_K = k_T = 1;$$

$$k_\delta = 1,2;$$

$$n = 80 \text{ об / хв};$$

$$F_r = 3026 \text{ Н};$$

$$P = 3026 \times 1,2 \times 1 \times 1 = 3631 \text{ Н};$$

$$Lh = \frac{10^6}{60 \times 80} \times \left(\frac{37400}{3631} \right)^3 = 0,22 \times 10^6 \text{ год}.$$

Отримана в результаті розрахунку довговічність підшипника задовольняє необхідним вимогам.

Для підшипника №107 35×62×14; $C=12500 \text{ Н}$.

$$k_K = k_T = 1;$$

$$k_\delta = 1,2;$$

$$n = 630 \text{ об / хв};$$

$$P_A = 1160 \text{ Н};$$

$$P_B = 410 \text{ Н};$$

$$Lh_A = \frac{10^6}{60 \times 630} \times \left(\frac{12500}{1160 \times 1,2 \times 1 \times 1} \right)^3 = 0,019 \times 10^6 \text{ год}.$$

$$Lh_B = \frac{10^6}{60 \times 630} \times \left(\frac{12500}{410 \times 1,2 \times 1 \times 1} \right)^3 = 0,433 \times 10^6 \text{ год}..$$

Отримана в результаті розрахунку довговічність підшипника задовольняє необхідним вимогам.

Для підшипника № 1000918 90×125×18; $C=25800 \text{ Н}$.

$$k_K = k_T = 1;$$

$$k_\delta = 1,2;$$

$$n = 630 \text{ об / хв};$$

$$F_r = 608 \text{ Н};$$

$$P = 729,6 \text{ Н};$$

$$Lh_A = \frac{10^6}{60 \times 630} \times \left(\frac{25800}{729,6} \right)^3 = 0,545 \times 10^6 \text{ год}.$$

Отримана в результаті розрахунку довговічність підшипника задовольняє необхідним вимогам.

Таким чином всі розраховані підшипникові опори задовольняють умовам довговічності роботи.

2.5.6. Перевірочний розрахунок на міцність болтового з'єднання

Для перевірконого розрахунку оберемо болтове з'єднання шестерні $Z = 88$ з шестернею $Z = 62$.

Максимальне значення крутильного моменту, що передається шестернею:

$$M_{кр} = 450 \text{ Нм.}$$

Тоді максимальний крутильний момент буде дорівнювати:

$$M_{\max кр} = 1,5 \times 450 = 675 \text{ Нм.}$$

Крутильний момент повинен передаватись шляхом тертя між торцями шестерень. При цьому сила тертя, що виникає, створюється затягуванням шести болтів М16, які розташовані по колу радіусом $R = 65 \text{ мм}$, встановлених з проміжком.

Для кільцевого стику з зовнішнім діаметром $D_1 = 162 \text{ мм}$ та внутрішнім діаметром $D_2 = 90 \text{ мм}$ визначимо необхідне зусилля затиску:

$$P_{зат} \geq \frac{4 \times M_p \times D_1}{Z \times f \times (D_1^2 + D_2^2)}, \quad (2.56)$$

де $Z = 6$ – кількість болтів;

$F = 0,2$ – коефіцієнт тертя між торцями шестерень у стику.

$$P_{зат} = \frac{4 \times 675 \times 0,162}{6 \times 0,2 \times (0,162^2 + 0,09^2)} = 1085 \text{ Н.}$$

Наближена геометрична форма різьби, дає змогу для орієнтованих розрахунків використати наступну залежність:

$$M_{3AT} = 0,2 \times P_{3AT} \times d; \quad (2.57)$$

$$M_{3AT} = 0,2 \times 1085 \times 0,162 = 35 \text{ Нм}.$$

Максимальне значення допустимого моменту для затягування болтів М16 зі Сталі 45 дорівнює:

$$[M_{3AT}] = 48 \text{ Нм}.$$

Оскільки розраховане значення необхідного моменту затягування болтів в даному з'єднанні дорівнює 35 Нм, що менше максимально допустимого, яке дорівнює 48 Нм, можна стверджувати що міцність вказаних болтів (6 штук М16 зі Сталі 45) цілком достатня для передачі крутильного моменту величиною $M_{\text{пвх кр}} = 675 \text{ Нм}$.

