

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-РЕВОЛЬВЕРНОГО
ВЕРСТАТА**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Металообробне обладнання та
роботизовані виробничі системи»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

Групи: ІМ(МОРВС)-42

Мороз Андрій Олександрович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Полінкевич Роман Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 2025 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Придальний Борис Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

АНОТАЦІЯ

Мороз А.О. Модернізація токарно-револьверного верстата. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Металообробне обладнання та виробничі роботизовані системи» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

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

В даній випускній роботі на тему: “Модернізація токарно-револьверного верстата” зроблено літературний огляд, в якому наведені загальні відомості про револьверний верстат.

Проведено аналіз і кінематичний розрахунок приводу головного руху верстата-прототипу. 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 опис кінематичної схеми і роботи основних вузлів верстата.

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

Ключові слова: шпиндель, коробка швидкостей, револьверний верстат, зубчасте колесо, шків, привід.

ANNOTATION

Moroz A.O. Modernization of a turret lathe. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Metalworking equipment and production robotic systems" specialty 131 Applied mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions and proposals, a list of sources used, appendices.

In this graduation work on the topic: "Modernization of a turret lathe" a literature review is made, which provides general information about the turret lathe.

An analysis and kinematic calculation of the main movement drive of the prototype machine tool are carried out. Force calculations of shafts, gears, spline and key connections are made, rolling bearings, hydraulic cylinders for switching spindle rotation frequencies are selected and calculated. The explanatory note provides a description of the kinematic scheme and the operation of the main components of the machine.

The section on labor protection is completed. Justification of the relevance of solving labor protection issues.

Keywords: spindle, gearbox, turret 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: «Металообробне обладнання та
роботизовані виробничі системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Редько Р.Г.

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Морозу Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Модернізація токарно-револьверного верстата

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» грудня 2024 р. № 910/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «03» _____ 06 _____ 2025 р.

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

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

Аналіз області використання відомих конструкцій та призначення верстатів-аналогів. Кінематичний розрахунок приводу головного руху. Розрахунок та вибір елементів приводу головного руху. Охорона праці. Висновки по випускній роботі

5. Перелік графічного матеріалу:

Кінематична схема токарно-револьверного верстата 1л- ф.А1; Коробка швидкостей (згортка) 1л- ф.А1; 3D-модель деталей складального комплекту IV вала. 1л- А1. 3D-модель складального комплекту IV вала 1л- А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання «01» 11 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Загальний розділ. Технічний опис верстата-прототипу</i>	<i>29.11.2024р.</i>	
2.	<i>Розрахунковий розділ. Кінематичний розрахунок приводу головного руху, що розробляється</i>	<i>11.01.2025р.</i>	
3.	<i>Опис кінематичної схеми і роботи основних вузлів верстата</i>	<i>08.02.2025р.</i>	
4.	<i>Охорона праці та навколишнього середовища</i>	<i>15.03.2025р.</i>	
5.	<i>Формування додатків</i>	<i>12.04.2025р.</i>	
6.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>10.05.2025р.</i>	
7.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>17.05.2025р.</i>	
8.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>24.05.2025р..</i>	
9.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>03.06.2025р.</i>	
10.			

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Мороз А.О.)
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	9
1.1. Технічний опис верстата-прототипу.....	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1. Кінематичний розрахунок приводу.....	12
2.1.1. Побудова структурних сіток приводу головного руху базового верстата.....	12
2.1.2. Розробка структурної формули проектного приводу з обґрунтуванням і вибором оптимального варіанту.....	13
2.1.3. Побудова структурної сітки проектного приводу.....	13
2.1.4. Побудова графіку частот обертання проектного приводу.....	14
2.1.5. Визначення передавальних відношень і розрахунок чисел шестерень (діаметру шківів).....	15
2.1.6. Складання рівнянь кінематичного балансу і розрахунок дійсних частот обертання шпинделя.....	16
2.1.7. Розрахунок допустимої похибки частот обертання та фактичних похибок на усіх ступенях.....	17
2.2. Розрахунки на міцність.....	18
2.2.1. Розрахунок модуля з умов міцності на згин і по контактному допустимому напруженню.....	18
2.2.2. Орієнтовний розрахунок діаметрів валів приводу.....	21
2.2.3. Розрахунок валу на складний опір.....	23
2.2.4. Розрахунок валу на жорсткість.....	28
2.2.5. Уточнений розрахунок IV валу.....	38
2.2.6. Розрахунок і вибір підшипників.....	39
2.2.7. Розрахунок шліцьового або шпони з'єднання.....	41
РОЗДІЛ 3. ОПИС КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ І РОБОТИ	

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА.....	42
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА...	44
4.1. Загальні вимоги до матеріалів, виробничого обладнання, організації робочих місць.....	44
4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при механічній обробці матеріалів різанням.....	45
4.3. Виробнича санітарія.....	47
4.3.1. Вентиляція.....	47
4.3.2. Висвітлення робочих місць.....	47
4.3.3. Шум та вібрації.....	49
4.3.4. Електробезпека.....	50
4.4. Пожежна безпека.....	50
4.5. Охорона довкілля.....	51
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТКИ	

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Вищою метою економічного ступеня нашої країни був і залишається неухильне піднесення матеріального та культурного рівня життя народу. Реалізація цієї мети вимагає прискорення соціально-економічного розвитку, всілякої інтенсифікації та підвищення ефективності виробництва на базі науково-технічного прогресу.

Основними завданнями важкої промисловості є забезпечення механізації, паливно-енергетичними ресурсами, машинами, обладнанням та іншими сучасними засобами виробництва. Основним напрямом важкої промисловості є підвищити обсяг капітальних вкладень, спрямованих на розвиток машинобудівного комплексу. Збільшити випуск продукції машинобудування та металообробки. Широко впроваджувати верстати з ЧПУ, гнучкі переналагоджувальні виробництва і системи автоматизованого проектування. Розвивати спеціалізовані виробництва інструменту. Збільшити випускати продукцію машинобудування. Скоротити терміни розробки та освоєння нової техніки.

При виконанні випускної роботи особлива увага приділяється самостійної творчості з метою розвитку ініціативи у вирішенні технічних та організаційних завдань, а також детальної творчості та аналізу існуючих технологічних процесів. Основне завдання при цьому полягає в тому, щоб були винесені пропозиції щодо вдосконалення існуючої конструкції відповідного обладнання та впровадження в технологічний процес та виробництво. Для виконання цього завдання необхідно поліпшити і вивчити прогресивні напрями розвитку технологічних методів і засобів на підставі аналізу та зіставлення якісних показників, дати свої пропозиції щодо застосування прогресивної техніки.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Технічний опис верстата-прототипу

Даний модернізований токарно-револьверний верстат з вертикальною віссю револьверної головки 1340 є універсальним токарно-револьверним верстатом та призначений для високопродуктивного виконання свердлильних, токарних та різьбонарізних робіт в умовах серійного виробництва.

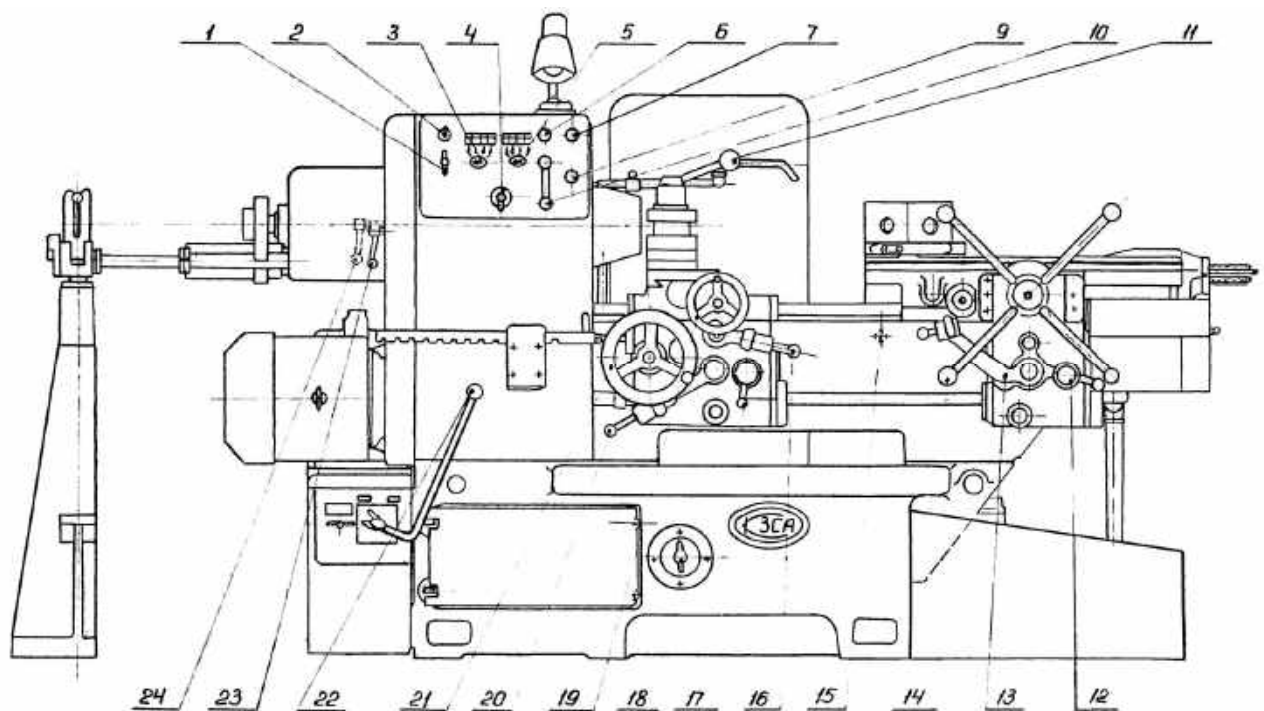


Рисунок 1.1 – Токарно-револьверний верстат 1340

1 – вимикач охолодження, 2 – вимикач освітлення, 3 – перемикач швидкостей, 4 – перемикач з автоматичного режиму на ручний, 5 – перемикач подач, 6 – кнопка пуску гідроприводу, 7 – кнопка зупинки гідроприводу, 9 – кнопка реверса шпинделя, 10 – рукоятка гальмування шпинделя, 11 – рукоятка повороту різцевої головки, 12 – рукоятка подвоєння подач револьверного супорта, 13 – рукоятка включення механічної подачі револьверного супорта, 14 – штурвал ручного переміщення револьверного супорта, 15 – квадрат для переміщення нижніх салазок револьверного супорта, 16 – рукоятка включення механічної поперечної подачі поперечного супорта, 17 – рукоятка реверса подачі, 18 – ввідний вимикач, 19 – маховик ручного поперечного переміщення поперечного супорта, 20 – рукоятка включення механічної поздовжньої подачі поперечного супорта, 21 – маховик ручного

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

поздовжнього переміщення поперечного супорта, 22 – рукоятка затиску та подачі прутка, 23 – рукоятка переключення діапазону подач, 24 – рукоятка переключення діапазону швидкостей.

Токарно-револьверний верстат 1340 може бути прутковим або патронним і на ньому можна виконувати роботи, що вимагають послідовного застосування різного різального інструменту (чорнове та чистове точіння, свердління, розточування, зенкерування, розгортання, нарізування різьб тощо). Верстат 1340 відносять до револьверних верстатів з вертикальною віссю револьверної головки. Вісь обертання головки розташована нижче за осі шпинделя і паралельна їй. Револьверна головка має 6 гнізд, у яких за допомогою різних державок кріплять різальний інструмент. Цей верстат не має бокового (поперечного) супорта. Револьверна головка отримує поздовжню та поперечну подачі.

При оснащенні додатковими пристроями на верстатах проводиться обробка конусів та фасонних поверхонь.

Автоматичне перемикавання частоти обертання шпинделя та подач супорта при зміні позицій револьверної головки відповідно до програми, заданої на штекерній панелі пульта керування значно підвищує продуктивність праці на верстатах та зручність їх обслуговування.

Для налагодження та обробки дрібних партій деталей передбачено ручне керування верстатами.

Застосування змінних револьверних головок забезпечує швидку переналагоджуваність верстатів.

Затискач та подача прутків, а також затискач штучних заготовок здійснюються гідравлічним механізмом. Найбільше допустиме коливання перерізу прутка ± 1 мм, а діаметр штучних заготовок ± 3 мм.

