

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАТРОНИКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ ТА МАШИН

Пояснювальна записка

до бакалаврського дипломного проєкту

на тему

НАДІЙНІСТЬ ВЕРСТАТУ З ЧПУ ЯК МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ

Виконав: студент 4 курсу,
групи БПМск-19
спеціальність Прикладна
механіка

Десяк І. Т.

Керівник Березін Л.М.

Рецензент Кошель С.О.

КИЇВ-2021

АНОТАЦІЯ

Десяк І.Т. Надійність верстатів з ЧПУ як мехатронної системи. – Рукопис.

Дипломний бакалаврський проєкт за спеціальністю 131. Прикладна механіка. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2021 рік.

В дипломному бакалаврському проєкті на прикладі токарного верстату розглянуто питання надійності як складної мехатронної системи. Метою проєкту є визначення основних тенденцій в верстатобудуванні стосовно підвищення продуктивності верстатів за рахунок їх параметричної (за точністю) та функціональною (за відмовами) надійністю, розкриття структури токарного верстату щодо надійності за складовими мехатронної системи.

Розглядалися наступні завдання: узагальнення інформації стосовно верстатів з ЧПУ за можливостями, точністю, типорозмірами, ступенем універсальності, за технологічними ознаками (позиційні, контурні та комбіновані) тощо; аналіз інформації щодо токарних верстатів з ЧПУ за розташуванням осі обертання шпинделя та напрямних, структурою інструментальної системи, видом робіт (центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні) тощо; поділ токарного верстату на підсистеми для реалізації способу оцінки його надійності за даними наробіток кожної з підсистем; кінематичний розрахунок приводу верстату та перевірка на міцність його елементів.

Представлена інформація дозволяє обґрунтовано та оперативно приймати раціональні конструкторські рішення, які спрямовані на підвищення точності та надійності.

Бакалаврський проєкт об'ємом в 41 сторінок складається з вступу, трьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Кількість рисунків в роботі – 9, таблиць – 5, бібліографія – 29 позицій.

Ключові слова: розрахунок, надійність, токарний верстат, ЧПУ, кінематика, міцність.

SUMMARY

Desyak IT Reliability of CNC machines as a mechatronic system. - Manuscript.

Diploma bachelor's project in specialty 131. Applied mechanics. - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2021.

In the diploma bachelor's project on the example of a lathe the question of reliability as a complex mechatronic system is considered. The aim of the project is to determine the main trends in machine tool construction in terms of increasing the productivity of machines due to their parametric (accuracy) and functional (failure) reliability, disclosure of the structure of the lathe in terms of reliability of the mechatronic system.

The following tasks were considered: generalization of information on CNC machines by capabilities, accuracy, size, degree of versatility, technological features (positional, contour and combined), etc .; analysis of information on CNC lathes by the location of the axis of rotation of the spindle and guides, the structure of the tool system, the type of work (center, cartridge, cartridge-center, carousel), etc .; division of the lathe into subsystems for the implementation of the method of assessing its reliability according to the operating time of each of the subsystems; kinematic calculation of the machine drive and check for strength of its elements.

The presented information allows to make reasonable and operative rational design decisions which are directed on increase of accuracy and reliability.

The 41-page undergraduate project consists of an introduction, three chapters, conclusions, and a list of references. Number of figures in the work - 9, tables - 5, bibliography - 29 items.

Keywords: calculation, reliability, lathe, CNC, kinematics, strength.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВЕРСТАТІВ З ЧПУ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ.....	7
1.1. Інноваційні тенденції в машинобудуванні щодо верстатів з ЧПУ.....	7
1.2. Класифікація верстатів з ЧПУ.....	8
Висновки до розділу 1.....	10
РОЗДІЛ 2. РОЗДІЛ 2. ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ ЯК МЕХАТРОНА СИСТЕМА	11
2.1. Загальна інформація про токарні верстати з ЧПУ.....	11
2.2. Види відмови верстатів з ЧПУ.....	16
2.3. Поділ верстату 16К20 з ЧПУ на підсистеми. Статистична обробка результатів щодо надійності верстату.....	19
Висновки до розділу 2.....	25
3. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО ВАЛУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ МОДЕЛІ 16К20.....	27
3.1. Кінематичний розрахунок.....	27
3.2. Розрахунки на міцність.....	34
Висновки до розділу 3.....	37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні верстати з ЧПУ є традиційною мехатронною системою як сукупність механічних, електронних та інформаційних модулів. Інформацію про закони розподілення відмов різних складових мехатронних систем використовують при оцінці їх надійності та верстату в цілому. Найбільш проблемним для будь-якої мехатронної системи за надійністю є механічний модуль. Анонсовано, що цифрові технології стосовно верстатів з ЧПУ скорочують кількість механічних деталей на (25...30)%. Передусім це забезпечується кардинальними змінами в конструкціях приводів верстатів, системах управління та відбору робочих інструментів. Тому основою стійких інновацій щодо верстатів є застосування комп'ютеризованих систем управління як сукупність апаратних та програмних компонентів, що істотно змінило філософію автоматизації процесу обробки матеріалів [4].

Метою роботи є дослідження за критерієм надійності мехатронних систем на прикладі токарних верстатів з числовим програмним управлінням для прийняття обґрунтованих рішень по їх удосконаленню.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						6
Зми.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типорозмір верстата – представник ряду з конкретними параметрами, а модель верстата – конструкція даного типорозміру.

Класифікація верстатів за ступенем універсальності передбачає перерозподіл їх на універсальні (для різноманітних операцій на заготовках широкої номенклатури в одиничному та дрібносерійному виробництвах, а також при ремонтних роботах), спеціалізовані (для обробки заготовок різних розмірів у велико серійному та масовому виробництвах) і спеціальні (для обробки заготовок одного найменування і одного типорозміру в масовому виробництві).

За габаритами і масою, які в значній мірі визначаються розмірами тих деталей, для яких призначений верстат, їх поділяють на легкі (до 1 т), середні (до 10 т) та важкі (понад 10 т). Останні діляться на великі (10...30 т), власне важкі (30...100 т) та особливо важкі – унікальні (понад 100 т).

Класифікація верстатів по точності передбачає поділ на п'ять класів: нормальної точності (Н), підвищеної точності (П) - на базі верстатів класу Н, але при більш високих вимогах до якості виготовлення і збірки основних вузлів; високої точності (В) – досягається спеціальною конструкцією окремих вузлів та елементів при високих вимогах до виготовлення, складання і регулювання верстату; особливо високої точності верстату (А) – на базі верстатів класу В, але при більш високих вимогах до точності виготовлення основних деталей та вузлів; особливо точні (С), так звані майстер-верстати – для обробки деталей, що визначають точність еталонів зубчастих коліс, вимірювальних гвинтів або деталей до верстатів класу А і В.

Сучасний верстат з ЧПУ представляє собою самоврядну робочу машину, органічно пов'язаною з обчислювальною технікою, що працює в реальному масштабі часу та перетворює дискретні сигнали інформації в дискретні сигнали управління.

За технологічними ознаками в залежності від призначення системи ЧПУ поділяють на позиційні, контурні та комбіновані.

За наявністю зворотного зв'язку системи ЧПУ поділяють на розімкнені (що мають одне джерело інформації – від керуючої програми через пристрій управління до виконавчих органів верстату) і замкнені (із зворотним зв'язком по положенню робочого органу і з компенсацією похибки верстату, які само пристосовуються з адаптацією на різні зовнішні збурення і зміни перебігу технологічного процесу).

В залежності від ступеню автоматизації та типу системи ЧПУ для верстатів прийнято наступні додаткові позначення: Ф1 – цифрова індикація і попередній набір координат; Ф2 – позиційні та прямокутні системи координат ЧПУ; Ф3 – контурні системи ЧПУ; Ф4 – універсальні комбіновані системи ЧПУ; М – інструментальний магазин і автоматична зміна інструменту (АСД); Р – револьверна інструментальна головка і АСІ, РМ – револьверна головка та інструментальний магазин і АСІ.

							Арк.
						НВЧ_000.00.000_ПЗ	9
Зми.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата			

Висновки до розділу 1

1. Основними тенденціями в верстатобудування є підвищення точності, продуктивності та рівня надійності верстатів. Підвищення точності досягається проєктуванням конструкцій вузлів верстатів за критерієм точності в процесі експлуатації та підвищенням точності виготовлення. Продуктивність підвищують інтенсифікацією режимів різання, застосуванням нової прогресивної технології. Очевидно, що складність і висока вартість верстатів з ЧПУ, а також їх точність і продуктивність вимагають відповідного рівня їх надійності. Надійність верстатів передусім визначається надійністю механізмів і вузлів верстатів за критеріями руйнувань та точності обробки деталей.

2. Верстати з ЧПУ характеризуються більш високими рівнями середніх і максимальних значень навантажень в порівнянні з верстатами загального призначення: рівень використання токарних верстатів з ЧПК для обробки в патроні вище за моментом на 20. . . 25%, для обробки в центрах вище за потужністю - на 20% і частоті обертання - на 30. . . 40%.

3. Представлена класифікація верстатів з ЧПУ за технологічними ознаками та можливостями: поділяють на токарні, фрезерні, свердлильно-розточувальні, шліфувальні, електроерозійні, багатоцільові тощо. Класифікація верстатів по точності передбачає поділ на п'ять класів, за типорозмірами, за ступенем універсальності, за технологічними ознаками (позиційні, контурні та комбіновані).

Сучасні верстати з ЧПУ представляють собою мехатрону систему - самоврядну робочу машину, органічно пов'язану з обчислювальною технікою, що працює в реальному масштабі часу та перетворює дискретні сигнали інформації в дискретні сигнали управління.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ ЯК МЕХАТРОНА СИСТЕМА

2.1. Загальна інформація про токарні верстати з ЧПУ

В якості об'єкту дослідження вибираємо токарні верстати з ЧПК як найбільш вживані за технологічними можливостями. Токарні верстати з ЧПУ класифікують за розташуванням осі обертання шпинделя (горизонтальні, вертикальні), розташуванням напрямних (горизонтальні, вертикальні, нахилені), структурою інструментальної системи (з револьверною головкою чи інструментальним магазином), видом робіт (центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні).

