

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
15 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Проект коробки швидкостей радіально-свердлильного
верстату**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ГМ(МВ)-21
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Віталій ХЛИСТУН

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій МАЖАРА

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент

_____ Руслан ОСІН

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування
Освітньо-професійна програма: Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти Хлистуна Віталію Сергійовичу

Тема роботи:

Проект коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА
Затверджено наказом ЦНТУ від 20 січня 2025 року № 13-13.

Строк подання роботи до захисту:

15 червня 2024 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: підвищення продуктивності обробки, шляхом модернізації коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

Завдання: встановити конструктивні особливості проектування радіально-свердлильних верстатів, зокрема вимоги до коробок швидкостей; провести кінематичний розрахунок коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату; виконати розрахунки навантажень крутних моментів, визначити згинаючі моменти на основі чого провести розрахунки валів коробки швидкостей; розробити кресленики коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	19.04.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	25.04.2025 р.	
3	Виконання конструкторської частини	09.05.2025 р.	
4	Виконання розрахункової частини	25.05.2025 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	04.06.2025 р.	
7	Рецензування роботи	06.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____

Віталій ХЛИСТУН

Керівник роботи _____

Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

Хлистун В.С. Проект коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 133 Галузеве машинобудування / наук. кер. В. А. Мажара. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 41 с.

Креслеників – разом 4 аркуші формату А1.

Метою роботи є підвищення продуктивності обробки, шляхом модернізації коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

Актуальність роботи. Підвищення продуктивності обробки, ефективність використання металообробного обладнання та впровадження сучасних технологій залежить від комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів. Отже модернізація існуючого металообробного обладнання для підвищення продуктивності є актуальною задачею, вирошенню якої присвячена дана кваліфікаційна робота.

В роботі були проаналізовані відповідні літературні джерела та встановлені конструктивні особливості радіально-свердлильних верстатів, зокрема вимоги до коробок швидкостей; проведено кінематичний розрахунок коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату; виконано розрахунки навантажень крутних моментів, визначено згинаючі моменти на основі чого проведено розрахунки валів коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату. Розроблено кресленики коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

свердлильний верстат, коробка швидкостей, крутний момент, вал

ANNOTATION

Vitalii KHLYSTUN. Project of a gearbox for a radial drilling machine. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 133 Industrial Engineering / Scientific supervisor Vitalii MAZHARA. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2025. 41 p.

Drawings – summary 4 sheets A1 format.

The aim of the work is to increase machining productivity by modernising the speedbox of a radial drilling machine.

Relevance of the work. Increasing machining productivity, the efficiency of using metalworking equipment and the introduction of modern technologies depends on the complex mechanisation and automation of production processes. Therefore, the modernisation of existing metalworking equipment to increase productivity is an urgent task, the solution of which is the subject of this qualification work.

The paper analyses the relevant literature sources and establishes the design features of radial drilling machines, in particular, the requirements for speed boxes; performs a kinematic calculation of the speed box of a radial drilling machine; calculates the torque loads, determines the bending moments, on the basis of which the shafts of the speed box of a radial drilling machine are calculated. Drawings of the gearbox of the radial drilling machine were developed.

drilling machine, gearbox, torque, shaft

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи на тему:

Проект коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату

КРБ.ГМ.25.06.13.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ГМ(МВ)-21
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Віталій ХЛИСТУН

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій МАЖАРА

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Загальна частина	8
1.1 Класифікація верстатів свердлильної групи	8
1.2 Конструктивні особливості радіально свердлильних верстатів	10
2. Конструкторська частина	14
2.1 Призначення і основні вимоги, що пред'являються до коробки швидкостей	14
2.2 Кінематичний розрахунок коробки швидкостей	15
3. Розрахункова частина	20
3.1 Визначення розрахункових навантажень крутних моментів на валах	20
3.2 Визначення згинаючих моментів та розрахунок валів	21
3.3 Вибір підшипників для валів коробки швидкостей	37
3.4 Вибір змащення коробки швидкостей	38
Висновки	39
Список використаних джерел	40

ВСТУП

Темпи розвитку верстатобудування кількісний та якісний зміст верстатного парку в більшому визначають промисловий потенціал будь-якої країни і характеризує рівень її машинобудування. Сьогодні верстатобудівельна промисловість забезпечує машинобудування усіма необхідними типами сучасного високовиробничого обладнання.

Ефективність розробки та впровадження сучасних технологій, комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів металорізальних верстатів досягається завдяки широкому використанню спеціалізації виробництва, заснованої на агрегуванні, уніфікації та стандартизації деталей і вузлів [9]. Основною перевагою верстатів, які виробляються нашою промисловістю, є їхня здатність інтегруватися в автоматизовані лінії. Прогрес у сфері обчислювальної техніки дозволив створювати високопродуктивні металорізальні верстати з програмним керуванням, включаючи моделі з автоматичною зміною інструменту.

