

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»  
МОДЕРНІЗАЦІЯ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО  
ВЕРСТАТА З МЕТОЮ РОЗШИРЕННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

Групи: ІМ-41

Гардізон Владислав Андрійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Полінкевич Роман Миколайович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Божко Тетяна Євгенівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2023 року

## АНОТАЦІЯ

Гардізон В.А. Модернізація токарно-гвинторізного верстата з метою розширення технологічних можливостей. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, п'яти розділів, висновків та пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

В даній випускній роботі на тему: “Модернізація токарно-гвинторізного верстата з метою розширення технологічних можливостей” зроблено літературний огляд, в якому наведені загальні відомості про фрезерний верстат.

Проведено аналіз і кінематичний розрахунок приводу головного руху верстата-прототипу і знову розробляється приводу. Зроблені силові розрахунки валів, зубчастих коліс, шліцьових і шпонкових з'єднань, вибрані і розраховані підшипники кочення, гідроциліндри для перемикання частот обертання шпинделя. У пояснювальній записці приведені описи роботи електричної схеми та системи змащення.

Виконаний розділ з охорони праці. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці.

Ключові слова: шпиндель, коробка швидкостей, токарно-гвинторізний верстат, зубчасте колесо, шків, привід.

## ANNOTATION

Gardizon V.A. Modernization of a lathe machine in order to expand technological capabilities. Manuscript.

Bachelor's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, appendices.

In this graduation work on the topic: "Modernization of a lathe machine in order to expand technological capabilities" a literature review is made, which provides general information about the milling machine.

An analysis and kinematic calculation of the drive of the main movement of the prototype machine tool was carried out, and the drive is being developed again. Power calculations of shafts, gears, splined and keyed connections were made, rolling bearings, hydraulic cylinders for switching spindle rotation frequencies were selected and calculated. The explanatory note describes the operation of the electrical circuit and the lubrication system.

Completed section on labor protection. Justification of the relevance of solving labor protection issues.

Key words: spindle, gearbox, screw-turning machine, gear wheel, pulley, drive.

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Редько Р.Г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Гардізону Владиславу Андрійовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Модернізація токарно-гвинторізного верстата з метою розширення технологічних можливостей

Керівник роботи: Полінкевич Роман Миколайович, .к.т.н., доцент кафедри ПМіМ

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 28 » грудня 2022 р. № 986/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Паспорти верстатів. Відгуки підприємств. Відгуки працівників підприємств. Звіт по переддипломній практиці. Технічна документація по токарно-гвинторізних верстатах.

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

Загальний розділ. Аналіз області використання відомих конструкцій універсальних токарно-гвинторізних верстатів. Обґрунтування модернізації токарно-гвинторізного верстата. Кінематичний розрахунок верстата. Розрахунок шпindelного вузла. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу:

Верстат токарно-гвинторізний 1л. – ф.1А; Бабка передня модернізованого верстата (згортка) 1л. – ф.А1; Бабка передня модернізованого верстата (розгортка) 2л – ф.А1; Шпindelний вузол 1л – ф.А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання «22» 11 2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми</i>	<i>25.11.2023р.</i>	
2.	<i>Технічний опис верстата-прототипу</i>	<i>20.12.2022р.</i>	
3.	<i>Розрахунок приводу головного руху</i>	<i>14.01.2023р.</i>	
4.	<i>Конструкторські розрахунки</i>	<i>11.02.2023р.</i>	
5.	<i>Опис конструкцій проєктованого верстата</i>	<i>11.03.2023р.</i>	
6.	<i>Охорона праці</i>	<i>08.04.2023р.</i>	
7.	<i>Формування додатків</i>	<i>22.04.2023р.</i>	
8.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>06.05.2023р.</i>	
9.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>13.05.2023р.</i>	
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>27.05.2023р.</i>	
11.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>01.06.2023р.</i>	
12.			

Здобувач вищої освіти

(підпис)

( Гардізон В.А. )  
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

( Полінкевич Р.М. )  
(прізвище, ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ВЕРСТАТА-ПРОТОТИПУ.....	7
1.1. Призначення і технологічні можливості.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ.....	10
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ.....	19
3.1. Розрахунок крутильних моментів на валах.....	19
3.2. Попередній розрахунок валів на міцність.....	21
3.3. Розрахунок модулів зубчастих коліс.....	22
3.4. Уточнений розрахунок валів.....	25
3.5. Розрахунок шпинделя на міцність.....	42
3.6. Розрахунок шпинделя на жорсткість.....	43
3.7. Розрахунок шліцьових з'єднань.....	45
3.8. Розрахунок шпонкових з'єднань.....	48
3.9. Розрахунок підшипників кочення.....	50
4. ОПИС КОНСТРУКЦІЙ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА .....	54
4.1. Опис конструкції коробки швидкостей.....	54
4.2. Розрахунок механізмів системи управління.....	55
4.3. Опис системи мащення розробленого приводу.....	56
4.4. Опис пристрою автоматичного затиску заготовки.....	58
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
5.1. Забезпечення безпеки праці при експлуатації верстата.....	59
5.2. Вибухопожежонебезпека устаткування.....	63
5.3. Вимоги до розміщення устаткування і організації робочого місця	64
5.4. Параметри мікроклімату.....	64
ВИСНОВОК.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
ДОДАТКИ	

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства. Безперервне вдосконалення і розвиток машинобудування пов'язане з прогресом верстатобудування, оскільки металорізальні верстати разом з деякими іншими видами технологічних машин забезпечують виготовлення будь-яких нових видів устаткування.

Універсальні металорізальні верстати, називають верстатами загального призначення, призначені для виготовлення широкої номенклатури деталей, що обробляються невеликими партіями в умовах дрібносерійного і серійного виробництва.

Вдосконалення сучасних верстатів повинне забезпечувати підвищення швидкостей робочих і допоміжних рухів при відповідному підвищенні потужності приводу головного руху.

Підвищення швидкостей робочих і допоміжних рухів пов'язане з подальшим вдосконаленням приводу верстатів, шпиндельних вузлів, тягових направляючих пристроїв прямолінійного руху.

Сучасні металорізальні верстати забезпечують високу точність оброблених поверхонь. Проте вимоги до точності в машинобудуванні постійно ростуть, і це, у свою чергу, ставить нові завдання перед верстатобудуванням.

Завдання полягає в тому, щоб в результаті корінного вдосконалення технології обробки, створення нових металорізальних верстатів з мікропроцесорним управлінням, верстатних модулів для гнучких виробничих систем забезпечити технічне і організаційне переозброєння усіх галузей машинобудування і на цій основі забезпечити істотне підвищення продуктивності праці.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1

## ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ВЕРСТАТА-ПРОТОТИПУ

### 1.1. Призначення і технологічні можливості

Універсальний токарно-гвинторізний верстат моделі 165 призначений для виконання різноманітних токарних робіт в дрібносерійному і індивідуальному виробництвах, у тому числі для точіння конусів і нарізування різьб: метричною, дюймовою і модульною.

Технічна характеристика і жорсткість верстата дозволяють повністю використовувати можливості швидкорізального і твердосплавного інструменту при обробці чорних і кольорових металів.

Токарно-гвинторізний верстат моделі 165 має традиційне для токарних верстатів компонування (рис. 1.1).

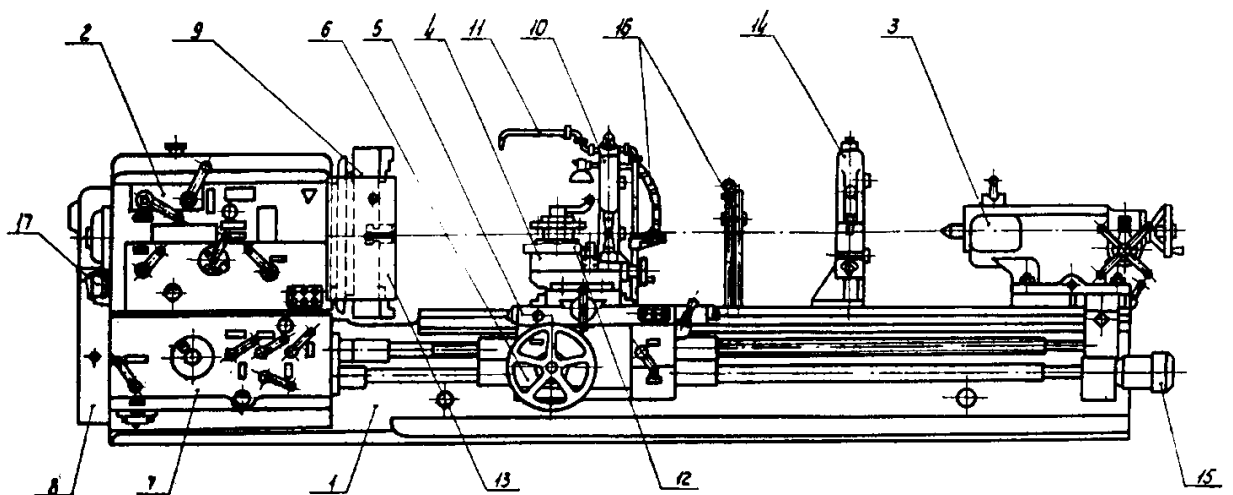


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд верстата з позначенням його складових частин

Електроустаткування верстата призначене для підключення до трифазної мережі змінного струму із заземленим або ізольованим нейтральним дротом.

Технічна характеристика:

Клас точності верстата по ..... Н

Найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною, мм..... 1000

Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм..... 600

Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм ..... 2800, 5000

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Центр в шпинделі передньої бабки по ..... метричний 100  
 Кінець шпинделя по ..... 1-15М  
 Діаметр прутка, що проходить через отвір в шпинделі, мм ..... 80  
 Найбільше переміщення супорта, мм:  
     подовжнє ..... 2520; 4500  
     поперечне ..... 600  
 Швидкість швидкого переміщення супорта, мм/хв.:  
     при подовжньому ході ..... 2,16; 1,53  
     при поперечному ході ..... 0,735; 0,523  
 Найбільше переміщення різцевих салазок, мм ..... 240  
 Число різців, що встановлюються в різцетримачі ..... 4  
 Висота різця, встановленого в різцетримачі, мм ..... 50  
 Кількість швидкостей шпинделя ..... 24  
 Межі частоти обертання шпинделя, про/хв..... 5 - 500  
 Кількість подач ..... 32  
 Межі подач, мм/об:  
     подовжніх ..... 0,20 - 3,05  
     поперечних ..... 0,07 - 1,04  
 Найбільше зусилля різання, що допускається механізмом подач, Н:  
     подовжнє ..... 1200  
     поперечне ..... 780  
 Кроки нарізуваних різьб:  
     метричних, мм..... 1 - 120  
     модульних, модуль ..... 0,5 - 30  
     дюймових, ниток на дюйм..... 28 - 1/4  
 Діаметр отвору в шпинделі, мм ..... 85  
 Електродвигун головного руху:  
     тип ..... АО2-71-4М101  
     потужність, кВт ..... 22  
     число оборотів, хв<sup>-1</sup> ..... 1460  
 Електродвигун швидких переміщень супорта:

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

тип ..... 4AX80B4УЗ

потужність, кВт ..... 1,5

число оборотів, хв<sup>-1</sup> ..... 1400

Охолодження ..... від електронасоса

Електронасос системи охолодження:

тип ..... ПА-22

потужність, кВт ..... 0,12

продуктивність, л/хв..... 22

Рід струму ..... трифазний, змінний, 380 В

Найбільша маса, оброблюваного виробу, кг ..... 5000

Габаритні розміри, мм:

довжина ..... 5825; 8050

ширина ..... 2100

висота ..... 1760

Маса, кг ..... 12500; 15650

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2

### КІНЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ

Вихідні дані:

- число швидкостей шпинделя  $Z = 24$ ;
- структура складена;
- значення знаменника геометричного ряду  $\varphi = 1,26$ ;
- максимальна частота обертання шпинделя  $n_{\max} \approx 1200 \text{ хв}^{-1}$ .

Визначаємо діапазон регулювання

$$R = \varphi^{(Z-1)} \quad (4)$$

$$R = 1,26^{(24-1)} = 1,26^{23} = 203,5$$

Визначаємо мінімальну частота обертання шпинделя:

$$n_{\min} = \frac{n_{\max}}{R} \quad (5)$$

$$n_{\min} = \frac{1200}{203,5} = 5,9 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно для  $\varphi = 1,26$  стандартний ряд частот обертання, починаючи з  $n_{\min}^{cm} = 6 \text{ хв}^{-1}$  має вигляд:

6; 7,5; 9,5; 11,8; 15; 19; 23,6; 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 236;  
300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180  $\text{хв}^{-1}$

Уточнюємо діапазон регулювання

$$R = \frac{n_{\max}^{ст}}{n_{\min}^{ст}} = \frac{1180}{6} = 196,67 \quad (6)$$

Для отримання складеної структури для  $Z = 24$  і  $\varphi = 1,26$  застосовуються наступні структурні формули:

$$\begin{array}{llll} AI - 8; & Z = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (i_n + 2); & BI - 2; & Z = 3 \cdot (i_n + 3 + 2 \cdot 2); \\ BI - 9; & Z = 2 \cdot 2 \cdot (i_n + 2 + 3); & BII - 3; & Z = 2 \cdot (1 + 3 + 2 \cdot 2 \cdot 2); \\ BIII - 2; & Z = 3 \cdot (0 + 2 + 3 \cdot 2); & BIII - 6; & Z = 2 \cdot (0 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 \cdot 2); \\ BIII - 10; & Z = 2 \cdot 2 \cdot (0 + 3 + 3); & BIII - 10; & Z = 2 \cdot 3 \cdot (0 + 2 + 2); \end{array}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$BIII - 11; \quad Z = 2 \cdot 2 \cdot (0 + 2 + 2 \cdot 2).$$

Аналіз структурних формул показує, що складені структури  $BIII - 2$ ;  $Z = 3 \cdot (0 + 2 + 3 \cdot 2)$  і  $BIII - 10$ ;  $Z = 2 \cdot 3 \cdot (0 + 2 + 2)$  мають найменше число зубчастих коліс, валів і зубчастих блоків.

Приймається складена структура  $BIII - 10$  (клас  $B$ , вид  $III$ ); структурна формула –  $Z = 2 \cdot 3 \cdot (0 + 2 + 2)$ , у якої конструктивний порядок в основній групі співпадає з прототипом.

Визначається кількість конструктивних варіантів

$$K_{\text{кон}} = 2 \cdot \frac{m_0!}{q_0!} \cdot \frac{m'!}{q'!} \cdot \frac{m''!}{q''!} \quad (7)$$

де  $m_0, m', m''$  – кількість груп передач відповідно в основній, першій і другій додатковій структурах;

$q_0, q', q''$  – кількість груп передач з однаковою кількістю передач відповідно в основній, першій і другій додатковій структурах.

$$K_{\text{кон}} = 2 \cdot \frac{2!}{1!} \cdot \frac{1!}{1!} \cdot \frac{1!}{1!} = 4$$

Варіанти структур:  $Z = 2 \cdot 3 \cdot (0 + 2 + 2)$ ;  $Z = 3 \cdot 2 \cdot (0 + 2 + 2)$ ;  
 $Z = (0 + 2 + 2) \cdot 2 \cdot 3$ ;  $Z = (0 + 2 + 2) \cdot 3 \cdot 2$

Приймається конструктивний варіант  $Z = 2 \cdot 3 \cdot (0 + 2 + 2)$ , у якого конструктивний порядок в основній групі співпадає з прототипом.

Визначається число кінематичних варіантів

$$K_{\text{кин}} = m_0! \cdot m'! \cdot m''! \quad (8)$$

$$K_{\text{кин}} = 2! \cdot 1! \cdot 1! = 2$$

Це наступні варіанти для вибраного конструктивного варіанту:

$$Z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot (0 + 2_6 + 2_6) \quad \text{і} \quad Z = 2_3 \cdot 3_1 \cdot (0 + 2_6 + 2_6)$$

Найбільш доцільним є перший варіант, в якій кінематичний порядок співпадає з конструктивним варіантом є складена структура.

Призначаються характеристики груп передач

Характеристика основної групи  $X_1 = 1$ .

Характеристика першої перебіркою групи дорівнює числу передач в

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

основній групі

$$X_2 = P_a = 2 \quad (9)$$

Характеристика першої і другої додаткових структур

$$X_3 = X_4 = P_a \cdot P_b = 2 \cdot 3 = 6 \quad (10)$$

де  $P_a$  і  $P_b$  – число передач відповідно в основній і першій перебірній групах.

Структурна формула модернізованого приводу має вигляд

$$Z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot (0 + 2_6 + 2_6)$$

Відповідно до структурної формули будується заздалегідь кінематична схема приводу (рис. 2.1).

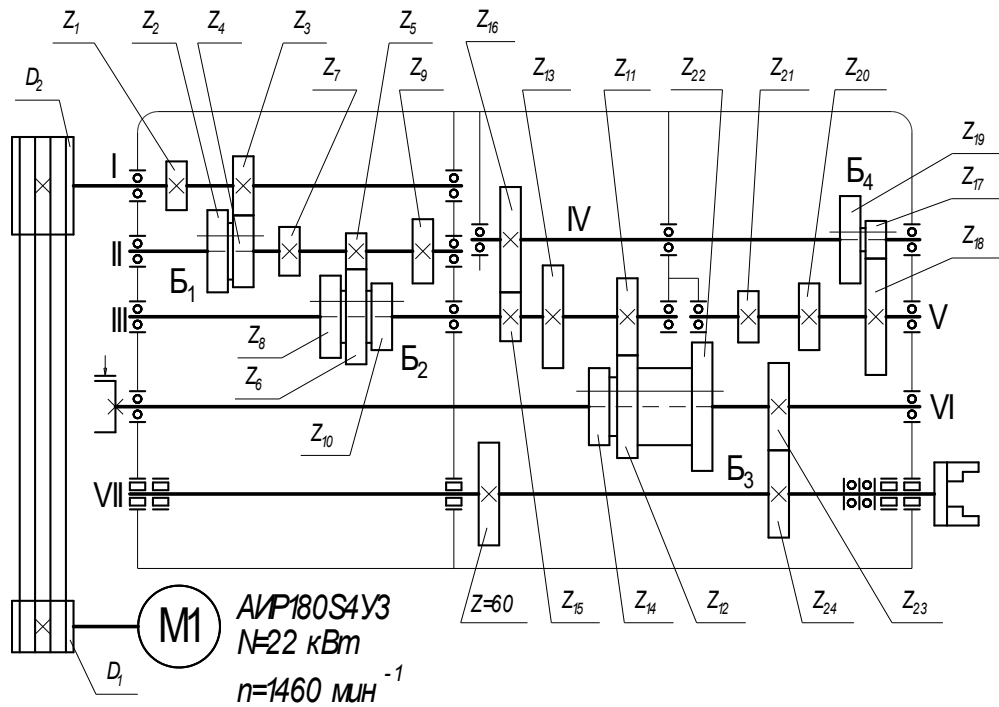


Рисунок – 2.1 Попередня кінематична схема приводу головного руху, що розробляється, із структурою  $Z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot (0 + 2_6 + 2_6)$

На підставі кінематичної схеми і структурної формули будується структурна сітка (рис. 2.2).