Центрові верстати складають близько 10% токарних верстатів з ЧПУ та призначені для зовнішньої обробки валів, включаючи нарізання різьби різцем (найбільший діаметр деталі 250...380 мм).

Патронні верстати (близько 40% токарних верстатів з ЧПУ) призначені для зовнішньої та внутрішньої обробки деталей типу втулок та фланців. Крім обточування, розточування та підрізки торців на цих верстатах можна проводити свердління, зенкування, розвертування, нарізання різьби мітчиками й плашками, а також нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби різцем (найбільший діаметр деталі 160...1250 мм).

Патронно-центрові (близько 35% токарних верстатів з ЧПУ) поєднують технологічні можливості двох перших груп. Їх використовують для патронної та центрової обробки деталей з діаметрами 160...630 мм.

Для обробки деталей типу фланців, дисків та корпусів великих розмірів використовують карусельні верстати.

На токарних верстатах з ЧПУ оброблюють деталі типу тіл обертання. Поверхні цих деталей в залежності від призначення та точності обробки поділяють на головні та допоміжні. До головних поверхонь відносять плоскі, циліндричні та конічні, а також поверхні з криволінійною твірною та неглибокі (до 1 мм) канавки та виточки. Їх обробка виконується прохідними, контурними та розточувальними різцями. До допоміжних поверхонь відносять торцеві та кутові канавки, нарізні поверхні, канавки під клинові паси тощо.

Незважаючи на різноманітність форм оброблювальних поверхонь, найчастіше використовується така послідовність переходів: 1 – центрування; 2 – свердління; 3 – підрізання торця; 4 – попередня обробка головних поверхонь; 5 - попередня обробка допоміжних поверхонь; 6 - остаточна обробка допоміжних поверхонь (може виконуватися тим же інструментом, що і попередня); 7 – однократна обробка допоміжних поверхонь; 8 – остаточна обробка головних поверхонь. Послідовність операцій може бути іншою. Це визначається формою деталі, кількістю різальних інструментів в револьверній головці чи магазині верстату та іншими технологічними факторами.

Розглядаємо токарний верстат по металу 16К20, технічні характеристики якого представлені в табл.2.1[7].

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	НВЧ_000.00.000_ПЗ					

Таблиця 2.1
Технічні характеристики токарного верстату 16К20

Технічні характеристики	Значення
Верстат	
Найбільший діаметр заготовки, мм	580
Максимальний діаметр виробу типу диска, мм	520
Найбільший діаметр заготовки, що оброблюється над суппортом, мм	280
РМЦ, мм	1000
Максимальна вага заготовки, кг	500
Осі	
Максимальне переміщення вздовж осі X, мм	290
Максимальне переміщення вздовж осі Z, мм	1000
Швидкість переміщення вздовж осі X, мм/хв.	8000
Швидкість переміщення вздовж осі Z, мм/хв.	12000
Робоча подача, мм/хв.	0,01~600
Діаметр ШВП/крок по осі X, мм	24/5
Діаметр ШВП/крок по осі Z, мм	40/6
Тип двигуна та потужність по осі X	серво- , 1,9 кВт
Тип двигуна та потужність по осі Z	серво- , 1,9 кВт
Тип направляючих по осі X	ласточкін хвіст
Тип направляючих по осі Z	призматичні
Точність позиціонування на осях X та Z, мм	± 0,005
Повторюваність позиціонування на осях X та Z, мм	± 0,003
Кут нахилу станини, град.	0
Ширина направляючих, мм	440
Шпиндельна бабка	
Діаметр трьохкулачкового патрону, мм	250
Діапазон швидкостей шпинделя, об./хв.	I(10-214) II (64-672) III (160-1650)
Діаметр отвору шпинделя, мм	77
Максимальний діаметр прутка, мм	75(60 – 3 порожнистим гідро патроном)
Торець шпинделя	D8 (ГОСТ26651-85)
Конус отвору шпинделя	метричний 90 (1:20)
Внутрішній діаметр підшипника шпинделя, мм	120
Момент на шпинделі (до 30 хв.), Нм	2288
Потужність двигуна шпинделя, кВт	25
Тип електродвигуна шпинделя	серво-
Держак різців	
Число інструментів, шт.	8 (12 опція)
Тип держака різців	електромеханічний

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розмір хвостовика ріжучого інструменту, мм	VDI40, (VDI30 опція)
Час зміни інструменту – вертикальна револьверна головка, С	-
Час зміни інструменту – горизонтальна револьверна головка, С	0,8
Задня бабка	
Переміщення задньої бабки, мм	До патрона
Висування пінолі задньої бабки, мм	150
Діаметр пінолі, мм	75
Конус пінолі гідравлічної задньої бабки	Морзе 5
Конус пінолі механічної задньої бабки	Морзе 5
Інше	
Потужність споживання, кВт	28,5
Система ЧПУ	Siemens 828D
Наявність транспортера стружки	опція для РМЦ 1000
Ємність баку СОЖ, л	45
Ємність гідростанції, л	80
Вага нетто, кг	3200
Вага брутто, кг	3380
Габаритні розміри, мм	2775/3475X1585X1670

Основні вузли токарного верстату 16К20 перелічені на рис. 2.1.

Станина токарного верстату відлита з чавуну та виконана із збільшеними розмірами за шириною. Збільшення ширини надає верстату додаткову жорсткість. Використовується індуктивне гартування та шліфування робочих поверхонь. Литва, важка широка станина встановлена на цілісну базу, яка забезпечує додаткову стійкість до деформацій під час обробки.

Шпиндельна бабка забезпечує передачу високого крутного моменту від електродвигуна до шпинделя з використанням трьох діапазонів швидкостей. В шпиндельному вузлі з обох сторін шпинделю встановлені посилені два дворядкові роликові радіальні підшипники з конічною посадкою. Таке розміщення забезпечує жорсткість та дозволяє регулювати зазор в процесі експлуатації. Для збільшення жорсткості також встановлений кульковий дворядний радіально-упорний підшипник, який дозволяє оброблювати заготовки великих розмірів та маси. Дана конструкція забезпечує довготривалу працездатність при інтенсивному навантаженні. Циркуляційне змащення забезпечує примусовий полив шестерень та підшипників, що спонукає до повноцінного змащення всіх вузлів, покращує теплообмін та подовжує строк експлуатації.

Збільшення ширини направляючих призвело до збільшення основи задньої бабки, збільшивши її жорсткість. Корпус задньої бабки збільшеного перерізу забезпечує додаткову жорсткість пінолі при обробці деталей типу вал. В корпусі задньої бабки встановлена нова система для розвантаження, яка полегшує процес переміщення по станині. Фіксація бабки з станиною виконується вручну за

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

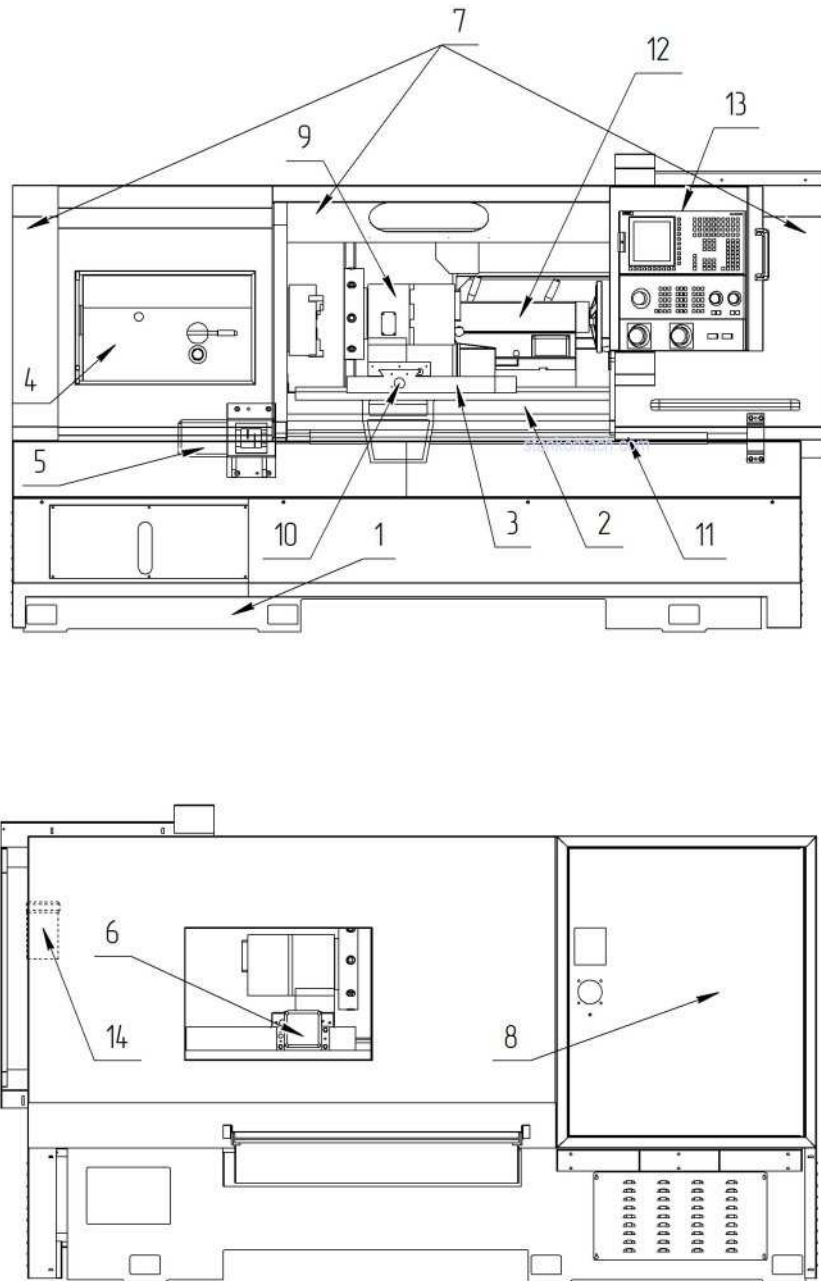


Рис. 2.1. Основні вузли: 1- база; 2- станина; 3 – суппорт; 4 – бабка шпindelьна; 5 – привод повздовжнього переміщення; 6 – привод поперечного переміщення; 7 – огороження нерухомі та рухомі елементи; 8 – шкаф електроапаратури; 9 – револьверна головка; 10 – гвинтова кульова пара поперечного переміщення; 11 - гвинтова кульова пара повздовжнього переміщення; 12 – бабка задня; 13 – пульт управління з системою ЧПУ; 14 – система централізованого імпульсивного змащування

допомогою ексцентричного важелю. Переміщення піноли виконується вручну за допомогою маховика.