Сучасне металорізальне обладнання відзначається стрімким впровадженням числового програмного керування із застосуванням мікропроцесорних технологій. Особливу увагу приділяють створенню гнучких виробничих систем, які завдяки своїм широким можливостям дозволяють виконувати без участі оператора такі функції, як управління технологічними процесами, профілактична діагностика, самоналаштування для підтримання заданих параметрів обробки, а також керування контрольними, вимірювальними, завантажувально-розвантажувальними, транспортними та іншими допоміжними операціями [14]. Крім того, такі системи забезпечують автоматизоване планування і облік завантаження обладнання.

При виконанні роботи керуємося вказівками [1] та [2].

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Класифікація верстатів свердлильної групи

Свердлильний верстат – це тип металообробного обладнання для виконання відповідних операцій в залежності від його типу та можливостей. Зокрема такі верстати призначені для свердління наскрізних та глухих отворів; зенкерування (в тому числі й торцевих поверхонь); чистової обробки, в тому числі й розверчування отворів; нарізання різі тощо.

Свердлильні верстати бувають горизонтально-свердлильними, вертикально-свердлильними, радіально-свердлильними та спеціально-свердлильними.

Оскільки темою даної кваліфікаційної роботи визначено коробка швидкостей радіально-свердлильного верстату, тож надалі будемо розглядати саме верстати цієї групи.

Радіально-свердлильні верстати використовують для оброблення одиничних отворів або отворів, розташованих групами, на заготовках зі значними габаритами і масою.

Операції, що виконуються на радіально-свердлильних верстатах:

- свердління наскрізних і глухих отворів;
- розсвердлювання і розточування (при використанні розточувальної головки) отворів;
- нарізання різі мітчиком;
- зенкерування отворів з отриманням більш високих класів чистоти і точності обробки поверхні отворів;
- зенкування, необхідне для формування конічних і циліндричних технологічних заглиблень під головки болтів, гвинтів тощо;
- розгортання конічних і циліндричних отворів, необхідне для отримання потрібної точності і шорсткості поверхонь;
- розкочування і хонінгування поверхні отвору (за допомогою

розкатних і хонінгувальних головок);

Підрізання торців бобишок для забезпечення поверхні, перпендикулярної осі отвору.



Рисунок 1.1 – Радіально-свердлильний верстат OPTIDRILL RD 5

Використання спеціального інструменту, оправок і пристосувань підвищує продуктивність свердлильних верстатів, розширює діапазон можливих операцій, даючи змогу виконувати характерні, наприклад, для розточувальних верстатів: виконувати виточування внутрішніх канавок, вирізати з листового матеріалу деталі у формі кола [9].

Згідно з класифікацією металорізального обладнання радіальні свердлильні верстати належать до класу K1 (нормальна точність Н), що відповідає вимогам до верстатів загального призначення в сучасній світовій практиці металообробки.

Точність радіально-свердильного верстата багато в чому залежить від правильного встановлення і закріплення його станини на підготовленому фундаменті, глибина якого визначається паспортом устаткування, але не може бути меншою за 0,5 м.

Діапазон можливостей обладнання робить його використання раціональним і на невеликих ремонтних виробництвах, і в цехах великого машинобудівного підприємства.

1.2 Конструктивні особливості радіально свердильних верстатів

Кожен верстат радіально-свердильної групи складається з: жорсткої основи, циліндричних колон (внутрішньої і зовнішньої), траверси (хобота), свердильної голівки (шпиндельної бабки), електричного та гідравлічного обладнання управління.

Головні рухи при свердильних операціях, це обертання і переміщення пінолі шпинделя верстата. Кінематичні ланцюжки, що виконують ці рухи, забезпечені елементами управління, що дають змогу задавати інструменту необхідну швидкість обертання і подачу.

Допоміжні рухи:

- поворот рухомої колони радіально-свердильного верстата,
- вертикальне переміщення консолі (траверси),
- фіксація траверси на колоні на операційній висоті,
- фіксація шпиндельної головки на траверсі,
- перемикання швидкостей шпинделя і подач пінолі.

Під час обробки деталей на радіальних свердильних верстатах координати центру отвору й осі інструменту поєднуються пересуванням свердильної головки щодо нерухомої заготовки в полярній системі координат.

Ця система характеризується двома параметрами: кутом повороту траверси і радіусом положення на ній шпindelної головки.