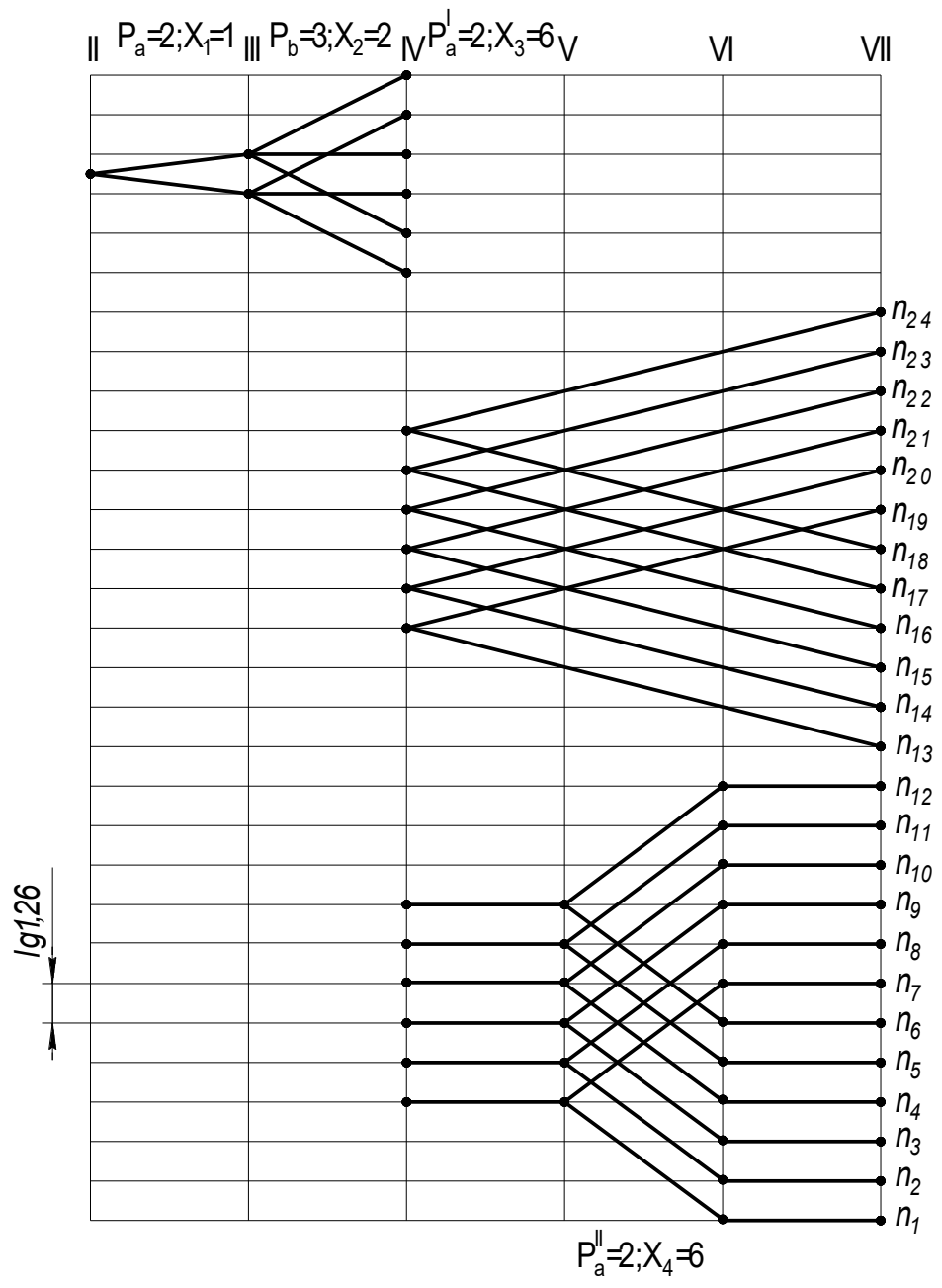


Рисунок – 2.2 Структурна сітка структури  $Z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot (0 + 2_6 + 2_6)$

Вибирається трифазний асинхронний електродвигун АИР180 S 4У3 потужністю  $N = 22$  кВт і частотою обертання  $n_{об} = 1460$  хв<sup>-1</sup>.

Будується графік частот обертання приводу головного руху з розмножувальною структурою  $Z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot (0 + 2_6 + 2_6)$  (рис. 2.3).

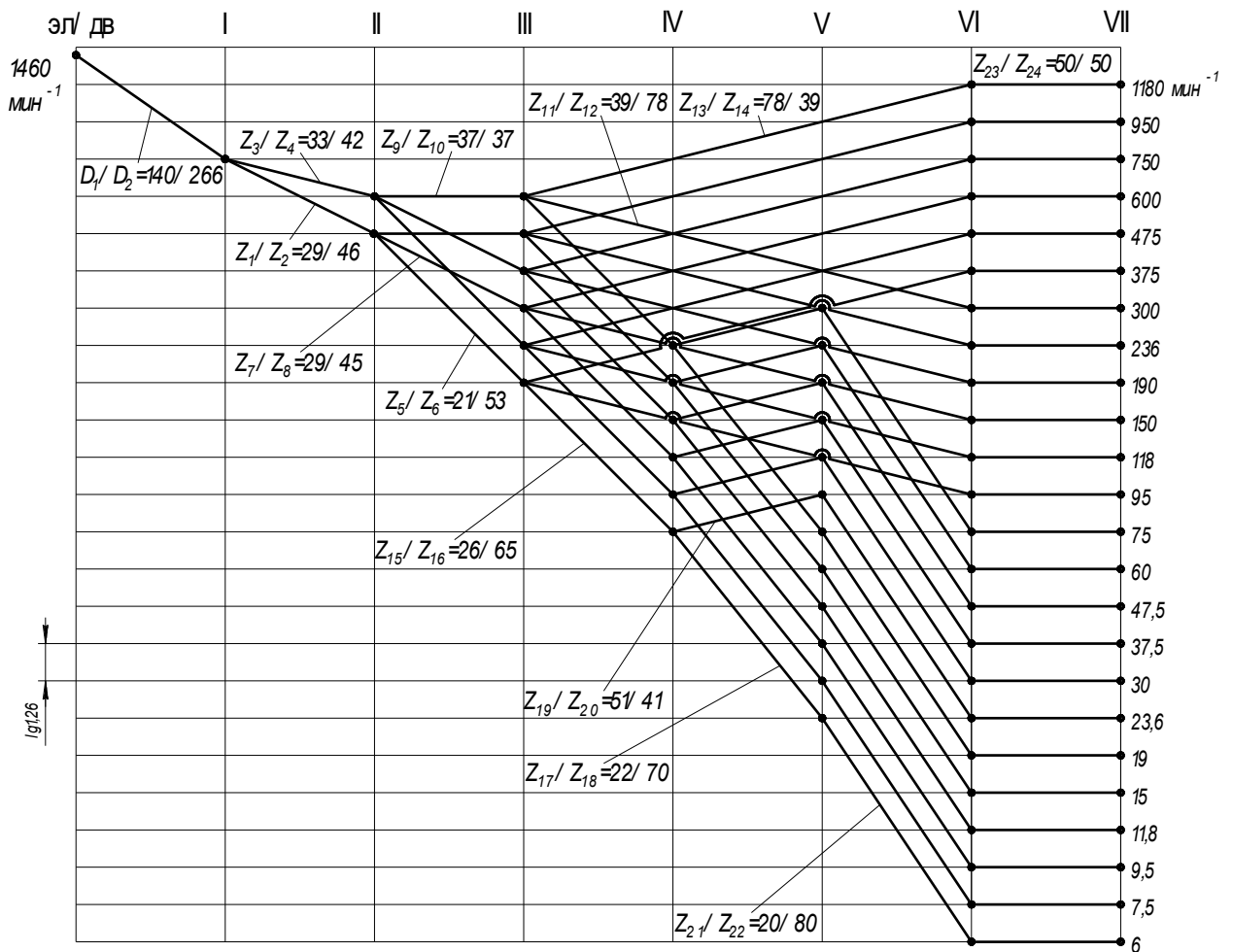


Рисунок – 2.3. Графік частот обертання приводу головного руху із складеною структурою  $Z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot (0 + 2_6 + 2_6)$

Структурна сітка і графік частот обертання модернізованого приводу головного руху зображені на кресленні.

Визначаються граничні значення передавальних стосунків і порівнюються з допустимими значеннями

$$0,25 \leq i \leq 2 \quad (11)$$

$$i_{\min} = \frac{Z_{21}}{Z_{22}} = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{1}{1,26^6} = 0,25; \quad i_{\max} = \frac{Z_{13}}{Z_{14}} = \varphi^3 = 1,26^3 = 2,0$$

Умова виконується.

Визначаються числа зубів зубчастих коліс основної групи основної структури.

Для основної групи основної структури  $P_a = 2_1$

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 = \Sigma Z \quad (12)$$

Приймається  $P_a = 2_1$ .

$Z_2$  визначиться по формулі

$$Z_2 = i_1 \cdot Z_1 = \varphi^2 \cdot Z_1 = 1,26^2 \cdot 29 = 46 \quad (13)$$

$$\Sigma Z = 29 + 46 = 75$$

$Z_3$  визначиться по формулі

$$Z_3 = \frac{\Sigma Z \cdot i_2}{1 + i_2} = \frac{\Sigma Z \cdot \frac{1}{\varphi}}{1 + \frac{1}{\varphi}} = \frac{75 \cdot \frac{1}{1,26}}{1 + \frac{1}{1,26}} = 33,2 \approx 33 \quad (14)$$

$$Z_4 = \Sigma Z - Z_3 = 75 - 33 = 42$$

Для першої перебірної групи основної структури  $P_b = 3_2$

$$Z_5 + Z_6 = Z_7 + Z_8 = Z_9 + Z_{10} = \Sigma Z \quad (15)$$

Приймається  $Z_5 = Z_{\min} = 21$ .

$Z_6$  визначиться по формулі

$$Z_6 = \frac{Z_5}{i_4} = \frac{Z_5}{\left(\frac{1}{\varphi^4}\right)} = \varphi^4 \cdot Z_5 = 1,26^4 \cdot 21 = 52,9 \approx 53 \quad (16)$$

$$\Sigma Z = 21 + 53 = 74$$

$Z_7$  визначиться по формулі

$$Z_7 = \frac{\Sigma Z \cdot i_5}{1 + i_5} = \frac{\Sigma Z \cdot \left(\frac{1}{\varphi^2}\right)}{1 + \left(\frac{1}{\varphi^2}\right)} = \frac{74 \cdot \left(\frac{1}{1,26^2}\right)}{1 + \left(\frac{1}{1,26^2}\right)} = 28,6 \approx 29 \quad (17)$$

$$Z_8 = \Sigma Z - Z_7 = 74 - 29 = 45$$

$Z_9$  визначиться по формулі

$$Z_9 = \frac{\Sigma Z \cdot i_6}{1 + i_6} = \frac{74 \cdot 1}{1 + 1} = 37 \quad (18)$$

$$Z_{10} = \Sigma Z - Z_9 = 74 - 37 = 37$$

Аналогічно визначаються числа зубів в першій і другій додаткових структурах.

Результати розрахунків приведені в таблиці 2.1.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку чисел зубів зубчастих коліс

Передача	Передавальне відношення	Числа зубів	Сума зубів
1	2	3	4
Z1/Z2	1/1,26 <sup>2</sup>	29/46	75
Z3/Z4	1/1,26	33/42	
Z5/Z6	1/1,26 <sup>4</sup>	21/53	74
Z7/Z8	1/1,26 <sup>2</sup>	29/45	
Z9/Z10	1	37/37	
Z11/Z12	1/1,26 <sup>3</sup>	39/78	117
Z13/Z14	1,26 <sup>3</sup>	78/39	
Z15/Z16	1/1,26 <sup>4</sup>	26/65	91
Z17/Z18	1/1,26 <sup>5</sup>	22/70	92
Z19/Z20	1,26	51/41	
Z21/Z22	1/1,26 <sup>6</sup>	20/80	100
Z23/Z24	1	50/50	100

Визначаються діаметри шківів ремінної передачі.

Передавальне відношення ремінної передачі рівне:

$$i_{\text{р.п.}} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{750}{1460} \quad (19)$$

Діаметр меншого шківa  $D_1$  приймається рівним 140 мм.

$$D_2 = D_1 \cdot \frac{1460}{750} = 140 \cdot \frac{1460}{750} = 272,5 \text{ мм}$$

З урахуванням прослизання ременів і погрішностей, що виникають при визначенні чисел зубів приймається  $D_2 = 266$  мм.

Для кожної частоти обертання записуються УКБ, визначаються дійсні частоти обертання і їх відхилення від стандартних по формулі:

$$n = \frac{(n_{\text{дейст.}} - n_{\text{ст.}})}{n_{\text{ст.}}} \cdot 100\% \quad (20)$$

Відхилення не повинні перевищувати допустиме значення рівне:

$$[\Delta n] = \pm 10 \cdot (\varphi - 1), \% \quad (21)$$

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

Результати розрахунків приведені в таблиці 2.2.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків частоти обертання шпинделя

Рівняння кінематичного балансу	$n_{дійств}, \text{XB}^{-1}$	$n_{см}, \text{XB}^{-1}$	$\Delta n, \%$
1	2	3	4
$n_1 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{22}{70} \cdot \frac{20}{80}$	5,9	6	-1,67
$n_2 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{22}{70} \cdot \frac{20}{80}$	7,4	7,5	-1,26
$n_3 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{22}{70} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	9,7	9,5	1,73
$n_4 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{22}{70} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	12,0	11,8	2,08
$n_5 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{22}{70} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	15,0	15	0,00
$n_6 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{22}{70} \cdot \frac{20}{80}$	18,7	19	-1,63
$n_7 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{51}{41} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	23,5	23,6	-0,35
$n_8 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{51}{41} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	29,3	30	-2,30
$n_9 = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{51}{41} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	38,3	37,5	2,00
$n_{10} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{51}{41} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	47,7	47,5	0,36
$n_{11} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{51}{41} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	59,4	60	-1,07
$n_{12} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{26}{65} \cdot \frac{51}{41} \cdot \frac{20}{80} \cdot \frac{50}{50}$	74,0	75	-1,37
$n_{13} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{39}{78} \cdot \frac{50}{50}$	94,5	95	-0,49
$n_{14} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{39}{78} \cdot \frac{50}{50}$	117,8	118	-0,15
$n_{15} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{39}{78} \cdot \frac{50}{50}$	153,8	150	2,50
$n_{16} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{39}{78} \cdot \frac{50}{50}$	191,6	190	0,86
$n_{17} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{39}{78} \cdot \frac{50}{50}$	238,6	236	1,10
$n_{18} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{39}{78} \cdot \frac{50}{50}$	297,4	300	-0,88
$n_{19} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{78}{39} \cdot \frac{50}{50}$	378,1	375	0,84
$n_{20} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{21}{53} \cdot \frac{78}{39} \cdot \frac{50}{50}$	471,3	475	-0,78

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

041Б-23.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

17

$n_{21} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{78}{39} \cdot \frac{50}{50}$	615,0	600	2,50
$n_{22} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{29}{45} \cdot \frac{78}{39} \cdot \frac{50}{50}$	766,5	750	2,20
$n_{23} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{29}{46} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{78}{39} \cdot \frac{50}{50}$	954,3	950	0,46
$n_{24} = 1460 \cdot \frac{140}{266} \cdot 0,985 \cdot \frac{33}{42} \cdot \frac{37}{37} \cdot \frac{78}{39} \cdot \frac{50}{50}$	1189,4	1180	0,80

Висновок: як видно з таблиці, відхилення усіх частот обертання не виходять за граничні значення  $[\Delta n] = \pm 2,6\%$ ; зубчасті колеса підібрані правильно.

Кінематична схема в остаточному виді представлена на рис. 2.4.

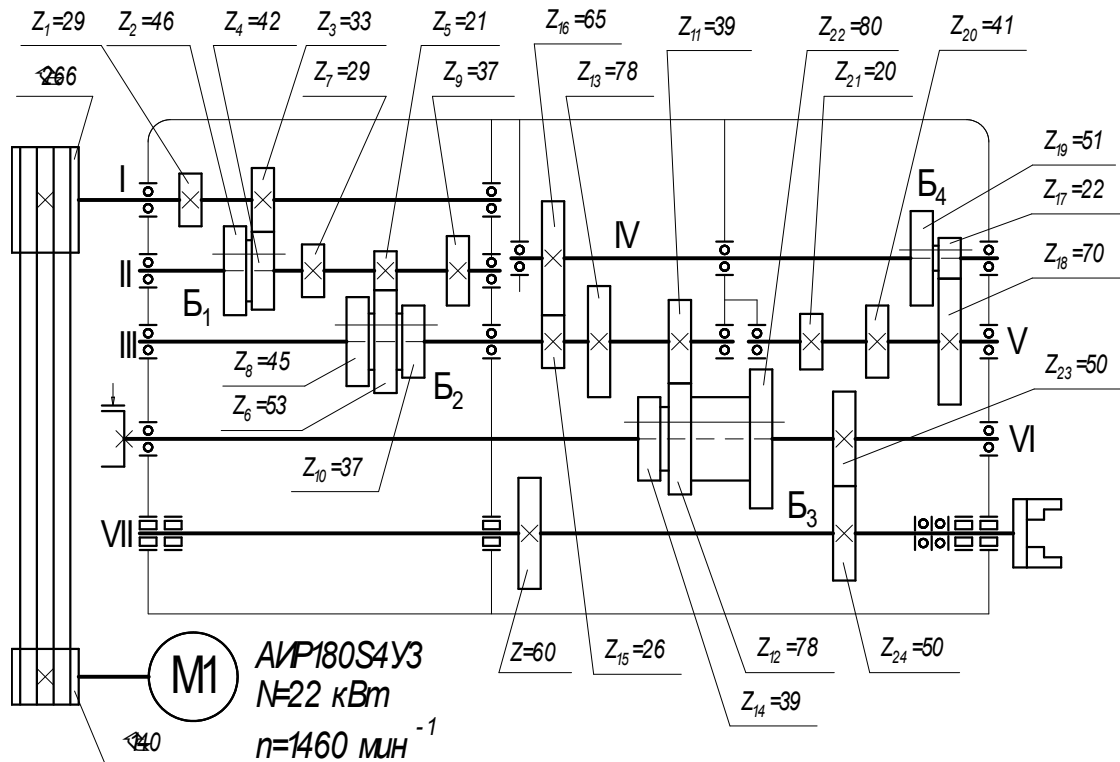


Рисунок 2.4 Остаточна кінематична схема приводу головного рухи із

$$\text{складеною структурою } Z = z_1 \cdot z_2 \cdot (0 + z_6 + z_6) = 24$$

## РОЗДІЛ 3

### КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

#### 3.1 Розрахунок крутильних моментів на валах

У токарних верстатах на рух подачі витрачається 3...4% від потужності головного руху верстата, а інша потужність йде на привід головного руху. Тоді потужність приводу головного руху визначиться як:

$$N_{дв} = N_{гл.дв} + N_{под}, \text{ кВт}; \quad (22)$$

$$N_{дв} = N_{гл.дв} + 0,04 \cdot N_{эл/дв} = 1,04 \cdot N_{гл.дв}, \text{ кВт};$$

$$N_{гл.дв} = \frac{N_{дв}}{1,04}, \text{ кВт}; \quad N_{гл.дв} = \frac{N_{дв}}{1,04} = \frac{22}{1,04} = 21,15 \text{ кВт}.$$

Потужність на валу електродвигуна

$$N_{эл/дв} = N_{гл.дв} = 21,15 \text{ кВт}$$

Потужність, що передається валом коробки швидкостей, визначається по формулі:

$$N_i = N_{гл.дв.i} \cdot \eta_i, \text{ кВт} \quad (23)$$

де  $\eta_i$  – ККД ділянки кінематичного ланцюга, рівний добутку ККД окремих елементів приводу, розташованих між двигуном і валом, що розраховується.

$$\eta_i = \eta_{р.п.} \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{п.ш.}, \quad (24)$$

де  $\eta_{р.п.} = 0,985$  – ККД ремінної передачі;

$\eta_{з.п.} = 0,97$  – ККД зубчастої передачі;

$\eta_{п.ш.} = 0,99$  – ККД пари підшипників кочення.

$$N_1 = N_{эл/дв} \cdot \eta_{р.п.} \cdot \eta_{п.ш.} = 21,15 \cdot 0,985 \cdot 0,99 = 20,63 \text{ кВт};$$

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{п.ш.} = 20,63 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 19,81 \text{ кВт};$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{п.ш.} = 19,81 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 19,02 \text{ кВт};$$

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{п.ш.} = 19,02 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 18,27 \text{ кВт};$$

$$N_5 = N_4 \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{п.ш.} = 18,27 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 17,54 \text{ кВт};$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_6 = N_5 \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{н.ш.} = 17,54 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 16,85 \text{ кВт};$$

$$N_7 = N_6 \cdot \eta_{з.п.} \cdot \eta_{н.ш.} = 16,85 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 16,18 \text{ кВт}.$$

Розрахункове значення частоти обертання:

$$n_{\text{расч}} = n_{\text{min}} \cdot \sqrt[4]{R}, \quad \text{хв}^{-1}, \quad (25)$$

де  $n_{\text{min}}$  – мінімальна частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$R$  – діапазон регулювання.