Автоматичне перемикавання частоти обертання шпинделя та подач супорта при зміні позицій револьверної головки відповідно до програми, заданої на штекерній панелі пульта керування, значно підвищує продуктивність роботи на

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

верстаті та зручність його обслуговування. Для налагодження та обробки дрібних партій деталей передбачено ручне керування верстатом.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика верстата 1340

Параметр	Показник
Найбільший діаметр прутка, мм	40
Найбільша довжина прутка, мм	3000
Найбільший діаметр заготовки, що встановлюється над станиною, мм	400
Найбільший діаметр заготовки, що встановлюється в патроні над верхньою частиною супорта, мм	200
Найбільша подача дроту, мм	150
Відстань від переднього торця шпинделя до револьверної головки, мм	200...630
Число частот обертання шпинделя: пряме, об/хв	8 (60...2000)
Число частот обертання шпинделя: зворотне, об/хв	2 (100...265)
Число подач револьверного супорта: поздовжніх, мм/об	12 (0,05-1,6)
Число подач поперечного супорта: поздовжніх, мм/об	8 (0,05-0,8)
Число подач поперечного супорта: поперечних, мм/об	8 (0,025-0,4)

Модернізований токарно-револьверний верстат є універсальним верстатом. Високі числа оборотів (до 2000 об/хв) і потужність електродвигуна в 4 кВт. забезпечують раціональне використання твердосплавного інструменту при обробці як чорних, так і кольорових металів. На верстаті можна робити обточування, підрізування торців, відрізання, свердління, розточування, зенкерування і розвертування отворів, нарізування різьб та ін. Зміна чисел оборотів шпинделя від n_{max} до n_{min} здійснюється електромагнітними муфтами. У цій випускній роботі виконаний розрахунок приводу головного руху, сконструйована коробка швидкостей токарно-револьверного верстата на базі верстата 1340.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Кінематичний розрахунок приводу

2.1.1 Побудова структурних сіток приводу головного руху базового верстата

Початкові дані для розрахунку:

$n_{max} = 2000$ об/хв – максимальна частота обертання шпинделя;

$Z_n = 8$ – число швидкостей;

$\varphi = 1,78$ – знаменник геометричної прогресії ряду;

$N = 7$ кВт – потужність двигуна.

По нормалі Н11-1 виписуємо геометричний ряд частот обертання при $\varphi = 1,78$ від $n_{max} = 2000$ об/хв до n_{min} , рахуючи число східців $Z_n = 8$.

$n_1 = 2000$ об/хв , $n_2 = 1400$ об/хв , $n_3 = 1000$ об/хв, $n_4 = 560$ об/хв, $n_5 = 315$ об/хв, $n_6 = 180$ об/хв, $n_7 = 100$ об/хв, $n_8 = 56$ об/хв.

Структурна формула

$$Z_n = 8 = 21 \cdot 22 \cdot 24$$

Рівняння кінематичного балансу швидкісного ланцюга:

$$n_{max} = 1440 \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{60}{49} \cdot \frac{72}{35} \cdot \frac{41}{48} = 2000 \text{ об/хв.}$$

$$n_{min} = 1440 \cdot \frac{31}{49} \cdot \frac{46}{62} \cdot \frac{22}{85} \cdot \frac{23}{67} = 56 \text{ об/хв.}$$

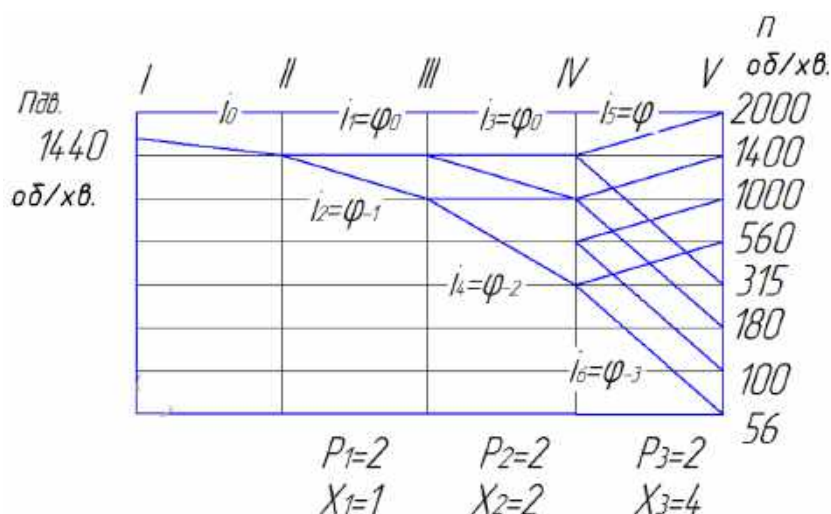


Рисунок 2.1 – Графік частот обертання приводу базового верстата

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2.1.2 Розробка структурної формули проектованого приводу з обґрунтуванням і вибором оптимального варіанту

За завданням число ступенів швидкості обертання приводу $Z_n=8$.

Привід складається з трьох груп передач P_1, P_2 і P_3

Так як $P_1=2, P_2=2$ і $P_3=2$, тоді

$$Z_n=2 \cdot 2 \cdot 2=8$$

Також можна запропонувати варіант при якому $P_1=3, P_2=2$ і $P_3=2$, тоді

$$Z_n=3 \cdot 2 \cdot 2 = 4=8.$$

Кінематична схема складається по аналогії з схемою верстата аналога мод. 1340.

Привід складається з п'яти валів, з посадженими на них рухливими зубчастими колесами, рухливими блоками і сполучними муфтами:

$$Z_n=8=2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_4$$

Ця структура приводу забезпечує його оптимальний варіант оскільки має схожі конструктивні і кінематичні особливості із структурою приводу головного руху верстата мод.1340, і задовольняє умовам $p_1 \geq p_2 \geq p_3 \geq p_4$ і $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4$.

2.1.3 Побудова структурної сітки проектованого приводу

Структурна сітка складається з вертикальних ліній, по кількості рівних числу груп передач плюс одиниця, і горизонтальних ліній, по кількості рівних числу передач проектованого приводу, де кожне горизонтальне поле відповідає φ .

По нормалі Н11-1 виписуємо геометричний ряд частот обертання при $\varphi = 1,41$ від $n_{max} = 2000$ об/хв до n_{min} , рахуючи число східців $Z_n = 8$.

$n_1=2000$ об/хв, $n_2=1400$ об/хв, $n_3=1000$ об/хв, $n_4=710$ об/хв, $n_5=500$ об/хв, $n_6=355$ об/хв, $n_7=250$ об/хв, $n_8=180$ об/хв.

Такий ряд частот обертання може бути отриманий згідно структурної формули

1) $Z_n=8=2_2 \cdot 2_1 \cdot 2_4$

2) $Z_n=8=3_1 \cdot 2_3 \cdot 2_2 - 4$

3) $Z_n=8=2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_4$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

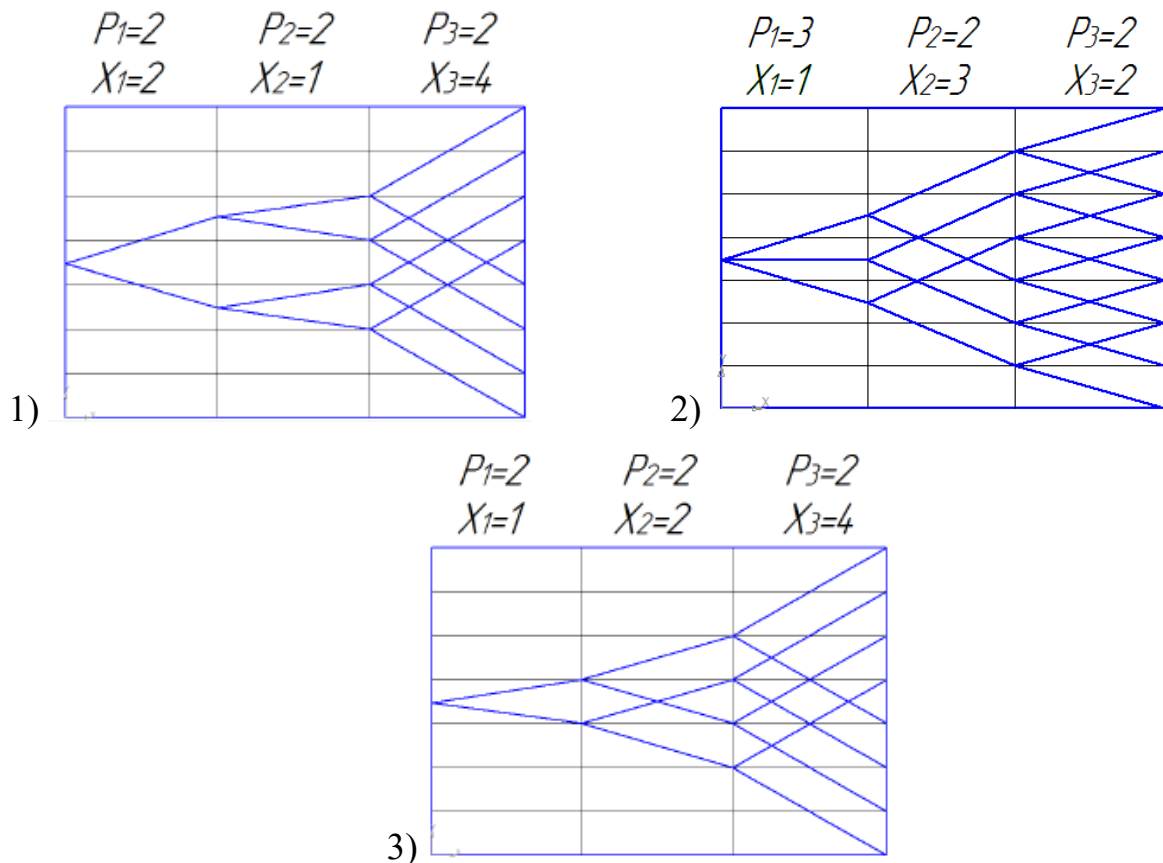


Рисунок 2.2 – 3 варіанти структурної сітки проектованого приводу

3-я сітка має віялоподібний характер, задовольняє умовам $p_1 \geq p_2 \geq p_3$, а також $x_1 \leq x_2 \leq x_3$, що дозволяє уникнути отримання великих діаметрів зубчастих коліс, зменшити вагу приводу і його габарити.

По побудованій структурній сітці будуюмо графік частот обертання.

2.1.4 Побудова графіку частот обертання проектованого приводу

Графік частот обертання показує зміну частот обертання при переході від валу до валу. Графік будується по прийнятій структурній сітці.

Для побудови графіку частот обертання викреслюється сітка вертикальних і горизонтальних ліній подібно до структурної сітки. Число вертикалей дорівнює числу валів. Число горизонталей залишається рівним числу передач. Згори графіка римськими цифрами ліворуч на право позначаються номери валів. Справа у останнього валу від низу до верху пишеться ряд частот обертань, вибраний по заданим n_{max} і n_{min} відповідно до

$$I_1 = \varphi^0 = 1,410 = 1/1 = z_4/z_5 \quad 2 \quad k=12 \quad E=6$$

$$I_2 = \varphi^{-1} = 1,41^{-1} = 5/7 = z_6/z_7 \quad 12 \quad \Sigma z = 12 \cdot 6 = 72$$

$$z_4 + z_5 / z_5 = 2/1; \quad z_5 = 72 \cdot 1/2 = 36;$$

$$z_6 + z_7 / z_7 = 12/7; \quad z_7 = 72 \cdot 7/12 = 42; \quad z_4 = 36; \quad z_5 = 36; \quad z_6 = 30; \quad z_7 = 42;$$

$$I_3 = \varphi^0 = 1,410 = 1/1 = z_8/z_9 \quad 2 \quad k=6 \quad E=12$$

$$I_4 = \varphi^{-1} = 1,41^{-2} = 1/2 = z_{10}/z_{11} \quad 3 \quad \Sigma z = 6 \cdot 12 = 72$$

$$z_8 + z_9 / z_9 = 2/1; \quad z_9 = 72 \cdot 1/2 = 36;$$

$$z_{10} + z_{11} / z_{11} = 3/2; \quad z_{11} = 72 \cdot 2/3 = 48; \quad z_{10} = 24; \quad z_6 = 24; \quad z_7 = 48; \quad z_8 = 36; \quad z_9 = 36;$$

$$I_5 = \varphi = 1,41 = 7/5 = z_{12}/z_{13} \quad 12 \quad k=72 \quad E=1$$

$$I_6 = \varphi^{-3} = 1,41^{-3} = 19/53 = z_{14}/z_{15} \quad 72 \quad \Sigma z = 72 \cdot 1 = 72$$

$$z_{12} + z_{13} / z_{13} = 12/5; \quad z_{13} = 72 \cdot 5/12 = 30; \quad z_{12} = 42;$$

$$z_{14} + z_{15} / z_{15} = 72/53; \quad z_{15} = 72 \cdot 53/72 = 53; \quad z_{14} = 19; \quad z_{12} = 42; \quad z_{13} = 30; \quad z_{14} = 19; \quad z_{15} = 53;$$

$$I_0 = 1400/1440 = z_2 / z_3 \quad \text{Підбираємо} \quad z_2 = 35; \quad z_3 = 36; \quad z_2 / z_3 = 35/36 = 0,97$$

Після підрахунку чисел зубів усіх передач робимо підрахунок дійсних значень величин частот обертання шляхом складання рівнянь кінематичного балансу, починаючи від електродвигуна до шпинделя.

