

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

перший (бакалаврський)
(освітньо-науковий рівень)

на тему *«Модернізація приводу універсально-фрезерного верстата моделі 676»*

Виконав: студент IV курсу, групи ВІ-81
спеціальності: _____

133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: _____
«Металорізальні верстати та системи»
(назва освітньої програми)

Владислав СОЛОДКИЙ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Андрій ДОВГОПОЛОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Сергій НЕКРАСОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
Освітньо-науковий
рівень перший (бакалаврський)
(назва)
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)
Освітня програма «Металорізальні верстати та системи»
(назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

Віталій ІВАНОВ

«___» _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Солодкий Владислав Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Модернізація приводу універсально фрезерного
верстата моделі 676

керівник проєкту Довгополов Андрій Юрійович, канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «___» _____ 2022 року № ___

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «01» червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

3.1 Креслення верстата

3.2 Паспорт верстата

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)

4.1 Аналіз конструкції пристроїв та механізмів верстата

4.2 Кінематика верстату

4.3 Модернізація приводу верстата

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення верстата

5.2 Штіндельний вузол

5.3 Розгортка коробки швидкостей

6. Інша конструкторська та технологічна документація

6.1 Специфікація для розгортки коробки швидкостей

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

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

6. Дата видачі завдання «___» _____ 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	10.05.2022	
2	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	15.05.2022	
3	Оформлення пояснювальної записки	20.05.2022	
4	Оформлення комплексу технологічної документації	25.05.2022	
5	Оформлення креслень та презентації	31.05.2022	

Студент

(підпис)

Керівник роботи (проєкту)

(підпис)

Владислав СОЛОДКИЙ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Андрій ДОВГОПОЛОВ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

« ____ » *червня* 2022 р.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВОДУ УНІВЕРСАЛЬНО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 676

Кваліфікаційна робота (проєкт) бакалавра

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма – «Металорізальні верстати та системи»

Студент

Владислав СОЛОДКИЙ

Керівник

Андрій ДОВГОПОЛОВ

Нормоконтроль

Артем ЄВТУХОВ

Суми – 2022

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 67 с., 28 рис., 5 табл., 19 джерел., 6 додатків

У дипломній роботі виконано аналіз конструкції та кінематики універсально фрезерного верстата 676 та проведено модернізацію приводу верстату.

Було проведено аналіз класифікації ЗМУ, кінематичний аналіз конструкції верстата, структурний аналіз процесу формоутворення на верстаті.

Для виконання графоаналітичного розрахунку коробки швидкостей були визначені зусилля і режими різання, визначено діапазон регулювання частот обертання $R = 7,14$ і розрахований знаменник ряду $= 1,26$. Зроблено аналіз варіантів структурних сіток, обраний оптимальний, побудований графік частот обертання та, у загальному вигляді, кінематична схема коробки швидкостей верстата.

Дипломна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 67 сторінок включаючи додатки, а також з 3 аркушів формату А1 графічної частини проекту.

ВЕРСТАТ 676, ФРЕЗЕРУВАННЯ, ОБРОБКА, ПРИВОД, КОРОБКА ШВИДКОСТЕЙ, ВАЛ.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Аналіз конструкції пристроїв та механізмів верстата.....	6
1.1 Призначення універсально фрезерного верстата моделі 676.....	6
1.2 Технічні характеристики.	6
1.3 Класифікація.....	8
1.5 Докладний опис і принцип роботи вузла, що розглядається.....	16
2 Кінематика верстата.....	21
2.1 Опис процесу формоутворення на ЗМЗ.	21
2.2 Визначення класу кінематичної структури ЗМЗ.	21
3 Модернізація приводу верстата.....	24
3.1 Розрахунок режимних параметрів обробки різних умов різання.....	24
3.2 Визначення діапазону регулювання частот обертання шпинделя.....	30
3.3 Визначення знаменника ряду геометричної прогресії частот обертання шпинделя ЗМП.....	31
3.4 Вибір оптимального варіанта розмножувальної структури.....	31
3.5 Побудова графіка частот обертання коробки швидкостей (КС) ЗМЗ.	33
3.6 Побудова кінематичної схеми модернізованої коробки швидкостей ЗМЗ (загалом).....	33

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ			
Змін.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Модернізація приводу універсально фрезерного верстата моделі 676	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Солодкий					3		
Перевір.	Довгополов							
Н. контр.	Євтухов					СумДУ ВІ - 81		
Затверд.	Іванов							

3.7 Вибір електродвигуна	34
3.8 Розрахунок потужностей на валах коробки швидкостей.....	35
3.9 Розрахунок муфти	36
3.10 Розрахунок та уточнення фактичних частот обертання на валах коробки швидкостей.....	38
3.11 Визначення кількості зубів зубчастих коліс	40
3.12 Розрахунок та конструювання зубчастих коліс коробки швидкостей ..	42
3.13 Попереднє визначення діаметра валів коробки швидкостей	46
3.14 Розрахунок шпонок	47
3.15 Розрахунок шліців.....	49
3.16 Розрахунок та конструювання валів	50
3.17 Розрахунок підшипників.....	56
Висновок.....	59
Перелік джерел посилань	60
Додаток А	62
Додаток Б.....	63
Додаток В	64
Додаток Г.....	65
Додаток Д	66

ВСТУП

Металорізальні верстати є основним видом заводського обладнання, призначеним для виробництва сучасних машин, приладів, інструментів та інших виробів, тому кількість і якість металорізальних верстатів, їх технічна оснащеність значною мірою характеризують виробничу міць країни.

Ефективність проектування та впровадження передових технологій, комплексної механізації та автоматизації процесів виробництва металорізальних верстатів забезпечується широко розвиненою спеціалізацією виробництва на основі агрегування, уніфікації та нормалізації деталей та цілих вузлів. Перевагою вітчизняного верстатобудування є випуск станків, що вбудовуються в автоматичні лінії.

Розвиток обчислювальної техніки дозволило створити продуктивні металорізальні верстати з програмним управлінням, у тому числі з автоматичною зміною інструменту. Також налагоджено виробництво унікальних верстатів, які оснащені сучасним обладнанням.

Цільова модернізація металорізального верстата покликана забезпечити більш високі технічні характеристики для розширення технологічних можливостей з одного боку та спеціалізація обладнання для вирішення конкретного виробничого завдання з іншого боку.

Ця курсова робота є прикладом структурної модернізації приводу головного руху спеціалізованого фрезерного верстата моделі 676, виконаного відповідно до технічного завдання ($z_{кс} = 10$, $n_{мах} = 2000$ об/хв) на стадії технічного проекту, тобто. розроблено загальний вигляд модернізованого верстата, кінематична схема коробки швидкостей, прийняті конструкторські рішення надалі повинні бути обґрунтовані проектно-конструкторськими розрахунками на міцність, жорсткість, довговічність та ін.

										Аркуш
										5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВІ 18510193 – 00 ПЗ					

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ ТА МЕХАНІЗМІВ ВЕРСТАТА

1.1 Призначення універсально фрезерного верстата моделі 676

Широкоуніверсальний фрезерний верстат 676 був розроблений Одеським спеціальним конструкторським бюро прецизійних верстатів (СКБ ПС) при Одеському заводі фрезерних верстатів ім. Кірова (ОЗФС), яке було призначено головним у розробці координатно-розточувальних та широко-універсальних фрезерних верстатів.

Фрезерний верстат 676 призначений для фрезерування деталей циліндричними, дисковими і фасонними фрезами за допомогою горизонтального шпинделя, і торцевими, кінцевими і шпонковими фрезами за допомогою вертикального поворотного шпинделя.

На верстаті можна виконувати, також, свердління і розсвердлювання, центрування, цекування, зенкерування, розгортання, розточування.

Додаткове оснащення і пристрої, пропоновані виробником верстата, дозволяють крім фрезерування виконувати, також, довбання, нарізування різьблення та інші операції.

Універсальний фрезерний верстат 676 найкраще використовувати в інструментальних цехах машинобудівних заводів або майстерень для виготовлення невеликих пристосувань, інструменту, рельєфних штампів та інших виробів.

1.2 Технічні характеристики.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики фрезерного верстата 676

Назва параметра	676
Основні параметри верстата	
Клас точності по ГОСТ 8-82	Н
Розміри горизонтального (кутового) стола, мм	250x800 300x800
Розміри вертикального стола, мм	250x630

										Аркуш
										6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВІ 18510193 – 00 ПЗ					

Потужність двигуна електронасоса СОЖ, кВт (об/хв)	0,12 (2800)
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	3,12
Габарит та маса верстата	
Габарити верстата (довжина x ширина x висота), мм	1200 1240 1780
Маса верстата, кг	1050

1.3 Класифікація верстату

За технологічною ознакою належить до «б»- фрезерні верстати

«7»- широкоуніверсальний

"б" - головний параметр, б типорозмір робочого столу 250 x 630

За ступенем спеціалізації - широкоуніверсальні – верстати для обробки різних деталей, призначені для виконання різних операцій на заготовках, різноманітних за формою і розмірами в одиничному виробництві;

За ступенем автоматизації - ручний, з напівавтоматичним режимом роботи

За класом точності-«Н» нормальної точності

По масі – легкі (до 1 т.) при масі 1,050 тонни

По транспортабельності-транспортабельний (до 5т.)

						ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			8

12. Рукоятка затискача трубки охолодження
13. Вимикач освітлення
14. Упори відключення механічної поперечної подачі
15. Маховик ручного обертання шпинделя
16. Кнопки керування "пуск" та "стоп"
17. Рукоятки увімкнення швидкостей
18. Рукоятка увімкнення подач
19. Диск набору подач
20. Реверсування двигуна
21. Упори відхилення механічного поздовжнього подання
22. Рукоятка затиску столу в горизонтальному напрямку
23. Рукоятка затискача гільзи вертикального шпинделя
24. Рукоятка затискача супорта у вертикальному напрямку
25. Маховик ручної подачі шпиндельної бабки
26. Рукоятка затиску шпиндельної бабки
27. Встановлення вертикальної головки в нульове положення
28. Рукоятка включення механічної подачі шпиндельної бабки
29. Упор величини переміщення вертикального шпинделя
30. Квадрат затиску конуса інструменту у вертикальному шпинделі

Список складових частин широкоуніверсального фрезерного верстата СФ-676

- Коробка швидкостей - 751001
- Коробка подач - 752001
- Супорт - 763001
- Шпиндельна бабка - 766K001. Конус 7:24 40 (35,45); КМ4 (2,3) на вимогу

Замовника

- Станина - 767001
- Електроустаткування - 67690000
- Комплект інструменту та приладдя - 7680000

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

- Головка вертикальна (знімний вузол) - 764K001. Конус 7:24 40 (35,45); КМ4 (2,3) на вимогу Замовника

- Стіл кутовий горизонтальний (знімний вузол) - 7681K001
- Освітлення LED 24V – 3 світлодіоди CL
- Маслостанція типу Y-6 з колектором на 8 регульованих дозаторів
- Захист напрямних осі Z (комплектуючі ПЗ Техмаш)

Додаткова специфікація широкоуніверсального фрезерного верстата СФ-676

- Блок цифрової індикації з прямою системою на лінійних перетворювачах за координатами X, Y або X, Y, Z (комплектуючі ВАТ СКБ ІС)

- Освітлення герметичне LED 24V – 5 світлодіодів CL
- Маслостанція типу Y-8 з колектором на 8 регульованих дозаторів
- Знімні горизонтальні столи з пазами на вимогу Замовника
- Хобота із сережками під спеціальну продукцію
- ВФГ 764K001 з різними конусами

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

По вертикальним напрямним станини переміщається супорт, а, по горизонтальним напрямним супорта - стіл.