По довгому кінематичному ланцюгу  $n_{\text{min}}^{\text{дл}} = n_1 = 6 \text{ хв}^{-1}$

$$n_{\text{расч}}^{\text{дл}} = 6 \cdot \sqrt[4]{196,67} = 22,5 \text{ хв}^{-1}.$$

Розрахункове значення округляється до найближчого стандартного значення:

$$n_{\text{ст}}^{\text{дл}} = 23,6 \text{ хв}^{-1}.$$

Розрахунок числа оборотів валів коробки швидкостей ведеться по нижній гілці ГЧВ:

$$n_7 = n_6 = 23,6 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_5 = n_4 = \varphi^5 \cdot n_6 = \varphi^5 \cdot 23,6 = 75 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_3 = \varphi^4 \cdot n_4 = 1,26^4 \cdot 75 = 190 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_2 = \varphi^4 \cdot n_3 = 1,26^4 \cdot 190 = 475 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_1 = \varphi^2 \cdot n_2 = 1,26^2 \cdot 475 = 750 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{\text{эл/дв}} = n_1 \cdot \frac{266}{140} = 750 \cdot \frac{266}{140} = 1460 \text{ хв}^{-1}.$$

Крутильний момент відносно осі будь-якого валу коробки швидкостей визначається по формулі:

$$M_{\text{кри}} = 9558 \cdot \frac{N_i}{n_i}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (26)$$

де  $N_i$  – передавана потужність даного валу коробки швидкостей, кВт;

$n_i$  – частота обертання даного валу коробки швидкостей,  $\text{хв}^{-1}$ .

Силовий розрахунок основних елементів даного приводу ведеться виходячи з крутильних моментів відповідають розрахунковій частоті обертання шпинделя.

Крутильні моменти на валах коробки швидкостей:

$$M_{\text{кр1}} = 9558 \cdot \frac{20,63}{750} = 262,9 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{кр2}} = 9558 \cdot \frac{19,81}{475} = 398,6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$M_{кр3} = 9558 \cdot \frac{19,02}{190} = 956,8 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр4} = 9558 \cdot \frac{18,27}{75} = 2328,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр5} = 9558 \cdot \frac{17,54}{75} = 2235,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр6} = 9558 \cdot \frac{16,85}{23,6} = 6824,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр7}^{\partial л} = 9558 \cdot \frac{16,18}{23,6} = 6552,9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

### 3.2 Попередній розрахунок валів на міцність

Попередній розрахунок валів роблять тільки на кручення, оскільки на цьому етапі проектування неможливо визначити згинальні моменти від сил, діючих на вали з причини невизначеності положення зубчастих коліс і опор на валах.

Попередній розрахунок валів на кручення ведеться по зниженій допустимій напрузі на кручення при розрахунковій частоті обертання шпинделя:

$$n_{ст}^{\partial л} = 23,6 \text{ хв}^{-1}$$

Виходячи з рекомендацій, діаметр валу визначається по формулі:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{M_{кри}}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000, \text{ мм} \quad (27)$$

де  $M_{кри}$  – крутильний момент на  $i$  – му валу, Н·м;

$[\tau]$  – допустима напруга на кручення, представлена в таблиці 3.1, Н/м<sup>2</sup>.

Таблиця 3.1 – Допустима напруга на кручення

Допустима напруга на кручення для проекрованої коробки швидкостей Номер валу	Допустима напруга на кручення, Н/м <sup>2</sup>
I	$12 \cdot 10^6$
II	$12 \cdot 10^6$
III	$18 \cdot 10^6$
IV	$18 \cdot 10^6$
V	$18 \cdot 10^6$
VI	$23 \cdot 10^6$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{M_{кр1}}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000 = \sqrt[3]{\frac{262,9}{0,2 \cdot 12 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 47,8 \text{ мм};$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{M_{кр2}}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000 = \sqrt[3]{\frac{398,6}{0,2 \cdot 12 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 55,0 \text{ мм};$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{M_{кр3}}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000 = \sqrt[3]{\frac{956,8}{0,2 \cdot 18 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 64,3 \text{ мм};$$

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{M_{кр4}}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000 = \sqrt[3]{\frac{2328,3}{0,2 \cdot 18 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 86,5 \text{ мм};$$

$$d_5 = \sqrt[3]{\frac{M_{кр5}}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000 = \sqrt[3]{\frac{2235,3}{0,2 \cdot 18 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 85,3 \text{ мм};$$

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{M_6}{0,2 \cdot [\tau]}} \cdot 1000 = \sqrt[3]{\frac{6824,3}{0,2 \cdot 23 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 114,1 \text{ мм};$$

Розрахункові діаметри валів округляються до нормальних лінійних розмірів:

$$d_1 = 50 \text{ мм}; d_2 = 56; d_3 = 65 \text{ мм}; d_4 = 85 \text{ мм}; d_5 = 85 \text{ мм}; d_6 = 115 \text{ мм}.$$

### 3.3 Розрахунок модулів зубчастих коліс

Розрахунок в групових передачах підлягають найбільш навантажені зубчасті передачі. Заздалегідь визначається орієнтовне значення модуля по контактній напрузі і напрузі вигину.

Модуль по напрузі вигину розраховується по формулі:

$$m_i = K_m \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кpi} \cdot K_{FB}}{z_i^2 \cdot \psi_{bd} \cdot \sigma_{FP}}} \cdot Y_{Fi}, \text{ мм}$$

де  $K_m = 14$  – допоміжний коефіцієнт;

$M_i$  – передаваний крутильний момент, Н·м;

$K_{FB} = 1$  – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця;

$Y_{Fi}$  – коефіцієнт, що враховує форму зуба і залежний від числа зубів ;

$z_i$  – число зубів шестерні;

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\psi_{bd} = \frac{b}{d_1} = 0,4 \text{ – допоміжний параметр;}$$

$b$  – ширина зубчастого вінця, мм;

$d_1$  – ділительний діаметр шестерні, мм;

$\sigma_{FP}$  – допустима напруга вигину, МПа.

Допустима напруга вигину при реверсивній роботі обома сторонами зубів визначається по формулі:

$$\sigma_{FP} = K_p \cdot \frac{\sigma_{F\lim}^0}{S_F}, \text{ МПа} \quad (29)$$

де  $K_p = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує реверсивну роботу;

$\sigma_{F\lim}^0$  – межа тривалої витривалості матеріалу шестерні, МПа;

$S_F$  – коефіцієнт безпеки.

Для виготовлення шестерень і зубчастих коліс застосовується сталь 20Х.

Для сталі 20Х, підданій цементації має твердість зубів:

- на поверхні – 57...62 HRC;

- у серцевині – 32...45 HRC.

$$\sigma_{F\lim}^0 = 950 \text{ МПа; } S_F = 1,55; \quad \sigma_{FP} = 0,8 \cdot \frac{950}{1,55} = 490,3 \text{ МПа}$$

Для валу I  $Z_{\min} = Z_1 = 29$ ;  $Y_{FI} = 3,8$

$$m_I = 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{262,9 \cdot 1,0 \cdot 3,8}{29^2 \cdot 0,4 \cdot 490,3}} = 2,6 \text{ мм}$$

Приймається  $m_I = 3,0$  мм;  $b = 25$  мм.

Тоді  $d_1 = m_I \cdot Z_1 = 3 \cdot 29 = 87$  мм. (30)

$$\psi_{bd} = \frac{25}{87} = 0,287$$

Визначається напруга вигину для циліндричної передачі і порівнюється з допустимим.

З формули (28)

$$\sigma_F = K_m^3 \cdot \frac{M_i \cdot K_{FB} \cdot Y_{Fi}}{z_i^2 \cdot \psi_{bd} \cdot m^3}, \text{ МПа}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для валу I

$$\sigma_{FII} = 14^3 \cdot \frac{262,9 \cdot 1 \cdot 3,8}{29^2 \cdot 0,287 \cdot 3^3} = 420,1 \text{ МПа} < 490,3 \text{ МПа}$$

Перевіряється вибраний модуль по контактній напрузі.

Контактна напруга, що допускається, визначається по формулі:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H\lim 2}^0}{S_H}, \text{ МПа} \quad (31)$$

де  $\sigma_{H\lim 2}^0$  – межа тривалої витривалості шестерні, МПа;

$S_H$  – коефіцієнт безпеки.

Для сталі 20Х, підданій цементації має твердість зубів:

- на поверхні – 57...62 HRC

- у серцевині – 32...45 HRC.

$$\sigma_{H\lim 2}^0 = 23 \cdot HRC \text{ МПа}, S_H = 1,1 \quad \sigma_{HP} = \frac{23 \cdot 57}{1,1} = 1191,8 \text{ МПа}$$

Контактна напруга визначається по формулі:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{K_d^3 \cdot M_{kpi} \cdot K_{HB} \cdot (u+1)}{z_1^3 \cdot \psi_{bd} \cdot u^2 \cdot m^3}}, \text{ МПа} \quad (32)$$

де  $K_d = 770$  – допоміжний коефіцієнт;

$K_{HB} = 1,1$  – коефіцієнт, що враховує розташування зубчастих коліс на валу відносно опор;

$u$  передавальне число.

Для валу I

$$\sigma_{HII} = \sqrt{\frac{770^3 \cdot 262,9 \cdot 1,1 \cdot (46/29 + 1)}{29^3 \cdot 0,287 \cdot (46/29)^2 \cdot 3^3}} = 847,4 \text{ МПа} < 1191,8 \text{ МПа}$$

Результати розрахунку усіх інших передач наводяться у вигляді таблиці 3.2.

Допускається перевищення розрахункової допустимої напруги допускається в межах 5%.

Перевищення допустимої розрахункової напруги вигину допускається для V валу

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\Delta\sigma_F = \frac{\sigma_F - \sigma_{FP}}{\sigma_{FP}} \cdot 100\% = \frac{510,7 - 490,3}{490,3} \cdot 100\% = 4,2\% < 5\% \quad (33)$$

Умова виконується.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку валів

Номери валів	Число зубів розрахованої шестерні	Число зубів розв'язаного колеса	Ширина зубчастого вінця колеса $b_2$ , мм	Крутильний момент на шестерні $M_i$ , Н·м	Розрахункова контактна напруга $\sigma_H$ , МПа	Допустима контактна напруга $\sigma_{HP}$ , МПа	Розрахункова напруга вигину зубів $\sigma_F$ , МПа	Допустима напруга вигину зубів $\sigma_{FP}$ , МПа	Розрахунковий модуль для груп передач, мм	Прийнятний модуль для груп передач, мм
I	29	46	25	262,9	847,4	1191,8	420,1	490,3	2,6	3,0
I	21	53	30	398,6	723,3		442,7		3,7	4,0
III кор	39	78	50	956,8	362,8		138,4		3,9	6,0
III дл	26	65	40		450,4		201,4		4,3	7,0
IV	22	70	50	2328,3	608,5		439,6		6,5	7,0
V	20	80	50	2235,3	598,3		510,7		7,1	7,0
VI	50	50	50	6824,3	925,6		428,4		7,6	8,0

### 3.4 Уточнений розрахунок валів

Розраховуємо зусилля, діючі в передачах. Для циліндричних прямозубих передач окружна  $P$  і радіальна  $T$  складові діючої в зачепленні сили, відповідно рівні:

$$P_i = \frac{2 \cdot M_{kpi}}{d_i}, \text{ Н} \quad (34)$$

де  $M_{kpi}$  – крутильний момент на валу, що розраховується, Н·м;

$d_i$  – діаметр початкового кола зубчастого колеса, встановленого на валу, що розраховується, м.

$$T_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ Н} \quad (35)$$

де  $\alpha$  – кут зачеплення, град (для прямозубих коліс  $\alpha = 20^\circ$ ).

Схема згортки валів коробки швидкостей з передачами, що чинять найбільший вплив на деформацію валів, приводиться на рис. 3.1.

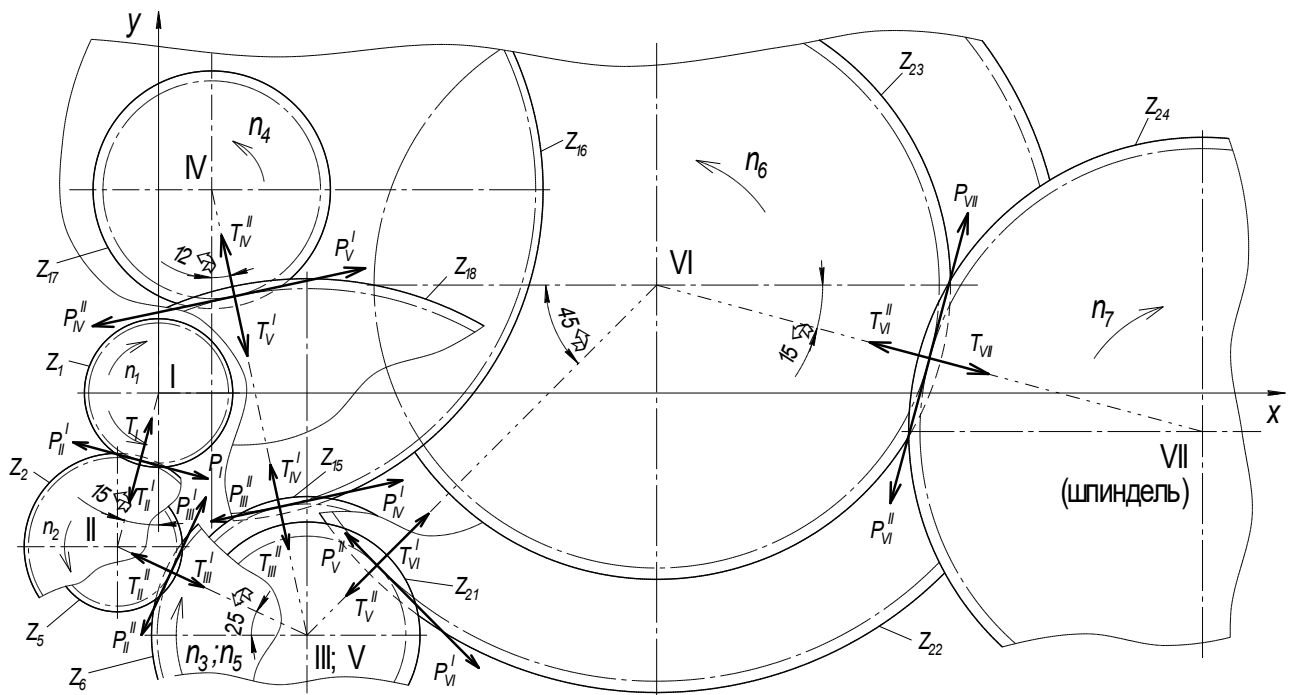


Рисунок – 3.1 Схема згортки валів коробки швидкостей

Вал I

$$P_I = \frac{2 \cdot M_{кр1}}{d_1} = \frac{2 \cdot M_{кр1}}{Z_1 \cdot m} = \frac{2 \cdot 262,9}{29 \cdot 3,0 \cdot 10^{-3}} = 6043,7 \text{ Н.}$$

$$T_I = P_I \cdot \operatorname{tg} \alpha = 6043,7 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 2199,7 \text{ Н.}$$

Вал II

$$P'_{II} = \frac{2 \cdot M_{кр2}}{d_2} = \frac{2 \cdot 398,6}{46 \cdot 3,0 \cdot 10^{-3}} = 5776,8 \text{ Н.}$$

$$T'_{II} = P'_{II} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 5776,8 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 2102,6 \text{ Н.}$$

$$P''_{II} = \frac{2 \cdot M_{кр2}}{d_5} = \frac{2 \cdot 398,6}{21 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}} = 8436,0 \text{ Н.}$$

$$T''_{II} = P''_{II} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 8436,0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 3070,4 \text{ Н.}$$

Вал III

									041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						26

$$P'_{III} = \frac{2 \cdot M_{кр3}}{d_6} = \frac{2 \cdot 956,8}{53 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}} = 8023,5 \text{ Н.}$$

$$T'_{III} = P'_{III} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 8023,5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 2920,3 \text{ Н.}$$

$$P''_{III} = \frac{2 \cdot M_{кр3}}{d_{15}} = \frac{2 \cdot 956,8}{26 \cdot 8,0 \cdot 10^{-3}} = 9200,0 \text{ Н.}$$

$$T''_{III} = P''_{III} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 9200,0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 3348,5 \text{ Н.}$$

Вал IV

$$P'_{IV} = \frac{2 \cdot M_{кр4}}{d_{16}} = \frac{2 \cdot 2328,3}{65 \cdot 8,0 \cdot 10^{-3}} = 8955,0 \text{ Н.}$$

$$T'_{IV} = P'_{IV} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 8955,0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 3259,4 \text{ Н.}$$

$$P''_{IV} = \frac{2 \cdot M_{кр4}}{d_{17}} = \frac{2 \cdot 2328,3}{22 \cdot 8,0 \cdot 10^{-3}} = 26458,0 \text{ Н.}$$

$$T''_{IV} = P''_{IV} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 26458,0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 9629,9 \text{ Н.}$$

Вал V

$$P'_V = \frac{2 \cdot M_{кр5}}{d_{18}} = \frac{2 \cdot 2235,3}{70 \cdot 8,0 \cdot 10^{-3}} = 7983,2 \text{ Н.}$$

$$T'_V = P'_V \cdot \operatorname{tg} \alpha = 7983,2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 2905,7 \text{ Н.}$$

$$P''_V = \frac{2 \cdot M_{кр5}}{d_{21}} = \frac{2 \cdot 2235,3}{20 \cdot 8,0 \cdot 10^{-3}} = 27941,3 \text{ Н.}$$

$$T''_V = P''_V \cdot \operatorname{tg} \alpha = 27941,3 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 10169,8 \text{ Н.}$$

Вал VI

$$P'_{VI} = \frac{2 \cdot M_{кр6}}{d_{22}} = \frac{2 \cdot 6824,3}{80 \cdot 8,0 \cdot 10^{-3}} = 21325,9 \text{ Н.}$$

$$T'_{VI} = P'_{VI} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 21325,9 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 7762,0 \text{ Н.}$$

$$P''_{VI} = \frac{2 \cdot M_{кр6}}{d_{23}} = \frac{2 \cdot 6824,3}{50 \cdot 6,0 \cdot 10^{-3}} = 45495,3 \text{ Н.}$$

$$T''_{VI} = P''_{VI} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 45495,3 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 16558,9 \text{ Н.}$$

Вал VII

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{VII} = \frac{2 \cdot M_{кр7}}{d_{24}} = \frac{2 \cdot 6552,9}{50 \cdot 6,0 \cdot 10^{-3}} = 43686,0 \text{ Н.}$$

$$T_{VII} = P_{VII} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 43686,0 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 15900,4 \text{ Н.}$$

Розрахунок проєкцій сил, діючих: на другий вал коробки швидкостей від зубчастого зачеплення між другим і третім валами; на третій вал коробки швидкостей від зубчастого зачеплення між другим і третім і т.д.