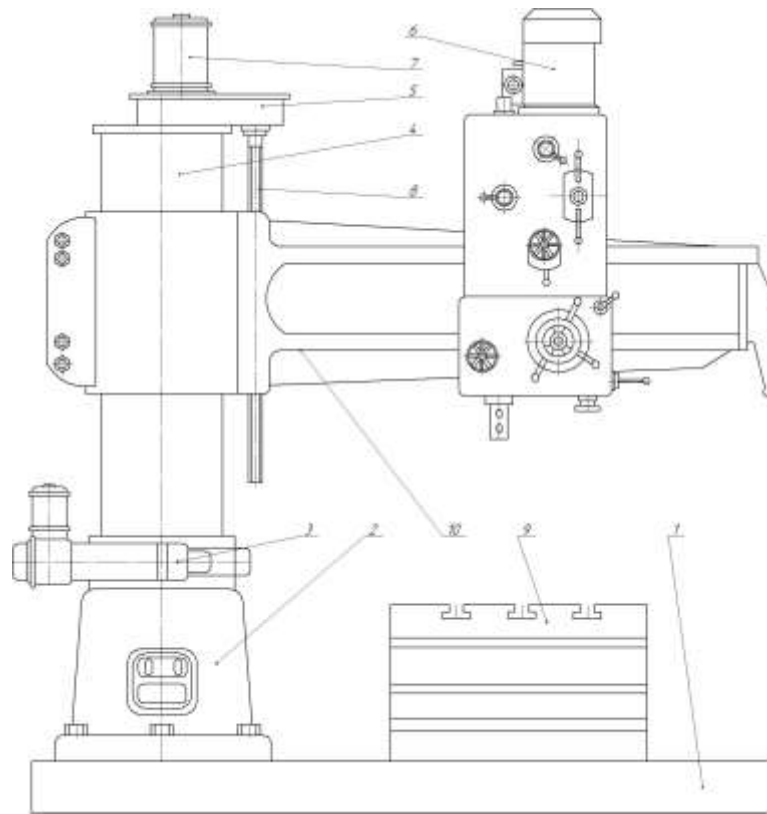


Рисунок – 1.2 – Основні вузли радіально-свердлильного верстату:

1 – основа; 2 – тумба; 3 - насос гідравліки; 4 – колона; 5 – механізм підйому/опускання руки і затиску колони; 6 – двигун шпинделя; 7 – двигун підйому/опускання руки; 8 – гвинт підйому/опускання руки; 9 – стіл; 10 – рука

Оброблення отворів під кутом можливе тільки за умови встановлення під кутом самої заготовки за допомогою спеціального оснащення і пристосувань.

Станина верстата, поєднана з робочою основою (столом), як правило, відлита з сірого чавуну. Вона призначена для фіксації всього верстата на фундаменті, установки цоколя колони з траверсою і шпindelною бабкою, а також кріплення оснащення і деталі за допомогою Т-подібних пазів робочої основи.

Заготовку невеликих габаритів можна встановлювати на приставному коробчатому столі, або безпосередньо закріплювати на спеціально обробленій поверхні основи (робочому столі). Кріплення заготовки поза робочою поверхнею столу застосовується рідко, оскільки вносить додаткову похибку в точність обробки виробу [9; 14].

Колона встановлена вертикально на станині верстата і повертається навколо своєї осі щодо нерухомої внутрішньої стійки на роликових підшипниках. Траверса закріплена на колоні.

У верхній частині колони монтується механізм підйому/опускання траверси, що приводиться в рух від електродвигуна.

Консоль (рука або хобот) радіально-свердлильного верстата змонтована безпосередньо на колоні; вона має окремий електропривод, переміщується вгору-вниз, а також обертається навколо вертикальної осі разом з опорною колоною. Обертання, залежно від моделі верстата, може відбуватися як вручну, так і за допомогою електричного приводу.

На напрямні консольної траверси встановлюється свердлильна бабка з робочим шпинделем. Відповідно до висоти заготовки траверса може бути опущена або піднята. У ніші, розташованій зі зворотного боку рукава, монтується електрообладнання, елементи гідравліки.

Свердлильна головка (шпиндельна бабка), змонтована на траверсі, конструктивно є окремим силовим агрегатом, що має коробки подач, швидкостей, а також механізми встановлення глибини свердління.

У радіально-свердлильних верстатах шпиндель служить для фіксації обробного інструменту і передачі йому обертального моменту і лінійної подачі.

Інструмент вставляється у внутрішній конус пінолі (конус Морзе № 4-6 або метричний конус, залежно від моделі), а потім координатно орієнтується відносно оброблюваної деталі шляхом повороту консолі і переміщення вздовж неї шпиндельної бабки.

Для зручності оператора все управління верстата розташоване на свердлильній голівці:

багатофункціональний штурвал переміщення шпindelної бабки і пінолі шпindelя;

кнопки управління затискачем/розтискачем вузлів, увімкненням/вимкненням обертання шпindelя, аварійної зупинки, увімкнення освітлення робочої зони;

рукоятки вибору швидкості обертання, подачі шпindelя, напрямку обертання шпindelя, перемикання ручної та автоматичної подачі.