До вертикальної (базової) площині столу кріплять кутовий горизонтальний стіл, який служить для установки і кріплення оброблюваних виробів.

Електродвигун приводу ланцюга головного руху та ланцюга подачі поміщений у підставі. Охолодна рідина подається електронасосом, встановленим на підставі, яке одночасно використовується як резервуар.

Електроапаратура розміщена під кришками у станині.

Коробка швидкостей верстата моделі 676

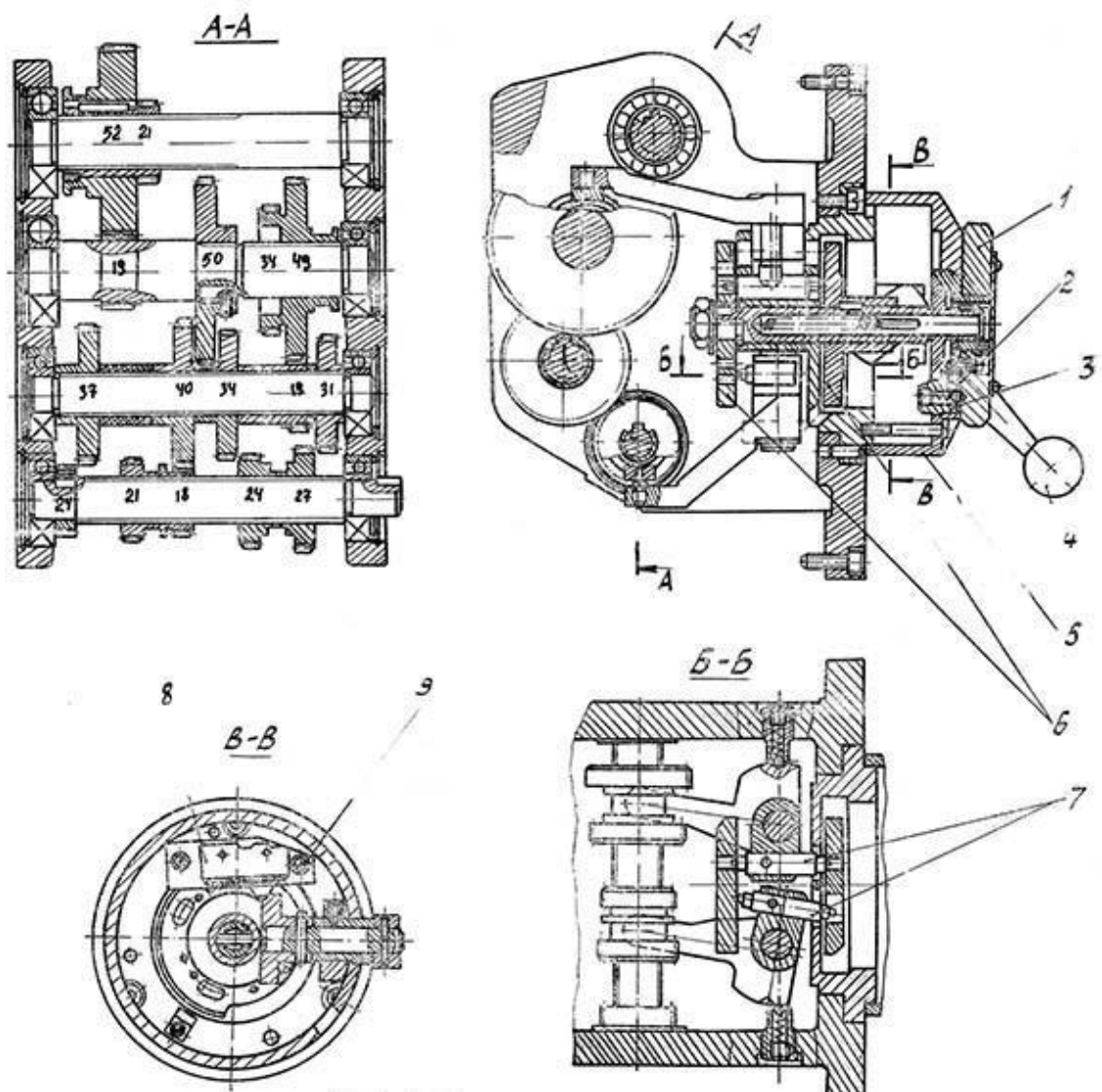


Рисунок 1.3 – Коробка швидкостей верстата моделі 676

						ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			13

Коробка швидкостей шестерного типу зібрана в спеціальний корпус, який кріплять фланцем до бічної сторони станиці, повідомляє горизонтальному і вертикальному шпинделям 16 різних швидкостей шляхом селективного набору.

Зміна швидкостей проводиться механізмом перемикавання, розміщеним на передній стінці корпусу коробки, наступним чином: рукоятку перемикавання швидкостей (4) потрібно підняти вгору. У цьому розводяться диски (6), мають ряд отворів. При повороті диска набору швидкостей (1) і пов'язаних з ним дисків змінюється положення отворів дисків щодо пальців (7). Цим самим проводиться підготовка для перемикавання швидкостей.

Рух рукоятки перемикавання вниз диски знову зводяться в початкове положення. При цьому пальці, переміщаючись, переводять за допомогою важелів перекладні шестірні коробки швидкостей.

При перемиканні можливі випадки збігу торців зубів шестерень, що зачіпаються. У цьому диски не зводяться. У цьому випадку необхідно повернути маховиком вал 1.

Щоб уникнути поломки шестерень, перемикавання швидкостей під навантаженням забороняється.

Коробка подач фрезерного верстата моделі 676

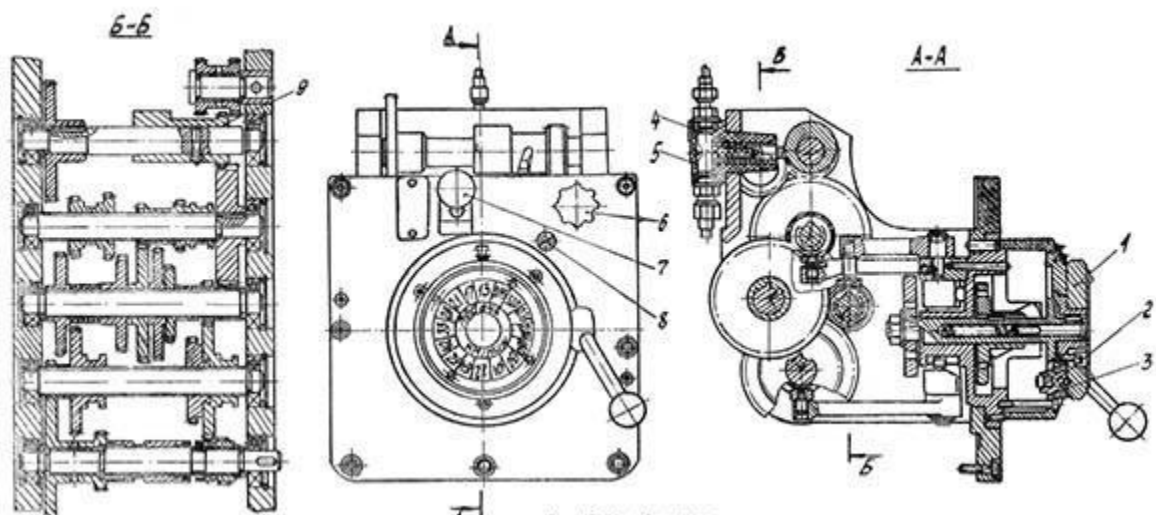


Рисунок 1.4 – Коробка подач фрезерного верстата моделі 676

Переміщаючись по напрямних станини, супорт здійснює вертикальну подачу столу. Поздовжня подача проводиться рухом столу горизонтальними напрямними супорта.

У корпусі супорта розташований механізм керування подачею столу. Механізм управління приводиться в обертання ходовим валом (4), що отримує обертання від коробки подач, і передає обертання на вертикальний (3) і горизонтальний (12) ходові гвинти.

Стіл кутовий горизонтальний універсального верстата моделі 676

Кутовий горизонтальний стіл є чавунним виливком і кріпиться до вертикальної поверхні основного столу болтами.

Горизонтальна площина столу має три Т-подібні пази.

Тиски

Тиски додаються до верстата для кріплення деталей, мають поворот 360° горизонтальній площині. Тиски можуть встановлюються як на вертикальній поверхні столу, так і на горизонтальній, а також на круглому столі.

Стіл круглий

Стіл поворотний круглий з ручним приводом призначений для встановлення та закріплення деталей при їх обробці. Стіл може встановлюватись як на вертикальній поверхні основного столу, так і на горизонтальній поверхні столу.

Головка довбальна до верстата моделі 676

Довбач (3) довбальної головки змонтований у спеціальному корпусі (5) з хоботом (9) для кріплення у верхніх напрямних шпindel'ної бабки.

Хобот взаємозамінний і служить для монтажу у вертикальному положенні як вертикальної, так і довбальної головок.

1.5 Докладний опис і принцип роботи вузла, що розглядається.

Горизонтальний шпindel' (1) монтується в спеціальний корпус (12), який переміщається напрямними станини, здійснюючи тим самим поперечну подачу верстата.

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Шпиндельна бабка (див. рис. 1.6). Радіальний зазор у передній опорі горизонтального шпинделя встановлюється за допомогою гайки (7). При цьому необхідно зняти фланець (2) та компенсаційне кільце (3). Радіальний зазор вибирається розпиранням внутрішнього кільця підшипника конусом шпинделя. Це досягається осьовим переміщенням підшипника щодо шпинделя. Після регулювання радіального зазору вимірюють відстань між буртом шпинделя і торцем кільця радіального підшипника і шліфують компенсаційне кільце до отримання цього розміру. Висоту компенсаційного кільця можна визначити за формулою:

$$B=C-16\Delta,$$

де С - відстань від бурта шпинделя до торця кільця підшипника в мм,

Δ - фактичний діаметральний зазор, підшипника у мм. Радіальний проміжок у передньому підшипнику потрібно відрегулювати в межах 0..0,005 мм. Потім збирають компенсаційне кільце та фланець.

Регулювання осьового зазору шпинделя виконується гайкою (6). Для цього потрібно зняти пружинне кільце із зовнішнього діаметра гайки та «слабити два гвинти. Після досягнення необхідного осьового зазору, якщо потрібно підрізати торець фланця (2) і поставити його на місце. Потім гайку (6) стопорять гвинтами і надягають пружинне кільце.

Нормально відрегульовані підшипники передньої опори повинні обертатися безшумно при 50..325 об/хв, і з легким шарудінням при 410..1630 об/хв. Поява писку не допускається.

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

Нижня опора вертикального шпинделя - дворядний роликовий підшипник (3) з конічним отвором.

Верхня опора вертикального шпинделя - два радіально наполегливі підшипники (7), що сприймають також осьові навантаження.

Змащування вертикальної головки проводиться щодня за допомогою кулькових прес-маслянок (8,11). Запобігання витоку мастила і забруднення служать лабіринтні ущільнення (1,13).

Регулювання вертикального шпинделя

Головка вертикальна (див. мал. 7). Радіальний проміжок нижньої опори шпинделя (23) регулюється за допомогою гайки (4). У разі, коли затяжкою гайок неможливо досягти необхідного радіального зазору, слід зменшити товщину компенсаційного кільця (2).

В основному принцип регулювання радіального зазору нижньої опори шпинделя схожий на регулювання радіального зазору в горизонтальному шпинделі.

Осьовий зазор верхньої опори шпинделя регулюється гайкою (15). У разі потреби, як і в нижній опорі, потрібно змінити товщину компенсаційних кілець (16).