Вал I

Горизонтальна площина X:

$$P_{IX} = 6043,7 \cdot \cos 15^\circ = 5837,8 \text{ Н.}$$

$$T_{IX} = 2199,7 \cdot \sin 15^\circ = 569,3 \text{ Н}$$

Вертикальна площина Y:

$$P_{IY} = 6043,7 \cdot \sin 15^\circ = 1564,2 \text{ Н.}$$

$$T_{IY} = 2199,7 \cdot \cos 15^\circ = 2124,7 \text{ Н}$$

Вал II

Горизонтальна площина X:

$$P'_{IIX} = 5776,8 \cdot \cos 15^\circ = 5580,0 \text{ Н.}$$

$$T'_{IIX} = 2102,6 \cdot \sin 15^\circ = 543,9 \text{ Н.}$$

$$P''_{IIX} = 8436,0 \cdot \sin 25^\circ = 3565,2 \text{ Н.}$$

$$T''_{IIX} = 3070,4 \cdot \cos 25^\circ = 2782,7 \text{ Н.}$$

Вертикальна площина Y

$$P'_{IY} = 5776,8 \cdot \sin 15^\circ = 1495,1 \text{ Н.}$$

$$T'_{IY} = 2102,6 \cdot \cos 15^\circ = 2031,0 \text{ Н.}$$

$$P''_{IY} = 8436,0 \cdot \cos 25^\circ = 7645,6 \text{ Н.}$$

$$T''_{IY} = 3070,4 \cdot \sin 25^\circ = 1297,6 \text{ Н.}$$

Вал III

Горизонтальна площина X:

$$P'_{IIIX} = 8023,5 \cdot \sin 25^\circ = 3390,9 \text{ Н.}$$

$$T'_{IIIX} = 2920,3 \cdot \cos 25^\circ = 2646,7 \text{ Н.}$$

$$P''_{IIIX} = 9200,0 \cdot \cos 12^\circ = 8999,0 \text{ Н.}$$

$$T''_{IIIX} = 3348,5 \cdot \sin 12^\circ = 696,1 \text{ Н.}$$

Вертикальна площина Y:

$$P'_{IIY} = 8023,5 \cdot \cos 25^\circ = 7271,8 \text{ Н.}$$

$$T'_{IIY} = 2920,3 \cdot \sin 25^\circ = 1234,2 \text{ Н.}$$

$$P''_{IIY} = 9200,0 \cdot \sin 12^\circ = 1912,8 \text{ Н.}$$

$$T''_{IIY} = 3348,5 \cdot \cos 12^\circ = 3275,3 \text{ Н.}$$

Вал IV

Горизонтальна площина X:

$$P'_{IVX} = 8955,0 \cdot \cos 12^\circ = 8759,3 \text{ Н.}$$

$$T'_{IVX} = 3259,4 \cdot \sin 12^\circ = 677,7 \text{ Н.}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P''_{IVX} = 26458,0 \cdot \cos 12^\circ = 25879,8 \text{ Н.}$$

$$T''_{IVX} = 9629,9 \cdot \sin 12^\circ = 2002,2 \text{ Н.}$$

Вертикальна площина Y

$$P'_{IVY} = 8955,0 \cdot \sin 12^\circ = 1861,8 \text{ Н.}$$

$$T'_{IVY} = 3259,4 \cdot \cos 12^\circ = 3188,2 \text{ Н.}$$

$$P''_{IVY} = 26458,0 \cdot \sin 12^\circ = 5500,9 \text{ Н.}$$

$$T''_{IVY} = 9629,9 \cdot \cos 12^\circ = 9419,5 \text{ Н.}$$

Вал V

Горизонтальна площина X:

$$P'_{VIX} = 7983,2 \cdot \cos 12^\circ = 7808,7 \text{ Н.}$$

$$T'_{VIX} = 2905,7 \cdot \sin 12^\circ = 604,1 \text{ Н.}$$

$$P''_{VIX} = 27941,3 \cdot \cos 45^\circ = 19757,5 \text{ Н.}$$

$$T''_{VIX} = 10169,8 \cdot \sin 45^\circ = 7191,1 \text{ Н.}$$

Вертикальна площина Y:

$$P'_{VIY} = 7983,2 \cdot \sin 12^\circ = 1659,8 \text{ Н.}$$

$$T'_{VIY} = 2905,7 \cdot \cos 12^\circ = 2842,2 \text{ Н.}$$

$$P''_{VIY} = 27941,3 \cdot \sin 45^\circ = 19757,5 \text{ Н.}$$

$$T''_{VIY} = 10169,8 \cdot \cos 45^\circ = 7191,1 \text{ Н.}$$

Вал VI

Горизонтальна площина X:

$$P'_{VIIX} = 21325,9 \cdot \cos 45^\circ = 15079,7 \text{ Н.}$$

$$T'_{VIIX} = 7762,0 \cdot \sin 45^\circ = 5488,6 \text{ Н.}$$

$$P''_{VIIX} = 45495,3 \cdot \sin 15^\circ = 11775,1 \text{ Н.}$$

$$T''_{VIIX} = 16558,9 \cdot \cos 15^\circ = 15994,7 \text{ Н.}$$

Вертикальна площина Y:

$$P'_{VIY} = 21325,9 \cdot \sin 45^\circ = 15079,7 \text{ Н.}$$

$$T'_{VIY} = 7762,0 \cdot \cos 45^\circ = 5488,6 \text{ Н.}$$

$$P''_{VIY} = 45495,3 \cdot \cos 15^\circ = 43945,1 \text{ Н.}$$

$$T''_{VIY} = 16558,9 \cdot \sin 15^\circ = 4285,8 \text{ Н.}$$

Шпindelь VII

Горизонтальна площина X:

$$P'_{VIIIX} = 43686,0 \cdot \sin 15^\circ = 11306,8 \text{ Н.}$$

$$T'_{VIIIX} = 15900,4 \cdot \cos 15^\circ = 15358,6 \text{ Н.}$$

Вертикальна площина Y:

$$P'_{VIY} = 43686,0 \cdot \cos 15^\circ = 42197,4 \text{ Н.}$$

$$T'_{VIY} = 15900,4 \cdot \sin 15^\circ = 4115,3 \text{ Н.}$$

Сумарні проекції сил, діючих на вал в цій точці, визначають по формулі:

$$F_X = P_{iX} + T_{iX}, \text{ Н;}$$

$$F_Y = P_{iY} + T_{iY}, \text{ Н}$$

де  $P_{iX}$  – проекція окружної сили для  $i$  – валу на вісь X, Н;

$T_{iX}$  – проекція радіальної сили для  $i$  – валу на вісь X, Н;

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$P_{iy}$  – проекція окружної сили для  $i$  – валу на вісь Y, Н;

$T_{iV}$  – проекція радіальної сили для  $i$  – валу на вісь Y, Н.

Вал I  $F_{IX} = P_{IX} + T_{IX} = 5837,8 + 569,3 = 6407,1$  Н.

$$F_{IV} = T_{IV} - P_{IV} = 2124,7 - 1564,2 = 560,5 \text{ Н.}$$

Вал II

$$F'_{IIX} = P'_{IIX} + T'_{IIX} = 5580,0 + 543,9 = 6123,9 \text{ Н.}$$

$$F'_{IIV} = T'_{IIV} - P'_{IIV} = 2031,0 - 1495,1 = 535,9 \text{ Н.}$$

$$F''_{IIX} = P''_{IIX} + T''_{IIX} = 3565,2 + 2782,7 = 6347,9 \text{ Н.}$$

$$F''_{IIV} = P''_{IIV} - T''_{IIV} = 7645,6 - 1297,6 = 6348,0 \text{ Н.}$$

Вал III

$$F'_{IIIX} = P'_{IIIX} + T'_{IIIX} = 3390,9 + 2646,7 = 6037,6 \text{ Н.}$$

$$F'_{IIIV} = P'_{IIIV} - T'_{IIIV} = 7271,8 - 1234,2 = 6037,6 \text{ Н.}$$

$$F''_{IIIX} = P''_{IIIX} - T''_{IIIX} = 8999,0 - 696,1 = 8302,9 \text{ Н.}$$

$$F''_{IIIV} = P''_{IIIV} + T''_{IIIV} = 1912,8 + 3275,3 = 5188,1 \text{ Н.}$$

Вал IV

$$F'_{IVX} = P'_{IVX} - T'_{IVX} = 8759,3 - 677,7 = 8081,6 \text{ Н.}$$

$$F'_{IVY} = P'_{IVY} + T'_{IVY} = 1861,8 + 3188,2 = 5050,0 \text{ Н.}$$

$$F''_{IVX} = P''_{IVX} + T''_{IVX} = 25879,8 + 2002,2 = 27882,0 \text{ Н.}$$

$$F''_{IVY} = T''_{IVY} - P''_{IVY} = 9419,5 - 5500,9 = 3918,6 \text{ Н.}$$

Вал V

$$F'_{VX} = P'_{VX} + T'_{VX} = 7808,7 + 604,1 = 8412,8 \text{ Н.}$$

$$F'_{VY} = T'_{VY} - P'_{VY} = 2842,2 - 1659,8 = 1182,4 \text{ Н.}$$

$$F''_{VX} = P''_{VX} + T''_{VX} = 19757,5 + 7191,1 = 26948,6 \text{ Н.}$$

$$F''_{VY} = P''_{VY} - T''_{VY} = 19757,5 - 7191,1 = 12566,4 \text{ Н.}$$

Вал VI

$$F'_{VIX} = P'_{VIX} + T'_{VIX} = 15079,7 + 5488,6 = 20568,3 \text{ Н.}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F'_{VIY} = T'_{VIY} - P'_{VIY} = 15079,7 - 5488,6 = 9591,1 \text{ Н.}$$

$$F''_{VIX} = P''_{VIX} + T''_{VIX} = 11775,1 + 15994,7 = 27769,8 \text{ Н.}$$

$$F''_{VIY} = P''_{VIY} - T''_{VIY} = 43945,1 - 4285,8 = 39659,3 \text{ Н.}$$

### Шпindelь VII

$$F_{VII X} = P_{VII X} + T_{VII X} = 11306,8 + 15358,6 = 26665,4 \text{ Н.}$$

$$F_{VII Y} = P_{VII Y} - T_{VII Y} = 42197,4 - 4115,7 = 38082,1 \text{ Н.}$$

Складаються схеми вантаження валів. Для цього діючі на вали сили розкладаються на горизонтальні і вертикальні складові, підраховуються реакції в опорах і згинальні моменти в горизонтальній і вертикальній площинах.

Розрахункові схеми валу I представлені на рис. 3.2.

#### Горизонтальна площина X

З рівняння моментів відносно опори А:  $\sum M_{AX} = 0$

$$R_{BX} = \frac{F_{IX} \cdot 42}{393} = \frac{6407,1 \cdot 42}{393} = 684,7 \text{ Н}$$

З рівняння моментів відносно опори В:  $\sum M_{BX} = 0$

$$R_{AX} = \frac{F_{IX} \cdot 351}{393} = \frac{6407,1 \cdot 351}{393} = 5722,4 \text{ Н}$$

#### Вертикальна площина Y

З рівняння моментів відносно опори А:  $\sum M_{AY} = 0$

$$R_{BY} = \frac{F_{IY} \cdot 42}{393} = \frac{560,5 \cdot 42}{393} = 59,9 \text{ Н}$$

З рівняння моментів відносно опори В:  $\sum M_{BY} = 0$

$$R_{AY} = \frac{F_{IY} \cdot 351}{393} = \frac{560,5 \cdot 351}{393} = 500,6 \text{ Н}$$

Будуємо епюри згинальних моментів в обох площинах.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

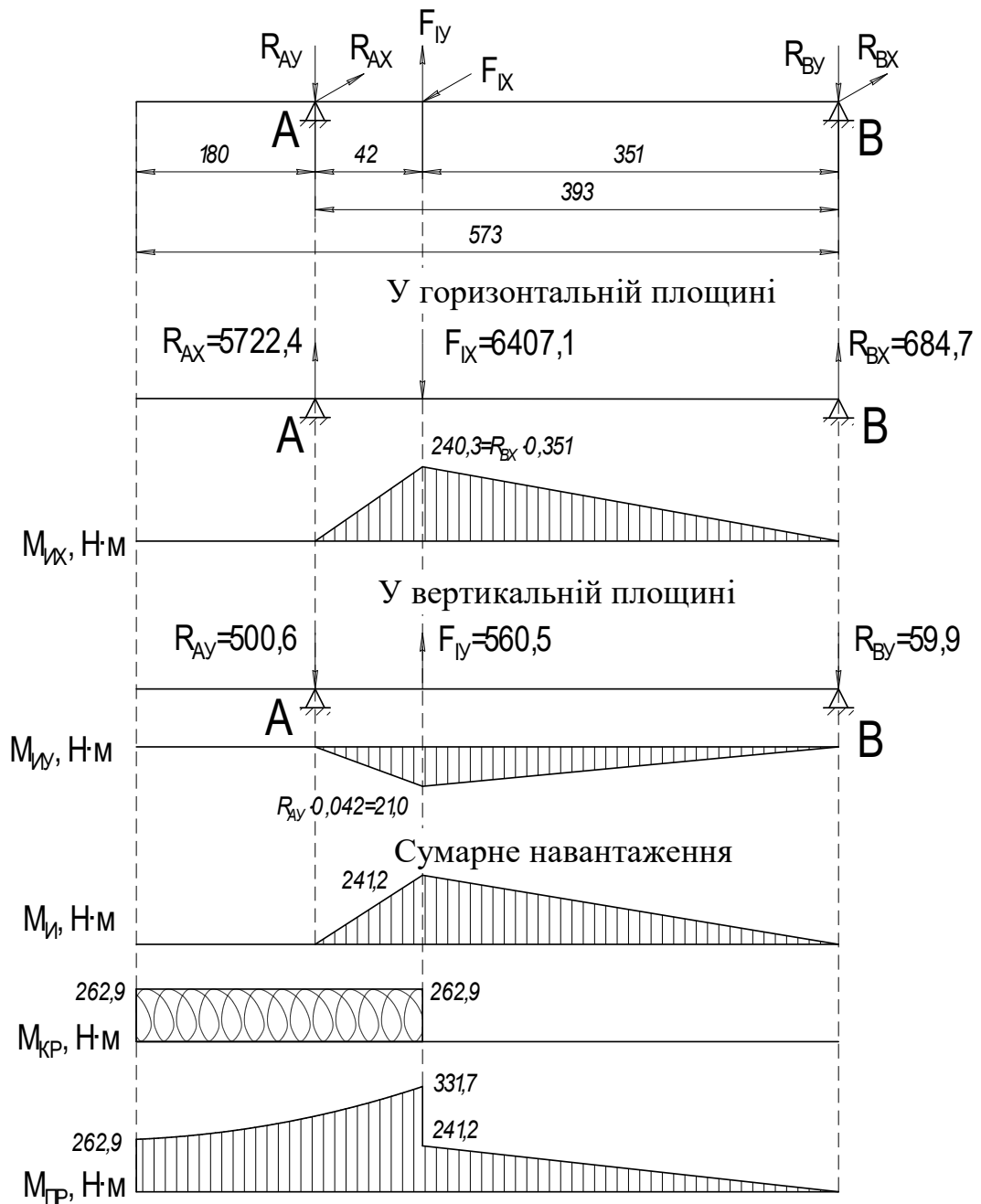


Рисунок – 3.2 Розрахункові схеми I валу

Визначається сумарний згинальний момент згідно формули:

$$M_{и} = \sqrt{(M_{иx})^2 + (M_{иy})^2}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{и} = \sqrt{240,3^2 + 21,0^2} = 241,2 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Будується еюра сумарного згинального моменту  $M_{и}$ .

Будується еюра крутильного моменту  $M_{кр}$ .

Визначається приведений момент по четвертій теорії міцності

$$M_{np} = \sqrt{M_{II}^2 + 0,75 \cdot M_{кр}^2}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{np} = \sqrt{241,2^2 + 0,75 \cdot 262,9^2} = 331,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Будується епюра приведенного моменту.

Визначається небезпечний переріз. Цей переріз під колесом  $Z_1 = 29$ .

З рівняння міцності визначається діаметр валу в небезпечному перерізі.

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{np}}{0,1 \cdot [\sigma_H]}}, \text{ м.}$$

де  $[\sigma_H]$  – допустима напруга для сталевих валів.

Для валу із загартованої сталі 40Х  $[\sigma_H] = 95 \text{ МПа}$ .

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{331,7}{0,1 \cdot 95 \cdot 10^6}} = 0,033 \text{ м.}$$

Приймається діаметр валу під зубчастими колесами  $d_1 = 48 \text{ мм}$ . Зубчасті колеса встановлюються на вал по шліцьовому з'єднанню  $8 \times 42 \times 48 \times 8$ . Зліва від зубчастих коліс на вал I встановлюються по діаметру 40 мм підшипники і по шліцьовому з'єднанню  $8 \times 32 \times 38 \times 6$  втулка, яка отримує обертання від шківів клиноремінної передачі.

Результати розрахунку інших валів зводяться в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку валів

№ валу	$R_{AX},$ Н	$R_{BX},$ Н	$R_{AV},$ Н	$R_{BV},$ Н	$M_{кр},$ Н·м	$M_{\text{Имаx}},$ Н·м	$M_{np \text{ max}}$ Н·м	$d$ валу розр мм	$d$ валу прийн ятий мм
I	5722,4	684,7	500,6	59,9	262,9	241,2	331,7	33	48
I	7685,6	4786,2	1672,0	4140,1	398,6	797,4	868,9	45	60
II	775,0	3471,3	1783,5	1511,7	956,8	901,1	1224,2	51	65
IV	6726,6	26108,9	4780,0	4022,3	2328,3	1056,7	2276,5	62	82
V	16350,2	2185,6	7795,0	3589,0	2235,3	4347,1	4758,6	79	82
VI	794,7	7995,9	10198,4	39052,0	6824,3	10164,8	11758,0	108	112

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					33

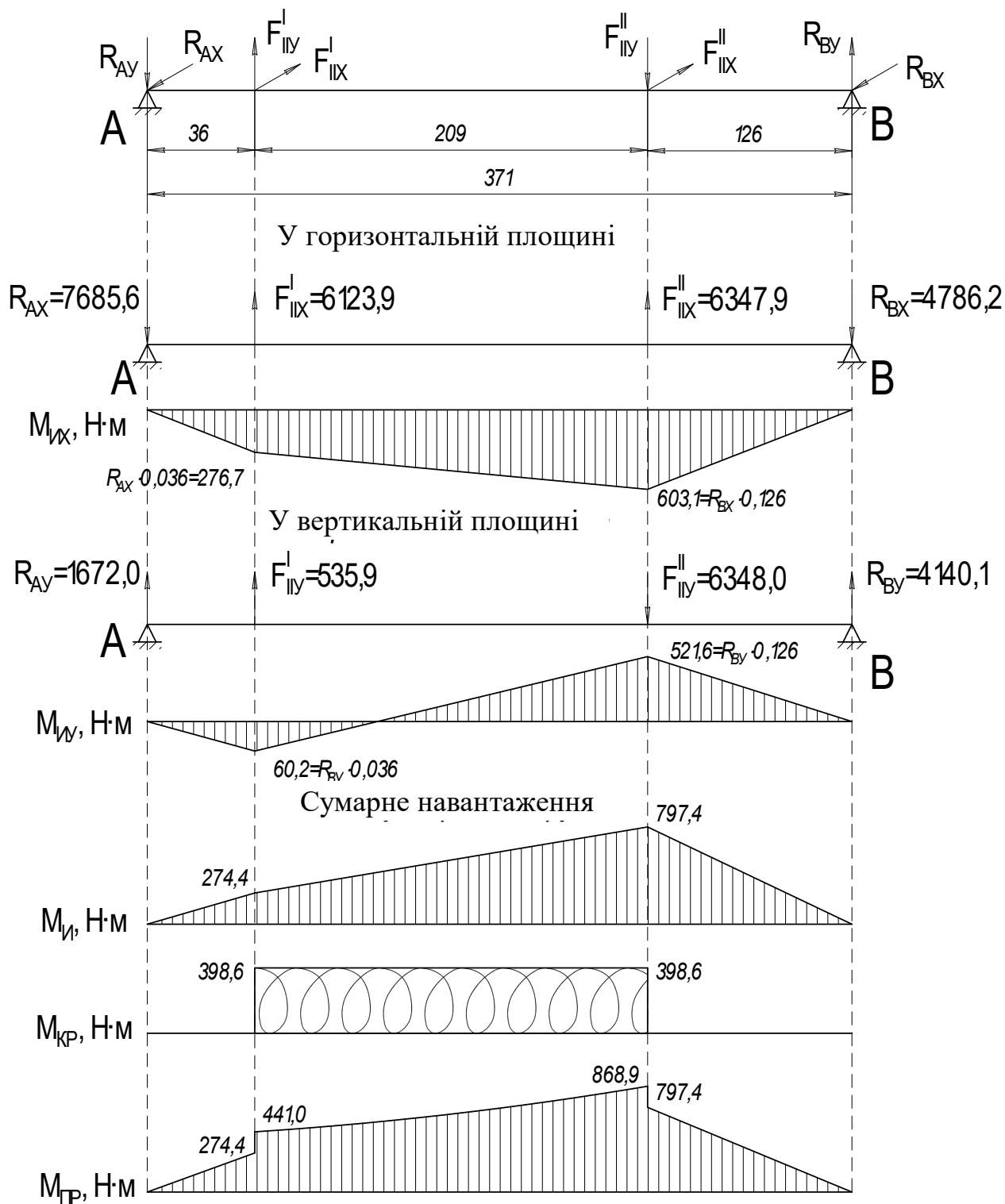


Рис. 3.4. Розрахункові схеми валу II

Вал III – триопорний. Розраховується як статично невизначний.