Відхилення дійсних значень від табличного, узятото по нормалі Н11-1, не повинно перевищувати величини

$$[\Delta] = \pm 10 \cdot (\varphi - 1) = 10 \cdot (1,41 - 1) = \pm 4,1\%$$

2.1.6 Складання рівнянь кінематичного балансу і розрахунок дійсних частот обертання шпинделя

Після підрахунку усіх чисел зубів передач проводиться підрахунок усіх дійсних значень величин чисел оборотів або подач шляхом складання рівняння кінематичного балансу, починаючи від електродвигуна до шпинделя.

$$n_1 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{42}{30} = 1960 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad n_2 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{42}{30} = 1400 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$n_3 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{42}{30} = 980 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_4 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{42}{30} = 700 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_5 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{19}{53} = 502 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_6 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{19}{53} = 358 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_7 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{19}{53} = 251 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_8 = 1440 \cdot \frac{35}{36} \cdot \frac{30}{42} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{19}{53} = 179 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

2.1.7 Розрахунок допустимої похибки частот обертання та фактичних похибок на усіх ступенях

Відхилення дійсного значення від табличного не повинне перевищувати величини Δ :

Відносна погрішність розраховується по формулі:

$$\Delta = \frac{n_{\phi} - n_H}{n_H} \cdot 100\%$$

$$\Delta_1 = \frac{1960 - 2000}{2000} \cdot 100\% = -2\%; \quad \Delta_2 = \frac{1400 - 1400}{1400} \cdot 100\% = 0\%;$$

$$\Delta_3 = \frac{980 - 1000}{1000} \cdot 100\% = -2\%; \quad \Delta_4 = \frac{700 - 710}{710} \cdot 100\% = -1,4\%;$$

$$\Delta_5 = \frac{502 - 500}{500} \cdot 100\% = 0,4\%; \quad \Delta_6 = \frac{358 - 355}{355} \cdot 100\% = 0,85\%;$$

$$\Delta_7 = \frac{251 - 250}{250} \cdot 100\% = 0,4\%; \quad \Delta_8 = \frac{179 - 180}{180} \cdot 100\% = -0,56\%.$$

Розрахунки виконані для усіх частот обертання. Результати обчислень зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати обчислень усіх частот обертання

n_H , об/хв	2000	1400	1000	710	500	355	250	180
n_{ϕ} , об/хв	1960	1400	980	700	502	358	251	179
Δ , %	-2	0	-2	-1,4	+0,4	+0,85	+0,4	-0,56

Аналіз результатів обчислення для усіх частот обертання показав, що фактична погрішність не перевищує допустимого значення $\Delta = \pm 4,1\%$.

2.2 Розрахунки на міцність

2.2.1 Розрахунок модуля з умов міцності на згин і по контактному допустимому напруженню.

Максимальне значення розрахованого модуля m_u або m_k округляється до найближчого більшого стандартного значення. У верстатобудуванні для універсальних верстатів середнього типорозміру модуль менше 2мм не бажаний.

Розрахунок модулів в групах передач робиться з умови роботи зуба на згин і контактну міцність. З умов міцності на згин ведеться – по шестерні, а по контактному допустимому напруженні – по колесу.

Розрахунок модуля з умов міцності на згин виконуємо по формулі:

$$m_{зг} m_{ксп} \geq 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot N \cdot k_H k_D k_{HP}}{y_H z_1 \cdot \psi_H \cdot [\sigma_H] n_{1P}}}$$

де: N – потужність, що передається шестернею

$$N = N_{ед} \cdot \eta.$$

η – коефіцієнт корисної дії передуючих шестерні передач: пасових, зубчастих, підшипників.

$\eta = \eta_p^A \cdot \eta_z^B \cdot \eta_{ш}^C$, де A , B , C – число пасових, зубчастих передач і підшипників до шестерні, що розраховується.

$k_H = 1,2$ – коефіцієнт перевантаження;

$k_D = 1$ – коефіцієнт динамічності;

$k_{HP} = 1,2$ – коефіцієнт нерівномірності;

ψ_B – відношення ширини зубчастого вінця до модуля $\psi_B = 6 \div 12$
приймаємо $\psi_B = 8$

$y_H = 0,5$ – коефіцієнт форми зуба;

z_1 – число зубів шестерні по розрахунковому ланцюгу для знижуючої передачі або число зубів z_2 для підвищуючої передачі;

$[\sigma]_H$ – допустиме напруження при розрахунку на згин;

n_{1P} – число обертів шестерні по розрахунковому ланцюгу на графіці.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У розрахунку розглядаємо матеріали: Сталь 20Х, Ст40Х, Сталь12ХНЗА (Додаток А). Проаналізувавши результати, остаточно вибираємо Ст40Х, як найбільш відповідний виходячи з економіко-технічних характеристик.

В якості матеріалу зубчастих коліс беремо Ст40Х загартовану, для якої $[\sigma]_{II}=300 \text{ Н/мм}^2$.

Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя

$$n \cdot \sqrt[4]{Rn_n} \cdot \sqrt[3]{Rn_{min}} \cdot$$

де n_{min} – мінімальна частота обертання шпинделя;

R_n – діапазон регулювання.

$$180 \cdot \sqrt[4]{\frac{2000}{180}} < n_p < 180 \cdot \sqrt[3]{\frac{2000}{180}} \quad 180 \cdot \sqrt[4]{11,11} < n_p < 180 \cdot \sqrt[3]{11,11}$$

$$180 \cdot 1,83 < n_p < 180 \cdot 2,235 \quad 329,4 < n_p < 402,3$$

Прийmemo $n_p = 355$ об/хв. Розрахунковий діапазон від 355 об/хв до 2000 об/хв. Розрахунок ведемо по нижній гілці. Групи III - IV і IV - V розрахуємо по двох гілках, оскільки передача $355-710 \text{ min}^{-1}$ потрапляє в розрахунковий діапазон.

Приймаємо $n_p=355$ об/хв.

$$1-2 \quad m_{32} \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 4 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{0,5 \cdot 35 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 1440}} = \sqrt[3]{1,86} = 1,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо $m_{32} = 2$ мм.

$$2-3 \quad m_{32} \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 3,92 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{0,5 \cdot 30 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 1400}} = \sqrt[3]{2,18} = 1,3 \text{ мм.}$$

$$\eta = 4,0 \cdot \eta_3^1 \cdot \eta_{II}^2 = 4,0 \cdot 0,99 \cdot 0,995^2 = 3,92 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $m_{32} = 2$ мм.

$$3-4 \quad m_{32} \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 3,84 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{0,5 \cdot 24 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 1000}} = \sqrt[3]{3,74} = 1,55 \text{ мм.}$$

$$\eta = 4,0 \cdot \eta_3^2 \cdot \eta_{II}^4 = 4,0 \cdot 0,99^2 \cdot 0,995^4 = 3,84 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $m_{32} = 2$ мм.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$3-4 \quad m_{32} \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 3,84 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{0,5 \cdot 36 \cdot 8 \cdot 500 \cdot 710}} = \sqrt[3]{2,1} = 1,2 \text{ мм.}$$

$$\eta = 4,0 \cdot \eta_3^2 \cdot \eta_{II}^4 = 4,0 \cdot 0,99^2 \cdot 0,995^4 = 3,84 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $m_{32} = 2 \text{ мм.}$

$$4-5 \quad m_{32} \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 3,76 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{0,5 \cdot 19 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 1000}} = \sqrt[3]{4,63} = 1,65 \text{ мм.}$$

$$\eta = 4,0 \cdot \eta_3^3 \cdot \eta_{II}^6 = 4,0 \cdot 0,99^3 \cdot 0,995^6 = 3,76 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $m_{32} = 2 \text{ мм.}$

$$4-5 \quad m_{32} \geq \sqrt[3]{\frac{19500000 \cdot 3,76 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{0,5 \cdot 42 \cdot 8 \cdot 500 \cdot 710}} = \sqrt[3]{1,7} = 1,19 \text{ мм.}$$

$$\eta = 4,0 \cdot \eta_3^3 \cdot \eta_{II}^6 = 4,0 \cdot 0,99^3 \cdot 0,995^6 = 3,76 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $m_{32} = 2 \text{ мм.}$

Перевірочний розрахунок на контактну міцність виконуємо по формулі:

$$m_K \geq \sqrt[3]{\frac{(i+1) \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{[\sigma]_k \cdot i \cdot z}\right)^2 \cdot \frac{N \cdot k_{HT} \cdot k_{HD} \cdot k_{H\beta}}{n_{2F}}}{\psi_b}},$$

де: i – передавальне число;

z – число зубів колеса;

„+” – для зовнішнього зачеплення;

„-” – для внутрішнього зачеплення;

n_{2F} – частота обертання колеса по розрахунковому ланцюгу на графіці обертів колеса по розрахунковому ланцюгу на графіці;

$[\sigma]_k$ – межа міцності поверхневих шарів колеса.

$$m_K = \sqrt[3]{\frac{\frac{36+1}{35} \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{1000 \cdot 36 / 35 \cdot 36}\right)^2 \cdot \frac{4 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{1400}}{\psi_b}} = \sqrt[3]{0,25 \cdot 28,9^2 \cdot 0,004} = \sqrt[3]{0,86} = 0,95 \text{ мм.}$$

$$m_K = \sqrt[3]{\frac{1,41+1}{8} \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{1000 \cdot 1,41 \cdot 42}\right)^2 \cdot \frac{3,92 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{1000}} = \sqrt[3]{0,3 \cdot 18,07^2 \cdot 0,01} = \sqrt[3]{0,55} = 0,8 \text{ мм.}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$m_K = \sqrt[3]{\frac{1,41^2+1}{8} \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{1000 \cdot 1,41^2 \cdot 48}\right)^2 \cdot \frac{3,84 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{500}} = \sqrt[3]{0,38 \cdot 11,15 \cdot 0,01} = \sqrt[3]{0,05} = 0,36 \text{ мм.}$$

$$m_K = \sqrt[3]{\frac{1,41^2+1}{8} \cdot \left(\frac{1070000 \cdot 2}{1000 \cdot 1,41^2 \cdot 53}\right)^2 \cdot \frac{3,76 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{355}} = \sqrt[3]{0,48 \cdot 7,21^2 \cdot 0,02} = \sqrt[3]{0,38} = 0,73 \text{ мм.}$$

Перевірка на контактну міцність показує, що необхідно прийняти модулі, розраховані по умові роботи зубів на згин, тобто

$$m_{1-2} = 2 \text{ мм.} \quad m_{2-3} = 2 \text{ мм.} \quad m_{3-4} = 2 \text{ мм.} \quad m_{4-5} = 2 \text{ мм.}$$

Визначення міжосьових відстаней.

$$A_{1-2} = m \cdot Z_2 + Z_3 / 2 = 2 \cdot 35 + 36 / 2 = 71 \text{ мм.}$$

$$A_{2-3} = m \cdot Z_4 + Z_5 / 2 = 2 \cdot 36 + 36 / 2 = 72 \text{ мм.}$$

$$A_{3-4} = m \cdot Z_8 + Z_9 / 2 = 2 \cdot 36 + 36 / 2 = 72 \text{ мм.}$$

$$A_{4-5} = m \cdot Z_{12} + Z_{13} / 2 = 2 \cdot 42 + 30 / 2 = 72 \text{ мм.}$$

Діаметри зубчастих коліс.

$$D_2 = m \cdot Z_2 = 2 \cdot 35 = 70 \text{ мм.} \quad D_7 = m \cdot Z_7 = 2 \cdot 42 = 84 \text{ мм.} \quad D_{12} = m \cdot Z_{12} = 2 \cdot 42 = 84 \text{ мм.}$$

$$D_3 = m \cdot Z_3 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ мм.} \quad D_8 = m \cdot Z_8 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ мм.} \quad D_{13} = m \cdot Z_{13} = 2 \cdot 35 = 60 \text{ мм.}$$

$$D_4 = m \cdot Z_4 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ мм.} \quad D_9 = m \cdot Z_9 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ мм.} \quad D_{14} = m \cdot Z_{14} = 2 \cdot 19 = 38 \text{ мм.}$$

$$D_5 = m \cdot Z_5 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ мм.} \quad D_{10} = m \cdot Z_{10} = 2 \cdot 24 = 48 \text{ мм.} \quad D_{15} = m \cdot Z_{15} = 2 \cdot 53 = 106 \text{ мм.}$$

$$D_6 = m \cdot Z_6 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мм.} \quad D_{11} = m \cdot Z_{11} = 2 \cdot 48 = 96 \text{ мм.}$$

Ширина вінця зубчастого колеса.

$$b = m \cdot \psi_B = 2 \cdot 8 = 16 \text{ мм.}$$

2.2.2 Орієнтовний розрахунок діаметрів валів приводу

Для попереднього прокреслювання креслень приводів необхідно орієнтовно визначити діаметри валів, як в коробці швидкостей, так і в перебірній групі, розташованій в шпindelній бабці. Оскільки на цьому етапі проектування невідомі ні довжини валів, ні місця прикладання величини сил і опорних реакцій, то попередній розрахунок робиться тільки на кручення по зниженому допустимому напруженню, які приймаються в межах

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$[\tau_{кр}] = 25 \div 30 \text{ Н/мм}^2.$$

Діаметр валу розраховується по формулі:

$$d_i = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{КРi}}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} \text{, мм.}$$

де: $[\tau_{кр}]$ – допустима напруга при крученні;

$M_{КРi}$ – крутний момент на відповідному валу визначаємо по формулі:

$$M_{КРi} = \frac{9740 \cdot N_{ЕД} \cdot \eta}{n_p} \text{, Н} \cdot \text{м,}$$

де N – потужність на валу, що розраховується;

n_p – частота обертання на розрахунковому ланцюзі.