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 КІНЕМАТИКА ВЕРСТАТА

2.1 Опис процесу формоутворення на ЗМЗ.

Фрезерний верстат СФ-676 має два шпинделі - горизонтальний і вертикальний (поворотний), які дозволяють обробляти складну заготовку без її переустановки на робочому столі, що істотно підвищує продуктивність.

На верстаті СФ676 можна виконувати ряд фрезерних та розточувальних робіт з високою точністю, яка може бути досягнута, якщо верстат встановлений у приміщенні з постійною температурою $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ та вологістю $65\pm 5\%$, якщо поблизу верстата немає джерел тепла та вібрації.

Широкий діапазон оборотів шпинделя і подач, наявність механічних подач і швидких переміщень забезпечують економічну обробку різних деталей в оптимальних режимах.

Горизонтальний та вертикальний шпинделі знаходяться у шпиндельній бабці і з'єднані один з одним зубчастою передачею.

Шпиндельна бабка змонтована на горизонтальних напрямних та здійснює поперечну подачу на верстаті. Поперечна подача шпиндельної бабки може проводитися від двигуна через коробку подач (16 подач від 13 до 395 мм/хв) або вручну від маховика.

Коробка швидкостей повідомляє горизонтальному і вертикальному шпинделям 16 різних швидкостей обертання (50-1630 і 63..2040 об / хв відповідно).

Клас точності верстата Н.

2.2 Визначення класу кінематичної структури ЗМЗ.

Кінематична структура верстата є сукупністю кінематичних груп. Групи можуть бути з'єднані між собою різними способами; їхнє з'єднання залежить від багатьох факторів. Найбільший вплив на з'єднання кінематичних груп надають спільність їх виконавчих органів та джерела руху, а також необхідність координації у часі створюваних групами рухів. Будь-яке з'єднання двох кінематичних груп

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

2. Клас складних структур, до якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить тільки складні групи формоутворення – групи, що створюють рухи $\Phi(V_1V_2)$ або $\Phi(V_1V_2P_3)$ (рис.10).

3. Клас комбінованих структур До якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить одночасно і прості і складні групи формоутворення.

Кожен клас містить кілька типових кінематичних структур верстатів, яке можна умовно записати буквою з наступними двома цифрами. Літера вказує на клас, перша цифра – на число формотворних груп, друга цифра – на сумарне число простих обертальних та прямолінійних рухів, що становлять усі формотворні рухи верстата. Наприклад, запис K24 означає, що верстат має комбіновану структуру, дві групи формоутворення з чотирма простими рухами

Кінематичні структури верстатів E24

Де «E» - Клас елементарних структур E, до якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить лише прості групи формоутворення – групи, що створюють рухи $\Phi(V)$ та $\Phi(P)$;

«2» - відповідних числу рухів формоутворення у структурі верстата

«4» - сумарна кількість простих обертальних та прямолінійних рухів, що становлять усі формотворні рухи верстата

Кінематичні структури верстатів E33

Де E-Клас елементарних структур E, до якого відносяться верстати з кінематичною структурою, що містить тільки прості групи формоутворення - групи, що створюють рухи $\Phi(V)$ і $\Phi(P)$;

3- відповідних числу груп формоутворення у структурі верстата

3- загальному числу елементарних рухів (виконавчих кінематичних пар) у цих групах.

$\Phi_v = (Г1)$ формоутворення для швидкості;

$\Phi_s = (Пп; Пв; Пг)$ формоутворення для подачі

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВОДУ ВЕРСТАТА

3.1 Розрахунок режимних параметрів обробки різних умов різання.

Перший розрахунок.

1. Обробити поверхню завширшки $B = 75$, IT10 на довжину $l=300$ мм, Ra10. Матеріал заготівлі – сталь 45 ГОСТ 1050-88 з межею міцності $\sigma_b = 640$ МПа. Заготівля – Прокат сортовий, калібрований, зі спеціальним оздобленням поверхні із вуглецевої якісної конструкційної сталі. Система СНІД (верстат-пристрій-інструмент-деталь) жорстка. Охолодження – емульсією. Ріжучий інструмент: циліндрична фреза 2200-0205 діаметром $D = 100$ мм з робочою частиною зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 28393-89

Розрахунок режиму різання

1. $t = 5$ мм. $B = 75$ мм.

2. Табличне значення подачі $S_{\text{табл}} = 0.08 \dots 0.12$ мм/об.

Вибираємо середнє $S_{\text{табл}} = 0,1$ мм/об.

Визначаємо подачу на зуб:

$$S_z = \frac{S_{\text{табл}}}{z} = \frac{0.1}{12} = 0.0083 \text{ мм/зуб}$$

3. $T = 180$ хв.

4. Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{i_v} \cdot z^{p_v}} \cdot K_v \text{ [м/хв]}.$$

$C_v=45,2$; $q_v=0,45$; $x_v=0,24$; $y_v=0,3$; $i_v=0,1$; $p_v=0,1$ $m=0,33$.

Наступним кроком розрахунку необхідно врахувати всі відмінності цих умов обробки щодо тих, для яких дано табличні значення.

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

Для цього знаходять значення поправочних коефіцієнтів:

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{П_v} \cdot K_{И_v}$$

$K_{M_v}=1,153$ - коефіцієнт для даних умов та округлення тут розрахунків неприпустимі.

$$K_{П_v}=0,9 \quad K_{И_v}=1,0$$

$$V = \frac{45.2 \cdot 100^{0.45}}{180^{0.33} \cdot 5^{0.24} \cdot 0.0083^{0.3} \cdot 75^{0.1} \cdot 12^{0.1}} \cdot 1.153 = 108.1 \text{ м/хв}$$

5. Частота обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 108.1}{\pi \cdot 100} = 344 \text{ об/хв}$$

$$n=280 \text{ об/хв .}$$

6. Справжня швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 280}{1000} = 88 \text{ м/хв}$$

7. Дійсна подача на зуб $S_{z д}$:

$$\text{Хвилинна подача } S_M = S_z \cdot z \cdot n = 0.0083 \cdot 12 \cdot 280 = 28 \text{ мм/хв}$$

Коригуємо хвилинну подачу верстатом $S_M=25$ мм/хв.

$$S_{z д} = \frac{S_M}{z \cdot n} = \frac{25}{12 \cdot 280} = 0.0074 \text{ мм/зуб}$$

8. Для перевірки потужності електродвигуна верстата визначаємо головну складову окружної сили різання:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^{x_p} \cdot S_z^{y_p} \cdot V_{ир} \cdot z}{D^{q_p} \cdot n^{w_p}} \cdot K_p$$

$$C_p=68.2; x_p=0.86; y_p=0.72; и_p=1; q_p=0.86; w_p=0.$$

Усі відмінності заданих умов різання щодо табличних враховують поправочні коефіцієнти: $K_p = K_{M_p}$.

$$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{0.3} = \left(\frac{640}{750}\right)^{0.3} = 0.9535$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68.2 \cdot 5^{0.86} \cdot 0.0083^{0.72} \cdot 75^1 \cdot 12}{100^{0.86} \cdot 280^0} \cdot 0.9535 = 1413 \text{ Н}$$

Потужність, що витрачається на різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{1413 \cdot 88}{1020 \cdot 60} = 2.03 \text{ кВт}$$

ККД верстата $\eta=0.84$ і визначаємо розрахункову потужність:

$$N_{\text{роз}} = \frac{N_{\text{різ}}}{\eta} = 2.475 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{расч}} = 2.475 < N_{\text{ст}} = 3.$$

Висновок: умови фрезерування виконуються, оскільки потужність фрезерування не перевищує потужності верстата

Другий розрахунок.

Початкові дані

Фрезерування чорнове, Матеріал деталі Сталь45, Твердість HB=229 і $\sigma_B = 670 \text{ Мпа}$

Інструмент: Торцева фреза зі вставними ножами ГОСТ 24359-80, Матеріал ріжучої частини Т5К10, $z=4$

Розрахунок режиму різання

1. $t=4,7 \text{ мм}$. $V=70$
2. Табличне значення подачі $S_{\text{табл}} = 0.06 \dots 0.12 \text{ мм/об}$. Вибираємо $S_{\text{табл}} = 0.06 \text{ мм/об}$.

Визначаємо подачу на зуб:

$$S_z = \frac{S_{\text{табл}}}{z} = \frac{0.06}{4} = 0.015 \text{ [мм/зуб]}.$$

3. $T=180 \text{ хв}$.

4. Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{i_v} \cdot Z^{p_v}} \cdot K_v \text{ [м/хв].}$$

$$C_v=332; q_v=0.2; x_v=0.1; y_v=0.4; i_v=0.2; p_v=0 \quad m=0.2.$$

Значення поправочних коефіцієнтів:

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{P_v} \cdot K_{I_v} \cdot K_{M_v} = \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = \left(\frac{750}{670}\right)^{0,9} = 1.1$$

$$K_{P_v}=0,8 \quad K_{I_v}=0,65$$

$$V = \frac{332 \cdot 80^{0.2}}{180^{0.2} \cdot 4 \cdot 70^{0.1} \cdot 0.015^{0.4} \cdot 70^{0.2} \cdot 4^0} \cdot 0.576 = 319 \text{ [м/хв].}$$

5. Частота обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 319}{3.14 \cdot 80} = 1270 \text{ [об/хв].}$$

$$n=1120 \text{ об/хв .}$$

6. Справжня швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 80 \cdot 1120}{1000} = 281 \text{ [м/хв].}$$

7. Дійсна подача на зуб $S_{z,d}$:

Хвилинна подача $S_M = S_z \cdot z \cdot n = 1120 \cdot 4 \cdot 0.015 = 67,2 \text{ [мм/хв]}$. Коригуємо хвилинну подачу верстатом $S_M = 63 \text{ мм/хв}$.

$$S_{z,d} = \frac{S_M}{z \cdot n} = \frac{63}{4 \cdot 1120} = 0.014 \text{ [мм/зуб].}$$

8. Для перевірки потужності електродвигуна верстату визначаємо головну складову сили різання:

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

8. Для перевірки за потужністю електродвигуна верстата визначаємо головну складову окружної сили різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t_{xp} \cdot S_z^{y_p} \cdot V^{z_p} \cdot z}{D_{qp} \cdot n^{w_p}} \cdot K_p \text{ [Н]}.$$

$C_p = 22,6$; $x_p = 0,86$; $y_p = 0,72$; $i_p = 1$; $q_p = 0,86$; $w_p = 0$. (табл. 83 стр. 412 [6])

Усі відмінності заданих умов різання щодо табличних враховують поправочні коефіцієнти: $K_p = K_{M_p}$.

$$K_{M_{P_z}} = 1$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 22,6 \cdot 32^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 32^1 \cdot 6}{32^{0,86} \cdot 800^0} \cdot 1 = 1280 \text{ [Н]}$$

Потужність, що витрачається на різання: $N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{1280 \cdot 80}{1020 \cdot 60} = 1,67 \text{ [кВт]}.$

ККД верстата $\eta = 0,85$ і визначаємо розрахункову потужність:

$$N_{\text{роз}} = \frac{N_{\text{різ}}}{\eta} = 1,96 \text{ [кВт]}. \quad N_{\text{роз}} = 1,96 < N_{\text{ст}} = 3.$$

Висновок: умови фрезерування виконуються, оскільки потужність фрезерування не перевищує потужності верстата

3.2 Визначення діапазону регулювання частот обертання шпинделя.