Для цього середня опора С замінюється реакціями в горизонтальній площині  $R_{CX}$  і у вертикальній площині  $R_{CY}$ .

Умовою сумісності деформацій є рівняння

$$f_{CX} = 0 \quad \text{і} \quad f_{CY} = 0$$

де  $f_{CX}$  і  $f_{CY}$  – прогини в горизонтальній і вертикальній площинах опори С.

Горизонтальна площина.

Прогин опори С складається з трьох прогинів:  $f'_X$ , викликаного дією сили  $F'_{III}$ ;  $f''_X$ , викликаного дією сили  $F''_{III}$  і  $f'_{CX}$ , викликаного дією реакції  $R_{CX}$ .

Таким чином

$$f_{CX} = f'_X + f''_X + f'_{CX} = 0$$

Згідно

$$\begin{aligned} f'_X &= \frac{F'_{III}}{6 \cdot E \cdot J_X} \cdot \left[ \frac{(380 - 252) \cdot 252^3}{380} + \frac{(380 - 252)^3 \cdot 252}{380} - (380 - 252) \cdot 380 \cdot 252 \right] = \\ &= - \frac{5,476 \cdot 10^6 \cdot F'_{III}}{6 \cdot E \cdot J_X} \end{aligned}$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу валу, Н/мм<sup>2</sup>;

$J_X$  – осьовий момент інерції поперечного перерізу валу відносно осі Х, мм<sup>4</sup>.

$$\begin{aligned} f''_X &= - \frac{F''_{III}}{6 \cdot E \cdot J_X} \cdot \left[ \frac{(310 - 72) \cdot 72^3}{310} + \frac{(310 - 72)^3 \cdot 72}{310} - (310 - 72) \cdot 310 \cdot 72 \right] = \\ &= \frac{1,894 \cdot 10^6 \cdot F''_{III}}{6 \cdot E \cdot J_X} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_{CX} &= - \frac{R_{CX}}{6 \cdot E \cdot J_X} \cdot \left[ \frac{(690 - 380) \cdot 380^3}{690} + \frac{(690 - 380)^3 \cdot 380}{690} - (690 - 380) \cdot 690 \cdot 380 \right] = \\ &= \frac{40,223 \cdot 10^6 \cdot R_{CX}}{6 \cdot E \cdot J_X} \end{aligned}$$

Реакція  $R_{CX}$  визначиться з рівняння

$$\begin{aligned} - \frac{5,476 \cdot 10^6 \cdot F'_{III}}{6 \cdot E \cdot J_X} + \frac{1,894 \cdot 10^6 \cdot F''_{III}}{6 \cdot E \cdot J_X} + \frac{40,223 \cdot 10^6 \cdot R_{CX}}{6 \cdot E \cdot J_X} &= 0 \\ R_{CX} &= \frac{5,476 \cdot F'_{III} - 1,894 \cdot F''_{III}}{40,223} = \frac{5,476 \cdot 6037,6 - 1,894 \cdot 8302,9}{40,223} = 431,0 \text{ Н} \end{aligned}$$

Вертикальна площина.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прогин опори С складається з трьох прогинів:  $f'_y$ , викликаного дією сили  $F'_{IIIY}$ ;  $f''_y$ , викликаного дією сили  $F''_{IIIY}$  і  $f'_{CV}$ , викликаного дією реакції  $R_{CV}$ .

Таким чином

$$f_{CV} = f'_y + f''_y + f'_{CV} = 0$$

$$f'_y = \frac{F'_{IIIY}}{6 \cdot E \cdot J_y} \cdot \left[ \frac{(380 - 252) \cdot 252^3}{380} + \frac{(380 - 252)^3 \cdot 252}{380} - (380 - 252) \cdot 380 \cdot 252 \right] =$$

$$= - \frac{5,476 \cdot 10^6 \cdot F'_{IIIY}}{6 \cdot E \cdot J_y}$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу валу, Н/мм<sup>2</sup>;

$J_x$  – осьовий момент інерції поперечного перерізу валу відносно осі X, мм<sup>4</sup>.

$$f''_y = - \frac{F''_{IIIY}}{6 \cdot E \cdot J_y} \cdot \left[ \frac{(310 - 72) \cdot 72^3}{310} + \frac{(310 - 72)^3 \cdot 72}{310} - (310 - 72) \cdot 310 \cdot 72 \right] =$$

$$= \frac{1,894 \cdot 10^6 \cdot F''_{IIIY}}{6 \cdot E \cdot J_y}$$

$$f'_{CV} = - \frac{R_{CV}}{6 \cdot E \cdot J_y} \cdot \left[ \frac{(690 - 380) \cdot 380^3}{690} + \frac{(690 - 380)^3 \cdot 380}{690} - (690 - 380) \cdot 690 \cdot 380 \right] =$$

$$= \frac{40,223 \cdot 10^6 \cdot R_{CV}}{6 \cdot E \cdot J_y}$$

Реакція  $R_{CV}$  визначиться з рівняння

$$- \frac{5,476 \cdot 10^6 \cdot F'_{IIIY}}{6 \cdot E \cdot J_y} + \frac{1,894 \cdot 10^6 \cdot F''_{IIIY}}{6 \cdot E \cdot J_y} + \frac{40,223 \cdot 10^6 \cdot R_{CV}}{6 \cdot E \cdot J_y} = 0$$

$$R_{CV} = \frac{5,476 \cdot F'_{IIIY} - 1,894 \cdot F''_{IIIY}}{40,223} = \frac{5,476 \cdot 6037,6 - 1,894 \cdot 5188,1}{40,223} = 577,7 \text{ Н}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

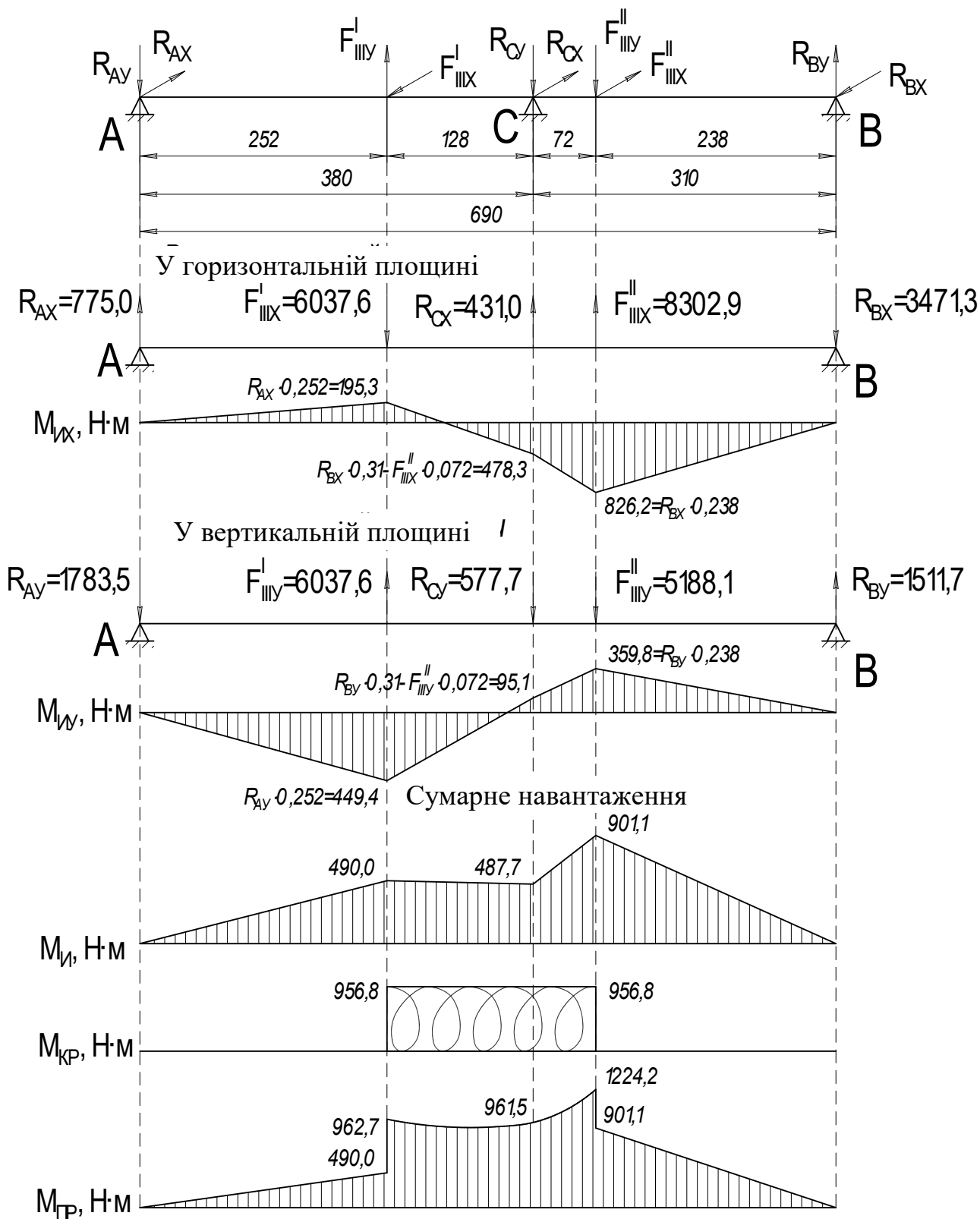


Рисунок – 3.5 Розрахункові схеми валу III

Вал IV – триопорний. Розраховується як статично невизначний.

Для цього середня опора С замінюється реакціями в горизонтальній

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

площині  $R_{CX}$  і у вертикальній площині  $R_{CY}$ .

Умовою сумісності деформацій є рівняння

$$f_{CX} = 0 \quad \text{і} \quad f_{CY} = 0$$

де  $f_{CX}$  і  $f_{CY}$  – прогини в горизонтальній і вертикальній площинах опори С.

Горизонтальна площина.

Прогин опори С складається з трьох прогинів:  $f'_X$ , викликаного дією сили  $F'_{IVX}$ ;  $f''_X$ , викликаного дією сили  $F''_{IVX}$  і  $f'_{CX}$ , викликаного дією реакції  $R_{CX}$ .

Таким чином

$$f_{CX} = f'_X + f''_X + f'_{CX} = 0$$

Згідно

$$f'_X = -\frac{F'_{IVX}}{6 \cdot E \cdot J_X} \cdot \left[ \frac{(324 - 62) \cdot 62^3}{324} + \frac{(324 - 62)^3 \cdot 62}{324} - (324 - 62) \cdot 324 \cdot 62 \right] =$$
$$= \frac{1,629 \cdot 10^6 \cdot F'_{IVX}}{6 \cdot E \cdot J_X}$$

$$f''_X = \frac{F''_{IVX}}{6 \cdot E \cdot J_X} \cdot \left[ \frac{(664 - 624) \cdot 624^3}{664} + \frac{(664 - 624)^3 \cdot 624}{664} - (664 - 624) \cdot 664 \cdot 624 \right] =$$
$$= -\frac{1,877 \cdot 10^6 \cdot F''_{IVX}}{6 \cdot E \cdot J_X}$$

$$f'_{CX} = -\frac{R_{CX}}{6 \cdot E \cdot J_X} \cdot \left[ \frac{(988 - 324) \cdot 324^3}{988} + \frac{(988 - 324)^3 \cdot 324}{988} - (988 - 324) \cdot 988 \cdot 324 \right] =$$
$$= \frac{93,691 \cdot 10^6 \cdot R_{CX}}{6 \cdot E \cdot J_X}$$

Реакція  $R_{CX}$  визначиться з рівняння

$$\frac{1,629 \cdot 10^6 \cdot F'_{IVX}}{6 \cdot E \cdot J_X} - \frac{1,877 \cdot 10^6 \cdot F''_{IVX}}{6 \cdot E \cdot J_X} + \frac{93,691 \cdot 10^6 \cdot R_{CX}}{6 \cdot E \cdot J_X} = 0$$

$$R_{CX} = \frac{1,877 \cdot F''_{IVX} - 1,629 \cdot F'_{IVX}}{93,691} = \frac{1,877 \cdot 27882,0 - 1,629 \cdot 8081,6}{93,691} = 418,1 \text{ Н}$$

Вертикальна площина.

Прогин опори С складається з трьох прогинів:  $f'_Y$ , викликаного дією

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сили  $F'_{IVY}$ ;  $f''_Y$ , викликаного дією сили  $F''_{IVY}$  і  $f'_{CV}$ , викликаного дією реакції  $R_{CV}$ .

Таким чином

$$f_{CV} = f'_Y + f''_Y + f'_{CV} = 0$$

$$f'_{YX} = -\frac{F'_{IVY}}{6 \cdot E \cdot J_Y} \cdot \left[ \frac{(324 - 62) \cdot 62^3}{324} + \frac{(324 - 62)^3 \cdot 62}{324} - (324 - 62) \cdot 324 \cdot 62 \right] =$$

$$= \frac{1,629 \cdot 10^6 \cdot F'_{IVY}}{6 \cdot E \cdot J_Y}$$

$$f''_Y = -\frac{F''_{IVY}}{6 \cdot E \cdot J_Y} \cdot \left[ \frac{(664 - 624) \cdot 624^3}{664} + \frac{(664 - 624)^3 \cdot 624}{664} - (664 - 624) \cdot 664 \cdot 624 \right] =$$

$$= \frac{1,877 \cdot 10^6 \cdot F''_{IVY}}{6 \cdot E \cdot J_Y}$$

$$f'_{CV} = -\frac{R_{CV}}{6 \cdot E \cdot J_Y} \cdot \left[ \frac{(988 - 324) \cdot 324^3}{988} + \frac{(988 - 324)^3 \cdot 324}{988} - (988 - 324) \cdot 988 \cdot 324 \right] =$$

$$= \frac{93,691 \cdot 10^6 \cdot R_{CV}}{6 \cdot E \cdot J_Y}$$

Реакція  $R_{CX}$  визначиться з рівняння

$$-\frac{1,629 \cdot 10^6 \cdot F'_{IVY}}{6 \cdot E \cdot J_Y} - \frac{1,877 \cdot 10^6 \cdot F''_{IVY}}{6 \cdot E \cdot J_Y} + \frac{93,691 \cdot 10^6 \cdot R_{CV}}{6 \cdot E \cdot J_Y} = 0$$

$$R_{CV} = \frac{1,877 \cdot F''_{IVY} + 1,629 \cdot F'_{IVY}}{93,691} = \frac{1,877 \cdot 3918,6 + 1,629 \cdot 5050,0}{93,691} = 166,3 \text{ Н}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