Таким чином, набуваємо наступних значень:

Для першого валу:

$$M_{КР1} = \frac{9740 \cdot N_{ЕД}}{n_1} = \frac{9740 \cdot 4,0}{1440} = 27 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$d_1 = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{КР1}}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{27}{0,2 \cdot 25}} = 17,5 \text{ мм;}$$

Для другого валу:

$$M_{КР2} = \frac{9740 \cdot N_{ЕД}}{n_2} = \frac{9740 \cdot 3,92}{1400} = 27 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$d_2 = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{КР2}}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{27}{0,2 \cdot 25}} = 17,5 \text{ мм;}$$

Для третього валу:

$$M_{КР3} = \frac{9740 \cdot N_{ЕД}}{n_3} = \frac{9740 \cdot 3,84}{1000} = 37,4 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$d_3 = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{КР3}}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{37,4}{0,2 \cdot 25}} = 19,5 \text{ мм;}$$

Для четвертого валу:

$$M_{КР4} = \frac{9740 \cdot N_{ЕД}}{n_4} = \frac{9740 \cdot 3,76}{500} = 73 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_4 = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{KP4}}{0,2 \cdot [\tau_{KP}]}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{73}{0,2 \cdot 25}} = 20 \text{ мм};$$

Для п'ятого валу:

$$M_{KP5} = \frac{9740 \cdot N_{эд}}{n_5} = \frac{9740 \cdot 3,76 \cdot 0,99 \cdot 0,995^2}{355} = 101 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$d_5 = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{KP4}}{0,2 \cdot [\tau_{KP}]}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{101}{0,2 \cdot 25}} = 27 \text{ мм};$$

Знайдені діаметри валів округляються до найближчого більшого діаметру, який повинен відповідати внутрішньому діаметру, вибраному для цього валу підшипника.

2.2.3 Розрахунок валу на складний опір

Для розрахунку на складний опір вибираємо IV вал як найбільш навантажений.

На рис. 2.4 зображена схема вантаження валу IV.

Ця схема вантаження береться для зручності розрахунку, слід враховувати, що вона відрізняється від реальної. У реальності сили на вал не діятимуть по прямій, а рівномірно розподілятимуться по ділянці валу оскільки зубчасте колесо пов'язане з валом за допомогою широкого підшипника і втулки.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

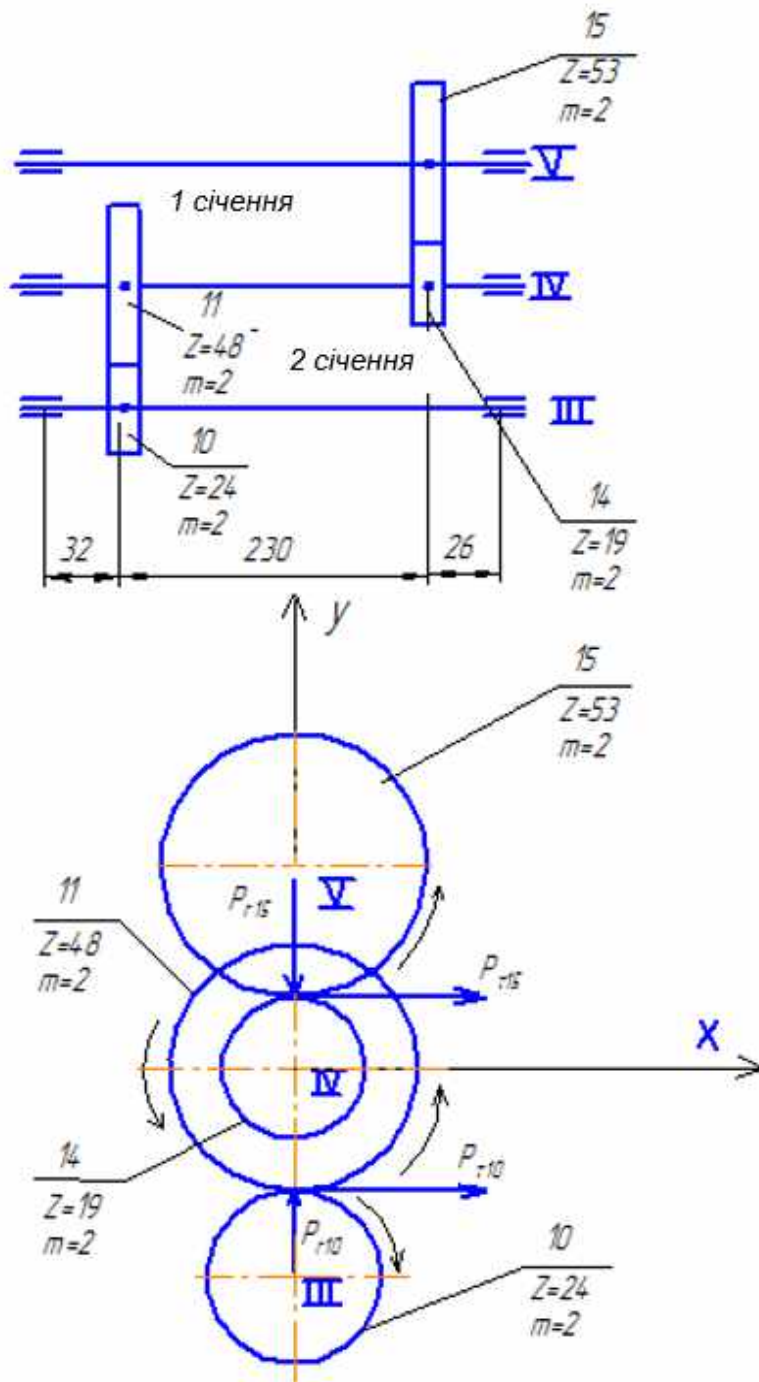


Рисунок 2.4 – Схема вантаження валу IV

Визначаємо сили діючі в зачепленні.

Окружна (тангенціальна) сила від дії III валу на IV-й.

$$P_{\tau 10} = \frac{2000 \cdot M_{кр}}{m \cdot z_{11}}$$

$$M_{кр} = \frac{9740 \cdot N_{эд} \cdot \eta}{n\rho}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$M_{кр} = \frac{9740 \cdot 3,81}{500} = 75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P_{\tau 10} = \frac{2000 \cdot 75}{2 \cdot 48} = 1562,5 \text{ Н}.$$

Радіальна сила від дії III валу на IV-й

$$P_{r10} = P_{\tau 10} \cdot \text{tg} 20^\circ = 1562,5 \cdot 0,364 = 569 \text{ Н}.$$

Окружна сила від дії V валу на IV-й

$$P_{\tau 15} = \frac{2000 \cdot M_{кр}}{m \cdot z_{14}} = \frac{2000 \cdot 75}{2 \cdot 19} = 3948 \text{ Н}.$$

Радіальна сила від дії V валу на IV-й

$$P_{r15} = P_{\tau 15} \cdot \text{tg} 20^\circ = 3948 \cdot 0,364 = 1437 \text{ Н}.$$

Таким чином, на IV вал діють сили

У горизонтальній площині

У 1-му перерізі $P_{1x} = - P_{\tau 10} = - 1562,5 \text{ Н}.$

У 2-му перерізі $P_{2x} = - P_{\tau 15} = - 3948 \text{ Н}.$

У вертикальній площині

У 1-му перерізі $P_{1y} = - P_{r10} = - 569 \text{ Н}.$

У 2-му перерізі $P_{2y} = P_{r15} = 1437 \text{ Н}.$

Вал замінюваний балкою на шарнірних опорах, навантажуюмо її силами, діючими в горизонтальній і вертикальній площинах. Складаємо розрахункову схему

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

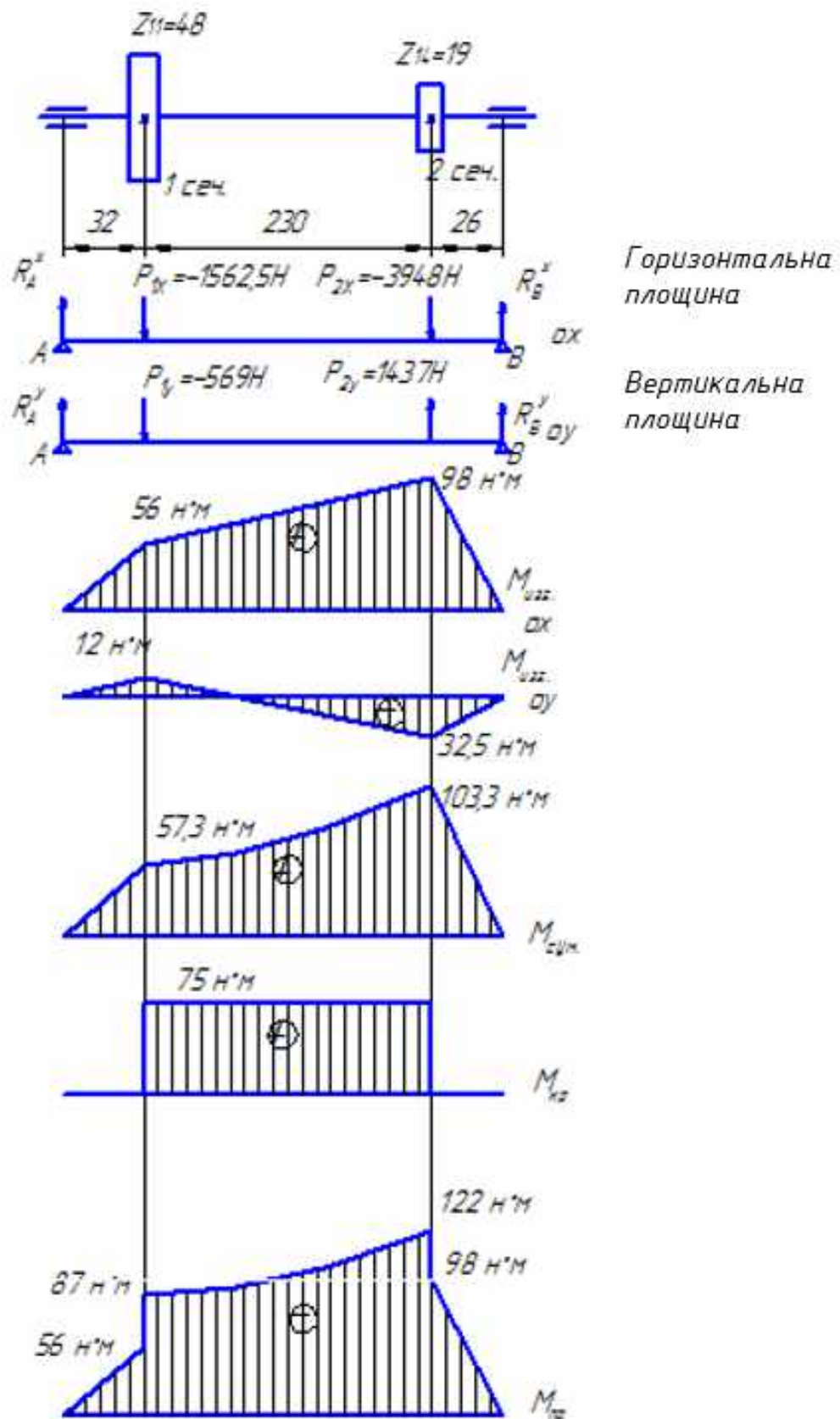


Рисунок 2.5 – Схема для розрахунку валу IV на складний опір.

Визначення опорних реакцій

Подальше рішення проводимо окремо для вертикальної (YOZ) і горизонтальної (ZOX) площин.

Знаходимо складові опорних реакцій:

- у горизонтальній площині

$$\Sigma M_{BX}=0; \quad R_{AX} \cdot 288 - 1562,5 \cdot 256 - 3948 \cdot 26 = 0.$$

$$R_{AX} = \frac{1562,5 \cdot 256 + 3948 \cdot 26}{288} = \frac{400000 + 102648}{288} = 1745 \text{ Н.}$$

$$\Sigma M_{AX}=0; \quad 1562,5 \cdot 32 + 3948 \cdot 262 - R_{BX} \cdot 288 = 0.$$

$$R_{BX} = \frac{1562,5 \cdot 32 + 3948 \cdot 262}{288} = \frac{50000 + 1034376}{288} = 3765 \text{ Н.}$$

Перевірка:

$$\Sigma X=0; \quad 1745 - 1562,5 - 3348 + 3765 = 0.$$

$$R_{AX} = 1745 \text{ Н.}$$

$$R_{BX} = 3765 \text{ Н.}$$

- у вертикальній площині

$$\Sigma M_{By}=0; \quad R_{Ay} \cdot 288 - 569 \cdot 256 - 1437 \cdot 26 = 0.$$

$$R_{Ay} = \frac{569 \cdot 256 + 1437 \cdot 26}{288} = \frac{145664 + 37362}{288} = 376 \text{ Н.}$$

$$\Sigma M_{Ay}=0; \quad 569 \cdot 32 + 1437 \cdot 262 + R_{By} \cdot 288 = 0.$$

$$R_{By} = \frac{1437 \cdot 262 + 569 \cdot 32}{288} = \frac{376494 + 18208}{288} = 1244 \text{ Н.}$$

Перевірка:

$$\Sigma Y=0; \quad 376 - 569 + 1437 - 1244 = 0.$$

$$R_{Ay} = 376 \text{ Н.}$$

$$R_{By} = 1244 \text{ Н.}$$

Визначаємо значення згинальних моментів

у горизонтальній площині

Для перерізу 1: $M_{зг.1x} = R_{AX} \cdot 0,032 = 1745 \cdot 0,032 = 56 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

Для перерізу 2: $M_{зг.2x} = R_{BX} \cdot 0,026 = 3765 \cdot 0,026 = 98 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

у вертикальній площині

Для перерізу 1: $M_{зг.1y} = R_{Ay} \cdot 0,032 = 376 \cdot 0,032 = 12 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Для перерізу 2: $M_{\Sigma z, 2y} = -R_{BY} \cdot 0,026 = -1244 \cdot 0,026 = -32,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Розраховуємо сумарний згинальний момент

$$M_{\Sigma z, z} = \sqrt{M_{\Sigma z, x}^2 + M_{\Sigma z, y}^2}$$

У перерізі 1: $M_{\Sigma z, 1} = \sqrt{56^2 + 12^2} = \sqrt{3136 + 144} = 57,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$

У перерізі 2: $M_{\Sigma z, 2} = \sqrt{98^2 + 32,5^2} = \sqrt{9604 + 1056} = 103,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Приведений момент

Приведений момент визначається відповідно до 4-ої теорії міцності по формулі

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{\Sigma z}^2 + 0,75M_{\text{кр}}^2}$$

У перерізі 1:

$$M_{\text{пр}1} = \sqrt{57,3^2 + 0,75 \cdot 75^2} = \sqrt{3283,3 + 4218,75} = 87 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

У перерізі 2: $M_{\text{пр}2} = \sqrt{103,3^2 + 0,75 \cdot 75^2} = 122 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Найбільш небезпечним буде 2-й переріз IV валу, де $M_{\text{пр}} = 122 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

По цьому моменту і розраховуємо діаметр IV валу.