Діапазон регулювання частот обертання шпинделя ЗМЗ визначається за формулою:

$$R = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}$$

$$R = \frac{2000}{280} = 7,14$$

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Визначення знаменника ряду геометричної прогресії частот обертання шпинделя ЗМП

Знаменник низки геометричної прогресії частот обертання ЗМЗ визначається за формулою:

$$\varphi = \sqrt[z-1]{R}$$
$$\varphi = \sqrt[10-1]{7,14} = 1,244$$

Отримане розрахункове значення φ уточнюється з прийнятими у верстатобудуванні величинами знаменника φ (за нормами верстатобудування Н11-1):

$$\varphi = 1,26$$

Таблиця 3.1 – Частота обертання

№	$\varphi = 1,26$ частота обертання
1	250
2	315
3	400
4	500
5	630
6	800
7	1000
8	1250
9	1600
10	2000

3.4 Вибір оптимального варіанта розмножувальної структури.

Розподіл частот обертання по валах коробки швидкостей здійснюється розбиттям заданої кількості частот ($z_{\text{кш}} = 10$) на множники 2 та 3, що має відповідати кількості передач у кожній кінематичній групі.

З умови забезпечення мінімальної ваги коробки швидкостей необхідно забезпечити:

$$p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_k$$

де p – кількість передач групи.

Для зменшення габаритних розмірів та маси коробки швидкостей необхідно, щоб більше його елементів працювало в області більш високих частот обертання. Цьому відповідають приводи, у яких кількість передач у групах зменшується, а характеристика збільшується вздовж ланцюга від електродвигуна до шпинделя.

Для роботи шестерень є обмеження щодо передатних відносин. Для прямозубих передач допустимі передавальні відносини знаходяться в межах:

$$1/4 \leq i \leq 2$$

$i_{\min} = 1/6$ та $i_{\max} = 3$. З урахуванням прийнятого значення $\varphi = 1,26$ за структурними формулами будуюмо структурні сітки. На аркуші 1 графічної частини курсової роботи представлені варіанти структурних сіток, у тому числі необхідно вибрати оптимальну побудови графіка частот обертання. Вигідно відрізняється варіант структурної сітки, побудованої за формулою

$z=10=2 \times 3 \times 2(4-1)$ своєю компактністю та іншим критеріям оптимізації. Даний варіант представлений на малюнку 20, 21

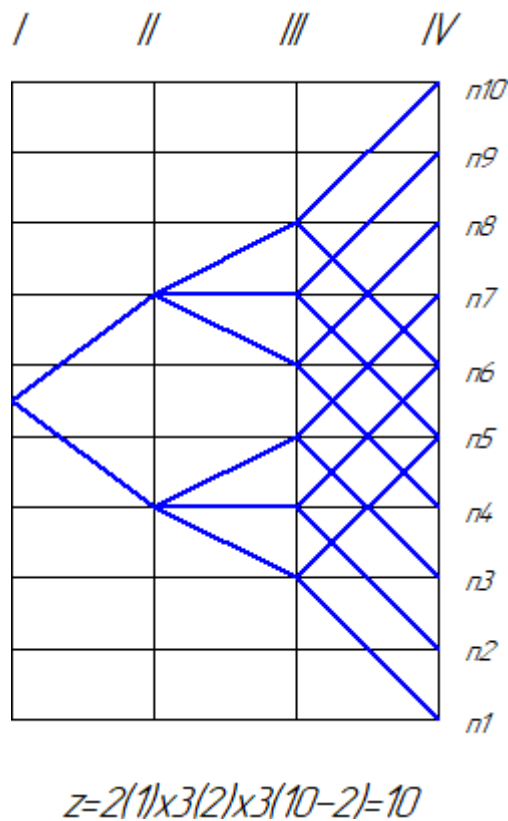


Рисунок 3.1 – Оптимальна структурна сітка (Варіант 1)

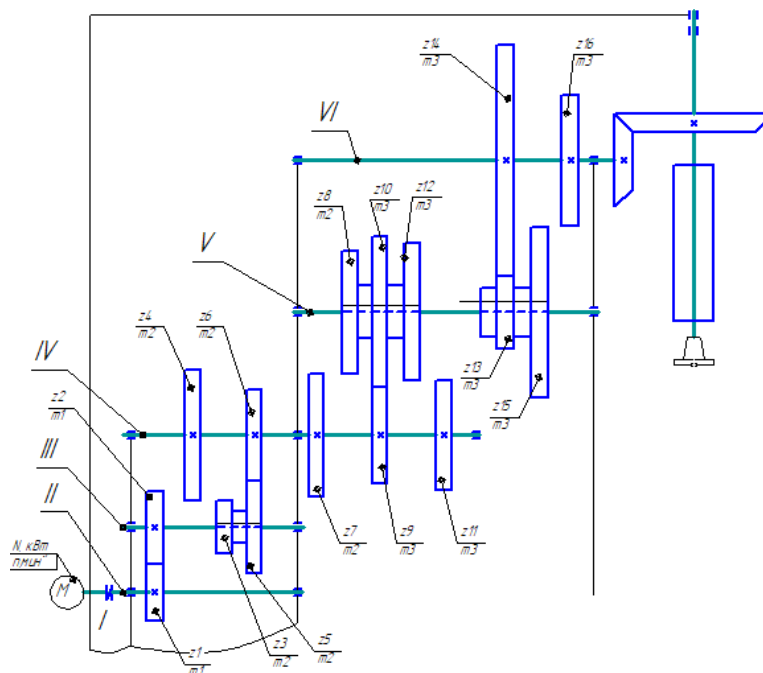


Рисунок 3.3 – Кінематична схема верстату моделі 676 після модернізації.

3.7 Вибір електродвигуна

Потужність електродвигуна визначають на чорнових режимах обробки за формулою:

$$N_{ед} = \frac{P_{zmax} \cdot V_{min}}{1020 \cdot 60 \cdot \eta_{ст}} \cdot k_w, \text{ кВт}$$

де – $k_w = 0,6 - 0,7$ - коефіцієнт використання,

$\eta_{врс} = \eta_{к.с.} \cdot \eta_{м.п.}$ - коефіцієнт корисної дії верстата,

$\eta_{м.п.}$ - Коефіцієнт корисної дії механізму подачі,

$\eta_{м.п.} = 0,96$;

$\eta_{к.с.}$ - Коефіцієнт корисної дії коробки швидкостей

$$\eta_{к.с.} = \eta_{р.п.}^1 \cdot \eta_{з.п.}^3 \cdot \eta_{п}^4$$

де - $\eta_{р.п.} = 0,96$ - коефіцієнт корисної дії ремінної передачі;

$\eta_{з.п.} = 0,99$ - коефіцієнт корисної дії циліндричної прямозубої передачі;

$\eta_{\text{п}} = 0,995$ – коефіцієнт корисної дії підшипників кочення;

$$\eta_{\text{к.в.}} = 0,96 \cdot 0,99^3 \cdot 0,995^4 = 0,913$$

$$\eta_{\text{врс}} = 0,913 \cdot 0,96 = 0,876$$

Для приводу механізмів, що вимагають зміни числа оборотів, слід застосовувати двигуни з найбільш простими та економічними методами пуску або регулювання чисел оборотів, які можливі в даній установці.

Вибираємо електродвигун типу 4A100S4 УЗ, який має такі технічні характеристики: $n = 1500$ об/хв;

Таблиця 3.2 – Характеристики двигуна

Марка двигуна	Потужність кВт	Ковз %	КК Д %	Коеф потужності	Ммакс / Мн	Мп/ Мн	Мхв/Мн	Іп/ Ін
4A100S4 УЗ	3	6	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5

4А – Серія двигуна, що вказує на умови, у яких може працювати цей двигун;

100 – висота осі обертання;

S - Довжина сердечника: А - менша, В-велика за умови збереження настановного розміру; відсутність літери означає, що при даному настановному розмірі (S, M або L) виконується лише одна довжина сердечника;

4 – число полюсів

УЗ - кліматичне виконання та категорія розміщення за ГОСТ 15150-69.

3.8 Розрахунок потужностей на валах коробки швидкостей

Визначаємо потужності, що передаються на валах коробки швидкостей:

$$N_I = 3 \text{ кВт}$$

$$N_{II} = 3 \cdot 1 = 7,5 \text{ кВт}$$

$$N_{III} = 3 \cdot 0,99^1 \cdot 0,995^2 = 2,94 \text{ кВт}$$

$$N_{VI} = 3 \cdot 0,99^2 \cdot 0,995^3 = 2,9 \text{ кВт}$$

$$N_V = 3 \cdot 0,99^3 \cdot 0,995^4 = 2,85 \text{ кВт}$$

3.9 Розрахунок муфти

Муфту підбираємо та розраховуємо відповідно до завдання, з якого вибираємо необхідні для розрахунку вихідні дані:

Для визначення крутного моменту на валу електродвигуна приводу головного руху використовується номінальна потужність та номінальна частота обертання:

$$T_g = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_g}{n_g}$$

де N_g - потужність електродвигуна, кВт переданий момент $T_H = 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$; діаметри з'єднуються муфтою валів: $d_{e/d} = 28 \text{ мм}$ і вхідного кінця $d_{вх} = 28 \text{ мм}$.

При коефіцієнті навантаження $K_H = 1,5$ розрахунковий момент за формулою

$$M_p = T_H \cdot K_H = 19,1 \cdot 1,5 = 28,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За ГОСТ 21424 вибираємо пружну втулково-пальцеву муфту з допустимим крутним моментом $[T] = 710 \text{ Н} \cdot \text{м}$, діаметрами посадкових отворів 20 мм, виконання 2: Муфта 125-28-2 ГОСТ 21424.

Конструкція муфти показана малюнку. Тут же представлено її розрахункову схему.

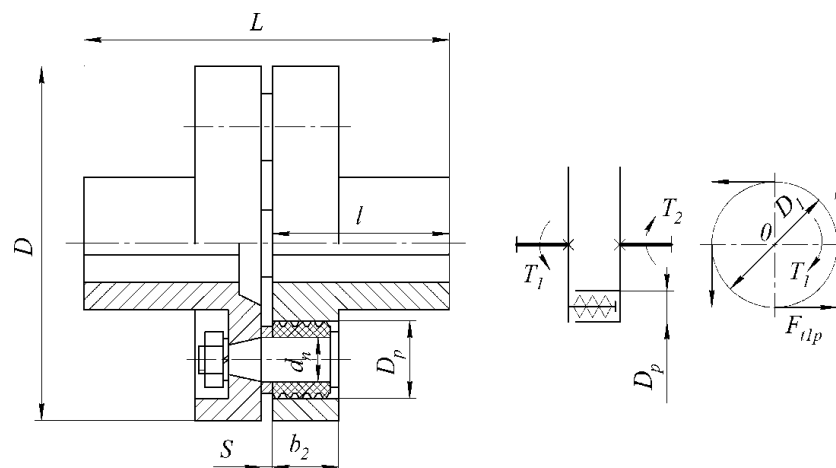


Рисунок 3.4 – Муфта пружна втулково-пальцева

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВІ 18510193 – 00 ПЗ

Аркуш

36

Її технічна характеристика:

- габаритні розміри $D \times L = 120 \times 125$ мм;
 - довжина маточини $l = 42$ мм;
 - діаметр пальців $d_{п} = 14$ мм;
 - Число пальців $z = 4$;
- діаметр кола розташування
центрів пальців $D_1 = 84$ мм;
- розміри гофрованих гумових втулок $D_p \times l_p = 26 \times 28$ мм;
 - гранична частота $n_{lim} = 4600$ хв-1;
- допустимі зміщення осей валів:
- радіальне $\Delta r = 0,2$ мм;
 - кутове $\gamma = 1,5^\circ$;
 - осьове $\Delta a = 1 \dots 5$ мм;
- матеріал: напівмуфт СЧ20;
- пальців сталь 45, $T = 300$ МПа.

Навантажувальна здатність муфти обумовлена міцністю пальців на вигин та гумових втулок на зминання.