В цілому, всі виконані перевірочні міцності розрахунки основних вузлів модернізованого верстату дають підставу стверджувати про гарантоване забезпечення його загальної працездатності з новими технологічними можливостями та в умовах підвищених навантажень в результаті модернізації приводів.

3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНО КООРДИНАТНО-РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ МОД. 2А459Ф4

3.1. Загальні вихідні дані до розрахунку

Виконання обробки отворів деталі «Корпус люнети» має ряд ускладнюючих особливостей. По-перше, для запобігання деформації деталі, необхідно досягти мінімальний вплив технологічних зусиль, забезпечивши, при цьому, достатньо високий ступінь точності отворів різних діаметрів. По-друге, між отворами слід витримати певний кут, також з високим ступенем точності. Для досягнення даних вимог пропонується модернізувати верстат 2А459Ф4 з ЧПУ та обертальним столом. Ціна даного не нового верстата, який підлягає модернізації 85 тис. грн. Його модернізація полягає у заміні системи ЧПУ із встановленням лінійних та кутових датчиків, а також встановленні двигуна приводу головного руху і чотирьох двигунів у приводах подач.

Можливою альтернативою запропонованої модернізації є придбання одного з верстатів-аналогів зарубіжного виробництва:

- горизонтально-розточувальний верстат з ЧПУ WFT13-10t (FERMAT, Чехія) – ціна 40058500 грн.;
- горизонтальний обробний центр з ЧПУ MDH40P (Dalian Dahui Machine Tool Co., Ltd. Китай) – ціна 5643000 грн.;

Для вирішення питання про економічну ефективність запропонованого технічного рішення в якості бази для порівняння приймемо альтернативний варіант обробки отворів даної деталі із застосуванням найдешевшого з перелічених аналогів - горизонтального обробного центру з ЧПУ MDH40P (Китай).

3.2. Конструкторська підготовка виробництва верстата

Конструкторська підготовка виробництва складається з етапів проектування верстата з послідовним розвитком та уточненням окремих розрахунків та конструкторських рішень. Роботи виконуємо в такій послідовності:

1) Встановлюємо етапи конструкторської підготовки виробництва: технічне завдання; технічна пропозиція; ескізний проект; технічний проект; робочий проект.

2) Визначаємо кількість деталей, які підлягають розробці, диференціюючи їх за видами. За допомогою коефіцієнтів переводу деталі різних видів переводимо в «умовні деталі».

3) Трудомісткість технічного і робочого проектів визначаємо як добуток відповідної загальної кількості «умовних деталей» на трудомісткість однієї умовної деталі в залежності від групи новизни та складності поворотного столу, який конструюється.

4) Трудомісткість технічного завдання, технічної пропозиції, ескізного проекту визначаємо відповідно групі новизни і складності вузла.

5) Після визначення трудомісткості робіт розраховуємо витрати на конструкторську підготовку виробництва (вартість проекту $B_{нк}$).

6) Всі отримані результати зводимо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати розрахунків трудомісткості та витрат
на конструкторську підготовку виробництва

№	Показники та етапи робіт	Одиниця виміру	Технічне завдання	Технічна пропозиція	Ескізний проект	Технічний проект	Робочий проект	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Група новизни	грн .	II					II
2	Група складності	грн .	II					II