Матеріал валу – Ст40Х допустима напруга на згин $[\sigma]_0 = 140 \text{ МПа}$.

Тоді визначуваний діаметр валу:

$$d = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{10M_{\text{пр}}}{[\sigma_H]}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 122}{140}} = 20,4 \text{ мм};$$

Оскільки 4 вал шліцьовий, приймаємо шліцьове з'єднання середньої серії $D - 6 \times 21 \times 25; b = 5$.

Розрахунок інших варіантів вантаження зроблений на ЕОМ. Результати розрахунку див. Додаток Б. З результатів видно що вал найбільше навантажений у разі розрахований вище.

2.2.4 Розрахунок валу на жорсткість

На жорсткість розраховуємо той вал, який був розрахований на складний

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

опір, тобто IV вал. Конструктивно вал виконаний у вигляді шліцьового без перепаду діаметрів між опорами.

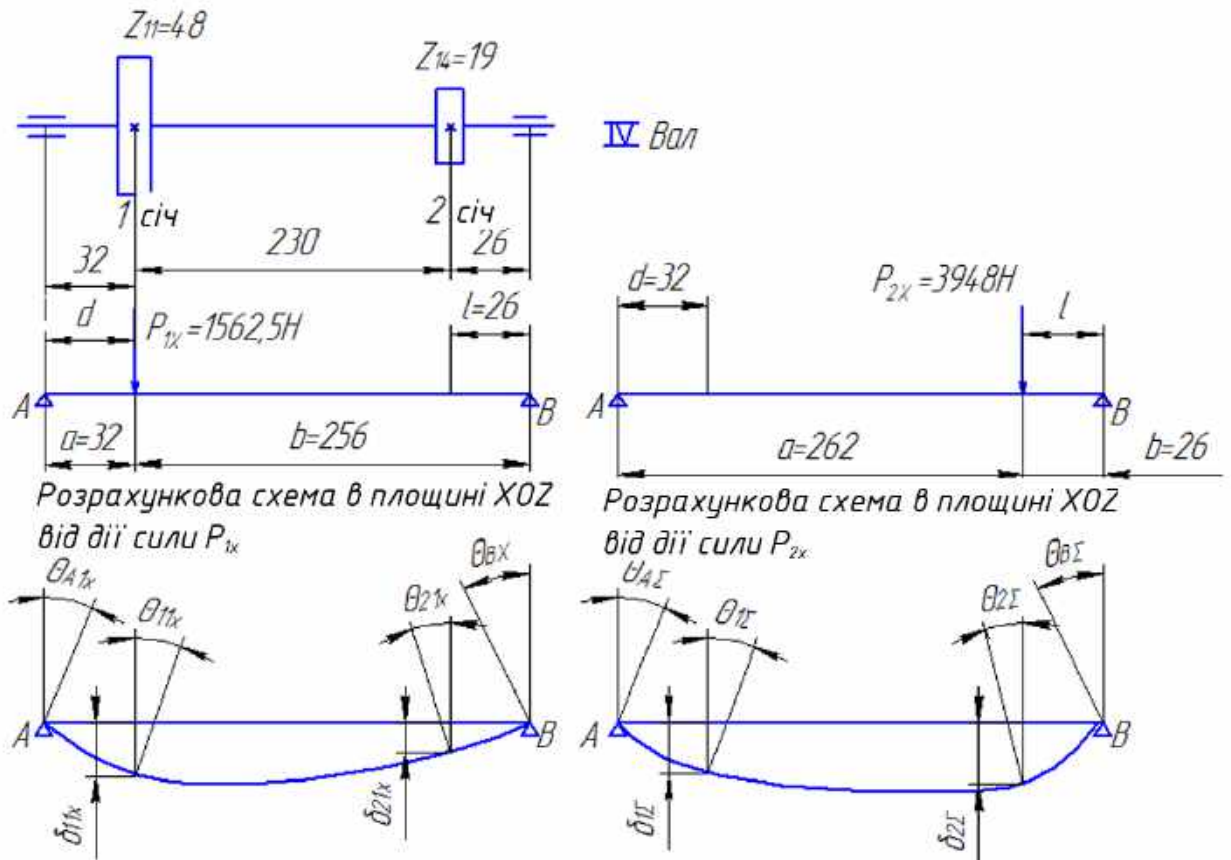


Рисунок 2.6 – Схема 4 валу для розрахунку на жорсткість.

Кути повороту і переміщення від дії сили P_{1x}

δ_{11x} – переміщення в перерізі 1 від сили P_{1x} .

δ_{21x} – переміщення в перерізі 2 від сили P_{1x} .

θ_{A1x} – кут повороту в перерізі А від сили P_{1x} .

$\delta_{1\Sigma}$, $\delta_{2\Sigma}$, $\theta_{A\Sigma}$, $\theta_{1\Sigma}$, $\theta_{2\Sigma}$, $\theta_{B\Sigma}$ – сумарні кути повороту і переміщення в розрахункових перерізах валу.

Визначаємо жорсткість перерізу валу при згині розраховується з умов:

Модуль пружності $E=2 \cdot 10^5$ Н/мм.

Момент інерції шліцьового валу з достатньою для розрахунку точністю визначається по залежності:

$$J = \frac{\pi \cdot d_{cp}^4}{64}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

де d_{cp} – умовний розрахунковий діаметр валу;

$$d_{cp} = d + 0,3(D - d)$$

d – внутрішній діаметр шліцьового валу;

D – зовнішній діаметр шліцьового валу.

$$d_{cp} = 21 + 0,3(25 - 21) = 21 + 1,2 = 22,2\text{мм}$$

$$J = \frac{\pi \cdot d_{cp}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 22,2^4}{64} = 1,19 \cdot 10^4 \text{мм}^4$$

Визначаємо прогини δ_{ix} і кути повороту θ_{ix} в площині XOZ під шестернею 11 (переріз 1) від дії сил в зачепленні з шестернею 11 ($Z=48$) і в площині XOZ під шестернею 14 (переріз 2) від дії сил в зачепленні з шестернею 14 ($Z=19$).

$$\begin{aligned} \delta_{11x} &= \frac{P_{1x} \cdot b \cdot d(L^2 - b^2 - d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 256 \cdot 32(288^2 - 256^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} \\ &= -\frac{1562,5 \cdot 256 \cdot 32(82944 - 65536 - 1024)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,05\text{мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{21x} &= \frac{P_{1x} \cdot a \cdot l(L^2 - b^2 - l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 32 \cdot 26(288^2 - 256^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} \\ &= -\frac{1562,5 \cdot 32 \cdot 26(82944 - 65536 - 676)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,01\text{мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{12x} &= \frac{P_{1x} \cdot b \cdot d(L^2 - b^2 - d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 26 \cdot 32(288^2 - 26^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} \\ &= -\frac{3948 \cdot 26 \cdot 32(82944 - 676 - 1024)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,06\text{мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{22x} &= \frac{P_{2x} \cdot a \cdot l(L^2 - b^2 - l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 262 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} \\ &= -\frac{3948 \cdot 262 \cdot 26(82944 - 676 - 676)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,53\text{мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{11x} &= \frac{P_{1x} b(L^2 - b^2 - 3d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 256(288^2 - 256^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} \\ &= -\frac{1562,5 \cdot 256(82944 - 65536 - 3072)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -1,39 \cdot 10^{-3} = -0,00139 \end{aligned}$$

$$\theta_{21x} = \frac{P_{1x} a(L^2 - a^2 - 3l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 32(288^2 - 32^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$= -\frac{1562,5 \cdot 32(82944 - 1024 - 2028)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -9,7 \cdot 10^{-4} = -0,00097$$

$$\theta_{12x} = \frac{P_{2x}b(L^2 - b^2 - 3d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} =$$

$$= -\frac{3948 \cdot 26(82944 - 676 - 3072)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -1,98 \cdot 10^{-3} = -0,00198$$

$$\theta_{22x} = -\frac{P_{2x}a(L^2 - a^2 - 3l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = -\frac{-3948 \cdot 262(288^2 - 262^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} =$$

$$= \frac{3948 \cdot 262(82944 - 68644 - 2028)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 13 \cdot 10^{-3} = 0,003$$

$$\theta_{A1x} = \frac{P_{1x} \cdot a \cdot b(L + b)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = -\frac{-1562,5 \cdot 32 \cdot 256(288 + 256)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} =$$

$$= -1,69 \cdot 10^{-3} = -0,00169$$

$$\theta_{B1x} = -\frac{P_{1x} \cdot a \cdot b(L + a)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = -\frac{-1562,5 \cdot 32 \cdot 256(288 + 32)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 9,95 \cdot 10^{-4} = 0,000995$$

$$\theta_{A2x} = \frac{P_{2x} \cdot a \cdot b(L + b)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = -\frac{-3948 \cdot 262 \cdot 26(288 + 26)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -2,05 \cdot 10^{-3} = -0,00205$$

$$\theta_{B2x} = -\frac{P_{2x} \cdot a \cdot b(L + a)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = -\frac{-3948 \cdot 262 \cdot 26(288 + 262)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,0036$$

Аналогічно визначаємо кути повороту і прогини в площині YOZ.

У розрахункових схемах змінюються тільки величини сил лінійні розміри залишаються ті ж.

$$P_{1y} = -569 \text{ Н.} \quad P_{2y} = 1437 \text{ Н.}$$

$$\delta_{11y} = \frac{-569 \cdot 256 \cdot 32(288^2 - 256^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,02 \text{ мм.}$$

$$\delta_{21y} = \frac{569 \cdot 32 \cdot 26(288^2 - 256^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

$$\delta_{12y} = \frac{1437 \cdot 26 \cdot 32(288^2 - 26^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,02 \text{ мм.}$$

$$\delta_{22y} = \frac{1437 \cdot 262 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,19 \text{ мм.}$$

$$\theta_{11y} = \frac{569 \cdot 256(288^2 - 256^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 5,0 \cdot 10^{-4}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\theta_{21y} = -\frac{-569 \cdot 32(288^2 - 32^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 3,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\theta_{12y} = \frac{1437 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 7,2 \cdot 10^{-4}$$

$$\theta_{22y} = \frac{1437 \cdot 262(288^2 - 262^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 1,09 \cdot 10^{-3}$$

$$\theta_{A1y} = -\frac{569 \cdot 32 \cdot 256(288 + 256)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -6,15 \cdot 10^{-4}$$

$$\theta_{B1y} = -\frac{-569 \cdot 32 \cdot 256(288 + 32)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 3,6 \cdot 10^{-4}$$

$$\theta_{A2y} = \frac{1437 \cdot 262 \cdot 26(288 + 26)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = 7,46 \cdot 10^{-4}$$

$$\theta_{B2y} = -\frac{1437 \cdot 262 \cdot 26(288 + 262)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^4 \cdot 288} = -1,3 \cdot 10^{-3}$$

Результати усіх розрахунків прогинів пружної лінії і поворотів перерізів валу зводимо в таблицю.

Прогини і кути повороту перерізів валу 4.