Для зручності оператора кожна позиція револьверної головки має особистий підвід. Це дає можливість направляти її в місце обробки для кожного різця або свердла. З кожним верстатом поставляються 3 блоки для кріплення осевого інструменту.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Точність та надійність фіксації диску даних револьверних головок забезпечує жорсткість в процесі обробки на важких режимах та надійність в процесі експлуатації. Можливість вибору інструменту за найкоротшим напрямком – зменшує час заміни. Очевидно, що поворотні держакі різців залишаються самими надійними для обробки на токарних верстатах з горизонтальними направляючими.

Гідравлічна система представляє гідростанцію як опцію, трьохкулачкового гідравлічного патрону діаметром 254 мм з прохідним отвором 65 мм, гідравлічної пиноли задньої бабки, що дозволяє підвищити автоматизацію верстату та збільшити продуктивність за рахунок зменшення часу на допоміжні операції.

Супорт (каретка, салазки, револьверна головка). Привод повздожньої подачі – сервомотором, безлюфтова муфта, підшипники та ШВП класу С3 забезпечують переміщення каретки та можливість точної обробки деталей довжиною до 1000 мм в базовій моделі і 1500 мм в подовженій версії. Привод поперечної подачі забезпечується переміщенням салазок з револьвентною головою вздовж осі Х. Сучасний зносостійкий антифрикційний матеріал (Zedex) забезпечує покращене ковзання вузлів повздожньої та поперечної подачі.

Детальна проробка кожухів та кабінетного захисту за рахунок зменшення габаритів дозволяє встановлювати додаткове обладнання без збільшення виробничих площ. Також дана конструкція кожухів забезпечує зручність завантаження/розвантаження деталей, що суттєво підвищує продуктивність. Кабінетний захист зони різання забезпечує:

- зручність управління. Поворотний пульт з системою ЧПУ, панеллю керування та двома маховиками забезпечує зручність прив'язки інструменту, налагоджуванню технології та контролю при серійній обробці;
- захист від розкидання стружки, масляного туману тощо;
- захист оператора від можливого виліту заготовки;
- зручність видалення стружки після роботи.

На верстаті встановлена система централізованого імпульсного змащення, яка розподіляє змащення через дросельні дозатори, які виконують необхідне змащення каретки, супорта та гайок ШВП.

Електрообладнання верстатів характеризуються комплектуючими від світових брендів. Застосовуються як окрема опція ЧПУ, приводи і сервомотори фірм Siemens, БалтСистем, Модмашсофт, Fanuc, комутаційна апаратура Finder и Schneider Electric. Завдяки новітнім технологіям зменшилися розміри електроапаратури та споживання електроенергії, що дозволяє споживачу отримати надійний верстат, збільшити продуктивність, що знижує собівартість продукції.

Перевірку на точність лінійного позиціонування виконують інтерферометром.

До переваг системи ЧПУ Siemens 808 [9] відносять:

- а) надійність та максимальний захист:
 - закриті панелі для максимального захисту від вологи та забруднень;
 - розробка та зборка за жорсткими німецькими нормами якості;
- б) компактність та продуктивність:
 - незначні габарити вміщують багато потужних функцій, що забезпечують максимальну продуктивність;

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- USB інтерфейси на передній панелі;
 - 7.5- дюймовий кольоровий дисплей.
- в) простота та інтелект:
- зручність редагування програм;
 - текстовий редактор ЧПУ як на ПК;
 - функція копіювання/вставки;
 - ефективне фонове редагування;
 - організація програм обробки деталей з вкладеними папками;
 - програми обробки деталей і папок з зручними назвами.

2.2. Види відмови верстатів з ЧПУ

Вимоги до надійності верстатів різних типів різні. Для універсальних легких і середніх верстатів у звичайних умовах їх застосування з комплексу вимог до надійності найбільше значення має технічний ресурс[10]. З іншого боку, для важких верстатів важлива безвідмовність протягом тривалого часу, а в разі обробки точних і вартісних виробів - також безвідмовність системи протягом однієї операції. У порівнянні з універсальними верстатами до надійності спеціальних і унікальних верстатів пред'являють більш високі вимоги, щоб уникнути необхідності встановлення на заводах дорогих верстатів-дублерів. Для верстатів, що вбудовуються в автоматичні лінії, вимоги до надійності найвищі, оскільки відмова одного з них веде до простою ділянки або навіть всієї лінії. Надійність механізмів і вузлів верстатів проти руйнувань і відмов розглядається, по-перше, у зв'язку з виникненням раптових відмов: порушенням нормального процесу обробки, втомного руйнування і заїдань, по-друге, у зв'язку з монотонним поступовим зниженням працездатності внаслідок зносу, корозії і старіння.

Спостерігаються такі види відмов [11,12], які пов'язані з порушенням нормального процесу обробки: неприпустиме врізання інструмента в заготовлю внаслідок збоїв системи автоматизованого управління; забивання зони різання стружкою; наїзд супортів або столів один на інший або на інші вузли з тих же причин; викидання оброблюваної заготовки з патрона або пристосування; перемикання шестерень на великій швидкості тощо.

Надійність верстатів за критерієм втомних руйнувань зазвичай буває значною. Це пояснюється тим, що універсальні верстати працюють при змінних навантаженнях, з рідкісним використанням повної потужності; розміри багатьох деталей верстатів визначаються не міцністю, а іншими критеріями працездатності, в першу чергу жорсткістю; зубчасті передачі верстатів працюють із зносом, що ускладнює розвиток тріщин поверхневої втоми. Втомні поломки деталей приводу спостерігаються тільки в верстатах, які працюють з великими довго діючими навантаженнями, при динамічному характері сил різання, а також при пуску верстатів без муфт асинхронними двигунами, коли моменти (за експериментальними даними) досягають 4...5 номінальних і при гальмуванні верстатів з включенням електродвигунів в противагу Поломки зубів також спостерігаються при дефектах гарту ТВЧ у випадках, якщо виникають залишкові напруги розтягнення.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовують попередній натяг; компенсацію і само компенсацію зносу; напрямок вектора зміщень при зносі і деформацій у бік, мало впливає на точність (оптимізація форм тертьових пар); перенесення зносу на деталі або поверхні, мало впливають на точність (введення окремого механізму подачі для нарізування різьби, окремих напрямних для задньої бабки тощо).

До заходів щодо підвищення надійності автоматизованого виробництва: оптимізація структури автоматичних ліній і автоматизованих ділянок; включення автоматизованих пристроїв контролю та вимірювання точності обробки деталей; застосування науково обґрунтованих методик приймально-здавальних випробувань за параметрами надійності і продуктивності; впровадження систем збору та аналізу відмов за сигналами від операторів; застосування автоматизованої діагностики причин відмов і технічного стану верстатів з ЧПУ автоматизованих ділянок та інше.

Оцінка конструкції і працездатності деталей і вузлів верстатів по критеріям точності, жорсткості, теплостійкості, вібростійкості, статичної міцності може бути проведена в основному в процесі короткочасних (приймальних, лабораторних) випробувань. Для визначення надійності за критеріями зносостійкості, втомної міцності, а також щодо ударної міцності у зв'язку з переваженням необхідні тривалі експлуатаційні випробування або спостереження. Остаточна оцінка надійності машин проводиться за результатами експлуатаційних спостережень на машинобудівному заводі у співпраці та на площах заводів-споживачів верстатів. Враховуючи змінність умов роботи верстатів, для отримання достовірних результатів необхідно охопити спостереженнями досить велика кількість верстатів даної моделі, що працюють на кількох заводах. Спостереження повинні проводитися періодично через кожні три-чотири місяці роботи верстатів співробітниками груп надійності верстатобудівний. До спостереженнями для фіксації відмов і простою верстата залучають працівників, які обслуговують верстат.

Прискорені випробування проводять у форсованих умовах. При цьому найбільш важливі вузли відчувають окремо, а потім разом з верстатом. За такою методикою проводить контрольні випробування на надійність верстатів з ЧПУ.

2.3. Поділ верстату 16K20 з ЧПУ на підсистеми. Статистична обробка результатів щодо надійності верстату

Токарний верстат з ЧПУ - обладнання у виробничому процесі для якого зазвичай точність та надійність є дуже важливими. Підвищення надійності товарного верстату з ЧПУ передусім закладається на етапах проектування та виготовлення, де доцільно визначати рівень поточної надійності рівня і визначати найменш надійні складові. Оцінка або прогнозування надійності є важливим посиленням на проектування за надійністю. Тому доцільним є розробка алгоритму її оцінки щодо токарного верстату з ЧПУ[4].