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Кількість деталей × коефіцієнт перевodu в «умовні деталі»:							
	а) стандартні нормалізовані					20×0,15	20×0,15	
	б) покупні деталі та вироби	шт.				15×0,5	15×0,15	
4	Кількість умовних деталей	шт.				10,5	5,25	
5	Норма на умовну деталь	н-год				2,0	2,6	
6	Трудомісткість виконання етапу робіт	н-год	18	21	40	21,0	15,65	115,65
7	Середньогодинна заробітна плата конструктора	грн/год	93,172	84,462	80,246	81,277	69,424	
8	Зарплата основна (З _о)	грн	1677,1	1773,7	3209,8	1706,82	1086,49	9453,94
9	Зарплата додаткова (З _д): 10% від З _о	грн	167,71	177,37	320,98	170,68	108,65	945,39
10	Відрахування у соціальні фонди: 22% від (З _о +З _д)	грн	405,86	429,24	776,78	413,05	262,93	2287,85
11	Витрати на відрядження: 5% від З _о	грн	83,85	88,69	160,49	85,34	54,32	472,70
12	Накладні витрати: 45% від З _о	грн	754,69	798,17	1444,4	768,07	488,92	4254,27
13	Всього вартість проекту (В _{пк})	грн	3089,2	3267,2	5912,5	3143,96	2001,31	17415,0

3.3. Технологічна підготовка виробництва

Технологічну підготовку виробництва здійснюємо відповідно до вимог «Єдиної системи технологічної підготовки виробництва» у такій послідовності:

- технологічний контроль креслень, їх налагодження та розмноження;
- розробка технологічних процесів: а) виготовлення деталей; б) складання окремих вузлів
- конструювання оснастки і нестандартних засобів механізації та автоматизації;
- виготовлення оснастки і нестандартних засобів механізації та автоматизації.

Визначаємо трудомісткість технологічної підготовки виробництва в такій послідовності: В залежності від кількості деталей та вузлів різної технологічної складності, враховуючи диференційні норми часу, визначаємо трудомісткість проектування технологічних процесів виготовлення деталей та складання вузлів.

Трудомісткість інших етапів робіт технологічної підготовки виробництва визначаємо в процентах від трудомісткості проектування технологічних процесів обробки деталей та складання вузлів.

Після визначення трудомісткості виконання етапів робіт з технологічної підготовки виробництва визначаємо вартість проекту – B_m .

Всі виконання розрахунки зводимо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Витрати на технологічну підготовку виробництва

№ з/п	Показники та етапи робіт	Одиниця	Загальна кількість н-год	Середньогодинна зарплата грн/год	Зарплата основна Z_o , грн	Зарплата додаткова Z_d , грн: (10% від Z_o)	Відрахування у соціальні фонди грн: 22% від $(Z_o + Z_d)$	Накладні витрати, грн: 45% від Z_o	Загальна сума, грн
1	Технологічний контроль креслень, їх відладка та розмноження	нормо-год.	16	87,312	13970	139,70	338,07	768,35	2643,1
3	Розробка техпроцесу складання верстата	нормо-год.	17,8	90,13	1604,3	160,43	388,24	882,37	3035,4
4	Інші витрати	н-год.	8,5	69,42	590,07	59,01	142,80	324,54	1116,4
5	Всього вартість проекту $B_{пт}$		42,30	-	3591,4	359,14	869,11	1975,3	6795,0

3.4. Визначення витрат на модернізацію верстата

Для проведення модернізації бригада, що складається із 3 осіб, виконуватиме роботи, пов'язані з демонтажем базового верстата, монтажем

нового верстата, розпайкою і налаштуванням електроавтоматики. Загальна трудомісткість цих робіт складає 85 нормо-год.

Основна заробітна плата бригади становить:

$$Z_{\text{ор}} = T_{\text{м}} \cdot C_{\text{з}} = 85 \cdot 88,375 = 7511,88 \text{ грн.}, \quad (3.1)$$

де $T_{\text{м}}$ – трудомісткість монтажних робіт;

$C_{\text{з}}$ – середня годинна заробітна плата члена бригади, грн.