Таблиця 2.2 – Площина XOZ

Переріз	Від сили $P_{1x}=1562,5$ Н	Від сили $P_{2x}= - 3948$ Н	Повні від сил $P_{1x}+P_{2x}$
1	$\delta_{11x} = -0,05$ мм. $\theta_{11x} = -1,39 \cdot 10^{-3}$	$\delta_{12x} = -0,06$ мм. $\theta_{12x} = -1,98 \cdot 10^{-3}$	$\delta_{1x} = -0,11$ мм. $\theta_{1x} = -3,37 \cdot 10^{-3}$
2	$\delta_{21x} = -0,01$ мм. $\theta_{21x} = -0,00097$	$\delta_{22x} = -0,53$ мм. $\theta_{22x} = 0,003$	$\delta_{2x} = -0,54$ мм. $\theta_{2x} = 2,03 \cdot 10^{-3}$
A	$\theta_{A1x} = -1,69 \cdot 10^{-3}$	$\theta_{A2x} = -2,05 \cdot 10^{-3}$	$\theta_{Ax} = -3,74 \cdot 10^{-3}$
B	$\theta_{B1x} = 9,95 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{B2x} = 3,6 \cdot 10^{-3}$	$\theta_{Bx} = 4,6 \cdot 10^{-3}$

Таблиця 2.3 – Площина YOZ

Переріз	Від сили $P_{1y} = -569$ Н	Від сили $P_{2x} = 1437$ Н	Повні від сил $P_{1y} + P_{2y}$
1	$\delta_{11y} = -0,02$ мм. $\theta_{11y} = -5,0 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{12y} = 0,02$ мм. $\theta_{12y} = 7,2 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{1y} = 0$ мм. $\theta_{1y} = 2,2 \cdot 10^{-4}$
2	$\delta_{21y} = -3,6 \cdot 10^{-3}$ мм. $\theta_{21y} = 3,5 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{22y} = 0,19$ мм. $\theta_{22y} = -1,09 \cdot 10^{-3}$	$\delta_{2y} = 0,19$ мм. $\theta_{2y} = -7,4 \cdot 10^{-4}$
A	$\theta_{A1y} = -6,15 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{A2y} = 7,46 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{Ay} = 1,31 \cdot 10^{-4}$
B	$\theta_{B1y} = 3,6 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{B2y} = -1,3 \cdot 10^{-3}$	$\theta_{By} = -0,94 \cdot 10^{-3}$

Результати розрахунку.

$$\delta_{1E} = \sqrt{\delta_{1x}^2 + \delta_{1y}^2} = \sqrt{0,11^2 + 0} = 0,11 \text{ мм.}$$

$$\delta_{2E} = \sqrt{\delta_{2x}^2 + \delta_{2y}^2} = \sqrt{0,54^2 + 0,19^2} = 0,57 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} \theta_{1E} &= \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{1x} + tg^2 \theta_{1y}} \\ &= \arctg \sqrt{tg^2(-3,37 \cdot 10^{-3}) + tg^2(2,2 \cdot 10^{-4})} = \end{aligned}$$

$$= \arctg \sqrt{1,1 \cdot 10^{-5} + 4,8 \cdot 10^{-8}} = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \theta_{2E} &= \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{2x} + tg^2 \theta_{2y}} = \\ &= \arctg \sqrt{tg^2(2,03 \cdot 10^{-3}) + tg^2(-7,4 \cdot 10^{-4})} = \end{aligned}$$

$$= \arctg \sqrt{4,12 \cdot 10^{-6} + 5,4 \cdot 10^{-7}} = 2,03 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \theta_{AE} &= \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{Ax} + tg^2 \theta_{Ay}} \\ &= \arctg \sqrt{tg^2(-3,74 \cdot 10^{-3}) + tg^2(1,31 \cdot 10^{-4})} = \end{aligned}$$

$$= \arctg \sqrt{1,4 \cdot 10^{-5} + 1,7 \cdot 10^{-8}} = 3,74 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \theta_{BE} &= \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{Bx} + tg^2 \theta_{By}} \\ &= \arctg \sqrt{tg^2(4,6 \cdot 10^{-3}) + tg^2(-0,94 \cdot 10^{-3})} = \end{aligned}$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$= \arctg \sqrt{2,1 \cdot 10^{-5} + 8,8 \cdot 10^{-7}} = 4,5 \cdot 10^{-3}$$

Допустимий прогин валу під шестернею

$$[\delta_{iu}] = 0,01 \cdot m = 0,01 \cdot 2 = 0,02 \text{ мм.}$$

Допустимий кут повороту перерізу валу під шестернею $[\delta_{iu}] = (0,001 - 0,002)$ рад.

Допустимий кут повороту перерізу валу під опорами

$$[\theta_{on}] = 0,023 \text{ (для кулькових підшипників).}$$

Таким чином, вал 4, задовольняючи усім вимогам розрахунків на міцність, не задовольняє вимогам жорсткості.

Жорсткість валу може бути підвищена за рахунок збільшення діаметру валу.

Збільшуємо діаметр валу, замінюємо на шліцьовий вал

$$D - 8 \times 46 \times 54; b = 9.$$

Кути повороту і переміщення від дії сили P_{ix}

δ_{1ix} – переміщення в перерізі 1 від сили P_{ix} .

δ_{2ix} – переміщення в перерізі 2 від сили P_{ix} .

θ_{Aix} – кут повороту в перерізі А від сили P_{ix} .

$\delta_{1\Sigma}$, $\delta_{2\Sigma}$, $\theta_{A\Sigma}$, $\theta_{1\Sigma}$, $\theta_{2\Sigma}$, $\theta_{B\Sigma}$ – сумарні кути повороту і переміщення в розрахункових перерізах валу.

Визначаємо жорсткість перерізу валу при згині розраховується з умов:

Модуль пружності $E = \text{Н/мм}$.

Момент інерції шліцьового валу з достатньою для розрахунку точністю визначається по залежності:

$$J = \frac{\pi \cdot d_{cp}^4}{64}$$

де d_{cp} – умовний розрахунковий діаметр валу;

$$d_{cp} = d + 0,3(D - d)$$

d – внутрішній діаметр шліцьового валу;

D – зовнішній діаметр шліцьового валу.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{cp} = 46 + 0,3(54 - 46) = 46 + 2,4 = 48,4\text{мм.}$$

$$J = \frac{\pi \cdot d_{cp}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 48,4^4}{64} = 26,92 \cdot 10^4 \text{мм}^4.$$

Визначаємо прогини δ_{ix} і кути повороту θ_{ix} в площині XOZ під шестернею 11 (переріз 1) від дії сил в зачепленні з шестернею 11 ($Z=48$) і в площині XOZ під шестернею 14 (переріз 2) від дії сил в зачепленні з шестернею 14 ($Z=19$).

$$\delta_{11x} = \frac{P_{1x} \cdot b \cdot d(L^2 - b^2 - d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 256 \cdot 32(288^2 - 256^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,002\text{мм.}$$

$$\delta_{21x} = \frac{P_{1x} \cdot a \cdot l(L^2 - b^2 - l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 32 \cdot 26(288^2 - 256^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,00023\text{мм.}$$

$$\delta_{12x} = \frac{P_{2x} \cdot b \cdot d(L^2 - b^2 - d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 26 \cdot 32(288^2 - 26^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,0029\text{мм.}$$

$$\delta_{22x} = \frac{P_{2x} \cdot a \cdot l(L^2 - b^2 - l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 262 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,019\text{мм.}$$

$$\theta_{11x} = \frac{P_{1x} b(L^2 - b^2 - 3d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 256(288^2 - 256^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,6 \cdot 10^{-4} = -0,00006$$

$$\theta_{21x} = \frac{P_{1x} a(L^2 - a^2 - 3l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 32(288^2 - 32^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,43 \cdot 10^{-4} = -0,000043$$

$$\theta_{12x} = \frac{P_{2x} b(L^2 - b^2 - 3d^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,87 \cdot 10^{-4} = -0,000087$$

$$\theta_{22x} = \frac{P_{2x} a(L^2 - a^2 - 3l^2)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 262(288^2 - 262^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 1,36 \cdot 10^{-4} = 0,000136$$

$$\theta_{A1x} = \frac{P_{1x} \cdot a \cdot b(L + b)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 32 \cdot 256(288 + 256)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,75 \cdot 10^{-4} = -0,000075$$

$$\theta_{B1x} = \frac{P_{1x} \cdot a \cdot b(L + a)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-1562,5 \cdot 32 \cdot 256(288 + 32)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,44 \cdot 10^{-4} = 0,000044.$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\theta_{A2x} = \frac{P_{2x} \cdot a \cdot b(L+b)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = \frac{-3948 \cdot 262 \cdot 26(288+26)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,91 \cdot 10^{-4} = -0,000091$$

$$\theta_{B2x} = -\frac{P_{2x} \cdot a \cdot b(L+a)}{6 \cdot E \cdot J \cdot L} = -\frac{-3948 \cdot 262 \cdot 26(288+262)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,00016$$

Аналогічно визначаємо кути повороту і прогини в площині YOZ.

У розрахункових схемах змінюються тільки величини сил лінійні розміри залишаються ті ж.

$$P_{1y} = -569 \text{ Н.} \quad P_{2y} = 1437 \text{ Н.}$$

$$\delta_{11y} = \frac{-569 \cdot 256 \cdot 32(288^2 - 256^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,00082 \text{ мм.}$$

$$\delta_{21y} = \frac{-569 \cdot 32 \cdot 26(288^2 - 256^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,000085 \text{ мм.}$$

$$\delta_{12y} = \frac{1437 \cdot 26 \cdot 32(288^2 - 26^2 - 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,001 \text{ мм.}$$

$$\delta_{22y} = \frac{1437 \cdot 262 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,0086 \text{ мм.}$$

$$\theta_{11y} = \frac{-569 \cdot 256(288^2 - 256^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,22 \cdot 10^{-4} = -0,000022$$

$$\theta_{21y} = \frac{569 \cdot 32(288^2 - 32^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,16 \cdot 10^{-4} = 0,000016$$

$$\theta_{12y} = \frac{1437 \cdot 26(288^2 - 26^2 - 3 \cdot 32^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,32 \cdot 10^{-4} = 0,000032$$

$$\theta_{22y} = -\frac{1437 \cdot 262(288^2 - 262^2 - 3 \cdot 26^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,5 \cdot 10^{-4} = -0,00005$$

$$\theta_{A1y} = -\frac{569 \cdot 32 \cdot 256(288 + 256)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,27 \cdot 10^{-4} = -0,000027$$

$$\theta_{B1y} = \frac{569 \cdot 32 \cdot 256(288 + 32)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,16 \cdot 10^{-4} = 0,000016$$

$$\theta_{A2y} = \frac{1437 \cdot 262 \cdot 26(288 + 26)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = 0,33 \cdot 10^{-4} = 0,000033$$

$$\theta_{B2y} = -\frac{1437 \cdot 262 \cdot 26(288 + 262)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26,92 \cdot 10^4 \cdot 288} = -0,58 \cdot 10^{-4} = 0,000058$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.4 – Площина XOZ

Переріз	Від сили $P_{1x}=1562,5$ Н	Від сили $P_{2x}= - 3948$ Н	Повні від сил $P_{1x}+P_{2x}$
1	$\delta_{11x}= - 0,002$ мм. $\theta_{11x}= - 0,6 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{12x}= - 0,0029$ мм. $\theta_{12x}= - 0,87 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{1x}= - 0,0049$ мм. $\theta_{1x}= - 1,47 \cdot 10^{-4}$
2	$\delta_{21x}= - 0,00023$ мм. $\theta_{21x}= - 0,43 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{22x}= - 0,019$ мм. $\theta_{22x}= 1,36 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{2x}= - 0,01923$ мм. $\theta_{2x}= 0,93 \cdot 10^{-4}$
A	$\theta_{A1x}= - 0,75 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{A2x}= - 0,91 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{Ax}= - 1,64 \cdot 10^{-4}$
B	$\theta_{B1x}= 0,44 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{B2x}= 1,6 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{Bx}= 2,04 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 2.5 – Площина YOZ

Переріз	Від сили $P_{1y}= - 569$ Н	Від сили $P_{2y}= 1437$ Н	Повні від сил $P_{1y}+P_{2y}$
1	$\delta_{11y}= - 0,00082$ мм. $\theta_{11y}= - 0,22 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{12y}= 0,001$ мм. $\theta_{12y}= 0,32 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{1y}= 0,00018$ мм. $\theta_{1y}= 0,10 \cdot 10^{-4}$
2	$\delta_{21y}= - 0,000085$ мм. $\theta_{21y}= 0,16 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{22y}= 0,0086$ мм. $\theta_{22y}= - 0,5 \cdot 10^{-4}$	$\delta_{2y}= 0,008515$ мм. $\theta_{2y}= - 0,34 \cdot 10^{-4}$
A	$\theta_{A1y}= - 0,27 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{A2y}= 0,33 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{Ay}= 0,06 \cdot 10^{-4}$
B	$\theta_{B1y}= 0,16 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{B2y}= - 0,58 \cdot 10^{-4}$	$\theta_{By}= - 0,42 \cdot 10^{-3}$

Результати розрахунку.

$$\delta_{1\Sigma} = \sqrt{\delta_{1x}^2 + \delta_{1y}^2} = \sqrt{0,0049^2 + 0,00018^2} = 0,0049 \text{ мм.}$$

$$\delta_{2\Sigma} = \sqrt{\delta_{2x}^2 + \delta_{2y}^2} = \sqrt{0,01923^2 + 0,008515^2} = 0,019 \text{ мм.}$$

$$\theta_{1\Sigma} = \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{1x} + tg^2 \theta_{1y}} =$$

$$\arctg \sqrt{tg^2 (-1,47 \cdot 10^{-3}) + tg^2 (0,10 \cdot 10^{-4})} = 1,52 \cdot$$

$$\theta_{2\Sigma} = \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{2x} + tg^2 \theta_{2y}} =$$

$$10^{-4} \arctg \sqrt{tg^2 (0,93 \cdot 10^{-4}) + tg^2 (-0,34 \cdot 10^{-4})} =$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$= 1,04 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \theta_{AZ} &= \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{Ax} + tg^2 \theta_{Ay}} \\ &= \arctg \sqrt{tg^2(-1,64 \cdot 10^{-4}) + tg^2(0,06 \cdot 10^{-4})} = \\ &= 1,4 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{BZ} &= \arctg \sqrt{tg^2 \theta_{Bx} + tg^2 \theta_{By}} \\ &= \arctg \sqrt{tg^2(2,04 \cdot 10^{-4}) + tg^2(-0,42 \cdot 10^{-4})} = \\ &= 1,9 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Допустимий прогин валу під шестернею

$$[\delta_w] = 0,01 \cdot m = 0,01 \cdot 2 = 0,02 \text{ мм.}$$

Допустимий кут повороту перерізу валу під шестернею $[\theta_w] = (0,001 - 0,002)$ рад

Допустимий кут повороту перерізу валу під опорами

$$[\theta_{on}] = 0,023 \text{ (для кулькових підшипників).}$$

Таким чином, вал IV, задовольняє усім вимогам розрахунків на міцність, задовольняє вимогам жорсткості.