Дані про несправності отримували для заданого рівня точності звичайним методом за вимогою скороченого часу. За час спостереження вибрано максимальний

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 2.3.
Функції щільності ймовірності підсистем верстату та обчислені значення
MTBF_i підсистеми [17]

№	Назва Підсистеми (позначення – за табл.3.2)	Функція щільності ймовірності	MTBF _i , год.
1	CNC	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\lambda = 4,60 \times 10^{-5})$	21754
2	SD	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\beta = 0,817;$ $\eta = 7,788 \times 10^3$	8698
3	GW	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\beta = 0,837;$ $\eta = 1,124 \times 10^4$	12346
4	SV	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\lambda = 6,751 \times 10^{-5})$	14812
5	EC	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\lambda = 2,160 \times 10^{-4})$	4628
6	CL	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $(\lambda = 9.5243 \times 10^{-4})$	10499
7	LB	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (\sigma = 0.8282;$ $\mu = 9.001)$	11429
8	SG	$\lambda = const = 3.737 \times 10^{-5}$	26759
9	HS	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\beta = 0,756;$ $\eta = 5,763 \times 10^3)$	6712
10	MI	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\lambda = 1,292 \times 10^{-4})$	7742
11	WD	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (\beta = 0,829;$ $\eta = 1,183 \times 10^4)$	13077
12	CR	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (\sigma = 0.817;$ $\mu = 9.277)$	14921

Після підбору закону розподілу випадкових значень наробіток на відмову (функції щільності ймовірності) MTBF_i для кожної з підсистем верстату та перевірки його на відповідність за формулами табл.2.3 визначаємо числові значення MTBF_i, а далі складаємо варіаційний ряд із середніх наробіток підсистем верстату за умовою їх зростання виду:

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$MTBF = [MTBF_{11} \quad MTBF_{12} \dots MTBF_{1[k_1]} \quad MTBF_{21} \quad MTBF_{22} \dots MTBF_{2[k_2]} \dots MTBF_{n1}], \quad (2.8)$$

де γ - порядковий номер часу відмови верстату в цілому (звичайно, що $\gamma \leq \nu$).

Після упорядкування рядку (2.8), очевидно, що середній наробіток на відмову машини доцільно визначати при експоненціальному законі розподілу поточних наробіток за формулою [13]:

$$MTBF_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} (MTBF_{i+1} - MTBF_i)}{\nu}. \quad (2.9)$$

Порівняння результатів обчислення $MTBF_{cp}$ за запропонованим алгоритмом та за традиційною обробкою даних експлуатаційних спостережень [13], наприклад, щодо шкарпеткового автомату типу ОЗДСУ показало, що розбіжність не перевищує 2%. Це підтверджує принципову можливість його використання для аналізу надійності токарних верстатів з ЧПУ.

До переваг методу розрахунку відноситься те, що у випадку інноваційної зміни однієї з підсистем та спадковості конструкцій інших, достатньо внести корективи за результатами додаткових випробувань тільки для рядку матриці j -ої підсистеми

$$MTBF'_j = [MTBF'_{j1} \quad MTBF'_{j2} \quad MTBF'_{j3} \dots MTBF'_{j[k'_j]}],$$

а далі виконати дії з переходом до $MTBF = [MTBF_{\gamma}]$ за формулою (3) та обчисленням корегованого значення середнього наробітку $MTBF'_{cp}$ верстату за формулою (2.9).

Тоді встановлено, що, наприклад, при збільшенні довговічності елементів підсистеми привода верстату з $MTBF_{WD}=13077$ год. до $MTBF'_{WD}=MTBF'_8=4000$ год. рядок $MTBF'_8$ матриці (2.3) включатиме $[k'_8]=8$ відмов за час $MTBF_{max} = MTBF_{SG}=26759$ год. при $k'_8 = MTBF_{max} / MTBF'_8 (26759/4000)=6,69$ та приймає наступний вид

$$MTBF'_8 = [4000 \quad 2 \times 4000 \quad 3 \times 4000 \dots 8 \times 4000].$$

Після перетворень та обчислень середній наробіток токарного верстату з інноваційними рішеннями в підсистемі приводу буде становити 3168 год.

Висновки до розділу 2

1. Виконаний аналіз загальної інформації щодо токарних верстатів з ЧПУ за розташуванням осі обертання шпинделя (горизонтальні, вертикальні), розташуванням напрямних (горизонтальні, вертикальні, нахилені), структурою інструментальної системи (з револьверною голівкою чи інструментальним магазином), видом робіт (центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні).

2. Наведено технічні характеристики та основні підсистеми токарного верстату 16K20, як приклад до розгляду. Перелічені основні види функціональних та

										Арк.
										25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

параметричних відмов токарних верстатів за критеріями точності, продуктивності, статичної та втомленісної міцності, зношування тощо.

3. Оцінка надійності - одна з важливих характеристик якості мехатронних технічних систем. Представлений алгоритм оцінки або прогнозування надійності на прикладі токарного верстату з ЧПУ за даними експлуатаційних спостережень. Представлено положення чисельної оцінки впливу на надійність верстатів змін в конструкціях їх підсистем. До переваг запропонованого підходу в порівнянні з традиційним відноситься мінімізація витрат при обмеженні об'ємів випробувань та обчислень.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Зми.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО ВАЛУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПУ МОДЕЛІ 16К20

З метою закріплення знань, які отримані при вивченні теоретичних, загально інженерних та спеціальних дисциплін виконаємо проектування та детальну проробку привода головного руху токарного верстату на базі моделі 16К20 [18,19].

3.1. Кінематичний розрахунок

Вибору раціонального варіанту структурної формули передую розглядаємо два із можливих на основі структурних сіток проектуемого привода. Побудовану сітку розглядаємо за наступним критерієм для привода головного руху виду $\phi^x \leq 8$, де x – відстань в формі ϕ поміж двома лініями, які виходять з спільної точки для кожної групи механічних передач (рис.3.1).

Враховуємо діапазон регулювання швидкостей обертання шпинделя за формулою:

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} ; R_n = \frac{3150}{40} = 78,75 .$$

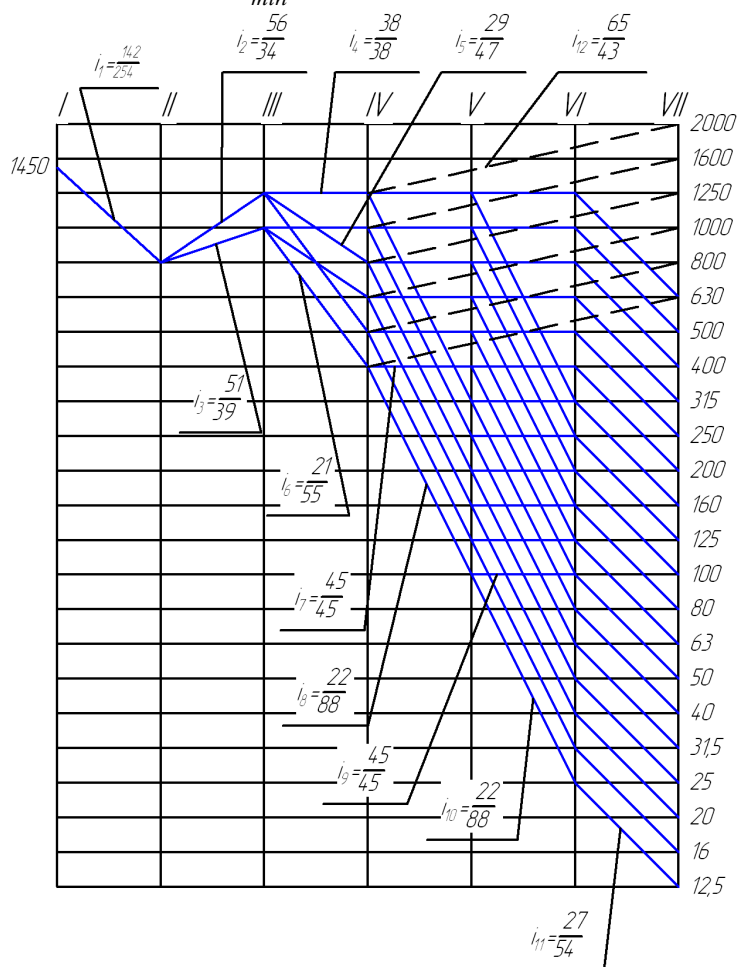


Рис. 3.1. Графік частот обертання привода токарного верстату

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Розробляємо структурну формулу проектуемого приводу з обґрунтуванням вибору раціонального варіанту. Кількість ступеней приводу головного руху визначаємо за формулою при знаменнику ряду $\phi = 1,26$:

$$Z = 1 + \frac{\lg R_n}{\lg \phi}; \quad Z = 1 + \frac{\lg 78,75}{\lg 1,26} \approx 19,96.$$

Приймаємо $Z = 20$. Розглядаємо два можливих варіанти.

Варіант 1: $Z = 3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_6 \cdot 2_8 - 4 = 20$ (рис.3.2).

Варіант 2: $Z = 4_1 \cdot 3_4 \cdot 2_8 - 4 = 20$ (рис.3.3).

Аналіз можливих варіантів показав на доцільність вибору раціональним варіанту 2, оскільки для скорочення коробки швидкостей з двох наведених варіантів є найпростішим.

Виконаємо розробку кінематичної схеми приводу.