Собівартість модернізації верстата розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних та звітних калькуляцій базових конструкцій. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$C_{\text{мод}} = \Pi_{\text{н}} + T_{\text{в}} + Z_{\text{ор}} + Z_{\text{др}} + B_{\text{с}} + B_{\text{о}} + B_{\text{цех}} + B_{\text{зав}} + B_{\text{ін}}, \quad (3.2)$$

де $\Pi_{\text{н}}$ – покупні комплектуючі вироби (розрахунок зведено до табл. 3.3), грн.;

Таблиця 3.3

Склад матеріальних витрат на виріб

№ п/п	Покупні комплектуючі вироби	Одиниця	Витрати (шт., кг)	Ціна, грн.	Витрати на виріб, грн.
1.	Електродвигун 2ПН160ЛУХ4 (14 кВт)	шт.	1	136800	136800,00
2.	Електродвигун ESTUN ProNet EMG-50-DPA-22 (5 кВт)	шт.	4	115560	462240,00
3.	Датчик лінійного переміщення ЛІР-8 СКБ ІС	шт.	3	12744	38232,00
4.	Датчик ЛІР 158Д-1-Н-001000-ПІ-15-8	шт.	1	8928	8928,00
5.	Датчик ЛІР-1170А-090000-05ПІ-3-30-В	шт.	1	86400	86400,00
6.	Метизи	кг	0,4	74,16	29,66
7.	Системи ЧПУ WL4М 24к40	шт.	1	196200	196200,00
8.	Інші покупні				3144,74
Всього комплектуючих виробів		—	—	—	931974,41

$T_{\text{в}}$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$Z_{\text{о}}$ – основна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

$З_{др}$ – додаткова заробітна плата виробничих робітників, грн.;

$В_c$ – відрахування у соціальні фонди, грн.;

$В_o$ – витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$В_{цех} K_{зав}$ – цехові та загальнозаводські витрати, грн.;

$П_{ін}$ – інші витрати, грн.

Розрахунок собівартості зводимо до табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Виробнича собівартість модернізації верстата

№ п.п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн.
1.	Покупні комплектуючі вироби	$П_n$	табл. 3.4	931974,41
2.	Транспортно-заготівельні витрати	T_v	1% від $П_n$	9319,74
3.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	розрах. за ф. (3.1)	7511,88
4.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	751,19
5.	Відрахування у соціальні фонди	$В_c$	22% від $(З_{ор} + З_{др})$	1817,87
6.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	$В_o$	240% від $З_{ор}$	18028,50
7.	Цехові витрати	$В_{цех}$	142% від $З_{ор}$	10666,86
8.	Загальнозаводські витрати	$В_{зав}$	121% від $З_{ор}$	9089,37
9.	Інші виробничі витрати	$В_{ін}$	2% від $З_{ор}$	150,24
10.	Виробнича собівартість	$C_{мод}$	$\sum cm(8 \div 16)$	989310,0

3.5. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Оскільки продуктивність базового та модернізованого верстатів співпадають, собівартість обробки на них майже за всіма статтями витрат також буде однаковою. Відрізнятися будуть лише витрати на амортизацію верстата, які розраховують за формулою:

$$B_a = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a}{F_{дрм} \cdot 100} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (3.3)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (3.4)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстата без ПДВ, грн.;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином, балансова вартість: базового верстата:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{баз}} = 5643000 \cdot (1 + 0,06 + 0,05 + 0,04) = 6489450 \text{ грн.},$$

Балансову вартість модернізованого верстата розрахуємо для випадку, коли верстат 2Ф459АФ4 модернізується одразу після його придбання, тобто не від залишкової (після певного періоду експлуатації), а від первісної його вартості:

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = \Phi_{\text{бал.нм}} - B_{\text{ан}} + C_{\text{мод}}, \quad (3.5)$$

$\Phi_{\text{бал.нм}}$ – балансова вартість верстата 2Ф459АФ4, який підлягає модернізації, грн.;

$B_{\text{ан}}$ – вартість анульованих деталей та вузлів, грн.;

$C_{\text{мод}}$ – собівартість модернізації, грн.