2.2.5 Уточнений розрахунок IV валу

Визначуваний загальний запас міцності в небезпечному перерізі валу. Відповідно до приведених розрахунків і з урахуванням постійності діаметру валу по довжині, небезпечним перерізом є переріз під шестернею $Z_4 = 19$.

Сумарний згинальний момент $M_z = 103,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$, крутящий момент $M_{кр} = 122 \text{ Н} \cdot \text{м}$, Нормальне і дотичне напруження в даному перерізі визначаємо по формулах:

$$\begin{aligned} \sigma_{MAX} &= \frac{M_z}{W_H} = \frac{103,3}{2,1 \cdot 10^{-6}} = 49,2 \text{ МПа}; \\ \tau_{MAX} &= \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{122}{4,2 \cdot 10^{-6}} = 42 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

Амплітуда нормальної напруги від згину:

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_A = \sigma_{MAX} = 49,2 \text{ МПа}; \sigma_{CP} = 0.$$

Амплітуда і середня напруга циклу від кручення:

$$\tau_{CP} = \tau_A = \frac{\tau_{max}}{2} = \frac{42}{2}$$

Концентрація напруги обумовлена шліцьовою конструкцією валу;

$$k_\sigma = 1,7; k_\tau = 2,65.$$

Коефіцієнт асиметрії циклу для валу із Сталь 40Х загартованою при згині $\psi_\sigma = 0,1$ і при крученні $\psi_\tau = 0,05$.

Коефіцієнт, що враховує масштабний чинник при згині і крученні

$$\varepsilon_\sigma = 0,83 \quad \varepsilon_\tau = 0,83 \text{ для легованої сталі Сталь 40Х.}$$

Коефіцієнт асиметрії циклу для валу із Сталі 40Х: при згині $\psi_\sigma = 0,1$ і при крученні $\psi_\tau = 0,05$.

Для Сталі 40Х $\sigma_{-1} = 360 \text{ МПа}, \tau_{-1} = 210 \text{ МПа}.$

Визначаємо запаси міцності при чистому згині і чистому крученні:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \cdot \varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_A + \psi_\sigma \cdot \sigma_{CP}} = \frac{360}{\frac{1,7}{1 \cdot 0,83} \cdot 49,2 + 0,1 \cdot 0} = 3,57$$

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\beta \cdot \varepsilon_\tau} \cdot \tau_A + \psi_\tau \cdot \tau_{CP}} = \frac{210}{\frac{2,65}{1 \cdot 0,83} \cdot 21 + 0,05 \cdot 21} = 3,084$$

Повний коефіцієнт запасу міцності по втомі:

$$n = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{1}{n_\tau}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{3,57}\right)^2 + \left(\frac{1}{3,084}\right)^2}} = 2,3$$

Коефіцієнт запасу міцності знаходиться в допустимих межах: $1,5 < 2,3 < 2,5$.

2.2.6. Розрахунок і вибір підшипників.

Для валу, який був розрахований на складний опір, вибираємо підшипники кочення радіальні кулькові однорядні. Визначаємо еквівалентне динамічне навантаження по формулі

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + y F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T$$

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

F_r – радіальне навантаження; F_a – осьове навантаження.

$$F_r = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} = \sqrt{1715^2 + 376^2} = \sqrt{3015025 + 141376} = 1785 \text{ Н.}$$

x – коефіцієнт радіального навантаження.

Оскільки осьового навантаження F_a немає, то $X=1; Y=0$.

Коефіцієнт безпеки $K_B=1 \div 1,2$.

Температурний коефіцієнт $K_T=1$ при t^0 до 125^0C .

Коефіцієнт обертання $V=1$, оскільки обертається внутрішнє кільце підшипника.

$$\text{Отже } P=1,1 \cdot 1785 \cdot 1 \cdot 1 = 1785 \text{ Н}$$

з частотою обертання кільця $n > 1$ об/хв основною характеристикою служить динамічна вантажопідйомність C .

Необхідна величина динамічної вантажопідйомності C

$$C = P \left(\frac{60 L_h \cdot n}{10^6 \cdot a_1 \cdot a_{23}} \right) = 1785 \left(\frac{60 \cdot 20000 \cdot 500}{10^6 \cdot 1 \cdot 1} \right)^{\frac{1}{3}} = 1785 \cdot 8,43 = 15047.$$

По знайденій вантажопідйомності вибираємо кульковий підшипник серії 204, $d=20$ мм, $D=47$ мм, $B=14$ мм.

Визначаємо розрахункову довговічність кулькових підшипників 204 L в млн. оборотів і L_h в годиннику:

$$L = \left(\frac{C}{P_E} \right)^3 = \left(\frac{15047}{1785} \right)^3 = 5990 \text{ млн. об.}$$

де: $m = 3$ – для шарикопідшипників;

C – динамічна вантажопідйомність;

P_E – еквівалентне навантаження.

$$L = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n} = \frac{10^6 \cdot 5990}{60 \cdot 710} = 140610 \text{ год.}$$

$L_h = 140610$ год > 20000 год (допустимий термін служби підшипника).

Умова довговічності виконується.

Підшипники для інших валів вибираємо конструктивно.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

2.2.7 Розрахунок шліцьового або шпони з'єднання

Шліцьові з'єднання надійніші за шпонкові, особливо при змінних навантаженнях; у них досягається точніше центрування деталей на валу, а розподіл зусилля із шліців полегшує переміщення рухливих деталей уподовж по валу.

Перевіряємо шліцьове з'єднання $D-6 \times 21 \times 25 \times 6$ (вал IV) на зминання по умові:

$$\frac{M_{кр}}{\psi \cdot z \cdot F \cdot l} \leq [\sigma]_{см}$$

де: ψ – коефіцієнт, нерівномірність розподілу зусиль із робочих поверхонь шліців;

$\psi=0,75 \div 0,9$ (менше значення відповідає нерухомим з'єднанням, більше – рухливим)

z – число зубів;

l – довжина поверхні контакту зубів ;

F – площа контакту однієї сторони шліца;

$[\sigma]_{см}$ – допустима напруга на зминання, $[\sigma]_{см} = 500 \text{ Н/мм}^2$.

$$\frac{M_{кр}}{\psi \cdot z \cdot F \cdot l} = \frac{75 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 6 \cdot 40 \cdot 2 \cdot 40} = 4,34 \text{ Н/мм}^2$$

Отже, шліцьова ділянка валу задовольняє умові міцності.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОПИС КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ І РОБОТИ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТА

Верстат складається з наступних основних вузлів: станина, коробка швидкостей, коробка подач, шпindelна бабка, поперечний супорт, фартух поперечного супорта, подовжній супорт з револьверною головкою, фартух подовжнього супорта.

Структурна формула ланцюга подачі подовжнього супорта:

$$Z_s = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 - 10 = 6$$

Всього подовжній супорт отримує 16 подач за один оборот шпинделя, десять з яких повторюються.

Межі подовжнього подовжнього супорта:

$$S_{max} = 1 \cdot \frac{40}{57} \cdot \frac{47}{50} \cdot \frac{36}{64} \cdot \frac{58}{38} \cdot \frac{48}{27} \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{25}{68} \cdot 3 \cdot 16 = 0,8 \text{ мм/об.}$$

$$S_{min} = 1 \cdot \frac{40}{57} \cdot \frac{31}{66} \cdot \frac{22}{78} \cdot \frac{26}{70} \cdot \frac{35}{40} \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{25}{68} \cdot 3 \cdot 16 = 0,05 \text{ мм/об.}$$

Структурна формула ланцюга подачі поперечного супорта:

$$Z_s = 2 \cdot 2 \cdot 2 - 3 = 5.$$

Всього поперечний супорт отримує 8 подовжніх і стільки ж поперечних подач, з яких 3 повторюються.

Межі подач поперечного супорта:

Подовжніх

$$S_{max} = 1 \cdot \frac{40}{57} \cdot \frac{47}{50} \cdot \frac{36}{64} \cdot \frac{58}{38} \cdot \frac{32}{37} \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{25}{68} \cdot 3 \cdot 16 = 0,8 \text{ мм/об.}$$

$$S_{min} = 1 \cdot \frac{40}{57} \cdot \frac{31}{66} \cdot \frac{22}{78} \cdot \frac{26}{70} \cdot \frac{32}{37} \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{25}{68} \cdot 3 \cdot 16 = 0,05 \text{ мм/об.}$$

Поперечних

$$S_{max} = 1 \cdot \frac{40}{57} \cdot \frac{47}{50} \cdot \frac{36}{64} \cdot \frac{58}{38} \cdot \frac{32}{37} \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{68}{25} \cdot \frac{45}{22} \cdot 5 = 0,4 \text{ мм/об.}$$

$$S_{min} = 1 \cdot \frac{40}{57} \cdot \frac{31}{66} \cdot \frac{22}{78} \cdot \frac{26}{70} \cdot \frac{32}{37} \cdot \frac{1}{33} \cdot \frac{68}{25} \cdot \frac{45}{22} \cdot 5 = 0,025 \text{ мм/об.}$$

Усі переміщення супортів верстата можуть здійснюватися механічно і вручну. Швидкі механічні переміщення супортів не передбачені.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Гальмування шпинделя здійснюється одночасним включенням муфт М3 і М4 при виключенні інших (двигун при цьому не відключається).

На лівому кінці станини нерухомо закріплена передня бабка, в якій змонтовані шпиндель верстата, коробка швидкостей і подач. На правому кінці станини розміщений поздовжній супорт з револьверною головкою. Поперечного переміщення головка не має. Тут же розташований командоапарат і барабан упорів для виключення поздовжньої передачі револьверної головки. Між передньою бабкою і поздовжнім супортом розташований поперечний супорт. Супорт має передній чотирьохпозиційний і задній однопозиційний різцетримачі і переміщається як в поздовжньому, так і поперечному напрямі.

Зміна чисел оборотів шпинделя і величин подач супортів здійснюється шляхом перемикання багатодискових фрикційних муфт типу ЕМ-52 в коробці швидкостей і типу ЕМ-32 а коробці подач, конструкція і установка яких приблизно однакова. Коробка подач є загальною для поздовжнього і поперечного супортів.

У корпусі коробки швидкостей вали змонтовані на кулькових підшипниках. На валах II, III і IV встановлені 4 багатодискових електромагнітних фрикційних муфти. Багатодискова муфта складається з трьох основних частин: корпусу, пакету дисків і якоря. У кільцевий паз корпусу муфти вкладена котушка. Корпус несе на собі контактне кільце, ізольоване втулкою. Один з виводів котушки припаяний до контактної кільцю, інший – до корпусу.

Струмопровід здійснюється через щітку з латунної сітки. Пакет дисків складається з набору зовнішніх і внутрішніх дисків, а остання на валу на шпонці. Зовнішні диски сидять на шліцах маточини шестерні.

Масило для охолодження фрикційних дисків електромагнітних муфт подається через отвори у валах II, II, IV. Мащення шестерень і підшипників кочення здійснюється розбризкуванням мастила.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальні вимоги до матеріалів, виробничого обладнання, організації робочих місць

Виробничі приміщення, в яких здійснюються процеси обробки різанням, повинні відповідати «Санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99. Усі приміщення мають бути обладнані засобами пожежогасіння за ДСТУ EN 15276-1:2021 «Стаціонарні системи пожежогасіння. Системи аерозольного пожежогасіння».

За ДСТУ 2752-94 Устаткування метало- та деревообробне. Верстати металорізальні. Вимоги безпеки» регламентуються вимоги на всі групи металорізальних, електрофізикохімічних верстатів, автоматичних ліній, що виготовляються і знаходяться в експлуатації, а також застосовуваних спільно з ними пристроїв, що підключаються до мережі живлення з номінальною напругою до 660В і частотою до 220Гц.