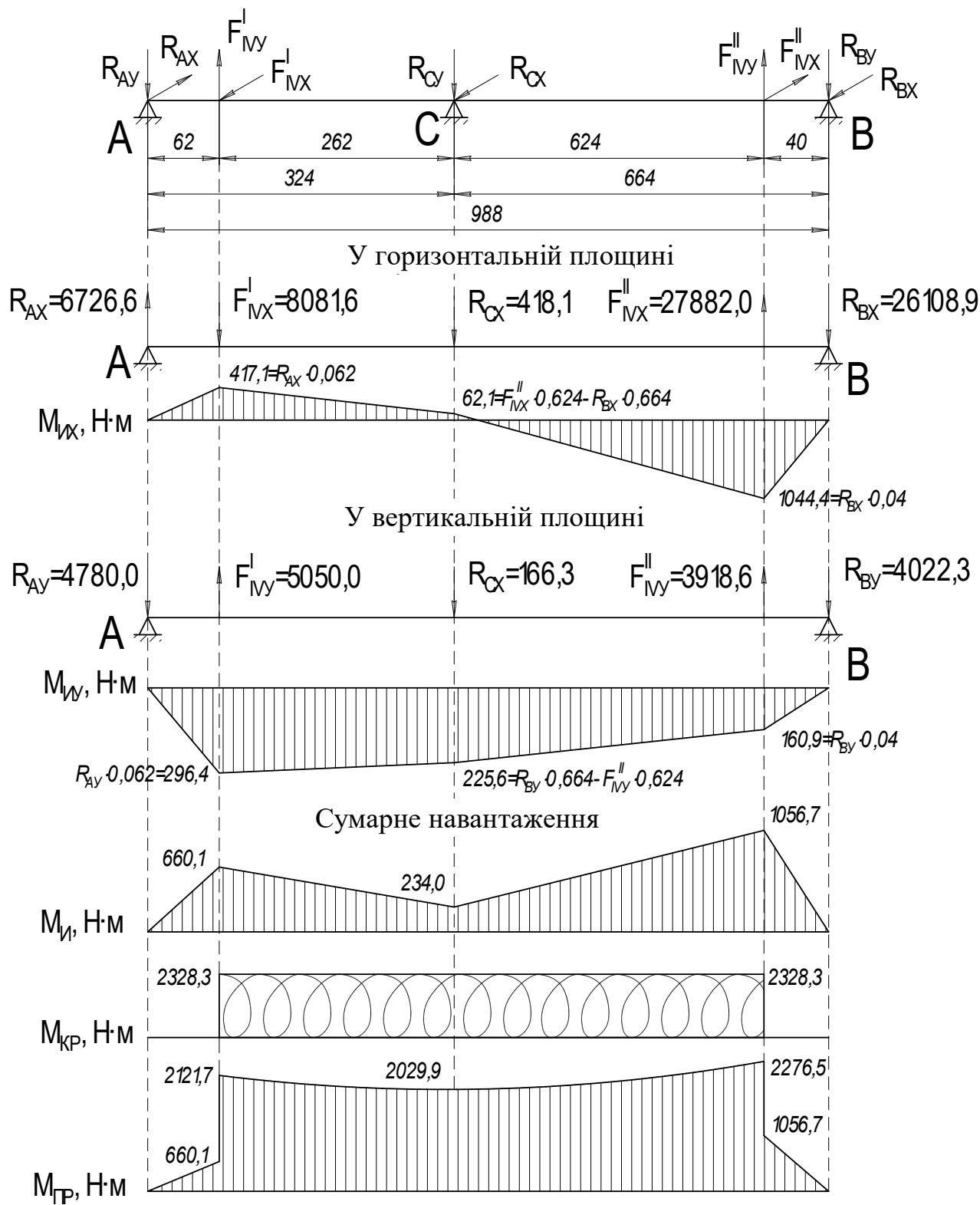


Рисунок – 3.6 Розрахункові схеми валу IV

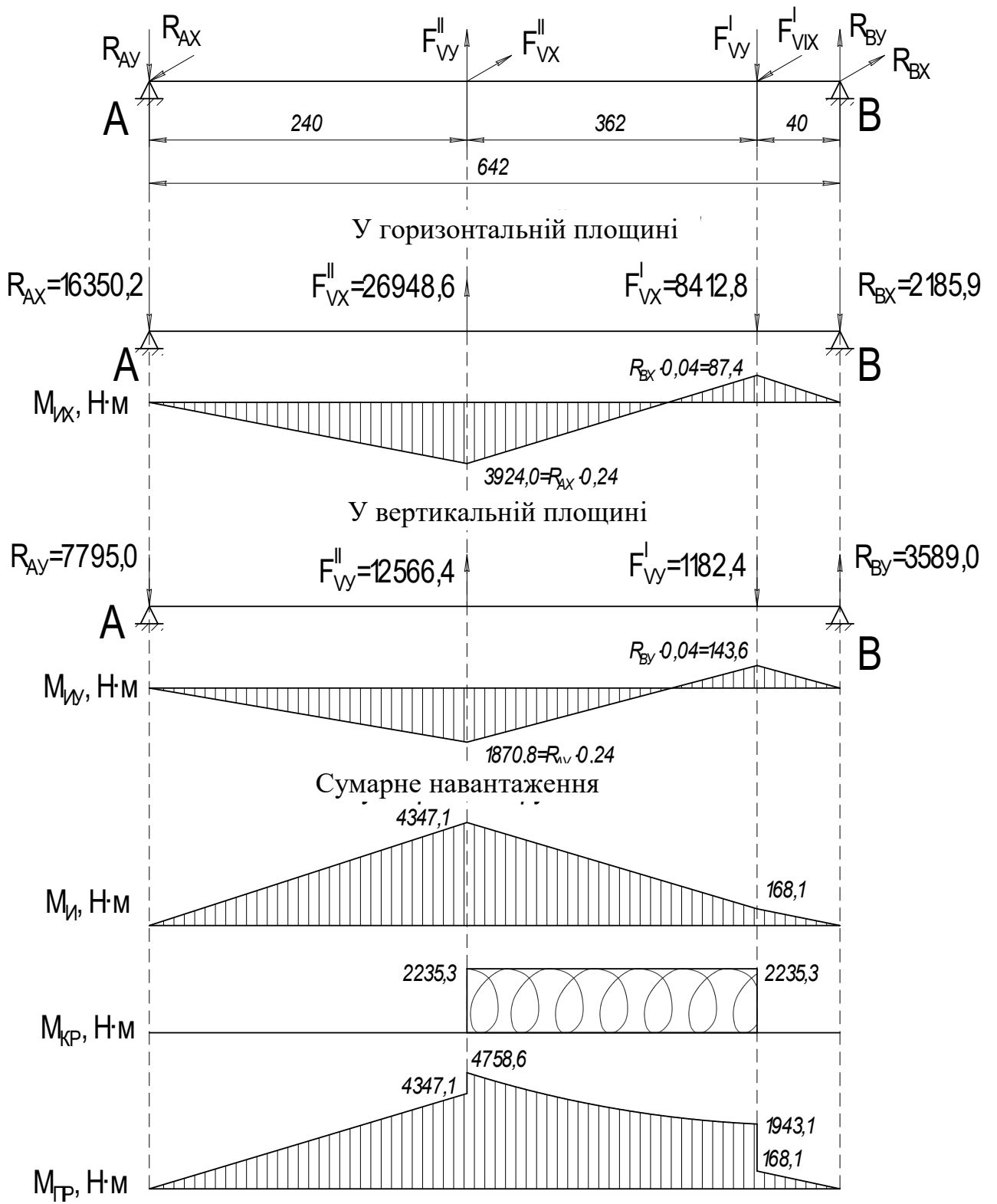


Рисунок – 3.7 Розрахункові схеми валу V

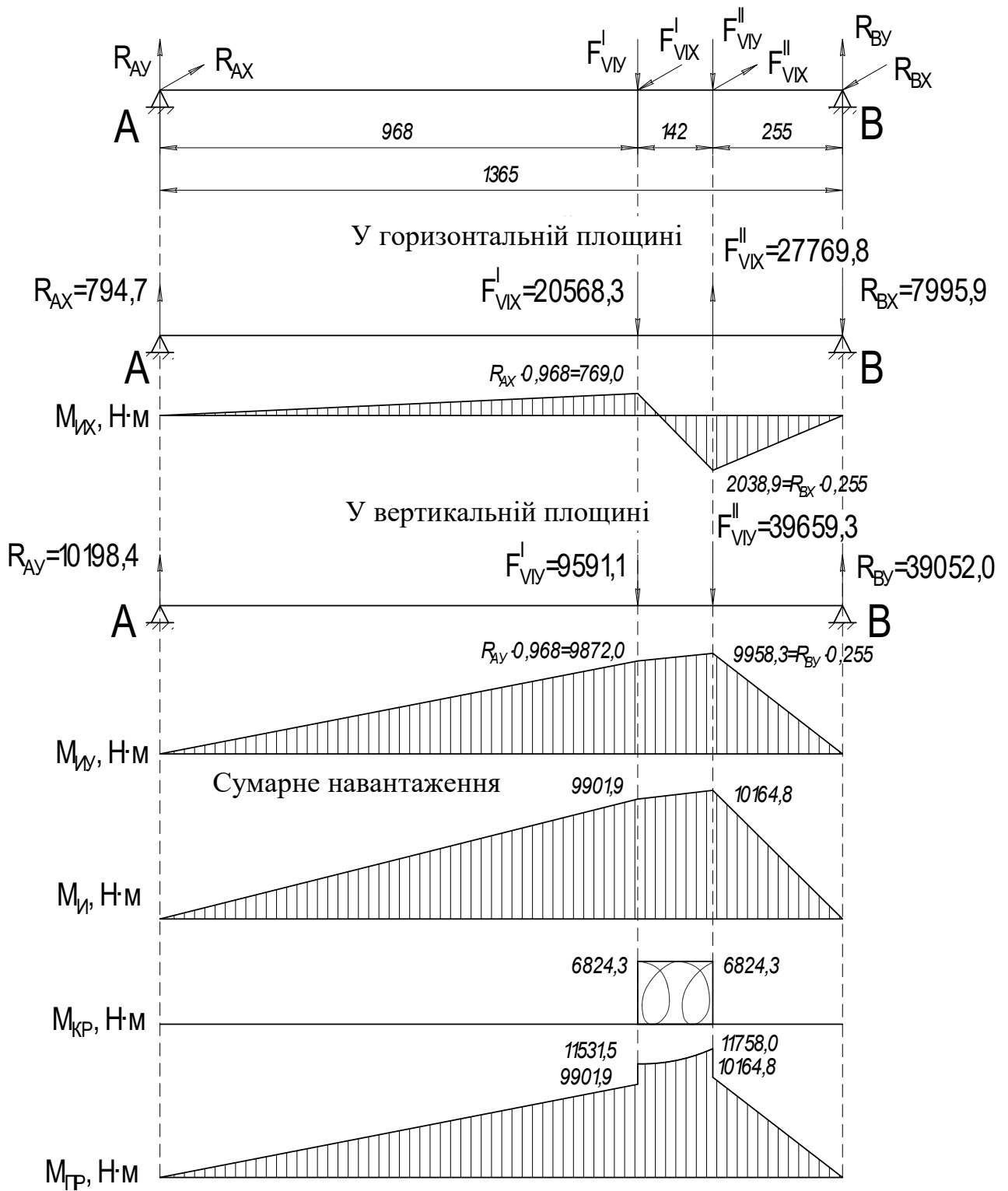


Рисунок – 3.8 Розрахункові схеми валу VI

### 3.5 Розрахунок шпинделя на міцність

Шпиндель верстата (вал VII) є порожнистим. Розрахунок на міцність

шпинделя токарного верстата ведеться як перевіорчий, оскільки внутрішній і зовнішній діаметри шпинделя вибрані не в результаті попереднього розрахунку на міцність, а прийняті конструктивно.

Зовнішній діаметр шпинделя  $d = 160$  мм.

Діаметр отвору в шпинделі  $d_0 = 85$  мм.

Рівняння міцності для порожнистого валу:  $\sigma = \frac{M_{кр\max}}{W_H} \leq [\sigma_H]$ , МПа,

де  $W_H$  – момент опору в небезпечному перерізі при вигині, м<sup>3</sup>.

Для круглого порожнистого перерізу

$$W_H = 0,1 \cdot d^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_0}{d}\right)^4\right), \text{ м}^3,$$

$$W_H = 0,1 \cdot 0,16^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{0,085}{0,16}\right)^4\right) = 377,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3, \quad \sigma = \frac{M_7}{W_H} = \frac{6552,9}{377,0 \cdot 10^{-6}} = 17,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 17,4 \text{ МПа}$$

Для валу із загартованої сталі 40Х  $[\sigma_H] = 95$  МПа.

Рівняння міцності виконується.

### 3.6 Розрахунок шпинделя на жорсткість

Розрахункова схема шпинделя представлена на рис. 3.9.

Сумарний прогин кінця шпинделя (у точці Е – місці різця) визначається по формулі

$$y = \frac{1}{3 \cdot E \cdot J} \cdot \left[ P_z \cdot f^2 \cdot (\ell + f) - 0,5 \cdot Q \cdot b \cdot c \cdot f \cdot \left(1 + \frac{b}{\ell}\right) \right], \text{ мм}$$

де  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup> – модуль пружності сталі;

$J$  – середній момент інерції перерізу шпинделя в прольоті і на консолі, мм<sup>4</sup>;

$P_z$  – зовнішнє навантаження (тангенціальна сила різання), Н;

$Q$  – навантаження на шпиндель від зубчастої передачі, Н;

$\ell$  – відстань між опорами, мм;

$b, c, f$  – відстані від місця додатка навантаження до опор, мм.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

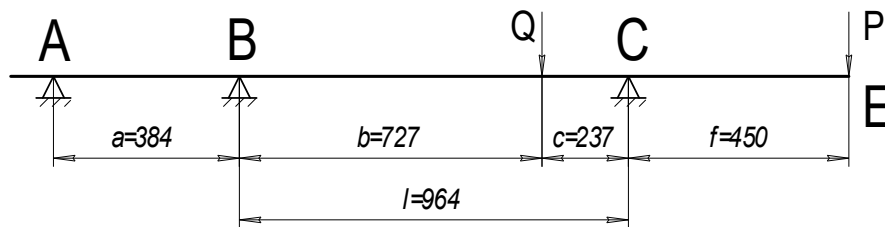


Рисунок – 3.9 Розрахункова схема шпинделя

$$Q = \frac{2 \cdot M_7^{\text{дл}}}{d_{24}} = \frac{2 \cdot M_7^{\text{дл}}}{Z_{24} \cdot m_{VI-VII}} = \frac{2 \cdot 6552,9}{50 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 32765 \text{ Н}$$

Тангенціальна сила різання при точінні визначається по формулі

$$P_z = 1020 \cdot 60 \cdot \frac{N_7}{v}, \text{ Н}$$

де  $v$  – швидкість різання при точінні, м/хв.

При обробці заготовки діаметром  $d_{\text{заг}} = 1000$  мм при частоті обертання шпинделя  $n_7 = 23,6$  хв<sup>-1</sup> швидкість різання буде рівна

$$v = \frac{\pi \cdot d_{\text{заг}} \cdot n_{12}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 1000 \cdot 23,6}{1000} = 74,1 \text{ м/хв.} \quad P_z = 1020 \cdot 60 \cdot \frac{16,18}{74,1} = 13363 \text{ Н}$$

Середній момент інерції визначається по формулі:  $J \approx \frac{\pi}{4} \cdot (R_{\text{cp}}^4 - r^4), \text{ мм}^4$

$r = 42,5$  мм – радіус отвору шпинделя, мм.

$$R_{\text{cp}} = \frac{R_1 \cdot \ell_1 + R_2 \cdot \ell_2 + \dots + R_k \cdot \ell_k}{\ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_k}, \text{ мм}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_k$  – зовнішні радіуси першої, другої, ...,  $k$ -ї ділянок шпинделя, мм;

$\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_k$  – довжини першої, другої, ...,  $k$ -ї ділянок шпинделя, мм.

$$R_{\text{cp}} = \frac{90 \cdot 50 + 92,5 \cdot 114 + 98 \cdot 475 + 100 \cdot 309 + 101 \cdot 114 + 190 \cdot 47 + 142,5 \cdot 19}{50 + 114 + 475 + 309 + 114 + 47 + 19} = 102,5 \text{ мм}$$

$$J \approx \frac{3,14}{4} \cdot (102,5^4 - 42,5^4) = 84167686 \approx 8,4 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$$

$$y = \frac{1}{3 \cdot 2 \cdot 8,4 \cdot 10^{12}} \cdot \left[ 13363 \cdot 450^2 \cdot (964 + 450) - \frac{32765 \cdot 727 \cdot 237 \cdot 450}{2} \cdot \left( 1 + \frac{727}{964} \right) \right] = 0,032 \text{ мм}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримане значення прогину порівнюється зі допустимими значеннями

$$y_{\max} \leq 0,0002 \cdot \ell = 0,0002 \cdot 879 = 0,176 \text{ мм.} \quad y_{\max} \leq \frac{\delta}{3} = \frac{0,23}{3} = 0,077 \text{ мм.}$$

де  $\delta$  – економічний допуск найбільш характерної для універсального верстата чистової обробки (зовнішнє точіння заготовки діаметром  $\varnothing 1000h9_{(-0,23)}$ ), мм;

$$y_{\max} \leq 0,01 \cdot m_{VI-VII} = 0,01 \cdot 8 = 0,08 \text{ мм.}$$

Умови виконуються.

Визначається кут нахилу пружної осі шпинделя в передній опорі, як найбільш відповідальний і порівнюється з допустимими значеннями.

Кут нахилу в передній опорі (точка В)

$$\theta_B = \frac{1}{3 \cdot E \cdot J} \cdot \left[ P_Z \cdot f \cdot \ell - 0,5 \cdot Q \cdot b \cdot c \cdot \left( 1 + \frac{b}{\ell} \right) \right], \text{ рад.}$$

$$y = \frac{1}{3 \cdot 2 \cdot 8,5 \cdot 10^{12}} \cdot \left[ 13363 \cdot 450 \cdot 964 - 0,5 \cdot 32765 \cdot 727 \cdot 237 \cdot \left( 1 + \frac{727}{964} \right) \right] = 0,00002 \text{ рад.}$$

$$\theta_{\max} < 0,001 \text{ рад.}$$

Умова виконується.

### 3.7 Розрахунок шліцьових з'єднань

Бічні поверхні зубів шліцьового з'єднання працюють на зминання, а їх основа на вигин і зріз. Вирішальне значення має розрахунок на зминання.

Напруга того, що зім'яло для шліцьового з'єднання визначається по формулі:

$$\sigma_{cm} = \frac{M_{кр \max}}{\psi \cdot z \cdot F \cdot \ell \cdot r_{cp}} \leq [\sigma]_{cm}, \quad \text{МПа}$$

де  $[\sigma]_{cm}$  – найбільший крутильний момент передається з'єднанням, Н·м;

$\psi = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу зусиль із робочих поверхонь зубів;

$z$  – число зубів;

$\ell$  – робоча довжина зубів, м;

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$F$  – проекція робочої поверхні зуба завдовжки 1 м на його середню діаметральну площину, м<sup>2</sup>.

$$F = 1 \cdot \left[ \frac{D-d}{2} - (f+r) \right], \text{ м}^2$$

де  $f$  – величина фаски на кутах зубів, м;

$r$  – радіус закруглення для западин, м;

$D$  – зовнішній діаметр валу, м;

$d$  – внутрішній діаметр валу, м;

$$r_{\text{cp}} = \frac{D+d}{4}, \text{ м.}$$

$[\sigma]_{\text{cm}}$  – допустима напруга змінання, МПа.

Для нерухомих з'єднань під навантаженням –  $[\sigma]_{\text{cm}} = 40 \dots 70$  МПа.

Для рухливих з'єднань під навантаженням –  $[\sigma]_{\text{cm}} = 5 \dots 15$  МПа.

Вал I.

Нерухоме шліцьове з'єднання 8×32×38×6:

$$D = 38 \text{ мм}, d = 32 \text{ мм}, z = 8, f = 0,2 \text{ мм}, r = 0,2 \text{ мм}, \ell = 40 \text{ мм.}$$

$$\sigma_{\text{cm}} = \frac{262,9}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,038 - 0,032}{2} \right) - (0,0002 + 0,0002) \right] \cdot 8 \cdot 0,04 \cdot \left( \frac{0,038 + 0,032}{4} \right)} = 20,1 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma]_{\text{cm}} = 40 \text{ МПа}$$

Нерухоме шліцьове з'єднання 8×42×48×8:

$$D = 48 \text{ мм}, d = 42 \text{ мм}, z = 8, f = 0,3 \text{ мм}, r = 0,3 \text{ мм}, \ell = 25 \text{ мм.}$$

$$\sigma_{\text{cm}} = \frac{262,9}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,048 - 0,042}{2} \right) - (0,0003 + 0,0003) \right] \cdot 8 \cdot 0,025 \cdot \left( \frac{0,048 + 0,042}{4} \right)} = 27,0 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma]_{\text{cm}} = 40 \text{ МПа}$$

Вал II.

Рухливе шліцьове з'єднання 8×52×60×10:

$$D = 60 \text{ мм}, d = 52 \text{ мм}, z = 8, f = 0,3 \text{ мм}, r = 0,3 \text{ мм}, \ell = 64 \text{ мм.}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\sigma_{cm} = \frac{398,6}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,06 - 0,052}{2} \right) - (0,0003 + 0,0003) \right] \cdot 8 \cdot 0,064 \cdot \left( \frac{0,06 + 0,052}{4} \right)} = 9,1 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma]_{cm} = 15 \text{ МПа}$$

Нерухоме шліцьове з'єднання 8×52×60×10:

$D = 60 \text{ мм}, d = 52 \text{ мм}, z = 8, f = 0,3 \text{ мм}, r = 0,3 \text{ мм}, \ell = 30 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{398,6}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,06 - 0,052}{2} \right) - (0,0003 + 0,0003) \right] \cdot 8 \cdot 0,03 \cdot \left( \frac{0,06 + 0,052}{4} \right)} = 19,4 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma]_{cm} = 40 \text{ МПа}$$

Вал III.

Рухливе шліцьове з'єднання 8×56×65×10:

$D = 65 \text{ мм}, d = 56 \text{ мм}, z = 8, f = 0,4 \text{ мм}, r = 0,4 \text{ мм}, \ell = 90 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{956,8}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,065 - 0,056}{2} \right) - (0,0004 + 0,0004) \right] \cdot 8 \cdot 0,09 \cdot \left( \frac{0,065 + 0,056}{4} \right)} = 13,2 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma]_{cm} = 15 \text{ МПа}$$

Нерухоме шліцьове з'єднання 8×56×65×10:

$D = 65 \text{ мм}, d = 56 \text{ мм}, z = 8, f = 0,4 \text{ мм}, r = 0,4 \text{ мм}, \ell = 60 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{956,8}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,065 - 0,056}{2} \right) - (0,0004 + 0,0004) \right] \cdot 8 \cdot 0,06 \cdot \left( \frac{0,065 + 0,056}{4} \right)} = 19,8 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma]_{cm} = 40 \text{ МПа}$$

Вал IV.