Розрахункова схема пальця представлена малюнку .

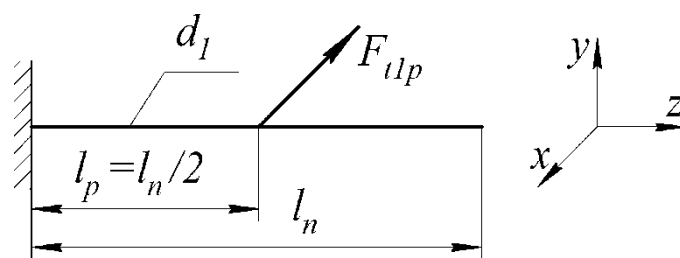


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема пальця

Вибираємо допустиму напругу вигину для матеріалу пальців

$$[\sigma_u] = (0,4 \dots 0,5) \sigma_T = (0,4 \dots 0,5) \cdot 300 = 120 \dots 150 \text{ МПа.}$$

Відповідно до розрахункової схеми та технічної характеристики вибраної муфти напруга вигину в небезпечному перерізі пальців

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{0,5 \cdot l_p + S}{D_1 \cdot z \cdot d_1} \cdot M_p \cdot 2 \cdot 10^4 = \frac{0,5 \cdot 47 + 5}{84 \cdot 4 \cdot 14^3} \cdot 28.65 \cdot 2 \cdot 10^4 = 17.7 \text{ МПа.}$$

Напруга зминання в гумових втулках

$$\sigma_{\text{см}} = 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{T_p}{l_p \cdot D_1 \cdot z \cdot d_1} = 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{28.65}{47 \cdot 84 \cdot 4 \cdot 14} = 0,26 \text{ МПа.}$$

За рекомендацією напруга зминання $[\sigma_{\text{см}}] = 1,8 \dots 2 \text{ МПа.}$

Отже, міцність пальців та втулок забезпечена.

3.10 Розрахунок та уточнення фактичних частот обертання на валах коробки швидкостей

Визначаємо розрахункові та уточнюємо фактичні частоти обертання і потім визначаємо відхилення: $\Delta = \frac{n_{\text{факт}} - n_{\text{расч}}}{n_{\text{расч}}} \cdot 100\%$

$n_1 = 250 \text{ об/хв}$	$n_7 = 1000 \text{ об/хв}$
$n_2 = 315 \text{ об/хв}$	$n_8 = 1250 \text{ об/хв}$
$n_3 = 400 \text{ об/хв}$	$n_9 = 1600 \text{ об/хв}$
$n_4 = 500 \text{ об/хв}$	$n_{10} = 2000 \text{ об/хв}$
$n_5 = 630 \text{ об/хв}$	
$n_6 = 800 \text{ об/хв}$	

Відхилення підпорядковуватися цій нерівності:

$$\Delta n \leq \pm 10(\varphi - 1)\% = 2,6\%$$

$n_{\text{факт}}$, об/хв визначаємо за рівнянням кінематичного узгодження:

$$n_{\text{шп}} = n_{\text{ед}} \cdot i_0 \cdot i_{\text{к.в.}}$$

де i_0 – передатне відношення від електродвигуна на вхід коробки швидкостей.

$$n_{\text{шп1}} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^{-3} = 247.92 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп2}} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^{-1} \cdot 1,26^{-3} = 312.38 \text{ об/хв}$$

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш 38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\text{шп}3} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^0 \cdot 1,26^{-3} = 393.6 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}4} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^1 \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^{-3} = 495.94 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}5} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^1 \cdot 1,26^{-1} \cdot 1,26^{-3} = 624.88 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}6} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^1 \cdot 1,26^0 \cdot 1,26^{-3} = 787.35 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}7} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^0 \cdot 1,26^1 = 992.06 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}8} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^1 \cdot 1,26^{-2} \cdot 1,26^1 = 1250 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}9} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^1 \cdot 1,26^{-1} \cdot 1,26^1 = 1575 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}10} = 1500 \cdot \frac{1250}{1500} \cdot 1,26^1 \cdot 1,26^0 \cdot 1,26^1 = 1984.5 \text{ об/хв}$$

Відхилення від фактичної частоти обертання шпинделя склали:

$$\Delta n_1 = 0,83\%; \Delta n_2 = 0,83\%; \Delta n_3 = 1.6\%; \Delta n_4 = 0,81\%; \Delta n_5 = 0.81\%;$$

$$\Delta n_6 = 1,58\%; \Delta n_7 = 0,79\%; \Delta n_8 = 0\%; \Delta n_9 = 1.56\%; \Delta n_{10} = 0,78\%;$$

Відхилення фактичних частот обертання від розрахункових вибирається у допустимій величині $\Delta_{\text{доп}} = 2,6\%$.

Таблиця 3.3 – Частота обертання по ступеням

Номер ступеня частоти обертання	Розрахункова частота обертання $n_{\text{розн}}$	Фактична частота обертання $n_{\text{факт}}$	Відхилення фактичної Δn
1	250	247.92	0.83
2	315	312.38	0.83
3	400	393.6	1.6
4	500	495.94	0.81
5	630	624.88	0.81
6	800	787.35	1.58
7	1000	992.06	0.79
8	1250	1250	0
9	1600	1575	1.56
10	2000	1984.5	0.78

N - потужність в ланцюзі від електродвигуна до шестерні, що розраховується, з урахуванням ККД, кВт

n – число об/хв шестерні передачі розрахункового кінематичного ланцюга, за якою на шпindel передається приблизно верхня частота нижньої третини діапазону регулювання, а n_{\min} цього діапазону передає повну потужність;

z - число зубів шестерні, що розраховується;

i – передатне відношення числа зубів більшого колеса до меншого ($i \geq 1$);

ψ – відношення ширини зубчастого колеса до модуля ($\psi = b/m = 6 - 10$);

приймаємо $\psi = 7$;

y – коефіцієнт форми зуба

$[\sigma]_{\text{конт}} = 640$ МПа - допустима контактна напруга для зубчастих коліс зі сталі 40Х.

Спосіб термообробки - покращення до НВ 230-260 ;

$[\sigma]_{\text{зг}} = 215$ МПа;

$N_0 = 25 * 10^7$ - базове число циклів;

k , $k_{\text{нер}}$, $k_{\text{дин}}$ – коефіцієнти відповідно до довговічності, нерівномірності розподілу навантаження внаслідок деформації валів та динамічності

$$k_{\text{нер}} = 1; k_{\text{дин}} = 1k = k_N \cdot k_n \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_{\text{min}}}{N_0}}$$

де k_N - коефіцієнт, що характеризує передбачувану зміну потужності переданої шестернею, що розраховується, $k_N = 1$;

k_n – коефіцієнт, що характеризує роботу передачі різних частотах обертання;

T - розрахунковий час роботи передачі в годинах,

$$T = \frac{10000}{X}$$

X – число передач, що по черзі включаються між суміжними валами

Вибираємо числа зубів зубчастих коліс, виходячи з передавального відношення за таблицею додатка Д

$$i = 1.26^{-1} \quad \Sigma Z = 69 \quad z_1 = 24 \quad z_2 = 45$$

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$i = 1.26^{-2} \quad \Sigma Z = 95 \quad z_3 = 37 \quad z_4 = 58$$

$$i = 1.26^1 \quad \Sigma Z = 95 \quad z_5 = 53 \quad z_6 = 42$$

$$i = 1.26^{-2} \quad \Sigma Z = 100 \quad z_7 = 39 \quad z_8 = 61$$

$$i = 1.26^{-1} \quad \Sigma Z = 100 \quad z_9 = 44 \quad z_{10} = 56$$

$$i = 1.26^0 \quad \Sigma Z = 100 \quad z_{11} = 50 \quad z_{12} = 50$$

$$i = 1.26^{-3} \quad \Sigma Z = 108 \quad z_{13} = 36 \quad z_{14} = 72$$

$$i = 1.26^1 \quad \Sigma Z = 108 \quad z_{15} = 60 \quad z_{16} = 48$$

3.12 Розрахунок та конструювання зубчастих коліс коробки швидкостей

За розрахункову частоту обертання шпинделя приймається частота:

$$n_p = n_1 \cdot \left(\frac{n_{max}}{n_{min}} \right)^{0.3} = 250 \cdot \left(\frac{2000}{250} \right)^{0.3} = 466.5 \text{ об/хв}$$

Вибираємо найкращі обороти з низки частот, ближче значення n_3

$$n_3 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} = 1500 \cdot \frac{25}{30} \cdot \frac{37}{58} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{36}{72} = 398,71 \text{ хв}^{-1}$$

Розрахунок модуля для групи z_1/z_2 :

$$n_{min1} := n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} = 1250 \quad N_2 = 3$$

$$S1 := 1 \cdot \frac{2060100}{z_2 \cdot \sigma_{конт}} = 107.3$$

$$kn10 := kN \cdot kn \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_{min1}}{N_0}} = 1.14$$

$$k1 := kN \cdot 0.7 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n_{min1}}{N_0}} = 0.8$$

$$m_{конт1} := \sqrt[3]{\frac{i_1 + 1}{i_1 \cdot \psi} \cdot (S1)^2 \cdot \frac{N_2}{n_{min1}} \cdot k1 \cdot 1 \cdot 1} = 1.91$$

$$m_{изг1} := \sqrt[3]{\frac{6080}{z_2 \cdot \psi \cdot 0.098 \cdot \sigma_{изг}} \cdot \frac{N_2}{n_{min1}} \cdot k1 \cdot kN \cdot kn10} = 0.14$$

$$m_1 := 2$$

Рисунок 3.7 – Розрахунок модуля в программі MatCAD

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

$$k_{динII} := 1 + \frac{0.245 \cdot V_1}{F_{II}} \cdot \sqrt{\frac{A_{II} \cdot (11 - 5)}{i_1}} = 1.02$$

$$k_{динIII} := 1 + \frac{0.245 \cdot V_2}{F_{III}} \cdot \sqrt{\frac{A_{III} \cdot (11 - 5)}{i_2}} = 1.04$$

$$k_{динIV} := 1 + \frac{0.245 \cdot V_3}{F_{IV}} \cdot \sqrt{\frac{A_{IV} \cdot (11 - 5)}{i_3}} = 1.02$$

$$k_{динV} := 1 + \frac{0.245 \cdot V_4}{F_V} \cdot \sqrt{\frac{A_V \cdot (11 - 5)}{i_4}} = 1.02$$

Оскільки отримані значення $k_{дин} \approx 1$, перевірочний розрахунок модульівне проводиться, спочатку було прийнято $k_{дин} = 1$.