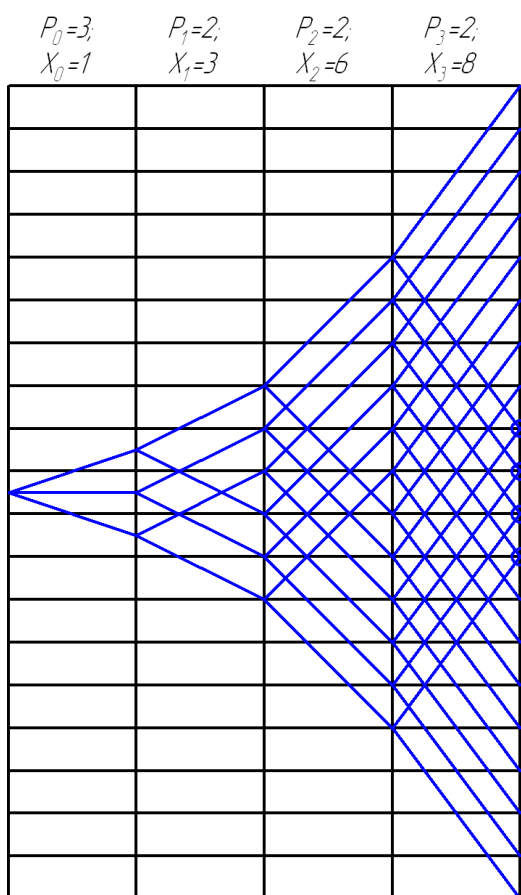


Рис. 3.2. Структурна сітка для варіанту 1

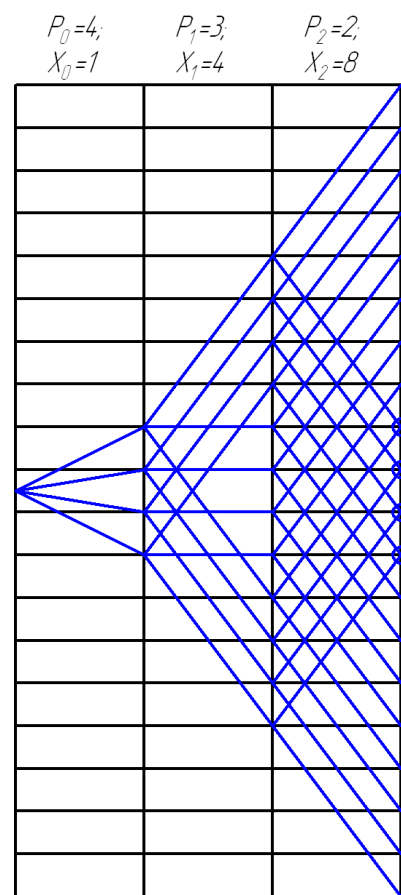


Рис. 3.3. Структурна сітка для варіанту 2

Структурна сітка приводу має вертикальні лінії - за кількістю груп механічних передач плюс 1, а горизонтальних ліній - за кількістю числа передач приводу, де в кожному випадку горизонтального поля маємо відповідність ϕ (рис.3.5):

$$Z = 4_1 \cdot 3_4 \cdot 2_8 - 4 = 20; \quad \phi = 1,26.$$

Вибираємо тип та частоти обертання валу двигуна. За ГОСТ 19523-74 маємо трьох фазний асинхронний коротко замкнутий двигун типу АИР132М4, у якого потужність $N_{дв} = 11$ кВт та синхронна частота обертання $n_{дв} = 1500$ об/хв.

Будуємо графік частоти обертання валів привода, викреслюючи сітку вертикальних та горизонтальних ліній даної структурної сітки. Кількість вертикальних ліній дорівнює кількості валів привода (рис.3.6). Кількість горизонтальних ліній приймаємо рівним кількості передач або може бути збільшено

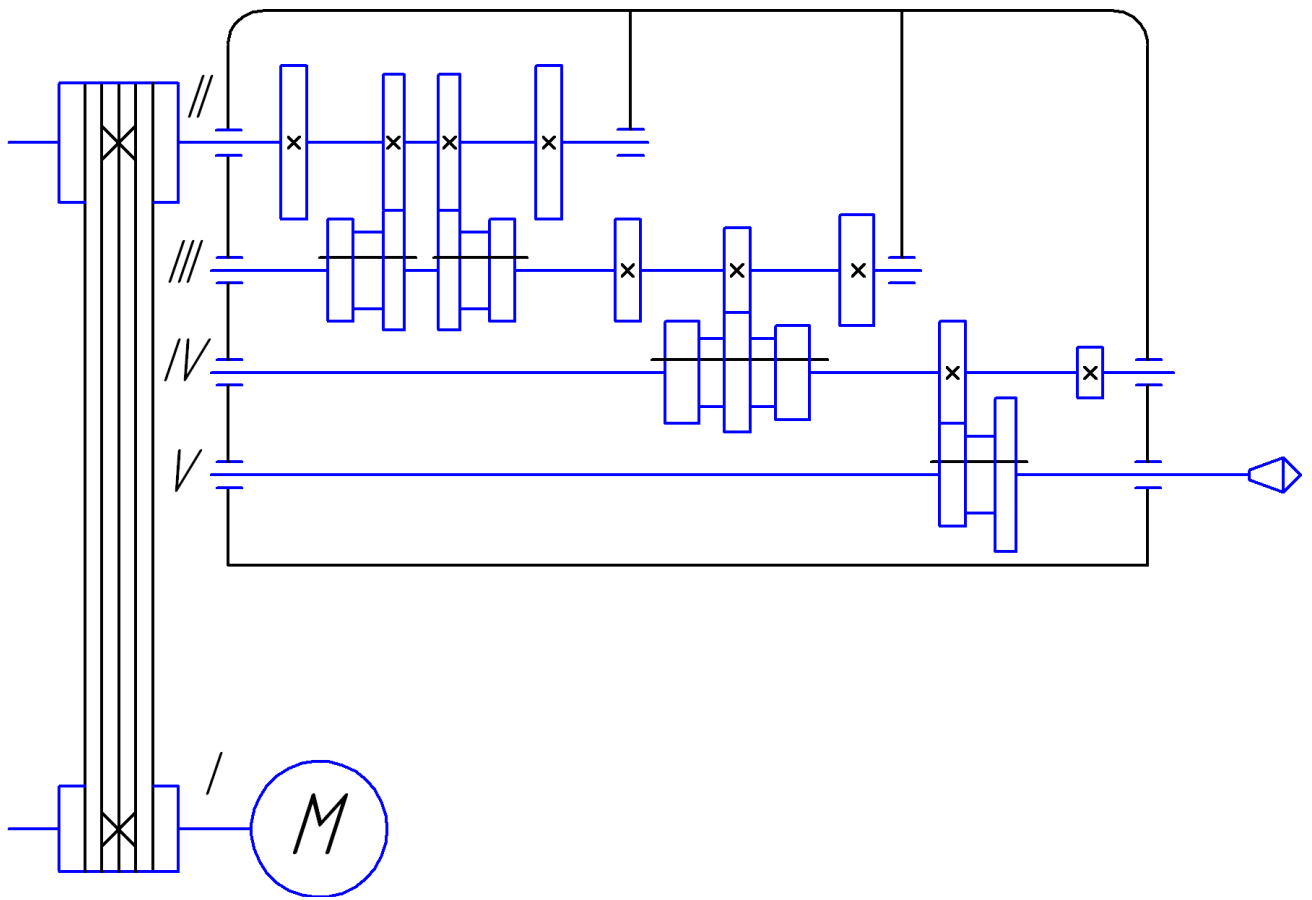


Рис. 3.4. Кінематична схема проектуемого приводу верстату

у випадку, коли електродвигун привода має частоту обертання вище за n_{max} .

Величину розрахункової частоти обертання шпинделю вибираємо $n_{роз} = 160$ об/хв. як частоту, що розміщена на третій ділянці ряду швидкостей, рахуючи від меншої n_{min} .

Виконуємо обчислення передаточних відношень та розрахунок кількості зубів коліс. За нахилом лінії на графіку частот обертання визначаємо передаточне відношення i передачі в формі φ^n , де n – число горизонтальних полів, які перетинають цю лінію, що спрямовані вгору або вниз від горизонталі. Передаточне відношення горизонтальної лінії дорівнює φ^0 , спрямованого вгору – φ^n , спрямованого вниз – $\frac{1}{\varphi^n}$.

В верстатобудуванні приймають умови за обмеженням величини i для виключення можливого отримання коліс з більшими діаметрами в коробках: для коробок швидкостей доцільно $i_{пов} \leq 2$ та $i_{пон} \geq \frac{1}{4}$.

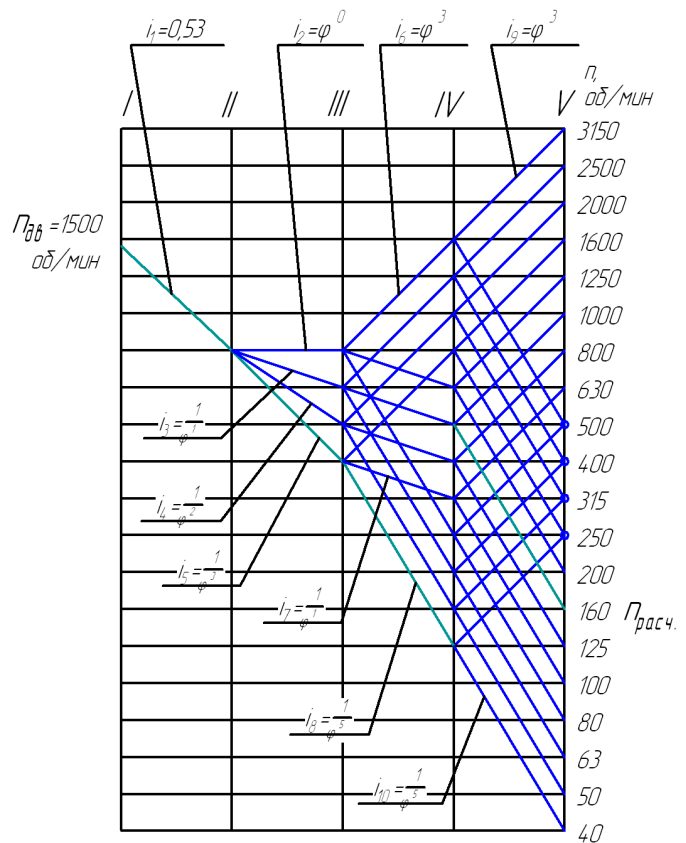
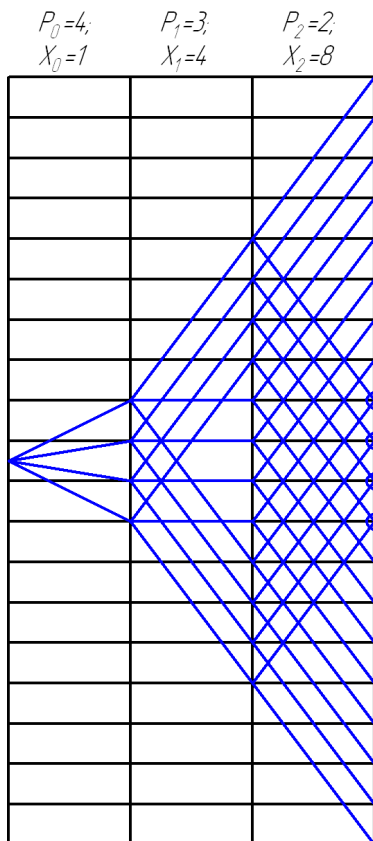


Рис. 3.5. Структурна сітка проектуемого приводу Рис. 3.6. Графік частот обертання валів передач

Для розрахунку числа зубів в групах використовуємо спосіб найменшого кратного, який полягає в тому, що передаточні відношення передач в групі представляються простими відношеннями та знаходиться найменше кратне цих дробів. Потім обчислюється сума зубів групи: $\Sigma z = K \cdot E$; $E = \frac{z_{\min}(f_i + g_i)}{K \cdot f_i}$, де $z_{\min} = 18$ – найменше число зубів шестерні, K – найменше загальне кратне, f_i та g_i – відповідно чисельник та знаменник дробі найменшого передаточного відношення.