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = 301700 \cdot 1,19 - 45500 + 989310 = 1302833 \text{ грн.}$$

- у базовому варіанті:

$$B_{\text{а.баз}} = \frac{6489450 \cdot 1,04 \cdot 20}{3950 \cdot 60 \cdot 100} = 5,6953 \text{ грн.},$$

- в проектному варіанті:

$$B_{\text{а.пр}} = \frac{1302833 \cdot 1,04 \cdot 20}{3950 \cdot 60 \cdot 100} = 1,1434 \text{ грн.}$$

3.6. Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект у споживача розрахуємо за формулою:

$$E_{\text{рсп}} = (B_{\text{е.баз}} - B_{\text{е.пр}}) \cdot N_{\text{д}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{сп}}, \quad (3.6)$$

де $B_{\text{е.баз}}$, $B_{\text{е.пр}}$ – експлуатаційні витрати відповідно в базовому та проектному варіантах, грн.;

$N_{\text{д}}$ – річна програма обробки деталі на верстаті;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_{\text{н}}=0,16$);

$K_{\text{сп}}$ – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.:

$$K_{\text{сп}} = B_{\text{нк}} + B_{\text{т}} + \Phi_{\text{бал.пр}} \cdot Q_{\text{пр}} - \Phi_{\text{бал.б}} \cdot Q_{\text{б}}, \quad (3.7)$$

де $B_{\text{нк}}$, $B_{\text{т}}$ – відповідно витрати на конструкторську та технологічну підготовку модернізації вертикально фрезерного верстата, грн.;

$\Phi_{\text{бал.б}}$, $\Phi_{\text{бал.пр}}$ – відповідно балансова вартість базового та проектного верстатів, грн.

$Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{б}}$ – потреба в обладнанні відповідно в проектному і базовому варіантах:

$$Q_{\text{п}} = \frac{N_{\text{д}} \cdot T_{\text{нор}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot \kappa_{\text{в}}}, \quad (3.8)$$

де $N_{\text{д}}$ – річна програма випуску деталі «основа люнету», шт./рік;

$T_{\text{нор}}$ – штучний час обробки однієї деталі, хв.;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\kappa_{\text{в}}$ – коефіцієнт виконання норм (за даними підприємства).

Потреба у верстатах:

$$Q_{\text{п}} = \frac{5000 \cdot 1,04}{3980 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,02 \text{ (приймаємо 1 верстат)}$$

$$K_{\text{сп}} = 17415 + 6795 + 1302833 \cdot 1 - 6489450 \cdot 1 = -5162407 \text{ грн.}$$

Таким чином, річний економічний ефект:

$$E_{\text{рсп}} = (5,6953 - 1,1434) \cdot 5000 - 0,16 \cdot (-5162407) = 848800 \text{ грн.}$$

Результати виконаних розрахунків зводимо до табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

Підсумкові техніко-економічні показники проекту

№ п/п	Показники	Одини ця	Варіанти		Зміна, % (+,-)
			базовий	проект	
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	5000	5000	-
2.	Потреба в обладнанні	шт./рік	1	1	-
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	1,04	1,04	-
4.	Собівартість модернізації верстата	грн.	—	989310	—
5.	Оптова ціна обладнання	грн.	5643000	-	—
6.	Балансова вартість обладнання	грн.	6489450	1302833	-79,9
7.	Собівартість одиниці обробки	грн.	5,695	1,143	-79,9
8.	Капітальні витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн.	—	24210	—
8.	Річний економічний ефект	грн.	—	848800	—

ВИСНОВКИ

Залишається значна кількість виробничих завдань, для рішення яких достатньо існуючого, верстатного парку, при умові модернізації їх сучасною системою ЧПУ.