Таблиця 3.4 – Параметри зубчастих коліс

z	m, мм	Σz	$d_d = z \cdot m$, мм	$d_a = (z+2)m$ мм	$d_f = (z-2,5)m$ мм	$b = \psi \cdot m$, мм
Z ₁ = 25 Z ₂ = 30	2	55	d _{d1} = 50 d _{d2} = 60	d _{a1} = 54 d _{a2} = 64	d _{f1} = 45 d _{f2} = 55	14
Z ₃ = 37 Z ₄ = 58 Z ₅ = 53 Z ₆ = 42	2	95	d _{d3} = 74 d _{d4} = 116 d _{d5} = 106 d _{d6} = 84	d _{a3} = 78 d _{a4} = 120 d _{a5} = 110 d _{a6} = 88	d _{f3} = 69 d _{f4} = 111 d _{f5} = 101 d _{f6} = 79	14
Z ₇ = 39 Z ₈ = 61 Z ₉ = 44 Z ₁₀ = 56 Z ₁₁ = 50 Z ₁₂ = 50	2	100	d _{d7} = 78 d _{d8} = 122 d _{d9} = 88 d _{d10} = 112 d _{d11} = 100 d _{d12} = 100	d _{a7} = 82 d _{a8} = 126 d _{a9} = 92 d _{a10} = 116 d _{a11} = 104 d _{a12} = 104	d _{f7} = 73 d _{f8} = 117 d _{f9} = 83 d _{f10} = 107 d _{f11} = 95 d _{f12} = 95	14
Z ₁₃ = 36 Z ₁₄ = 72 Z ₁₅ = 60 Z ₁₆ = 48	2	108	d _{d13} = 72 d _{d14} = 144 d _{d15} = 120 d _{d16} = 96	d _{a13} = 76 d _{a14} = 148 d _{a15} = 124 d _{a16} = 100	d _{f13} = 67 d _{f14} = 139 d _{f15} = 115 d _{f16} = 91	14

3.13 Попереднє визначення діаметра валів коробки швидкостей

При проектному розрахунку визначається діаметр вихідного кінця валу або діаметр під шестернею для проміжних валів. Розрахунок ведеться на чисте кручення за зниженою напругою, що допускається:

$$d = 10 \sqrt[3]{\frac{T_i}{0.2 \cdot [r]}}, \text{ Н}$$

натягом. $[\sigma_{cm}] = 135$ МПа

$$d_{V1} := 25 \quad l_{sh1} := 28 \quad h_1 := 8 \quad t_{11} := 4 \quad b_{V1} := 7$$

$$\sigma_{cm1} := \frac{2 \cdot T_{V1} \cdot 10^3}{d_{V1} \cdot l_{sh1} \cdot (h_1 - t_{11})} = 13.64$$

$$d_{V2} := 38 \quad l_{sh2} := 22 \quad h_2 := 8 \quad t_{12} := 5 \quad b_{V2} := 10$$

$$\sigma_{cm2} := \frac{2 \cdot T_{V2} \cdot 10^3}{d_{V2} \cdot l_{sh2} \cdot (h_2 - t_{12})} = 15.23$$

$$d_{V5} := 40 \quad l_{sh5} := 32 \quad h_5 := 8 \quad t_{15} := 5 \quad b_{V5} := 12$$

$$\sigma_{cm3} := \frac{2 \cdot T_{V4} \cdot 10^3}{d_{V5} \cdot l_{sh5} \cdot (h_5 - t_{15})} = 18.07$$

Рисунок 3.12 – Рохрахунок шпонкових з'єднань в программі MatCAD

Умови міцності на зминання виконуються.

$$\tau_{sr1} := \frac{2 \cdot T_{V1} \cdot 10^3}{d_{V1} \cdot l_{sh1} \cdot b_{V1}} = 7.8$$

$$\tau_{sr2} := \frac{2 \cdot T_{V2} \cdot 10^3}{d_{V2} \cdot l_{sh2} \cdot b_{V2}} = 4.57$$

$$\tau_{sr5} := \frac{2 \cdot T_{V4} \cdot 10^3}{d_{V5} \cdot l_{sh5} \cdot b_{V5}} = 4.52$$

Умова міцності на зріз

[τ_{cp}] вибираємо для середніх умов експлуатації під час посадки з натягом.
[τ_{cp}] = 60 ... 90

Матеріали та допустимі напруги шпонок. Матеріал шпонок – сталь 45 нормалізована, $\sigma_T = 300$ МПа

Допустима напруга змінання в нерухомих з'єднаннях при нереверсивному спокійному навантаженні

$$[\sigma_{cm}] = \sigma_T / [S],$$

причому нормований коефіцієнт безпеки [S] = 1,5 ... 2 по відношенню до межі плинності для найбільш слабкого матеріалу. Значення цих напруг залежно від умов роботи наведено у таблиці 4

Допустима напруга змінання і зсуву для нерухомого шпонкового з'єднання

3.15 Розрахунок шліців

Вибір шліців проводиться виходячи з характеристик валів у паспорті верстата, а також згідно з ГОСТ 1139-80. Оскільки при модернізації верстата ми зменшили його потужність і кількість оборотів майже вдвоє, то розрахунок на міцність можна виробляти. Оскільки раніше верстат розраховувався більш високі показники потужностей.

Таблиця 3.4 – Параметри зубчастих коліс

№ шлиця	№ Вала	D _в , мм	Розміри шпонки, мм	σ_{cm} , МПа
1	II-IV	32	8x32x38x7	260

$$\sigma_t = 540 \text{ МПа};$$

$$t = 290 \text{ МПа};$$

Теоретична частина

Розрахунок на статичну міцність. Перевірку статичної прочності виконують з метою попередження пластичних деформацій в період дії короточасних перевантажень (наприклад, при пуску, розгоні, реверсуванні, гальмуванні, спрацьовуванні запобіжного пристрою).

Розмір навантаження залежить від конструкції передачі (приводу). Так за наявності запобіжної муфти величину навантаження визначає момент, у якому ця муфта спрацьовує. За відсутності запобіжної муфти можливе навантаження умовно приймають рівного навантаження при пуску приводного електродвигуна.

У розрахунку використовують коефіцієнт навантаження $K_p = T_{\max}/T$, де T_{\max} - максимальний короточасний діючий крутний момент (момент перевантаження); T – номінальний (розрахунковий) крутний момент.

Коефіцієнт навантаження вибирається за довідковою таблицею. Для вибраного двигуна:

$$K_p = 2.4.$$

У розрахунку визначають нормальні σ і дотичні напруження напруги в аналізованому перерізі валу при дії максимальних навантажень:

$$\sigma = 10^3 M_{\max}/W + F_{\max}/A; \tau = 10^3 M_{k\max}/W_k,$$

де - $M_{\max} = K_n \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ сумарний згинальний момент, Н·м;

$M_{k\max} = T_{\max} = K_p T$ - крутний момент, Н·м;

$F_{\max} = K_p F$ - осьова сила, Н;

W і W_k - моменти опору перерізу валу при розрахунку на вигин та кручення, мм³;

A - площа поперечного перерізу, мм².

Приватні коефіцієнти запасу міцності по нормальних і дотичних напруг (межі плинності σ_t і τ_t матеріалу)

									Аркуш
									51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВІ 18510193 – 00 ПЗ				



Рисунок 3.14 – Розрахункова схема валу для побудови епюри Mx

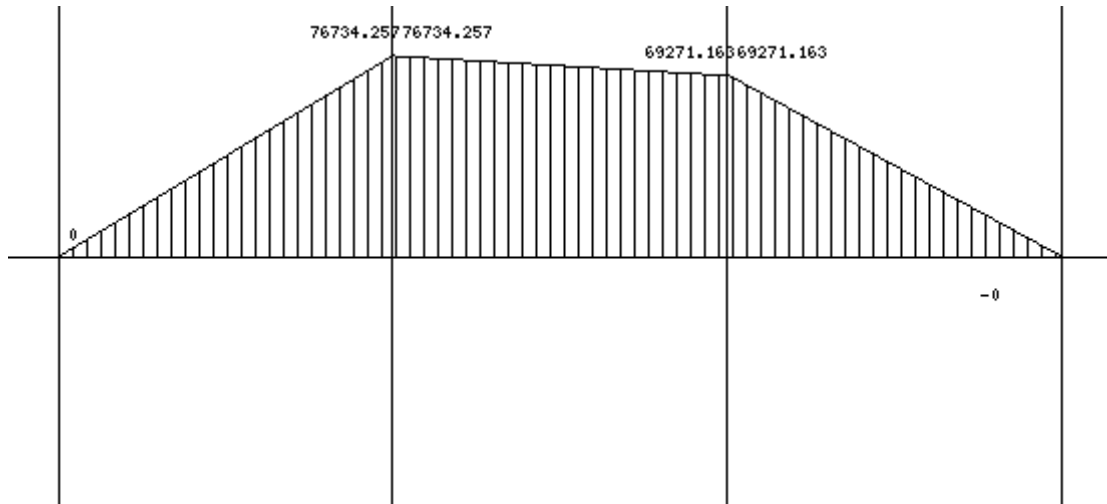


Рисунок 3.15 – Епюра Mx



Рисунок 3.16 – Розрахункова схема валу для побудови епюри My

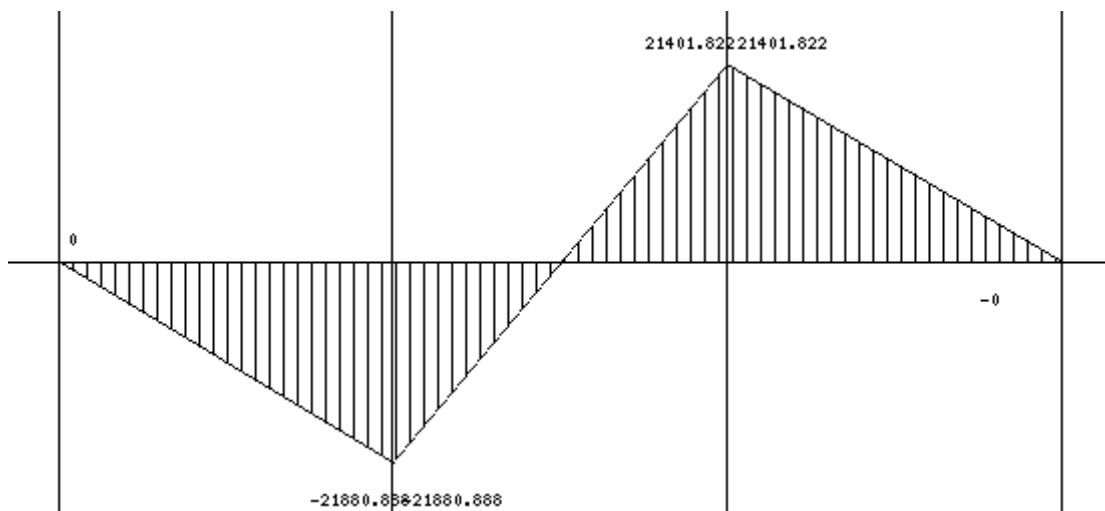


Рисунок 3.17 – Епюра M_y

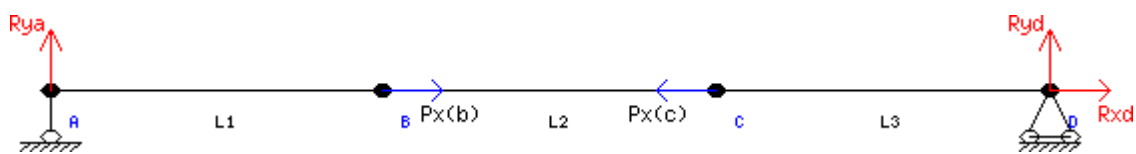


Рисунок 3.18 – Розрахункова схема валу для побудови епюри N

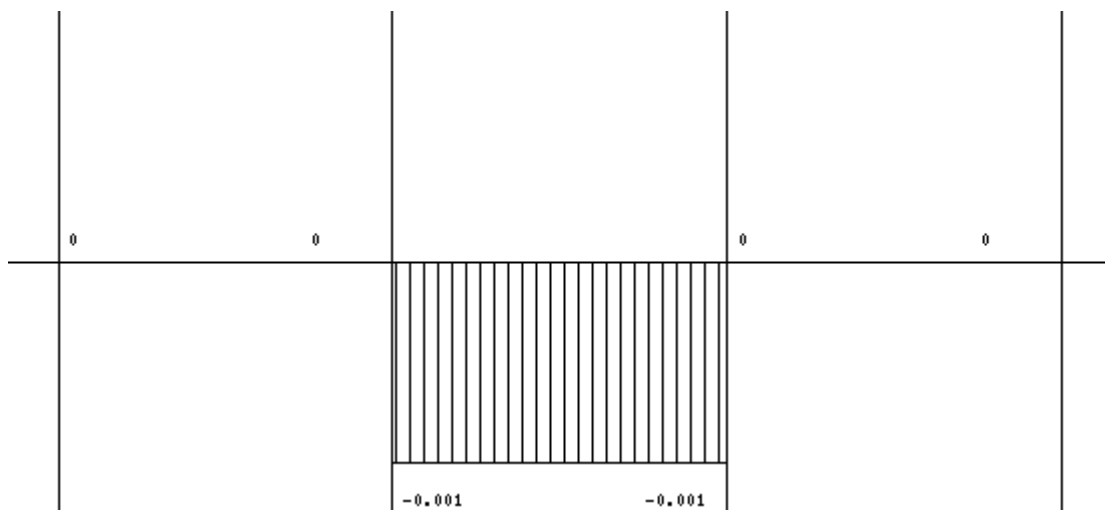


Рисунок 3.19 – Епюра N (осьові фактори)