Для 1-ї групи передач (пасова передача) маємо:

$$i_1 = \frac{D_2}{D_3} = \frac{80}{150} = \frac{80}{150}; \text{ вибираємо діаметри шківів } D_2 = 80 \text{ мм, } D_3 = 150 \text{ мм.}$$

Для 2-ї групи передач маємо:

$$i_2 = \frac{z_4}{z_5} = \varphi^0 = 1 = \frac{f_2}{g_2} = \frac{1}{1}; \quad f_2 + g_2 = 2;$$

$$i_3 = \frac{z_6}{z_7} = \frac{1}{\varphi^1} = \frac{1}{1,26^1} = \frac{f_3}{g_3} = \frac{4}{5}; \quad f_3 + g_3 = 9; \quad K = 18; \quad E = \frac{18(1+2)}{18 \cdot 1} = 3;$$

$$i_4 = \frac{z_8}{z_9} = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{1,26^2} = \frac{f_4}{g_4} = \frac{7}{11}; \quad f_4 + g_4 = 18; \quad \text{приймаємо } E = 3$$

$$i_5 = \frac{z_{10}}{z_{11}} = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{1,26^3} = \frac{f_5}{g_5} = \frac{1}{2}; \quad f_5 + g_5 = 3;$$

$$\Sigma z = K \cdot E = 18 \cdot 3 = 54;$$

$$z_4 = \frac{f_2 \cdot \Sigma z}{f_2 + g_2} = \frac{1 \cdot 54}{1 + 1} = 27; \quad z_5 = 54 - 27 = 27;$$

$$z_6 = \frac{f_3 \cdot \Sigma z}{f_3 + g_3} = \frac{4 \cdot 54}{4 + 5} = 24; \quad z_7 = 54 - 24 = 30;$$

$$z_8 = \frac{f_4 \cdot \Sigma z}{f_4 + g_4} = \frac{7 \cdot 54}{7 + 11} = 21; \quad z_9 = 54 - 21 = 33;$$

$$z_{10} = \frac{f_5 \cdot \Sigma z}{f_5 + g_5} = \frac{1 \cdot 54}{1 + 2} = 18; \quad z_{11} = 54 - 18 = 36.$$

Для 3-ї групи передач маємо:

$$i_6 = \frac{z_{12}}{z_{13}} = \varphi^3 = 1,26^3 = \frac{f_6}{g_6} = \frac{2}{1}; \quad f_6 + g_6 = 3; \quad K=18; \quad E = \frac{18(5+13)}{18 \cdot 5} = 3,6,$$

$$i_7 = \frac{z_{14}}{z_{15}} = \frac{1}{\varphi^1} = \frac{1}{1,26^1} = \frac{f_7}{g_7} = \frac{4}{5}; \quad f_7 + g_7 = 9; \quad \text{примаємо } E=4;$$

$$i_8 = \frac{z_{16}}{z_{17}} = \frac{1}{\varphi^5} = \frac{1}{1,26^5} = \frac{f_8}{g_8} = \frac{5}{13}; \quad f_8 + g_8 = 18;$$

$$\Sigma z = K \cdot E = 18 \cdot 4 = 72;$$

$$z_{12} = \frac{f_6 \cdot \Sigma z}{f_6 + g_6} = \frac{2 \cdot 72}{2 + 1} = 48; \quad z_{13} = 72 - 48 = 24;$$

$$z_{14} = \frac{f_7 \cdot \Sigma z}{f_7 + g_7} = \frac{4 \cdot 72}{4 + 5} = 32; \quad z_{15} = 72 - 32 = 40;$$

$$z_{16} = \frac{f_8 \cdot \Sigma z}{f_8 + g_8} = \frac{5 \cdot 72}{5 + 13} = 20; \quad z_{17} = 72 - 20 = 52.$$

Для 4-ої групи передач:

$$i_9 = \frac{z_{18}}{z_{19}} = \varphi^3 = 1,26^3 = \frac{f_9}{g_9} = \frac{2}{1}; \quad f_9 + g_9 = 3; \quad K=18; \quad E = \frac{18(5+13)}{18 \cdot 5} = 3,6,$$

$$i_{10} = \frac{z_{20}}{z_{21}} = \frac{1}{\varphi^5} = \frac{1}{1,26^5} = \frac{f_{10}}{g_{10}} = \frac{5}{13}; \quad f_{10} + g_{10} = 18; \quad \text{приймаємо } E=4;$$

$$\Sigma z = K \cdot E = 18 \cdot 4 = 72;$$

$$z_{18} = \frac{f_9 \cdot \Sigma z}{f_9 + g_9} = \frac{2 \cdot 72}{2 + 1} = 48; \quad z_{19} = 72 - 48 = 24;$$

$$z_{20} = \frac{f_8 \cdot \Sigma z}{f_8 + g_8} = \frac{5 \cdot 72}{5 + 13} = 20; \quad z_{21} = 72 - 20 = 52.$$

Складаємо рівняння кінематичного балансу привода та виконуємо розрахунок дійсних частот обертання шпинделя.

Виконавши розрахунок всіх чисел зубів передач, переходимо по підрахунку всіх дійсних значень величин чисел обертів через складання рівнянь кінематичного балансу від електродвигуна до шпинделя.

$$n_1 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{48}{24} = 3200 \text{ об / хв};$$

$$n_2 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{48}{24} = 2560 \text{ об / хв};$$

$$n_3 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{48}{24} = 2036 \text{ об / хв};$$

$$n_4 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{48}{24} = 1600 \text{ об / хв};$$

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.	
Зми.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			31

$$n_5 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{48}{24} = 1280 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_6 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{48}{24} = 1024 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_7 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{48}{24} = 814 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_8 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{48}{24} = 640 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_9 = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{48}{24} = 512 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{10} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{48}{24} = 392 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{11} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{48}{24} = 310 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{12} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{48}{24} = 247 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_9' = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{20}{52} = 512 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{10}' = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{20}{52} = 400 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{11}' = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{20}{52} = 320 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{12}' = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{20}{52} = 254 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{13} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{20}{52} = 200 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{14} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{20}{52} = 160 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{15} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{20}{52} = 128 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{16} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{20}{52} = 102 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{17} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{20}{52} = 80 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{18} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{20}{52} = 62 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{19} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{20}{52} = 51 \text{об} / \text{хв};$$

$$n_{20} = 1500 \cdot \frac{80}{150} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{20}{52} = 39 \text{об} / \text{хв}.$$

Виконуємо розрахунок за допустимими похибками частот обертання валів та фактичних похибок на всіх ступенях. Відхилення дійсного значення від табличного, який беремо за нормалу Н11-1, не повинно перевищувати наступну величину:

$$[\Delta n] = \pm 10(\varphi - 1) \% = \pm 10(1,26 - 1) \% = 2,6\%.$$

Похибку розраховуємо за формулою:

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta n = \frac{n_H - n_\Phi}{n_H} \cdot 100\%,$$

де n_H – число обортів за нормалю НІ 1-1;

n_Φ – фактичне число обортів.

$$\Delta n_1 = \frac{3150 - 3200}{3150} \cdot 100\% = -1,587\%;$$

$$\Delta n_2 = \frac{2500 - 2560}{2500} \cdot 100\% = -2,4\%;$$

$$\Delta n_3 = \frac{2000 - 2036}{2000} \cdot 100\% = -1,8\%;$$

$$\Delta n_4 = \frac{1600 - 1600}{1600} \cdot 100\% = 0\%;$$

$$\Delta n_5 = \frac{1250 - 1280}{1250} \cdot 100\% = -2,4\%;$$

$$\Delta n_6 = \frac{1000 - 1024}{1000} \cdot 100\% = -2,4\%;$$

$$\Delta n_7 = \frac{800 - 814}{800} \cdot 100\% = -1,75\%;$$

$$\Delta n_8 = \frac{630 - 640}{630} \cdot 100\% = -1,587\%;$$

$$\Delta n_9 = \frac{500 - 512}{500} \cdot 100\% = -2,4\%;$$

$$\Delta n_{10} = \frac{400 - 392}{400} \cdot 100\% = 2\%;$$

$$\Delta n_{11} = \frac{315 - 310}{315} \cdot 100\% = 1,587\%;$$

$$\Delta n_{12} = \frac{250 - 247}{250} \cdot 100\% = 1,2\%;$$

$$\Delta n_9' = \frac{500 - 512}{500} \cdot 100\% = -2,4\%;$$

$$\Delta n_{10}' = \frac{400 - 400}{400} \cdot 100\% = 0\%;$$

$$\Delta n_{11}' = \frac{315 - 320}{315} \cdot 100\% = -1,587\%;$$

$$\Delta n_{12}' = \frac{250 - 254}{250} \cdot 100\% = -1,6\%;$$

$$\Delta n_{13} = \frac{200 - 200}{200} \cdot 100\% = 0\%;$$

$$\Delta n_{14} = \frac{160 - 160}{160} \cdot 100\% = 0\%;$$

$$\Delta n_{15} = \frac{125 - 128}{125} \cdot 100\% = -2,4\%;$$

$$\Delta n_{16} = \frac{100 - 102}{100} \cdot 100\% = -2\%;$$

$$\Delta n_{17} = \frac{80 - 80}{80} \cdot 100\% = 0\%;$$

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\Delta n_{18} = \frac{63-62}{63} \cdot 100\% = 1,587\%;$$

$$\Delta n_{19} = \frac{50-51}{50} \cdot 100\% = -2\%;$$

$$\Delta n_{20} = \frac{40-39}{40} \cdot 100\% = 2,5\%;$$

Остаточо, всі відхилення частот обертання шпинделю не перевищують допустиму похибку, тобто немає необхідності в корекції передаточних відношень, та привод буде забезпечувати задану кінематичну точність.