В цьому випадку комплексна модернізація сучасною системою керування з використанням ЧПУ, програмувальних контролерів і приводів, при всіх варіантах модернізації дозволяє оснащувати верстати новими функціональними можливостями й забезпечити якісно більше високий рівень їх експлуатації.

За показником співвідношення ціни – надаваних можливостей та якості беззаперечним лідером є системи ЧПУ Харківського підприємства Вест лаб. серії WL з таких причин: по-перше ціна за меншу ціну отримуємо більше функцій та кращу комплектацію, по-друге сервісне обслуговування швидше, внаслідок того, що фірма вітчизняна, по-третє з тої ж причини, що виробник український це позитивним чином відбивається на термінах виконання робіт.

Крім системи ЧПУ проведено модернізацію приводів верстата, а саме електродвигуни замінені на сучасні та приводи обладнані сучасними системи датчиків лінійних переміщень за координатами X , Y , Z та колових переміщень столу по координаті B .

Внаслідок заміни електродвигуна та для розширення технологічних можливостей модернізованого верстата проведено проектувальний розрахунок приводу головонго руху, що дозволило розширити діапазон безступеневого регулювання частоти обертання шпинделя.

Оскільки в ході модернізації були змінені умови навантаження основних вузлів верстата, виникла необхідність в перевірці достатності їх міцності для функціонування при підвищених навантаженнях.

Проведені перевірочні розрахуки, показали можливість працювати основних вузлів верстата в умовах нових навантажень, забезпечуючи при цьому необхідну якість роботи та експлуатаційні властивості верстата.

Отриманий в результаті розрахунків економічний ефект від застосування модернізованого верстата в порівнянні з новим, підтвердив доцільність виконаного проекту модернізації горизонтального координатно-розточувального верстата 2A459A.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1.– 8 изд. перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой.– М.: Машиностроение, 2001 г.– 864 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2.– 8 изд. перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой.– М.: Машиностроение, 2001 г.– 920 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.3.– 8 изд. перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой.– М.: Машиностроение, 2001 г.– 912 с.
4. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонетики).– М.: Машиностроение, 1978 г.– 208 с.
5. Григорченко В., Андреев В. Опыт модернизации оборудования с ЧПУ на ОАО «Долгопрудненское научно-производственное предприятие». К 75-летию предприятия // CADmaster № 39/4.2007 (октябрь-декабрь) Машиностроение.
6. Губський А.І. Цивільна оборона. Підручник для вищих учбових закладів.– К.: Міністерство Освіти, 1995.– 216 с.
7. Демиденко Г.П. и др. Защита объектов народного хозяйства от массового поражения.– К.: Выща шк., 1989.– 320 с.
8. Дерид С.В. Использование современной системы ЧПУ для модернизации токарно-винторезного станка / Дерид С.В., Котенко Ю.В., Бесарабец Ю.И.– Научный вестник ДГМА, 2009, № 1 (4Е).– С. 48-52.
9. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под. общ. ред. Д.Н. Решетова.– Т.1., М.:Машиностроение, 1972.– 664 с.
10. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под. общ. ред. Д.Н. Решетова.– Т.2., М.:Машиностроение, 1972.– 520 с.
11. Економічні та організаційно-планові розрахунки при розробці нових виробів. Навчальне видання / Укладачі: Скляренко І.В., Лебедєва Л.В., Романюк Л.М.– Кіровоград: КДТУ, 2001.– 36 с.
12. Зайцев А.. К вопросу о совершенствовании парка станков с ЧПУ

//CADmaster №37/2.2007 (апрель-июнь) Машиностроение.

13.Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студ. высш. техн. учебн. заведений.— 5-е изд., перераб.— М.: Высш. шк., 1991.— 383 с.

14.Кириченко А.М. Навчальний посібник з курсу „Верстати з ЧПУ” для студентів спеціальності 6.090203 "Металорізальні верстати та системи". — Кіровоград: КНТУ, 2005. — 160 с.