Рисунок 3.20 – Розрахункова схема валу для побудови епюри $M_{кр}$

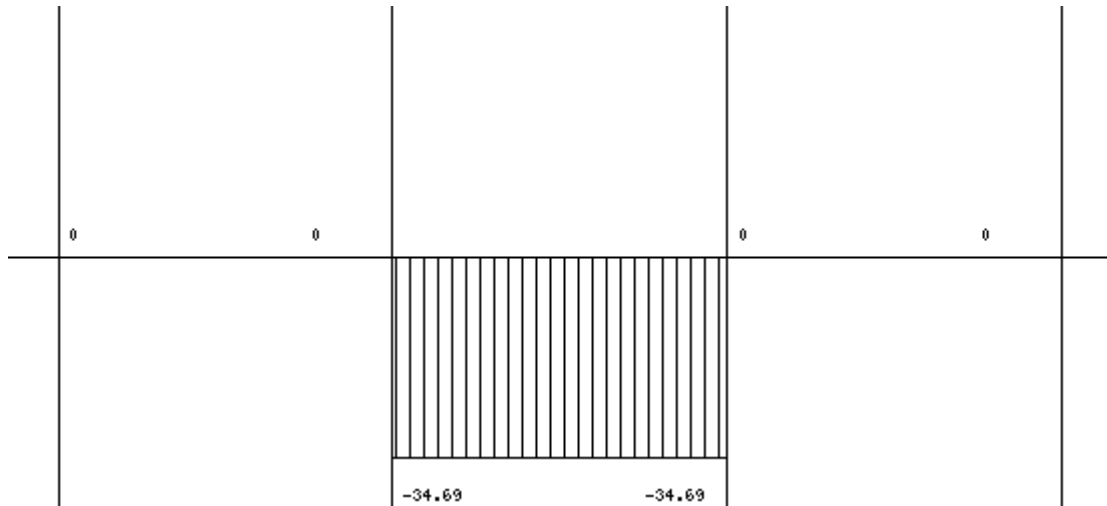


Рисунок 3.21 – Епюра $M_{кр}$

Очевидно, що небезпечним є місце зубчастого зачеплення, в якому діють всі види внутрішніх факторів. Розглянемо його:

$$M_x = 76734 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_y = 21881 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$F = 0 \text{ Н};$$

$$M_k = 35 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\max} = 191502.6 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$F_{\max} = 2.4 \cdot 0 = 0 \text{ Н};$$

$$M_{k\max} = 2.4 \cdot 35 = 84 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Розрахунковий діаметр у перерізі валу-шестірні: $d = 38 \text{ мм}$.

$$W = 5387.05 \text{ мм}^3;$$

$$W_k = 10774.09 \text{ мм}^3;$$

$$A = 1134.11 \text{ мм}^2.$$

$$\sigma = 35.55 \text{ МПа};$$

$$\tau = 7.8 \text{ МПа}.$$

Приватні коефіцієнти запасу:

$$ST_{\sigma} = 15.19;$$

$$ST_{\tau} = 37.18;$$

Загальний коефіцієнт запасу:

$$ST = 14.06.$$

3.17 Розрахунок підшипників

Придатність підшипників визначається зіставленням розрахункової динамічної вантажопідйомності з базової або базової довговічності з необхідною за умовами:

$$C_{гр} \leq C_r \text{ або } L_{10h} \geq L_h.$$

$$\text{Необхідна довговічність підшипника } L_h = 8,4 \cdot 10^3$$

Розрахункова динамічна вантажопідйомність визначається за формулою:

$$C_{гр} = R_E^m \sqrt[5]{573 \cdot \omega \cdot \frac{L_h}{10^6}}$$

де - R_E – еквівалентне динамічне навантаження, Н;

ω – кутова швидкість валу, с⁻¹;

m – показник ступеня, $m = 3$.

$$R_E = V \cdot R_r \cdot K_{\beta} \cdot K_T$$

де - V - Коефіцієнт обертання, $V = 1$ (при обертанні внутрішнього кільця підшипника);

R_r - сумарна реакція підшипника, $R_r = 3259.42\text{Н}$;

K_{β} - коефіцієнт безпеки, $= 1,15$;

K_T – температурний коефіцієнт $= 1$.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 800}{30} = 83,7 \text{ с}^{-1},$$

16 Наявність місця. Немає потреби замінювати шарикопідшипники роликотпідшипниками для економії місця.

17 Температурний діапазон невеликий. Верстат передбачає роботу в критому приміщенні з середньою вологістю і середньою температурою. Теплові деформації валів, внаслідок виділення тепла при зубчастому зачепленні, температурному режимі не значні.

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

ВИСНОВОКИ

В дипломній роботі на основі вихідного універсально фрезерного верстата був проведений його аналіз конструкції та пристроїв. Виконано кінематичний аналіз та розроблено деякі варіанти структурних сіток. Побудований графік частот обертання для оптимальної структурної сітки та розроблена кінематика коробки швидкостей. Також був модифікований привод верстата та зроблені відповідні розрахунки, і розроблені креслення.

Графічна частина роботи представлена на аркушах формату А1 та А3.

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Бушуев, В. В.** Практика конструирования машин : справочник / В. В. Бушуев. – М. : Машиностроение, 2006. – 448 с.
2. **Проников, А. С.** Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Т. 1. Проектирование станков / А. С. Проников и др. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1994. – 356 с.
3. **Пуш, В. Э.** Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. – М. : Машиностроение, 1977. – 390 с.
4. **Кузьмин, А. В.** и др. Расчеты деталей машин : справ. пос. / А. В. Кузьмин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск : Высш. шк., 1986. – 400 с.
5. **Кочергин, А. И.** Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учеб. пос. / А. И. Кочергин. – Минск : Вышэйшая школа, 1991. – 382 с.
6. **Дальский, А. М.** Справочник технолога – машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 944 с.
7. **Орликов, М. Л.** Металлорежущие станки. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пос. / М. Л. Орликов. – К. : Вища школа, 1987. – 152 с.
8. Станок 676. Руководство по эксплуатации.
9. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи “ Кінематичний розрахунок привода металорізальних верстатів ” /Укладач М.М.Коротун. – Суми: Вид – во СумДУ, 2009. – 23 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з теми «Проектування та розрахунки привода верстатів» / укладачі: М.М. Коротун, О.В.Івченко – Суми :Сумський державний університет, 2013. – 35 с

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. **Корсаков, В.С.** Основы конструирования приспособлений / В.С.Корсаков. - М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.

12. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумов. – 3-е издание., перераб. и доп.– М.: Высш. Школа, 1980. – 240 с.

13. **Гжиров, Р. И.** Краткий справочник конструктора: Справочник – Л: Машиностроение, Ленингр. 1983. – 464 с.

14. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 496 с.

15. **Горбачевич, А. Ф., Шкред В. А.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения – Мн.: Выш. Школа, 1983. – 256 с.

16. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 496 с.

17. Методические указания к выполнению контрольной работы по проектированию станочных приспособлений, Г. С. Чумаков - Сумы, СумГУ, 1997 - 34с.

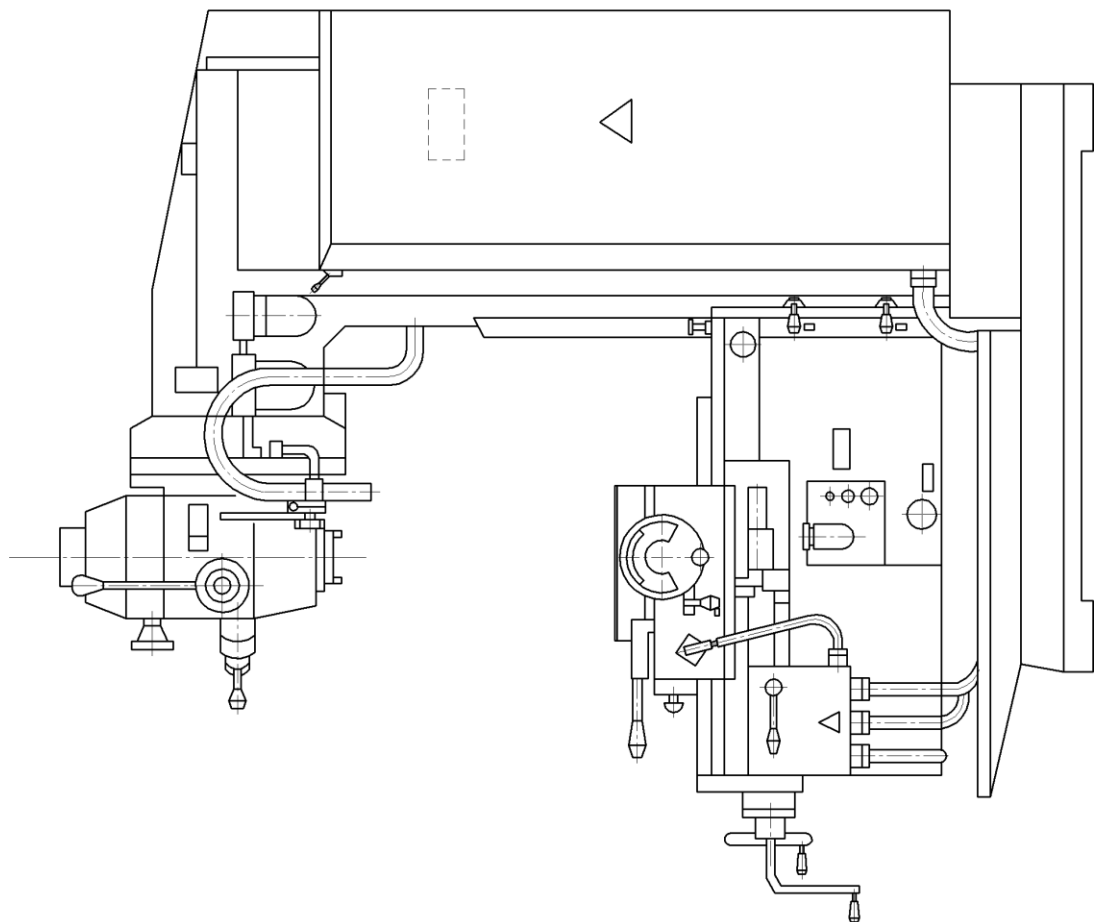
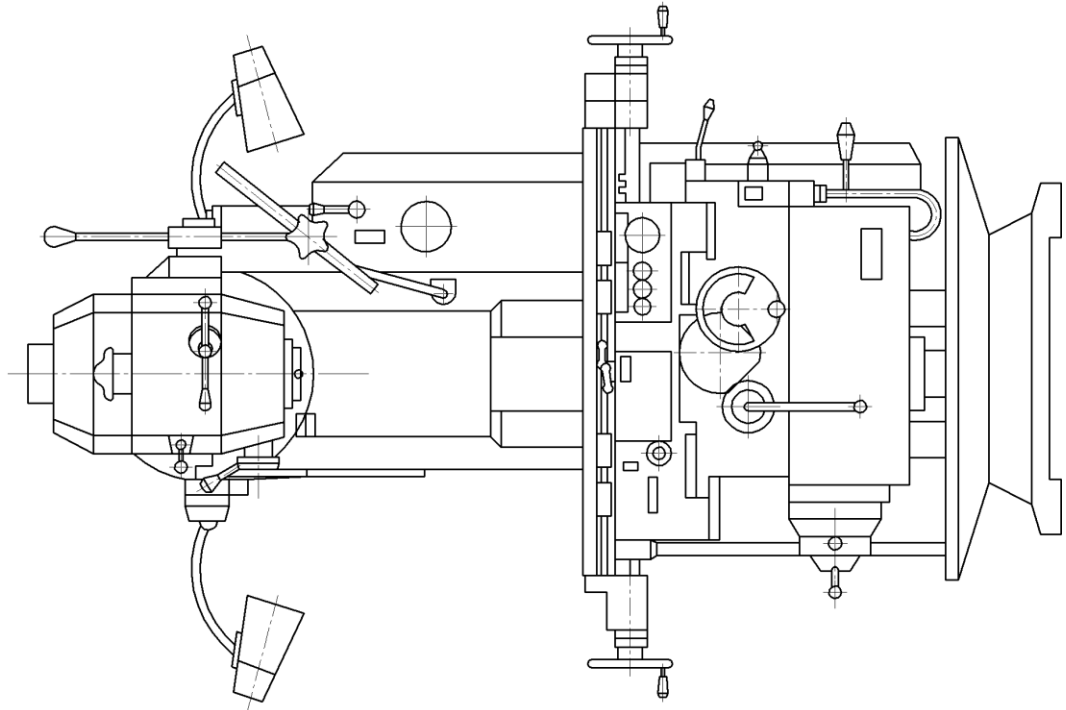
18. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.