3.2. Розрахунки на міцність

Виконуємо розрахунки модуля за умовою міцності на згин зубів та за допустимими контактними напруженнями поверхонь зубів [10]. Розглядаємо модуль зубчастої передачі між валами II та III за напруженнями згину. Потужність двигуна головного руху $N_{ед.} = 11$ кВт. Режим навантаження передачі – середній. Зубчасте колесо розміщується поблизу до однієї з опор. Загальний час роботи привода до списання - 20000 годин. Надійність роботи передачі вибираємо 98%. Матеріал зубчастих коліс – сталь 18ХГТ, вид термообработки – цементация з об'ємним загартуванням при безпосередньому нагріві.

Розраховуємо модуль як для прямозубих передач:

$$m_u \geq 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{19500 \cdot N \cdot K_d \cdot K_H \cdot K_n}{\psi_b \cdot y_H \cdot [\sigma]_u \cdot z \cdot n_{pac}}},$$

Де N – потужність від шестерні, кВт;

n_{pac} – розрахункова частота обертання шестерні, об/хв;

$[\sigma]_u$ – допустиме напруження в розрахунках на згин, МПа;

z – число зубів шестерні;

K_d – коефіцієнт динамічності;

K_H – коефіцієнт нерівномірності;

K_n – коефіцієнт перевантаження;

ψ_b – коефіцієнт ширини зубу;

y_H – коефіцієнт форми зубу.

ККД участку ланцюга для передачі, що розраховується:

$$\eta = \eta_{рем.}^A \cdot \eta_{зуб.}^B \cdot \eta_{под.}^C,$$

де $A=1$ – кількість пасових передач;

$B=0$ – кількість зубчастих передач;

$C=2$ – кількість підшипників;

$\eta_{под.} = 0,995$, $\eta_{зуб.} = 0,99$, $\eta_{рем.} = 0,97$.

$$\eta = 0,97^1 \cdot 0,99^0 \cdot 0,995^2 = 0,96.$$

Тоді потужність, що передається

$$N = N_{эд.} \cdot \eta = 11 \cdot 0,96 = 10,56 \text{ кВт.}$$

Значення допустимого напруження на згин визначається за формулою:

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_{u.нр.} \cdot K_u \cdot K_y}{n_{u1} \cdot n_{u2}} \cdot K_{u.реж.},$$

									Арк.
									34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де $\sigma_{и.пр.}$ – тривала границя втомленості зубу;

$K_{ш}$ – коефіцієнт шорсткості;

K_y – коефіцієнт зміцнення;

$n_{и1}, n_{и2}$ – коефіцієнти безпеки;

$K_{и.реж.}$ – коефіцієнт режиму навантажень.

При знаходженні значення коефіцієнту $K_{и.реж.}$ необхідно знання сумарного числа циклів навантаження зубу N_c . Для цього діапазон частот обертання шпинделю представляємо на чотирьох інтервалах. Тоді для за час роботи верстату 20000 годин маємо: час роботи на першому інтервалі частот складає 1800 годин. Час роботи верстату на кожній з частот обертання шпинделю показано на рис. 3.7. Чисельник показує час роботи для всього інтервалу, знаменник – час роботи на окремих ступенях частот шпинделю.

Визначаємо сумарне число циклів навантаження для передачі i_5

$$N_c = 60 \sum T_i \cdot n_i = 60(1600 \cdot 720 + 200 \cdot 1080 + 630 \cdot 1440 + 80 \cdot 300 + 250 \cdot 1080 + 31,5 \cdot 300) = 1,54 \cdot 10^8.$$

Число циклів до точки злома кривої втомленості при середньому режимі роботи і видом термообробки – загартування: $N'_{ои} = N_{ои} \cdot K_N = 2 \cdot 10^6 \cdot 2 = 4 \cdot 10^6$.

За вимогами розрахунку маємо $N_c > N'_{ои}$, тобто

$$[\sigma]_u = \frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,3 \cdot 1} \cdot 1,3 = 400 \text{ МПа}.$$

Розраховуємо модуль зачеплення за критерієм зубів на згин

$$m_u \geq 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{19500 \cdot 10,56 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1}{8 \cdot 0,37 \cdot 400 \cdot 18 \cdot 800}} \approx 2,504 \text{ мм}.$$

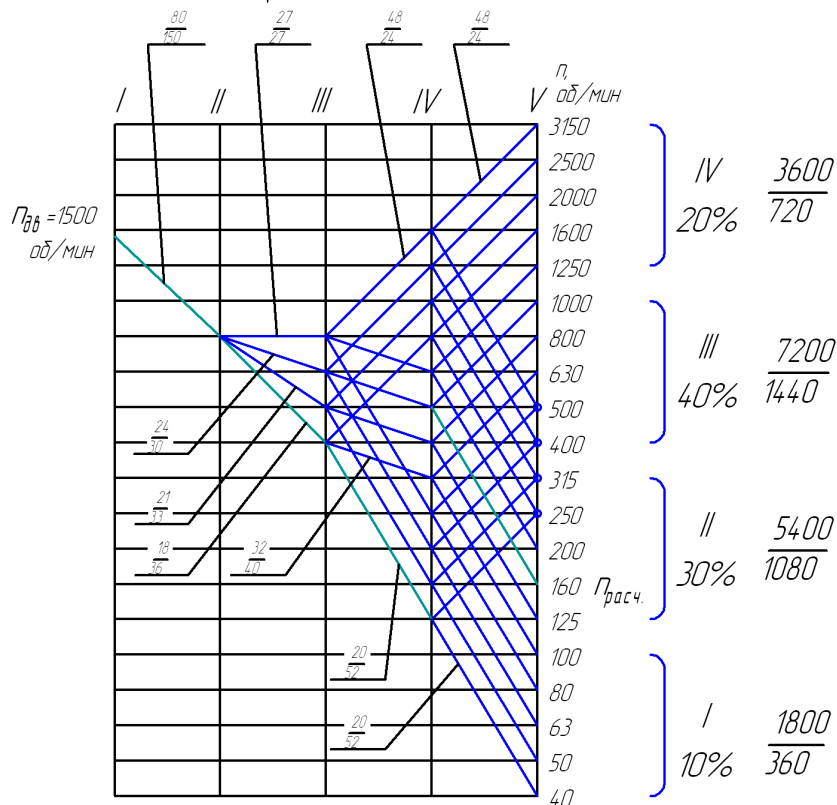


Рис. 3.7. Графік частот для розрахунку модуля

Розраховуємо модуль зубчастої передачі за умовою контактної міцності за формулою:

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$m_k \geq \sqrt[3]{\frac{u+1}{\psi_b} \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{[\sigma]_k \cdot u \cdot z} \right)^2 \frac{N \cdot K_d \cdot K_H \cdot K_n}{n_{рас}}},$$

де N – потужність на колесі, кВт;

$n_{рас}$ – розрахункова частота обертання колеса, об/хв;

$[\sigma]_k$ – допустиме напруження за контактною міцністю, МПа;

z – число зубів колеса;

$u=1/i$ – передаточне число;

K_d – коефіцієнт динамічності;

K_H – коефіцієнт нерівномірності;

K_n – коефіцієнт перевантаження;

ψ_b – коефіцієнт ширини зубу.

Колесом передається потужність:

$$N = N_{э.д.} \cdot \eta = 11 \cdot 0,96 = 10,56 \text{ кВт.}$$

Значення допустимого напруження за контактною

$$[\sigma]_k = \frac{\sigma_{кд}}{n_k} \cdot K_{и.реж.},$$

де $\sigma_{кд}$ – тривала границя контактної втомленості;

n_k – коефіцієнт безпеки;

$K_{и.реж.}$ – коефіцієнт м'якості режиму навантажень.

$K_{и.реж.} = 1,3$ (для середнього режиму роботи).

$\sigma_{кд} = 1100$ МПа – тривала границя контактної втомленості;

$n_k = 1$ – коефіцієнт безпеки;

$$[\sigma]_k = \frac{1100}{1} \cdot 1,3 = 1430 \text{ МПа.}$$

$N = 10,56$ кВт – потужність на шестерні;

$n_{рас} = 400$ об/хв – розрахункова частота обертання колеса;

$[\sigma]_k = 1430$ МПа – допустиме напруження за контактною міцністю;

$z = 36$ – число зубів колеса;

$u = \frac{36}{18} = 2$ – передаточне число;

$K_d = 1,3$ – коефіцієнт динамічності;

$K_H = 1$ – коефіцієнт нерівномірності;

$K_n = 1$ – коефіцієнт перевантаження;

$\psi_b = 8$ – коефіцієнт ширини зубу.

$$m_k \geq \sqrt[3]{\frac{2+1}{8} \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{1430 \cdot 2 \cdot 36} \right)^2 \frac{10,56 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1}{400}} \approx 1,772 \text{ мм.}$$

З ряду рекомендованих значень вибираємо $m = 3$ мм.

Аналогічно розраховували модулі для інших кінематичних груп для матеріалу сталь 18ХГТ, вид термообробки – цементация з об'ємним загартуванням з безпосереднім нагрівом: результати - в таблиці 3.1.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Результати розрахунків модуля

	Модулі для груп передач		
	Група 2	Група 3	Група 4
За умовою міцності на згин	2,504	2,948	2,719
За умовою контактної міцності	1,772	1,810	1,657

За результатами розрахунків модуля для подальшого проектування вибираємо модуль $m = 3$ мм для всіх груп передач.