Нерухоме шліцьове з'єднання 8×46×54×9:

$D = 54 \text{ мм}, d = 46 \text{ мм}, z = 8, f = 0,4 \text{ мм}, r = 0,4 \text{ мм}, \ell = 110 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{2328,3}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,054 - 0,046}{2} \right) - (0,0004 + 0,0004) \right] \cdot 8 \cdot 0,11 \cdot \left( \frac{0,054 + 0,046}{4} \right)} = 36,7 \text{ МПа} <$$

$[\sigma]_{cm} = 15 \text{ МПа}$

Рухливе шліцьове з'єднання 10×72×82×12:

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$D = 82 \text{ мм}, d = 72 \text{ мм}, z = 10, f = 0,4 \text{ мм}, r = 0,4 \text{ мм}, \ell = 120 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{2328,3}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,082 - 0,072}{2} \right) - (0,0004 + 0,0004) \right] \cdot 8 \cdot 0,12 \cdot \left( \frac{0,082 + 0,072}{4} \right)} = 13,3 \text{ МПа} <$$

$$[\sigma]_{cm} = 15 \text{ МПа}$$

Вал V.

Нерухоме шліцьове з'єднання  $10 \times 72 \times 82 \times 12$ :

$D = 82 \text{ мм}, d = 72 \text{ мм}, z = 10, f = 0,4 \text{ мм}, r = 0,4 \text{ мм}, \ell = 60 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{2235,3}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,082 - 0,072}{2} \right) - (0,0004 + 0,0004) \right] \cdot 10 \cdot 0,06 \cdot \left( \frac{0,082 + 0,072}{4} \right)} = 25,6 \text{ МПа} <$$

$$[\sigma]_{cm} = 40 \text{ МПа}$$

Вал VI.

Рухливе шліцьове з'єднання  $10 \times 102 \times 112 \times 16$ :

$D = 125 \text{ мм}, d = 112 \text{ мм}, z = 10, f = 0,5 \text{ мм}, r = 0,5 \text{ мм}, \ell = 250 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{6824,3}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,112 - 0,102}{2} \right) - (0,0005 + 0,0005) \right] \cdot 10 \cdot 0,25 \cdot \left( \frac{0,112 + 0,102}{4} \right)} = 14,2 \text{ МПа} <$$

$$[\sigma]_{cm} = 15 \text{ МПа}$$

Нерухоме шліцьове з'єднання  $10 \times 112 \times 125 \times 18$ :

$D = 125 \text{ мм}, d = 112 \text{ мм}, z = 10, f = 0,5 \text{ мм}, r = 0,5 \text{ мм}, \ell = 80 \text{ мм}.$

$$\sigma_{cm} = \frac{6824,3}{0,9 \cdot \left[ \left( \frac{0,125 - 0,112}{2} \right) - (0,0005 + 0,0005) \right] \cdot 10 \cdot 0,08 \cdot \left( \frac{0,125 + 0,112}{4} \right)} = 29,1 \text{ МПа} <$$

$$[\sigma]_{cm} = 40 \text{ МПа}$$

### 3.8 Розрахунок шпонкових з'єднань

Вибрані шпонки перевіряються на зминання:

$$\sigma_{cm} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d \cdot k \cdot l_p} \leq [\sigma_{cm}], \text{ МПа}.$$

де  $[\sigma_{cm}] = 100 \text{ МПа}$  – допустима напруга на зминання при сталевій маточині;

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$l_p$  – робоча довжина шпонки при заокруглених кінцях, м.

$$l_p = l - b,$$

де  $l$  – довжина шпонки, м;

$b$  – ширина шпонки, м.

$$k = h - t_1,$$

де  $h$  – висота шпонки, м;

$t_1$  – глибина паза валу, м.

Вал III.

Діаметр посадочного валу потрійного блоку  $d = 115$  мм.

Для шпонки  $32 \times 18 \times 56$ :  $l_p = 56 - 32 = 24$  мм;  $k = 18 - 11 = 7$  мм.

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 398,6}{0,115 \cdot 0,007 \cdot 0,024} = 41,3 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа.}$$

Вал IV.

Діаметр посадочного валу потрійного блоку  $d = 175$  мм.

Для шпонки  $32 \times 18 \times 63$ :  $l_p = 63 - 32 = 31$  мм;  $k = 18 - 11 = 7$  мм.

Для двох шпонок  $32 \times 18 \times 63$ .

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 2328,3}{2 \cdot 0,12 \cdot 0,007 \cdot 0,031} = 89,4 \text{ МПа} < d = 175 \text{ МПа.}$$

Вал VI.

Діаметр посадочного валу потрійного блоку  $d = 175$  мм.

Для шпонки  $45 \times 25 \times 100$ :  $l_p = 100 - 45 = 55$  мм;  $k = 25 - 15 = 10$  мм.

Для двох шпонок  $45 \times 25 \times 100$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 6824,3}{2 \cdot 0,175 \cdot 0,01 \cdot 0,055} = 70,9 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}$$

Вал VII.

Діаметр посадочного валу  $d = 200$  мм.

Для шпонки  $45 \times 25 \times 100$ ;  $l_p = 100 - 45 = 55$  мм;  $k = 25 - 15 = 10$  мм.

Для двох шпонок  $45 \times 25 \times 100$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 6552,9}{2 \cdot 0,2 \cdot 0,01 \cdot 0,055} = 59,6 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.9 Розрахунок підшипників кочення

При розрахунку підшипників кочення визначається номінальна довговічність підшипника в годину:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n_{pi}} \left( \frac{C}{P} \right)^\alpha, \text{ год.}$$

де  $C$  – номінальна динамічна вантажопідйомність, Н;

$P$  – еквівалентне навантаження, Н;

$n_{pi}$  – розрахункова частота обертання валу, що розраховується, об/хв;

$\alpha$  – коефіцієнт еквівалентного навантаження:  $\alpha = 3$  – для кулькових підшипників;  $\alpha = 3,3$  – для роликових підшипників.

Номінальна довговічність має бути не менш рекомендованого для металорізальних верстатів ресурсу підшипників  $L_h = 12000 \dots 20000$  год.

Еквівалентне навантаження визначається по формулі

$$P = x \cdot V \cdot F_r \cdot K_\sigma \cdot K_T, \text{ Н.}$$

де  $x = 1$  – коефіцієнт радіального навантаження, залежний від типу підшипника;

$V = 1$  – коефіцієнт обертання;

$F_r$  – радіальне навантаження, Н;

$K_\sigma = 1$  – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1$  – температурний коефіцієнт.

Вал I

Для кулькового радіального підшипника 208:

$$C = 32000 \text{ Н}$$

$$F_{rA} = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AV})^2} = \sqrt{5722,4^2 + 500,6^2} = 5744,3 \text{ Н.}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 5744,3 \cdot 1 \cdot 1 = 5744,3 \text{ Н.}$$

Для двох підшипників 208:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 750} \cdot \left( \frac{2 \cdot 32000}{5744,3} \right)^3 = 30730 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Для кулькового радіального підшипника 209:

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C = 33200 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BY})^2} = \sqrt{684,7^2 + 59,9^2} = 687,3 \text{ Н.}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 687,3 \cdot 1 \cdot 1 = 687,3 \text{ Н.}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 750} \cdot \left( \frac{33200}{687,3} \right)^3 = 116180 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Вал II

Для конічного роликового підшипника 7209:

$$C = 62700 \text{ Н.}$$

$$F_{rA} = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AY})^2} = \sqrt{7685,6^2 + 1672,0^2} = 7865,4 \text{ Н.}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BY})^2} = \sqrt{4786,2^2 + 4140,1^2} = 6328,4 \text{ Н.}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 7865,4 \cdot 1 \cdot 1 = 7865,4 \text{ Н.} \quad L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 475} \cdot \left( \frac{62700}{7865,4} \right)^{3,3} = 33130 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Вал III

Для конічного роликового підшипника 7210:

$$C = 70400 \text{ Н}$$

$$F_{rA} = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AY})^2} = \sqrt{775,0^2 + 1783,5^2} = 1944,6 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BY})^2} = \sqrt{3471,3^2 + 1511,7^2} = 3786,2 \text{ Н}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 3786,2 \cdot 1 \cdot 1 = 3786,2 \text{ Н}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 190} \cdot \left( \frac{70400}{3786,2} \right)^{3,3} = 563900 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Для кулькового радіального підшипника 216

$$C = 70200 \text{ Н}$$

$$F_{rC} = \sqrt{R_{CX}^2 + R_{CY}^2} = \sqrt{431,0^2 + 577,7^2} = 720,8. \quad P = 1 \cdot 1 \cdot 720,8 \cdot 1 \cdot 1 = 720,8 \text{ Н.}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 190} \cdot \left( \frac{70200}{720,8} \right)^3 = 810460 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Вал IV

Для конічного роликового підшипника 7309:

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$C = 83000 \text{ Н}$$

$$F_{rA} = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AV})^2} = \sqrt{6726,6^2 + 4780,0^2} = 8252,0 \text{ Н.}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 8252,0 \cdot 1 \cdot 1 = 8252,0 \text{ Н.}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 75} \cdot \left( \frac{83000}{8252,0} \right)^{3,3} = 226120 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Для конічного роликового підшипника 7311:

$$C = 134000 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BV})^2} = \sqrt{26108,9^2 + 4022,3^2} = 26416,9 \text{ Н.}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 26416,9 \cdot 1 \cdot 1 = 26416,9 \text{ Н.}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 75} \cdot \left( \frac{134000}{26416,9} \right)^{3,3} = 47210 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Для кулькового радіального підшипника 212.

$$C = 52000 \text{ Н}$$

$$F_{rC} = \sqrt{R_{CX}^2 + R_{CV}^2} = \sqrt{418,1^2 + 166,3^2} = 450,0. \quad P = 1 \cdot 1 \cdot 450,0 \cdot 1 \cdot 1 = 450,0 \text{ Н.}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 75} \cdot \left( \frac{52000}{450,0} \right)^3 = 342990 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Вал V

Для конічного роликового підшипника 7311.

$$C = 134000 \text{ Н}$$

$$F_{rA} = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AV})^2} = \sqrt{16350,2^2 + 7795,0^2} = 18113,3 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BV})^2} = \sqrt{2185,6^2 + 3589,0^2} = 4202,1 \text{ Н}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 18113,3 \cdot 1 \cdot 1 = 18113,3 \text{ Н}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 75} \cdot \left( \frac{134000}{18113,3} \right)^{3,3} = 89970 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Вал VI

Для конічного роликового підшипника 7217:

$$C = 165000 \text{ Н.}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$F_{rA} = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AY})^2} = \sqrt{794,7^2 + 10198,7^2} = 10229,3 \text{ Н}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 10229,3 \cdot 1 \cdot 1 = 10229,3 \text{ Н}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 23,6} \cdot \left( \frac{165000}{10229,3} \right)^{3,3} = 165070 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

Для конічного роликового підшипника 7218:

$$C = 183000 \text{ Н}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BY})^2} = \sqrt{7995,9^2 + 39052,0^2} = 39862,2 \text{ Н}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 39862,2 \cdot 1 \cdot 1 = 39862,2 \text{ Н}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 23,6} \cdot \left( \frac{183000}{39862,2} \right)^{3,3} = 68330 \text{ год} > 20000 \text{ год.}$$

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## РОЗДІЛ 4

### ОПИС КОНСТРУКЦІЙ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА

#### 4.1 Опис конструкції коробки швидкостей

Креслення модернізованого приводу головного руху представлено на кресленні.

Коробка швидкостей зібрана в корпусі передньої бабки поз.20. Передня бабка встановлюється на станину на два штифти поз.192. і кріпиться болтами поз.135.

Коробка швидкостей складається з семи валів, які приводяться в обертання шківом поз.15 за допомогою клиноремінної передачі від електродвигуна приводу головного руху верстата.

Обертання з валу I коробки швидкостей передається на вал II через одно з включень подвійного зубчастого блоку поз.22, розташованого на валу II (передачі 29/46 або 33/42).

Обертання з валу II коробки швидкостей передається на вал III через одно з включень збірної потрійної зубчастого блоку, розташованого на валу III (передачі 21/53; 29/45 або 37/37).

З валу III обертання на вал VI передається по двох кінематичних ланцюгах:

- короткою – через зубчасті передачі 78/39 або 39/78;

- довгою – на вал IV через передачу 26/65, через одно з включень збірної подвійного зубчастого блоку, розташованого на валу IV (передачі 22/70 або 51/41) на вал V і далі на вал VI через передачу 20/80.

З валу VI через передачу 50/50 обертання передається на шпindel VII.

Вал I встановлений на кулькових радіальних підшипниках, вали II, III, IV, V і VI – на конічних роликів підшипниках.

В якості передньої і задньої опор шпинделя поз.43 використані дворядні роликів підшипники з короткими циліндричними роликів. Вони встановлені на конічних шийках шпинделя з конусністю 1:12. Для сприйняття осьових навантажень в передній опорі шпинделя встановлено два

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

кулькові наполегливі підшипники.

На шліцьових валах коробки швидкостей розташовуються рухливі і нерухомі зубчасті колеса і блоки зубчастих коліс.

Коробка швидкостей повідомляє шпинделю двадцять чотири різні частоти обертання.

З шпинделя VII обертання передається на коробку подач верстата.

Обертання на вал VIII з шпинделя передається через передачу 60/40.

Від валу VIII обертання передається на вал IX безпосередньо при прямому обертанні через передачу 38/57 або при зворотному обертанні через паразитний зубчастий блок поз.82, розташований на осі X поз.87. На валу IX розташовано змінне зубчасте колесо поз.85, через яке обертання передається на коробку подач.

Перемикання швидкостей робиться чотирма гідроциліндрами, які управляються гідророзподільниками з електромагнітним управлінням.

#### 4.2 Розрахунок механізмів системи управління

За завданням управління перемиканням частот обертання шпинделя – гідравлічне.

Застосування гідроциліндрів для перемикання блоків зубчастих коліс дозволяє скоротити габаритні розміри коробки швидкостей.

Для перемикання двох подвійних блоків без нейтрального положення використовуються двопозиційні гідроциліндри, для перемикання двох потрійних блоків – трипозиційні гідроциліндри.

Розміри гідроциліндрів вибираються конструктивно з обліком, щоб зусилля на штоку було не менше 250 Н.

Тягове зусилля поршневого гідроциліндра визначається по формулі:

$$P = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot p \cdot \eta,$$

де  $D$  – діаметр поршня гідроциліндра, м;

$d$  – діаметр штока гідроциліндра, м;

$p$  – тиск в циліндрі, Па,

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$\eta$  – механічний ККД, такий, що враховує тертя в ущільненнях.

$D = 0,060$  м;  $d = 0,030$  м;  $p = 0,4$  МПа;  $\eta = 0,8$ .

$$P = \frac{\pi \cdot (0,06^2 - 0,03^2)}{4} \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 678 \text{ Н}$$

Управління гідроциліндрами здійснюється гідророзподільниками з електромагнітним управлінням.

#### 4.3 Опис системи мащення розробленого приводу

Карта мастила і місця мастила приведені в графічній частині на кресленні.

Система мастила розробленого приводу не відрізняється від системи мастила верстата-прототипу.

Перед пуском верстата його слід ретельно протерти, після чого відповідно до карти мастила наповнюються резервуари до рисок "рівень мастила" і спеціальним шприцом заповнюються усі масельнички згідно з схемою мастила.

Мастило верстата забезпечується наступними системами.

1. Циркуляційною системою мастила механізмів, зубчастих коліс і підшипникових опор бабки передньої. Лопатевий насос системи приводиться в дію від валу I коробки швидкостей через зубчасту передачу. Мастило від насоса подається в розподільну ванну, а з неї в підшипникові опори шпинделя і іншим змащувані точкам. Крім того, мастило деталей робиться розбризкуванням. Пройшовши через змащувані частини, масло збирається на дні корпусу бабки.

2. Циркуляційною системою мастила механізму коробки подач і змінних зубчастих коліс. Плунжерний насос системи приводиться в дію від ексцентрика, виконаного за одно ціле із зубчастим колесом. Масло від насоса подається до змінних зубчастих коліс і у ванну для гніту, з якої за допомогою гніту по трубках і безпосередньо через отвори поступає до змащуваних точок. Пройшовши через змащувані частини, масло збирається на дні корпусу коробки подач.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

3. Циркуляційною системою мастила механізму фартуха і що направляють станини. Плунжерний насос системи приводиться в дію від ексцентрика, пов'язаного з валом фартуха. Масло від насоса подається до тих, що направляють станини і у ванну, з якої за допомогою гніту по трубках поступає до змащуваних точок. Пройшовши через змащувані частини, масло збирається на дні фартуха.

4. Гнітучою системою мастила що направляють каретки під нижню частину супорта, що складається з ванни і гніту, що підводить масло до змащуваних точок.

5. Періодичною системою мастила наливанням тих, що направляють поворотній частині супорта і гвинтової пари поперечного переміщення супорта.

6. Періодичною системою мастила наливанням: пінолі, підшипникових опор шпинделя, зубчастої муфти і гвинтової пари переміщення пінолі бабки задньої.

7. Періодичною системою мастила гвинтової пари каретки, опор гвинта каретки, механізму різцетримача, рухливого і нерухомого люнетів і редуктора ручного переміщення бабки задньої.

Масло заливається через заливні отвори і розтікається до мастильних точок.

8. Гнітучою системою мастила правої опори ходового гвинта, що складається з ванни і гніту.

9. Періодичною системою густого мастила підшипників шківів бабки передньої, механізму переміщення пінолі задньої бабки, механізму редуктора швидкого переміщення супорта, роликів пінолею люнету, здійснюваним набиванням вручну консистентного мастила.

Направляючі станини під задню бабку, ходовий гвинт і ходовий вал змащуються періодичним поливом з масельнички.

В процесі експлуатації верстата необхідно стежити за тим, щоб мастило верстата робилося в терміни, вказані в схемі мастила. Один раз в три місяці масло слід міняти.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Масло, залите в мастильні місця, не повинне містити бруду і сторонніх домішок, повинно бути відфільтровано від сторонніх часток з абсолютним розміром не більше 40 мкм.

Характеристики масел і терміни мастила вказані в карті мастила на кресленні.

#### 4.4 Опис пристрою автоматичного затиску заготовки

Конструкція затискного пристрою до шпинделя токарно-гвинторізного верстата показана в графічній частині.

Затискний пристрій є трикулачковим клиновим механізованим порожнистим патроном, що встановлюється на передній кінець шпинделя поз.5, і затискний порожнистий гідроциліндр, що обертається, встановлюється на задній кінець шпинделя.

Налаштування на необхідний діаметр затиску здійснюється переустановленням накладних загартованих або незагартованих кулачків поз.10 по рифленнях основних кулачків поз.8 із забезпеченням вихідної точності патрона. Точність патрона з незагартованими куркульками досягається шляхом розточування накладних кулачків після їх переустановлення на необхідний діаметр затиску.

Переміщення кулачків здійснюється від поршня поз.2 через тягу поз.15.

Підведення і відведення мастила в порожнині гідроциліндра поз.1 здійснюється через колектор поз.20, закріплений на кронштейні поз.16.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 5.1 Забезпечення безпеки праці при експлуатації верстата

Технологічний процес з використанням верстата, здійснюється в умовах механічного цеху із залізобетонною підлогою. У цеху є водяне опалювання, цехова магістраль стислого повітря, освітлювальні і вентиляційні установки.

В процесі трудової діяльності оператора здійснює процес обробки деталі з допомогою ЧПУ. При цьому він проводить введення, відладку і коректування програми, управляє електро- і гідроагрегатами, включає і виключає верстат, здійснює контроль за ходом технологічної операції. Наладка і переналадка верстата здійснюється налагоджувальником.