19. **Сторож, Б.Д./Карпик Р.Т./Гордеев А.І.** Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ; Хмельницький: ХНУ, 2004. – 230 с.

					ВІ 18510193 – 00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

ДОДАТОК А

(Креслення верстата)



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

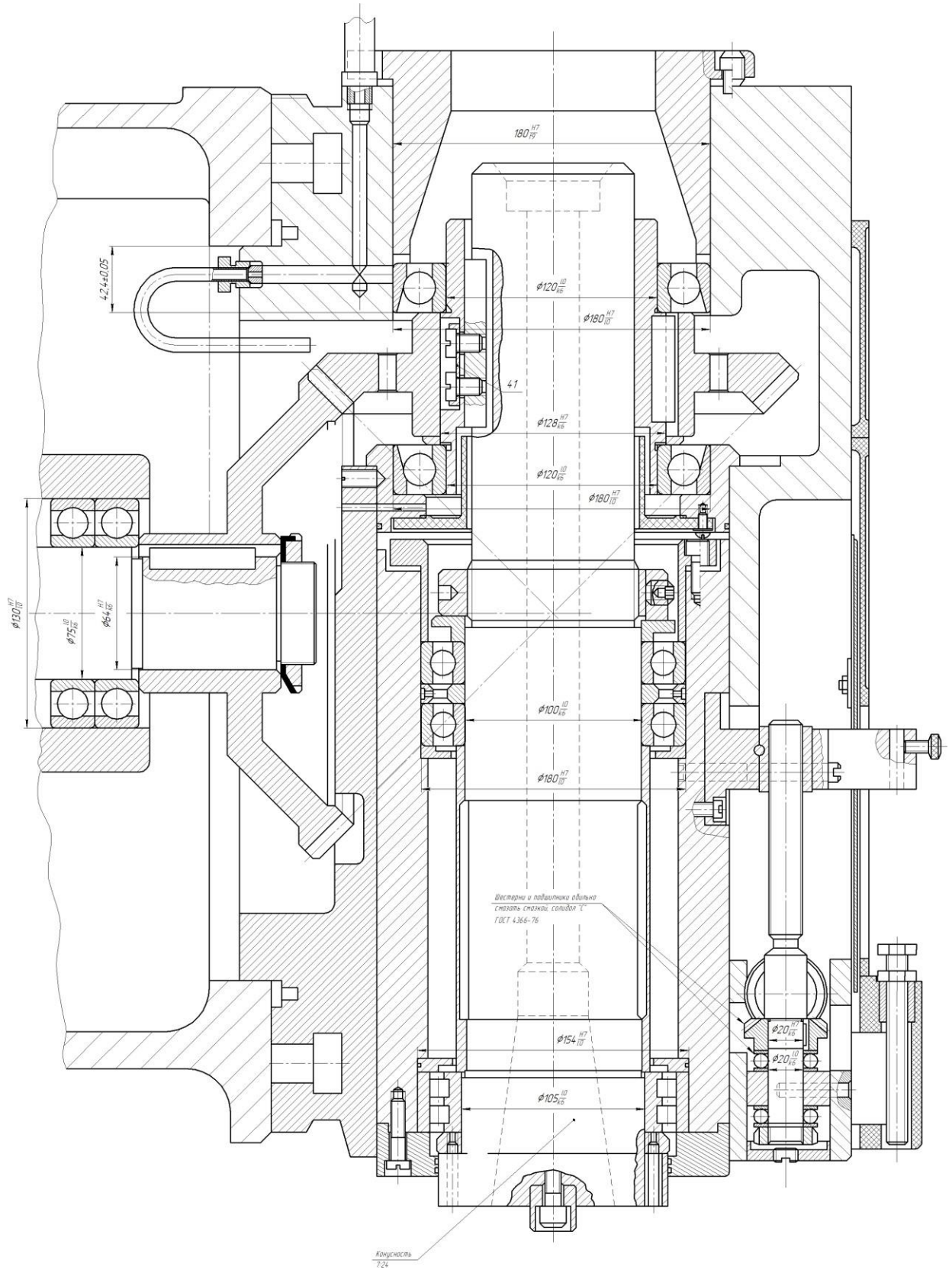
ВІ 18510193 – 00 ПЗ

Аркуш

62

ДОДАТОК Б

(Вузол шпиндельний)



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

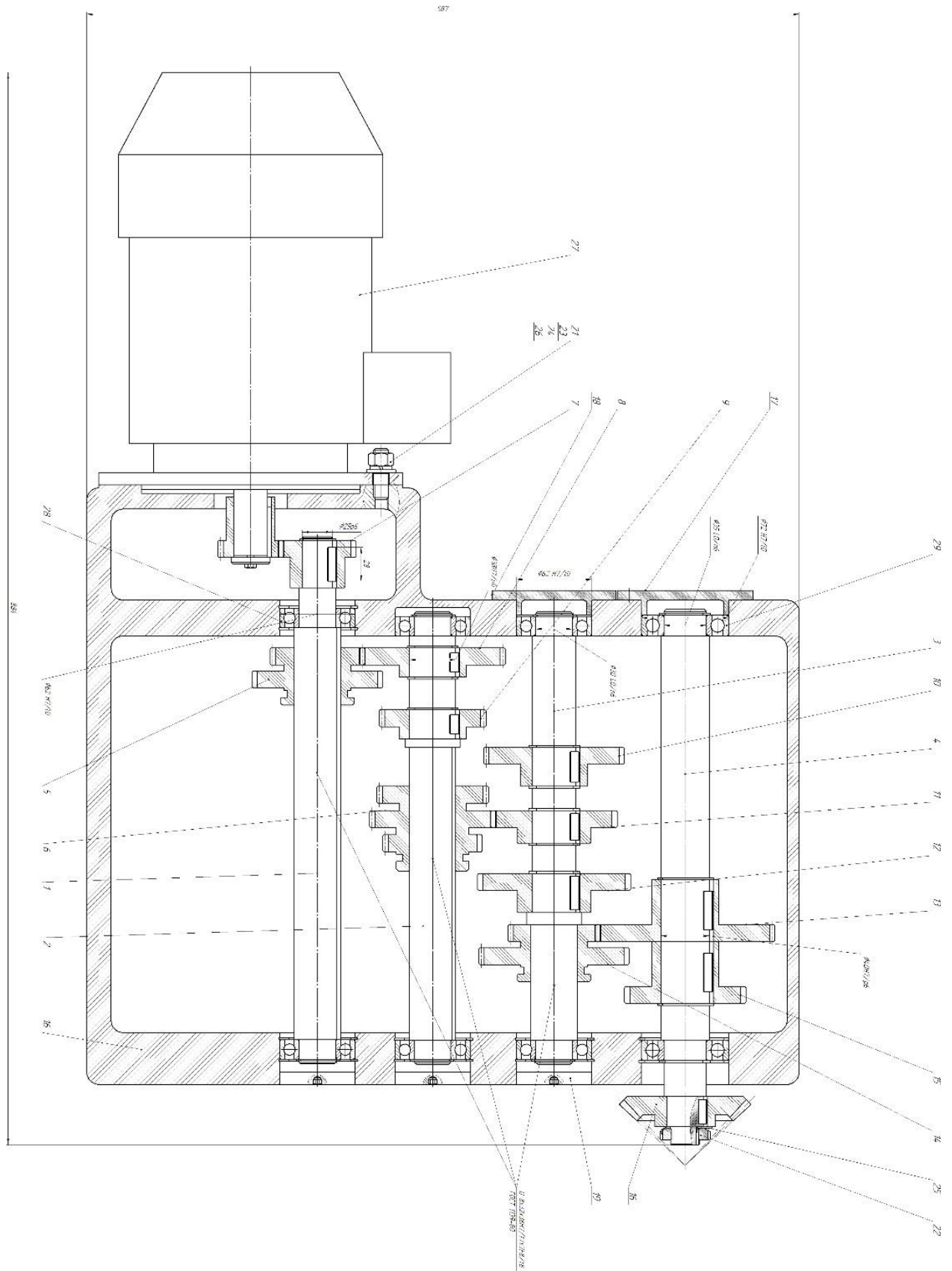
ВІ 18510193 – 00 ПЗ

Аркуш

63

ДОДАТОК В

(Розгортка коробки швидкостей)



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВІ 18510193 – 00 ПЗ

Аркуш

64

ДОДАТОК Д

(специфікація для розгортки коробки швидкостей)

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
						<u>Документація</u>		
						Розгортка коробки швидкостей верстата СФ676		
						<u>Складальні одиниці</u>		
				1		Вал II	1	
				2		Вал III	1	
				3		Вал IV	1	
				4		Вал V	1	
				5		Зубчастий блок z3, z5	1	
				6		Зубчастий блок z7, z9, z11	1	
				7		Зубчасте колесо z2	1	
				8		Зубчасте колесо z4	1	
				9		Зубчасте колесо z6	1	
				10		Зубчасте колесо z8	1	
				11		Зубчасте колесо z10	1	
				12		Зубчасте колесо z12	1	
				13		Зубчасте колесо z14	1	
				14		Зубчасте колесо z13, z15	1	
				15		Зубчасте колесо z16	1	
				16		Конічне зубчасте колесо	1	
				17		Корпус	1	
				18		Кришка	1	
				19		Кришка	1	
						ВІ-18510193-03 СП		
					Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
					Разраб. Солодкий			
					Пров. Довгополов			
					Н.контр. Евтухов			
					Утв. Іванов			
					Розгортка коробки швидкостей			Лист
								Лист
								Листов
								1
								2
								ВІ-81
					Копіював			Формат А4

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВІ 18510193 – 00 ПЗ

Аркуш

66