Вибір сталі 18ХГТ в якості матеріалу для виготовлення зубчастих коліс зумовлений тим, що при виборі іншого матеріалу з гіршими характеристиками міцності виникає необхідність в збільшенні модуля, і відповідно в збільшенні габаритів коробки швидкостей.

Хімічний склад в % матеріалу 18ХГТ за ГОСТ 4543-71.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu
0,17 – 0,23	0,17 – 0,37	0,8 – 1,1	до 0,3	до 0,035	до 0,035	1 – 1,3	0,03 – 0,09	до 0,3

Висновки до розділу 3

1. Виконаний аналіз двох варіантів приводу токарного верстату та обґрунтований вибір з них раціонального варіанту. Використано в розрахунках приводу структурну сітку за за критерієм головного руху в залежності від відстані між двома лініями сітки, що виходять з однієї точки для кожної групи механічних передач.

2. Представлена кінематична схема проектуемого приводу. При побудові графіка частот обертання використовувалась відповідна сітка з вертикальними та горизонтальними лініями за структурною сіткою, де число вертикальних ліній дорівнює числу валів, а число горизонтальних ліній залишається рівним числу передач або може бути збільшено при умові, що електродвигун приводу має частоту обертання більшу в порівнянні з n_{\max} .

3. Виконаний розрахунок передаточних відношень та розрахунок чисел зубів шестерен з урахуванням обмежень, які прийняті на величину передаточного відношення для виключення перебільшений діаметрів коліс в коробках передач. Розрахунок числа зубів в групах передач виконувався способом найменшого кратного, який полягає в тому, що передаточні відношення передач в групі замінюють простими дробами та знаходиться найменше кратне цих дробів.

4. Виконано розрахунок модуля зубів зубчастих передач за напруженням згину при вибраній потужності електродвигуна 11 кВт, середньому режимі навантаження, заданому терміну роботи приводу до руйнування 20000 годин та надійності 98%. За допустимими контактними напруженнями зроблено перевірний розрахунок в детермінованій постановці.

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	НВЧ_000.00.000_ПЗ				

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Основними тенденціями в верстатобудуванні є підвищення точності, продуктивності та рівня надійності верстатів. Підвищення точності досягається застосуванням вузлів сучасних конструкцій верстатів за критерієм точності в процесі їх проектування, виготовлення та експлуатації. Продуктивність підвищують інтенсифікацією режимів різання або застосуванням нових прогресивних технологій. Складність і висока вартість верстатів з ЧПУ, їх задана точність і продуктивність вимагають відповідний рівень надійності, яка передусім визначається надійністю механізмів і вузлів верстатів за критеріями руйнувань та точності обробки деталей.

2. Верстати з ЧПУ характеризуються більш високими рівнями середніх і максимальних значень навантажень в порівнянні з верстатами загального призначення: рівень використання токарних верстатів з ЧПК для обробки в патроні вище за моментом на 20. . . 25%, для обробки в центрах вище за потужністю - на 20% і частоті обертання - на 30. . . 40%.

3. Представлена класифікація верстатів з ЧПУ за технологічними ознаками та можливостями та за точністю: поділ на п'ять класів, за типорозмірами, за ступенем універсальності, за технологічними ознаками (позиційні, контурні та комбіновані). Сучасні верстати з ЧПУ представляють собою мехатрону систему - самоврядну робочу машину, яка органічно зв'язана з компютером, що працює в реальному масштабі часу.

4. Виконаний аналіз наявної інформації щодо токарних верстатів з ЧПУ за розташуванням осі обертання шпинделя (горизонтальні, вертикальні), розташуванням напрямних (горизонтальні, вертикальні, нахилені), структурою інструментальної системи (з револьверною головкою чи інструментальним магазином), видом робіт (центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні).

5. Наведено технічні характеристики та поділ на основні підсистеми токарного верстату 16К20, модель якого взято до розгляду. Перелічені основні види функціональних та параметричних відмов токарних верстатів за критеріями точності, продуктивності, статичної та втомленісної міцності, зношування тощо.

6. Оцінка надійності - одна з важливих характеристик якості мехатронних технічних систем.

Представлений алгоритм оцінки та прогнозування надійності на прикладі токарного верстату з ЧПУ за даними експлуатаційних спостережень. Запропоновано положення чисельної оцінки впливу на надійність верстатів змін в конструкціях їх підсистем. Перевага запропонованого підходу в порівнянні з традиційними - мінімізація витрат при обмеженні об'ємів випробувань та обчислень.

7. Виконано аналіз двох варіантів приводу токарного верстату та обґрунтований вибір раціонального варіанту. Представлена кінематична схема проектуємого приводу з використанням графіка частот обертання, де число вертикальних ліній прирівнювали до числа валів, а число горизонтальних ліній приймали рівним числу передач (може бути збільшено при умові, що електродвигун приводу має частоту обертання більшу в порівнянні з n_{max}).

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Виконаний розрахунок передаточних відношень та розрахунок чисел зубів передач з урахуванням обмежень, які прийняті на величину передаточного відношення для виключення перебільшених діаметрів коліс, який виконували способом найменшого кратного.

9. Виконано розрахунок модуля зубів передач за напруженням згину при вибраній потужності електродвигуна 11 кВт, середньому режимі навантаження, заданому терміну роботи привода до руйнування 20000 годин та надійності 98%. За допустимими контактними напруженнями зроблено відповідний перевірений розрахунок в детермінованій постановці.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						39
Зми.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ и станочные комплексы. Ч. II. Учеб. пособие. - К. - Тернополь: ООО «ЗМОК», 2000. - 343 с. (рос), 2001. - 298 с. (укр.)
2. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р.І. Львів: Виробництво Державного університету "Львівська політехніка", 2000. - 380 с.
3. Харченко А.О. Верстати з ЧПУ та обладнання гнучких виробничих систем: Навчальний посібник для студентів вузів. - К.: ВД «Професіонал», 2004. - 304 с.
4. Андреев Г.И. Работа на токарных станках с ЧПУ / Г.И. Андреев. М: - Ирлен Инжиниринг. – 2005. – 154 с.
5. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении: монография / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, В.А. Беспалов, В.А. Шкаберин, Ю.М. Казаков, А.Е. Симуни, М.В. Терехов; под общ. ред. Аверченкова В.И., Аверченкова А.В. – Брянск: БГТУ, 2009. – 108 с.
6. Балла О. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология. Учебное пособие. – М.: Лань, 2015. – 364 с.
7. 16K20 токарный станок по металлу <https://stankomach.com/katalog-stankov/tokarnye/chpu/tc16k/obzor/tc16k20f3.html>
8. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD_CAM. – М.: Машиностроение, 2006. – 286 с.
9. Каталог Siemens CA01 «Техника автоматизации. Системы автоматизации. Системы автоматизации ЧПУ Sinumerik. УЧПУ Sinumerik 808. Обзор функций Sinumerik 808D. <https://www.avigan.com.ua/page/obzor-funkciy-sinumerik-808d/mp/15651/>
10. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. - М.: Высш. шк., 1988. - 238с.
11. Аверченков, В.И., Жолобов, А.А., Мрочек, Ж.А., Аверченков, А.В., Терехов, М.В., Левкина, Л.Б. Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве [Текст]+[Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов. – Брянск: БГТУ, 2010. – Ч.1. – 216 с.
12. Хазов Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусев. - М.: Машиностроение, 1985. - 224с.
13. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. 1996-01-01.
14. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. - К.: Вища школа, 1981. - 264с.
15. Кузнецов Ю.Н. Целевые механизмы станков-автоматов и станков с ЧПУ. - К. - Тернополь: ООО «ЗМОК», 2001. - 355 с. (рос і укр.).
16. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1974. - 832 с.

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

17. Высокоточные обрабатывающие станки с ЧПУ [Электронный ресурс] / Copyright ЗАО «М. Т. Е. - ФИНАНС». - М., 2005. - Режим доступа: [http : // www.mtef.ru / catalog / CPU](http://www.mtef.ru/catalog/CPU).

18. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник в 3-х томах / Под ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Машиностроение. – 1995. –496 с..

19. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.1: Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; Под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.: ил.

20. Дунаев П.Ф. Детали машин: курсовое проектирование /П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Высш. школа. – 1984. – 336 с.

21. Андросов А.А. Расчет и проектирование деталей машин /А.А. Андросов, Ю.Е. Андрющенко, А.Г. Дьяченко. – Ростов н/Д: Феникс.- 2006. – 285 с.

22. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин /И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение. – 1979 . -702 с.

23. Методичні вказівки до самостійної роботи “Числове програмне управління технологічним обладнанням» з дисципліни «Системи управління металорізальними верстатами» та “Автоматизація виробничих процесів” Для студентів напряму підготовки 6.050502 “Інженерна механіка» , та 6.050503 “Машинобудування”. Укл.: Коротков В.С. Дніпродзержинськ: ДДТУ. - 2016. - 12 с.

24. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления. – М.: Машиностроение. – 1989. – 248 с.

25. Кузнецов, Ю. Н. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. И. Байков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.

26. Токарно-фрезерное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». - М., 2005. - Режим доступа : [http : // www.robur.ru / cdugard rus.htmlarticles / articles id = 140](http://www.robur.ru/cdugardrus.htmlarticles/articlesid=140).

27.Токарное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». - М., 2008. - Режим доступа: [http: // www.robur.ru / cdugard rus.htmllinks / index.php](http://www.robur.ru/cdugardrus.htmllinks/index.php).

28. Пестов, С. П. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ / С. П. Пестов. - Челябинск, 2002. -66 с.

29. Линч, М. Базовые концепции Числового Программного Управления (ЧПУ) / М. Линч // Россия: ООО Евразия Лимитед, 2000 [Электронный ресурс]. - 2008. - Режим доступа: [http: // www.sapr2000.ru / pressa61.html](http://www.sapr2000.ru/pressa61.html).

					НВЧ_000.00.000_ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		