Верстати повинні відповідати вимогам безпеки протягом усього періоду експлуатації при виконанні споживачем вимог, встановлених в експлуатаційній документації. Характеристики верстата (потужність, частота обертання шпинделя і т.д.), що використовуються в розрахунках, обрані з паспорта. Розміщення комунікацій, виробничого обладнання, вихідних матеріалів, заготовок, готової продукції та відходів виробництва в приміщеннях не повинно створювати небезпечних робочих умов

Форма верстатів та їх елементів повинні забезпечувати зручний відведення стружки та МОР із зони обробки та видалення стружки від верстата.

Для охолодження поверхні обробки застосовується 3%-5% емульсія з Емульсола Укрінол – 1М або водна емульсія ВЕЛЛС-1. МОР подається в зону різання методом розпилення за допомогою сопла. Всі зони різання мають захисні огороження, але для захисту шкіри робітників від впливу МОР при

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

вимірюванні або прибиранні верстата робітник використовує рукавички та засоби індивідуального захисту відповідні вимогам ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація». Відпрацьовані МОР і промивні води збираються у спеціальних ємностях і скидаються у загальну систему каналізації лише після очищення їхню відмінність від нафтопродуктів.

При розробці технологічного процесу передбачена раціональна організація робочих місць, зручне розташування інструментів у пристосуванні Інструменти та пристрої розташовуються в тумбочках і на стелажах. Верстати розташовуються відповідно до вимог стандартів. Заготовки поміщаються у спеціалізовану тару. Ці заходи дозволяють зменшити виробничий травматизм.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при механічній обробці матеріалів різанням

Умови праці на робочих місцях виробничих приміщень складаються під впливом великої кількості факторів, різних за своєю природою, формами прояву, характером впливу на людину.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються за своєю дією на фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні.

Вибір технічних засобів забезпечення безпеки повинен здійснюватися на основі виявлення небезпечних та шкідливих факторів, специфічних для даного технологічного процесу.

У нашому випадку фізично шкідливими виробничими факторами є підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони у процесі різання; високий рівень шуму та вібрацій, недостатня освітленість робочої зони; підвищена пульсація світлового потоку При відсутності засобів захисту запиленість повітряного середовища в зоні дихання верстатників при точінні, шліфуванні може перевищувати гранично допустимі концентрації.

Аерозоль нафтових мастил, що входять до складу мастильно-

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

охолоджуючих рідин (МОР); може викликати подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів, сприяти зниженню імунобіологічної реактивності.

Рухомі частини виробничого обладнання, пересуваються вироби і заготівлі, стружка оброблюваних матеріалів, уламки інструментів, висока температура поверхні оброблюваних деталей і інструменту, підвищена напруга в електроланцюзі або статичної електрики, при якому може відбутися замикання, через тіло людини. Ділянка має бути захищена від доступу на неї сторонніх осіб. З метою забезпечення електробезпеки в конструкції електроприводів верстатів передбачена ізоляція. На не струмоведучих частинах обладнання (корпусах) обов'язково застосовується заземлення, контроль якого необхідно проводити не рідше, ніж раз на 2 роки.

Металева стружка, особливо при гострінні сталі, що має високу температуру (400-600°C) і велику кінетичну енергію, становить серйозну небезпеку не тільки для працюючого на верстаті, але і для осіб, що знаходяться поблизу верстата. Найбільш поширеними у верстатників є травми очей. Очі ушкоджуються стружкою, що відлітає, осколками ріжучого інструменту і частинками абразиву, пиловими частинками оброблюваного матеріалу та ін.

У процесі механічної обробки матеріалів при роботі тупими ріжучими інструментами відбувається інтенсивне нагрівання, внаслідок чого пил і стружка перетворюється на пароподібний стан.

Таким чином, при обробці матеріалу в повітря робочої зони поступає складна суміш парів, газів і аерозолів, що є хімічно шкідливими виробничими факторами.

Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони, що утворюються при обробці різанням, не повинна перевищувати гранично допустимих значень.

До шкідливих психофізичних виробничих факторів процесів обробки матеріалів різанням можна віднести фізичні навантаження при встановленні, закріпленні і зніманні великогабаритних деталей, перенапруга зору, монотонність праці.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До біологічних факторів належать хвороботворні мікроорганізми бактерії, що виявляються під час роботи з МОР.

4.3 Виробнича санітарія

4.3.1 Вентиляція

Ефективним засобом нормалізації повітряного середовища є вентиляція. За характером організації повітрообміну розрізняють загальнообмінну та місцеву вентиляцію, залежно від призначення: припливну, витяжну, припливно-витяжну.

Дія загальнообмінної вентиляції засноване на розведенні шкідливих речовин, що виділяються свіжим повітрям до гранично допустимих концентрацій.

З метою більш ефективного вловлювання пилу, дрібної стружки і аерозолів МОР, що утворюються при обробці різанням, застосовують місцеві відсмоктують пристрої зі спеціальними насадками, які розміщують у місцях інтенсивного виділення шкідливих речовин. Повітровідводи для видалення пилу повинні мати гладкі внутрішні поверхні без кишень і заглиблень, мінімальну довжину та число поворотів.

Для зняття зарядів статичної електрики, які можуть спричинити вибух, пилоприймачі та повітровідведення вентиляційних установок заземлюють.

Ворота, двері та технологічні отвори механічних цехів обладнують повітряними і повітряно-тепловими завісами, які захищають працівників від охолодження холодним повітрям, що проникає в цех.

Відводи повітря від місцевих відсмоктувачів і загальнообмінної вентиляції, а також вентиляційні камери, повинні очищатися за графіком, затвердженим адміністрацією цеху.

4.3.2 Висвітлення робочих місць

Одним із факторів, що сприяють зростанню продуктивності праці та

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попереджувальний виробничий травматизм, є раціональне висвітлення робочого місця.

Для створення світлового комфорту в механічних цехах використовують природне освітлення, створюване денним світлом, що проникає через світлові отвори в зовнішніх конструкціях, що захищають; штучне освітлення, створюване електричними джерелами світла, і поєднане освітлення, у якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюють штучним.

Освітлення робочих місць має відповідати ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT).

Освітленість, створювана природним освітленням, змінюється в широких межах, так як обумовлюється часом дня, року, а також метеорологічними факторами. Як нормована величина прийнята відносна величина – коефіцієнт освітленості – це відношення в відсотках освітленості в даній точці всередині приміщення одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, створюваної світлом відкритого небосхилу.

Природне освітлення впливає позитивно не тільки на зір, воно тонізує організм людини в цілому і надає сприятливий технологічний вплив. Тому в приміщення з недостатнім світлом і без природного світла встановлюють установки штучного ультрафіолетового опромінення.

Для місцевого освітлення слід застосовувати світильники, встановлені на металорізальних верстатах з метою концентрації світлового потоку на робочому місці. Для місцевого освітлення повинні використовуватися світильники з відбивниками, що не просвічують, із захисним кутом не менше 30°.

Працюючи на верстатах, переважно є такі основні зони зорової роботи: зона обробки, зона лімбів і зона розрахункової таблиці режимів різання.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3.3 Шум та вібрації

Шум та вібрації є шкідливими основними виробничими факторами в механічних цехах і повинні відповідати ДСН-3.3.6.037-99-Санітарні-норми-виробничого-шуму-ультразвуку-та-інфразвуку.

Шум на виробництві завдає великої економічної та соціальної шкоди.

Він несприятливо впливає на організм людини, викликаючи психічні та фізіологічні порушення, що знижують працездатність людини.

Джерелами шуму є тверді, рідкі, газоподібні тіла, що коливаються. Основні джерела шуму в металорізальних верстатах – це зубчасті передачі, електродвигун та процес різання.

Зони з рівнем звуку понад 80дБ мають бути позначені знаками безпеки. Верстатників, постійно що у цих зонах, адміністрація повинна постачати засобами індивідуального захисту органів слуху.

При виборі тих чи інших засобів боротьби з шумом слід практикувати такі, які зменшують рівень шуму безпосередньо в джерелі його освіти, слід використовувати глушники, звукоізоляцію, звукопоглинаючі облицювання стелі та стін, об'ємні поглиначі, що підвішуються поблизу найбільш галасливих верстатів. Товщина облицювання становить 20-200мм.

У процесі різання шум можна знизити підвищенням жорсткості інструменту, демпфування коливання заготовки та інструменту.

Причиною порушення вібрацій при роботі верстатів є неврівноважені силові впливи.

В одних випадках вони виникають при обертанні шківів, маховиків і валів, в інших - при використанні механізмів зі зворотно-поступальним рухом.

Вібробезпечні умови праці верстатників забезпечують переважно організаційно-технологічними заходами, які включають:

- Контроль за дотриманням правил та умов експлуатації верстатів відповідно до нормативно-технічної документації;
- Своєчасний плановий та попереджувальний ремонт верстатів з обов'язковим післяремонтним контролем їх вібраційних характеристик;

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Впровадження заходів, що виключають можливість контакту верстатників з віброючими частинами обладнання.

4.3.4 Електробезпека.

Електробезпека в цеху має відповідати ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.

Основними причинами впливу струму на працюючого на верстаті є:

- Випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин;
- Поява напруги на металевих частинах обладнання в результаті пошкодження ізоляції або помилкових дій персоналу;
- Крокова напруга на поверхні землі внаслідок замикання проводу та ін.

Основні заходи захисту від ураження струмом:

- Ізоляція;
- Недоступність струмопровідних частин обладнання;
- Електричний поділ мережі за допомогою спеціальних трансформаторів, що розділяють;
- Вирівнювання потенціалу;
- Захисне заземлення та занулення ($R_3=4$ Ом);
- Захисне відключення;
- Застосування спеціальних електрозахисних засобів;
- Організація безпечної експлуатації електроустановки.

4.4 Пожежна безпека

Приміщення, де відбувається обробка металів різанням відноситься до категорії В. Забезпечення пожежної безпеки є одним із найважливіших завдань охорони праці. Вимоги щодо пожежної безпеки визначає ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними причинами пожеж на виробництві є порушення, пов'язані з технологічним режимом застосування горючих і легкозаймистих рідин та горючих газів.

Для практичної реалізації профілактичних заходів на підприємстві організовують постійно діючу пожежно-технічну комісію, добровільну пожежну дружину, затверджують категорію пожежної та вибухової небезпеки цехів і ділянок, розробляють для них протипожежний режим.

Усі верстатники проходять первинний та повторний протипожежний інструктаж. Заходи, що усувають причини пожеж на підприємстві, поділяються на будівельно-технічні та організаційні.

До перших відносяться планування території та розміщення виробничих будівель та споруд, пристрій у будівлі спеціальних перешкод, що перешкоджають поширенню вогню, аварійне освітлення, належна експлуатація виробничого обладнання.

До організаційних заходів відносяться: заборона куріння та користування відкритим вогнем при проведенні робіт у пожежонебезпечних приміщеннях, обмеження запасів згоряної сировини, готової продукції, видалення з виробничих приміщень легкозаймистих матеріалів та речовин, розробка планів евакуації людей та майна з приміщень.

Для боротьби з пожежею застосовуються вогнегасні речовини, такі як вода, водні розчини, піна, вуглекислота, інертні гази, стиснене повітря, порошки, пісок, земля і т.д.

У приміщенні мають у своєму розпорядженні стаціонарні та первинні засоби пожежо-гасіння. На кожних 100 квадратних метрах приміщення розміщується 1-2 вогнегасники. У кожному приміщенні є евакуаційні виходи.

4.5 Охорона довкілля

Використані та відпрацьовані МОР необхідно збирати у спеціальні ємності.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Водну та масляну фази можна використовувати для приготування емульсій.

Масляна фаза може надходити на регенерацію чи спалюватись.

Концентрація нафтопродуктів у стічних водах при скиданні їх у каналізацію має відповідати вимогам.

Дрібна масляна стружка та пил у міру накопичення підлягають спалюванню чи похованню на спеціальній площі.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У цій роботі запропонована модернізація конструкції токарно-револьверного верстата на базі моделі 1340.

Спроектована коробка швидкостей для вище вказаного верстата.

Зроблений кінематичний розрахунок коробки швидкостей.

Зроблений розрахунок валу IV на складний опір, розрахунок і вибір підшипників, розрахунок шліцьового з'єднання.

Даний опис роботи основних вузлів верстата.

Виконаний розділ з охорони праці та навколишнього середовища.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

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. Деталі машин: Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І. В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.

5. 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.

6. Гандзюк М.П., Желібо Е.Л., Халімовський М.О. Основи охорони роботи./ За ред. М.П. Гандзюка.- К.: Каравела, 2004.- 408с.

7. 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.

8. Рудь В.Д., Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (освітній рівень – бакалавр; спеціалізація – технологія машинобудування) / Навчальний посібник / Під загальною редакцією професора В.Д. Рудя – Луцьк: Інформаційно-видавничий відділ Луцького НТУ. – 2017. – 500с.

9. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах:

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Монографія Упорядник Кузнецов Ю.М. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. - 692с.

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

11. 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.

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

13. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.

14. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: Навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 60 с.

15. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підруч для студ вищих навч закладів. За ред. М.П. Гандзюка – К Каравела, 2004 - 408 с

16. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

17. Пожарова О.В. Охорона праці: навчальний посібник / О.В. Пожарова. – Одеса, 2022. - 86 с.

18. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

					038Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		