В процесі експлуатації верстата на робітника діє ряд джерел небезпечних і шкідливих факторів. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори підрозділяються за природою дії на групи:

1. Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори, такі як:

- рухомі частини верстата, стружка, що вилітає, і гострі кромки деталі;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхні заготовки і інструменту;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруження в електричному ланцюзі;
- недостатня освітленість робочої зони;

2. Хімічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

3. Біологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

4. Психофізіологічні небезпечні і шкідливі фактори:

- фізичні перевантаження (установка заготовок на верстат і зняття готових деталей з верстата);
- нервово-психічні перевантаження, викликані монотонністю праці;

*Оцінка механічно небезпечних факторів.*

До небезпечних механічних факторів відносяться рухомі елементи

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції верстата (револьверна головка, піноль), супорт із встановленим в нього ріжучим інструментом, вилітаюча в процесі різання стружка і осколки ріжучого інструменту.

Основними небезпечними механічними факторами, що виникають в процесі токарної обробки деталі, є:

- стружка «сталевий в'юн», що має гострі краї і підвищену температуру;
- шпиндель, що обертається, з патроном і закріпленою заготовкою;
- гострі кромки заготовки, вістря різця;
- рухомі елементи конструкції верстата, що вимагають обгороджування (шківни і ремінні передачі, ходовий гвинт і вал, що розподіляють рух в супорті);
- падаюча заготовка.

Для безпечної експлуатації верстата і захисту обслуговуючого персоналу передбачені захисні пристрої, призначені для обгороджування рухомих механізмів, унеможливаючи допуску до них. Зона різання має захисний пристрій, що включає щиток із оглядовим вікном із міцного скла, що захищає людину від вильоту стружки бризок МОР і мастил.

Вузли і механізми верстата, що представляють небезпеку, пофарбовані в різні кольори, регламентовані ГОСТ 15548-70.

*Оцінка безпеки при виділеннях газів і пари.*

Найбільш інтенсивними джерелами виділення шкідливих домішок є технологічні операції.

Значення гранично допустимих концентрацій шкідливих домішок в повітрі робочої зони приводяться в ГОСТ 12.1.005-88 «Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги» і СНІП 2.04.05-86 «Опалювання, вентиляція і кондиціонування».

Процес охолодження зони різання за допомогою подачі МОР є джерелом виділення в повітря аерозолів і пари води. МОР є також джерелом мікроорганізмів, що представляють біологічну небезпеку.

По технологічних і гігієнічних міркуваннях як МОР приймається емульсія «Аквол-2», що є 3% водний розчин емульсола, що складається з

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

мінерального мастила ПАВ, мила. Протизадирні і протизносійні прокладки, сірку, що містять, і соду, фосфор і хлор, не використовуються, що ліквідує токсичність МОР.

Подача МОР в зону різання здійснюється за допомогою сопла гідродинамічним способом. Така подача зменшує виділення аерозолів МОР. За практичними і довідковими даними інтенсивність виділення аерозолів емульсола для даної групи і потужності верстатів не перевищує 100 мг/год. Таким чином, нормалізація повітря робочої зони може забезпечуватися загальнообмінною вентиляцією.

Процес обробки металу пов'язаний з виділенням пилу. Нетоксичний пил зазвичай робить дратівливу дію на слизисті оболонки людини, а при попаданні в легені – специфічні захворювання. Для усунення цього небезпечного фактору використовується витяжна вентиляція.

#### *Оцінка віробезпеки.*

Джерелом вібрацій є робота електродвигунів, зубчастих передач, а також сам процес різання.

Норми вібрації приведені в ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги безпеки».

Підвищений рівень вібрації надає шкідлива дія на нервову ендокринну, м'язову, кістково-м'язову, серцево-судинну системи. При деяких частотах страждають внутрішні органи, виникають спазми судин, з'являється вібраційна хвороба.

Захист від вібрації здійснюється шляхом демпфування, тобто установкою верстата на спеціальні віброопори. Зниження вібрації досягається також за рахунок збільшення жорсткості системи ВПД.

#### *Оцінка джерел шуму, ультразвуку і інфразвуку.*

Шум несприятливо впливає на організм людини, викликає психічні і фізіологічні порушення, що знижують працездатність і створюючи передумови для загальних і професійних захворювань і виробничого травматизму.

Процес різання, робота електродвигунів, механізмів і систем верстата супроводжується виникненням акустичних коливань на ультразвукових і

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

інфразвукових частотах. При обробці і контролі якості деталі, що виготовляється, ультразвукові установки не використовуються.

Всі джерела шуму можна згрупувати в конструкторських і технологічних. Конструкторські джерела шуму діють при роботі верстата на холостих режимах. До них відносяться електродвигуни, підшипники кочення, зубчасті передачі і неврівноважені частини, що обертаються. Технологічні джерела пов'язані з самим процесом різання. На рівень технологічного шуму роблять вплив режим різання, конструктивні особливості і ступінь зносу ріжучого інструменту. Допустимі рівні звукової потужності приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі рівні звукової потужності

Рівень звука	Середньгеометрична частота, кГц.								
	6	9	12	18	24	36	48	72	96
Фактич.	101	89	86	80	77	73	70	70	68
Допуст.	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Вибір відповідного класу точності виготовлення деталей верстата і балансування деталей, що обертаються, централізована циркуляційна система змащування дозволяють поліпшити шумові характеристики верстата.

Забезпечення електробезпеки.

Виробниче приміщення (механічний цех), в якому експлуатується модернізований верстат і здійснюється вдосконалений технологічний процес, характеризується наявністю струмоведучих підлог і можливістю одночасного торкання металевих конструкцій, з'єднаних із ґрунтом, і елементів електрообладнання, що знаходяться під напругою. Відповідно до ПУЕ механічний цех з такими умовами відноситься до приміщень особливо небезпечним по ураженню електричним струмом. Отже, елементи обладнання, що нормально не знаходяться під напругою, повинні заземлятися або занулятися при номінальній напрузі від 220 В змінного струму і від 110 В постійного струму відповідно до «ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».

Електрифікованим обладнанням, крім металообробних верстатів, є

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вантажопідйомні пристрої, освітлювальна установка загального освітлення, вентиляційні установки загальнообмінної вентиляції.

Верстат має ряд електроприймачів різної напруги і пологів струму. Привід головного руху здійснюється від асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором 1PH7 131. На приводах поздовжніх і поперечних подач використовуються високомоментні двигуни. Є електроприймачі низької напруги: світильники місцевого освітлення (апаратура управління і сигналізації, система ЧПУ). У електрообладнання верстата входить електрошафа.

Світильники загального освітлення живляться змінним струмом напругою 220 В.

Живлення електроприймачів здійснюється від трифазної чотирипровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В безпосередньо через понижуючі трансформатори і випрямлячі.

Захист верстатника від ураження електрострумом відповідає «Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту».

У верстаті здійснюється недоступність струмоведучих частин їх надійною ізоляцією і розміщенням в недоступних місцях.

Електроустановки обгороджені. Забезпечується ізоляція робочого місця.

Допустимі рівні напруги дотику і струмів при аварійному режимі виробничих установок напругою до 1000 В приведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Допустимі рівні напруги

Номін. велич.	Перед. допустимі значення при t °C											
	<0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	>1
U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
I, А	650	400	190	166	140	125	105	90	75	70	50	6

## 5.2 Вибухопожежонебезпека устаткування

У мастильній системі верстата і мультиплікаторові тиску механізму для відпустки інструменту застосовані мастила, які безпечні з протипожежної

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ							Арк.
												63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

точки зору. При установці верстата слід звернути увагу на те, щоб верстат не був довгий час схильний до високого навколишнього теплового випромінювання і щоб поблизу верстата не робилися роботи з відкритим вогнем або предметами, температура яких перевищує 150°C ( 257°F).

Проектований верстат являється вибухопожежонебезпечним при дотриманні усіх вимог до верстата.

### 5.3 Вимоги до розміщення устаткування і організації робочого місця

Виробничі приміщення, в яких здійснюються процеси обробки різанням (тобто розташовується проектований верстат), повинні відповідати вимогам СНиП 11-2-80, СНиП 11-89-80 і санітарним нормам проектування промислових підприємств СН 245-71. Приміщення мають бути обладнані засобами пожежогасінні по ГОСТ 12.4.009-89.

### 5.4 Параметри мікроклімату

На проектованій ділянці характерні небезпечні і шкідливі виробничі чинники (ОПФ і ВПФ), які за природою дії підрозділяються на: фізичні, біологічні, психофізіологічні і хімічні.

Хімічні ОПФ і ВПФ, характерні для даних технологічних процесів, чинять на людину переважно дратівливу і сенсibilізууючу (впливають як алергени) дію.

До психофізіологічних чинників можна віднести фізичні перевантаження, перенапруження окремих органів людини, монотонність праці.

До фізичних чинників відносяться:

- рухомі машини, і механізми, рухливі частини технологічного устаткування;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- відсутність або недолік природного освітлення;
- підвищений рівень шуму і вібрацій;
- підвищений рівень статичної електрики;
- гострі кромки, задирки, шорсткість на поверхні заготовок, інструментів і

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

устаткування;

- стружка;
- підвищена температура поверхонь устаткування;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання, яке може статися через тіло людини;
- підвищена загазованість повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони.

Біологічні ОПФ і ВПФ включають бактерії, віруси і продукти їх життєдіяльності. Джерелом цих чинників є (МОР).

В ході роботи багатоцільових верстатів у зв'язку із застосуванням МОР виникає масляний туман. Він складається з крапель розміром менше 4 мкм (до 90%). Ці крапельки характеризуються високою проникаючою здатністю в легені людини. Аерозолі нафтових мастил, що входять до складу МОР, викликають роздратування слизових оболонок верхніх дихальних шляхів. У повітря робочої зони виділяються аерозолі мастил і МОР. Отримання вуглеводнів при цьому досягає 150-940 міліграм/м<sup>3</sup>, аерозоля масел 7-45 міліграм/м<sup>3</sup>, забруднення одягу складає 800-900 міліграм/дм<sup>2</sup>.

Концентрація МОР і окремих компонентів, а також їх якісний склад залежать від їх витрати, способу подачі, термостабільності, характеру і режиму обробки виробів, властивостей оброблюваного матеріалу, наявності і ефективності санітарно-технічних пристроїв. Накопичуючись в усьому об'ємі робочого приміщення, масляні тумани істотно погіршують умови праці, викликаючи професійні захворювання. Відповідно до ГОСТ 12.1.007-76 по мірі дії на організм людини масляні тумани відносяться до 3-го класу – речовини помірно небезпечні.

При обробці матеріалів різанням у виробничих приміщеннях механічних цехів утворюється пил. Проникаючи в органи дихання, очі, забруднюючи шкірний покрив, пил сприяє виникненню захворювань дихальних шляхів, очей і шкірного покриву залежно від її хімічного складу і міри перевищення ГДК запиленої в робочій зоні. Крім того, пил забруднює світлові отвори (скління), а також світильники загального і місцевого освітлення, значно

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

знижуючи нормативну освітленість робочих місць. Пил відноситься до 3-го класу небезпеки – речовини помірно небезпечні, для яких ГДК складає 6 міліграм/м<sup>2</sup>.

На заводі застосовуються такі засоби колективного захисту від ОПФ і ВПФ: захисні і запобіжні пристрої; розпізнавальне забарвлення і значки безпеки; спеціальні засоби безпеки (системи освітлення і вентиляції виробничих приміщень). Також застосовуються засоби індивідуального захисту від ОПФ і ВПФ, засоби захисту органів дихання, спеціальний одяг і взуття, засоби захисту рук, голови, очей.

Для забезпечення чистоти повітря і нормалізації параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні окрім місцевих відсисаючих пристроїв, що забезпечують видалення шкідливих речовин із зони різання (пилу, дрібної стружки, аерозолів, МОР) передбачена припливна вентиляція у поєднанні з природною вентиляцією. Загальнообмінна вентиляція діє постійно.

Припливна вентиляція забезпечує подачу у виробничі приміщення чистого повітря. Вона застосовується у виробничих приміщеннях зі значними тепловиділеннями і малою концентрацією шкідливих речовин. Свіже припливне повітря по повітропроводах направляють в різні зони виробничого приміщення і через розподільні насадки потрапляють в робочу зону.

Виконувані на ділянці роботи залежно від загальних енерговитрат організму відносяться до фізичних робіт середньої тяжкості (Пб) – роботи пов'язані з ходьбою і перенесенням невеликої (до 10 кг) тяжкості, що відповідає енерговитратам від 200 до 250 ккал/год.

Допустимі мікрокліматичні умови для нормальної роботи:

а) в холодний період року :

- температура 13...25°C;
- відносна вологість – не більше 75%;
- швидкість руху повітря – не більше 0,2...0,5 м/с.

б) в теплий період року :

- температура не більше ніж на 3°C вище середньої температури зовнішнього повітря найжаркішого місяця о 13 годині, але не більше 28°C;

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відносна вологість – не більше 55...75% залежно від температури повітря і категорії роботи;

- швидкість руху повітря – 0,2...1,0 м/с залежно від категорії роботи.

До психофізіологічних шкідливих виробничих чинників можна віднести фізичні перевантаження при установці, закріпленні і зніманні великогабаритних деталей, а також перенапруження зору і монотонність праці.

До біологічних чинників відносяться хвороботворні мікроорганізми і бактерії, що з'являються при роботі з МОР.

Тара для транспортування і зберігання деталей, заготовок і відходів виробництва повинна відповідати вимогам. Тара має бути розрахована на необхідну вантажопідйомність, мати написи про максимально допустимому навантаженню і періодично піддаватися перевіркам. Кут строповки не повинен перевищувати 90°. При установці заготовок і зніманні деталей повинні застосовуватися засоби механізації і автоматизації.

На МОР, вживані для обробки різанням, необхідно мати відповідний дозвіл. Склад МОР на водному розчині, їх антимікробний захист і пастеризація повинні міститися і робитися в строгій відповідності з вимогами.

Періодичність заміни МОР повинна встановлюватися за результатами контролю її змісту, але не рідше за один раз в шість місяців при лезвійній обробці, одного разу в місяць при абразивній обробці для масляних МОР і одного разу в три місяці для водних МОР. Очистку місткостей для приготування МОР, трубопроводів і систем подачі слід проводити один раз в шість місяців для масляних і один раз в три місяці для водних МОР.

Стружка і пил магнієвих і титанових сплавів повинні зберігатися в закритій металевій тарі. За наявності спеціальних приміщень стружку і пил магнієвих сплавів (окрім магній-літєвих) можна зберігати у відкритій тарі. У місцях зберігання мають бути засоби пожежогасіння.

Профілактика дії шкідливих виділень повинна ґрунтуватися на ефективній місцевій вентиляції.

Персонал, що допускається до участі у виробничому процесі обробки

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

різанням, повинен відповідати вимогам, пройти інструктаж і навчання умовам безпеки праці.

Робітники і службовці цехів і ділянок обробки різанням для захисту від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників мають бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями відповідно до «Типових галузевих норм», затвердженими в установленому порядку. Засоби індивідуального захисту, вживані при обробці різанням. Спецодяг людей, працюючих в цехах і на дільницях обробки різанням, належить періодично здавати в прання (хімчистку) і зберігати окремо від верхнього одягу. Умови проведення хімчистки і прання спецодягу повинні відповідати вимогам.

Для захисту шкірного покриву від дії МОР і пил токсичних металів слід застосовувати дерматологічні захисні засоби (профілактичні пасти, мазі, біологічні рукавички).

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

## ВИСНОВОК ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В ході виконання випускної роботи була проведена модернізація приводу головного руху токарно-гвинторізного на базі моделі 165.

Проведений аналіз і кінематичний розрахунок приводу головного руху верстата.

Зроблені силові розрахунки валів, зубчастих коліс, шліцьових і шпонкових з'єднань, вибрані і розраховані підшипники кочення.

В процесі роботи знадобилося детальне ознайомлення з конструкцією і керівництвом по експлуатації токарно-гвинторізного верстата 165.

Модернізований варіант коробки швидкостей несе в собі ряд переваг в порівнянні з конструкцією цього вузла верстата-прототипу:

- застосування складеної структури *ВІІІ* – 10 дозволило зберегти незмінній конструкцію основних вузлів приводу: електромагнітної гальмівної муфти, взаєморозташування валів основної структури коробки швидкостей, в теж часу модернізована коробка швидкостей не має внутрішніх зубчастих зачеплень на шпинделі *ВІІ* і валу *ВІІІ*;

- управління перемиканням частот обертання шпинделя здійснюється за допомогою електричної і гідравлічної схем, що відкриває можливості по частковій автоматизації процесу управління частотою обертання шпинделя;

- автоматизований затиск заготовки.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрегатно модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. Під заг. Ред.. Ю.М. Кузнєцова. Навч. Посібник для ВНЗ. Кіровоград, 2003. – 507с.
2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник за ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.
3. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.В. Практикум з охорони роботи. Навчальний посібник / За ред. В.Ц. Жидецького. - Львів: Афіша, 2000.- 352с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т.- 5-е изд., перераб. и доп. – Переиздат.: Машиностроение, 2001.
5. Деталі машин : Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І. В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя в двух томах / Под редакцией Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: «Машиностроение», 1985.
7. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.1. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 1. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.; ил.
8. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 2. – М.: Машиностроение, 2011. – 586 с.; ил.
9. Підшипники кочення: Ч.1. Кулькові підшипники [Електронний ресурс] : навч. наоч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. А.К. Скуратовський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с.
10. Гандзюк М.П., Желібо Е.Л., Халімовський М.О. Основи охорони роботи./ За ред. М.П. Гандзюка.- К.: Каравела, 2004.- 408с.
11. Бушуев В.В. Практика конструирования машин: справочник - М.: Машиностроение, 2006. - 448 е.: ил.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

12. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.

13. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія Упорядник Кузнєцов Ю.М. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. -692с.

14. Муляр Ю.І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II: навчальний посібник. / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 123 с.

15. Кобзар Є.П., Мельничук Л.С., Громовий О.А. Розрахунки і проектування вузлів та деталей верстатів і систем: Навчальний посібник. - Житомир: ЖІТІ, 2000. - 361 с.

16. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему: "Режими різання матеріалів" для студентів 07.090202 "Технологія машинобудування" усіх форм навчань. / Гордєєв О.Ф. ЛДТУ, 2005. – 38с.

17. Методичні вказівки до курсового проекту на тему: "Обґрунтування технічних характеристик металорізальних верстатів" для студентів спеціальності "Металорізальні верстати, та системи"(7.090203 форм навчання. / Гордєєв О.Ф. ЛДТУ. 2006. – 36с.

18. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему: "Розрахунок шпиндельних вузлів. Методика" для студентів спеціальності 07.090202 "Технологія машинобудування" усіх форм навчання / О.Ф. Гордєєв - Луцьк: ЛДТУ, 2005.-32 с.

19. Обладнання і транспорт механообробних цехів. Конспект лекцій для студентів спеціальностей "Технологія машинобудування" (7.090202) та "Металорізальні верстати та системи" (8.090203) усіх форм навчання / Гордєєв О.Ф. Луцьк: ЛНТУ, 2009. - 36с.

20. О.Ф. Гордєєв Методичні вказівки до виконання курсового проекту по металорізальних верстатах. Луцьк. 2011. – 50с.

21. О.Ф. Гордєєв, Р.М. Полінкевич. Конструювання верстатів та машин.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Конспект лекцій. Луцьк. 2012. – 28с.

22. О.Ф. Гордєєв, Р.М. Полінкевич. Металообробне обладнання. Методичні вказівки до курсового проекту. Луцьк. 2010.- 47с.

23. М.Н. Педченко, Т.І. Верба. Методичні вказівки до виконання атестаційної роботи бакалавра. Київ, 2005. – 20с.

24. Губський А.І., Цивільна оборона. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.

					041Б-23.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72