15.Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов.— Мн. Высш. шк., 1991.— 382 с

16.Кузнецов. Ю. Н. Станки с ЧПУ/ Ю. Н. Кузнецов. -К. : Выща школа, 1991. -273 с.

17.Кузнєцов Ю. М. Верстати з ЧПУ та верстатні комплекси. Частина 2. — К. — Тернопіль: ТОВ «ЗМОК» — ПП «Гнозіс», 2001. — 308 с

18.Медведев Д. Д. Автоматизированное управление процессом обработки резанием / Д. Д. Медведев.— М. : Машиностроение, 1980, — 143 с.

19.Паспорт, Инструкция по эксплуатации и Техническое описание ЛИР-8.— СК ИС, г. Санкт-Петербург, — 25 с.

20.Паспорт, Инструкция по эксплуатации и Техническое описание ЛИР-158.— СК ИС, г. Санкт-Петербург, — 24 с.

21.Паспорт, Инструкция по эксплуатации и Техническое описание ЛИР-1170.— СК ИС, г. Санкт-Петербург, — 26 с.

22.Петраков Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю. В. Петраков. -К. : УкрНДІАТ, 2003.— 383 с.

23.Петраков Ю. В. Теорія автоматичного управління у металообробці / Ю. В. Петраков.— К. : ІЗМН, 1998.— 212 с.

24.Подклетнов В.Б. Некоторые тенденции в изменении структуры станочного парка предприятий промышленности на современном этапе как результат процессов технического перевооружения // ж-л Промышленный вестник № 5, 2010.

25.Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.1. Проектирование станков: Под. общ. ред. А.С.

Проникова.– М.: Машиностроение, 1994.– 444 с.

26.Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.1. Проектирование станков: Под. общ. ред. А.С. Проникова.– М.: Машиностроение, 1994.– 444 с.

27.Проников А.С. Расчет и конструирование металлорежущих станков: Изд. 2-е.– М.: Высшая школа, 1967.– 431 с.

28.Расчет экономической эффективности новой техники. Справочник/ Под ред. К.М. Великанова.– Л.: Машиностроение, 1975.– 432 с.

29.Сітьові методи в плануванні та організації виробництва./ Укл. В.М. Глух, І.В. Склярєнко, Л.М. Роіанюк,– Кіровоград, КІСМ, 1998 р.

30.Сопротивление материалов / Под ред. Писаренко Г.С.– 5-е изд., перераб. и доп.– К.: Вища шк., 1986.– 775 с.

31.Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./ Под ред. А.Г. Косиловой., Р.К. Мещеряковой.- 4-е изд., перераб. И доп.- М.: Машиностроение, 1985.- 656 тс.

Точность, надежность и производительность металлорежущих станков / Г.Д. Григорян, С.А. Зелинский, Г.А. Оборский. – К.: Техніка, 1991.– 221 с.

ДОДАТКИ

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Перв. прорис.								
					Документація			
					Складальні одиниці			
		1			Планшайда	1		
		2			Затиск планшайди	1		
		3			Привод повороту столу	1		
		4			Вузол захисту	1		
	5			Електрообладнання	1			
Серед. №					Деталі			
		6			Станина	1		
		7			Стіл	1		
		8			Кришка	1		
		9			Кришка	1		
		10			Кришка	1		
		11			Пробка	1		
		12			Пробка	2		
		13			Заслінка	1		
		14			Плита	1		
		15			Прокладка	1		
		16			Черв'як	1		
		17			Черв'ячне колесо	1		
		18			Прокладка	1		
		19			Прокладка	1		
	Повтор. прорис.							
Ниж. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Поворотний ділильний стіл	Лист	Лист	Листов
	Розроб.	Галата В.					1	2
	Проб.	Лисенко О.						
	Нхонтр.							
	Чтб.							
						ЦНТУ, гр. ПМ-23М-3		

[illegible]