Коробка подач розташовується між шпindelем і електродвигуном шпindelя; обертання від електродвигуна передається через зубчасті зачеплення і фрикційні сполучні муфти. Фрикційна муфта дає змогу виконати швидкий реверс під час нарізування різьблення, вимкнення подачі під час досягнення необхідної глибини свердління і вберегти коробку швидкостей від перевантажень.

Головка може переміщатися по напрямних консолях в ручному режимі. Вона фіксується перед виконанням операції свердління в потрібному положенні за допомогою спеціального затискного механізму, керованого окремою кнопкою.

Оскільки шпindel змонтований у висувній пінолі, це дає змогу свердлити отвори різної глибини, не переміщаючи траверсу.

Фіксація поворотної колони, так само як і затиск/розтиск шпindelної голівки на напрямних траверси, відбувається за допомогою гідравлічних механізмів, керованих кнопками пульта.

Бак МОР і насосна установка подачі МОР до інструменту також знаходяться в технологічних порожнинах задньої частини верстата. Вимикач розташований у цоколі колони. Назад МОР зливається самопливом.

Оцінка ефективності використання верстатів розглядалася в роботах [9] та [15]. Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Призначення і основні вимоги, що пред'являються до коробки швидкостей

Металорізальні верстати призначені для обробки деталей різними видами інструментів. Вони охоплюють широке коло виконаних технологічних операцій в залежності від ступеня спеціалізації окремих технологічних операцій, так і для комплексної обробки номенклатурних деталей.

Основні техніко-економічні показники якості верстату, які конструктор повинен знати і враховувати в першу чергу, є наступні:

1. Продукційність при забезпеченні заданої точності і шорсткості оброблюємої поверхні.
2. Точність роботи.
3. Простота, легкість і безпечність обслуговування, зручність ремонту.
4. Належність і довговічність.
5. Низька собівартість виготовлення деталей на верстаті.
6. Низькі затрати на виготовлення верстату та невеликі експлуатаційні видатки.
7. Невелика металоємність (матеріалоємність) габаритні розміри.
8. Технологічність конструкції.
9. Можливість переналадки верстату при зміні об'єкту виробництва.
10. Естетичний рівень.
11. Належний рівень уніфікації, нормалізації і стандартизації.
12. Низький рівень шуму при роботі.

Тож, відповідно до завдання, спроектуємо коробку швидкостей радіально-свердлувального верстату по наступним вихідним даним:

- потужність електродвигуна $N=4\text{кВт}$;

- мінімальне число обертів $n_{\min}=30$ об/хв;
- знаменник геометричного ряду $\varphi=1,26$;
- число ступенів $z=14$.

2.2 Кінематичний розрахунок коробки швидкостей

2.2.1 Визначення кінематичних параметрів коробки швидкостей

Із таблиці стандартних частот обертання шпинделя [4, с. 27, 28] виписуємо ряд частот для ($\varphi = 1,26$, починаючи з $N_{\min} = 31,5$ об/хв.), і заносимо результати в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення частот обертання шпинделя

z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
n об/хв	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630

Встановлюємо діапазон регулювання частот обертання шпинделя:

$$D = n_{\max} / n_{\min} = 630 / 31,5 = 20 \quad (2.1)$$

2.2.2 Побудова структурних сіток приводу

Для побудови структурних сіток приводу необхідно задане число швидкостей розкласти на прості множники, але задана кількість швидкостей не розкладається на прості множники. Найближчим числом швидкостей яке можливо розкласти на прості множники є число 24, тому приймаємо: $z = 24$.

Структурна форма коробки швидкостей з числом ступенів $z = 24$ і двошвидкісним двигуном може мати вигляд:

$$z = 24 = 4 \times 2 \times 2; \quad (2.2)$$

Кількість можливих варіантів структурних сіток коробки швидкостей:

$$m! = 3! = 6 \quad (2.3)$$

Для побудови кожної сітки використовуємо структурну формулу, з якої видно кількість передач (променів) між кожною парою валів та на яку відстань один від одного розходяться промені (це показує характеристика групи):

- 1) $z = 4[1]^{\circ} \times 2[4]^1 \times 2[8]^2;$
- 2) $z = 4[1]^{\circ} \times 2[8]^2 \times 2[4]^1;$
- 3) $z = 4[2]^1 \times 2[1]^{\circ} \times 2[8]^2;$
- 4) $z = 4[2]^1 \times 2[8]^2 \times 2[1]^{\circ};$
- 5) $z = 4[4]^2 \times 2[1]^{\circ} \times 2[2]^1;$
- 6) $z = 4[4]^2 \times 2[2]^1 \times 2[1]^{\circ}.$

Приймаємо за кращий другий варіант і будуємо для нього структурну сітку яку наведено на рисунку 2.1.

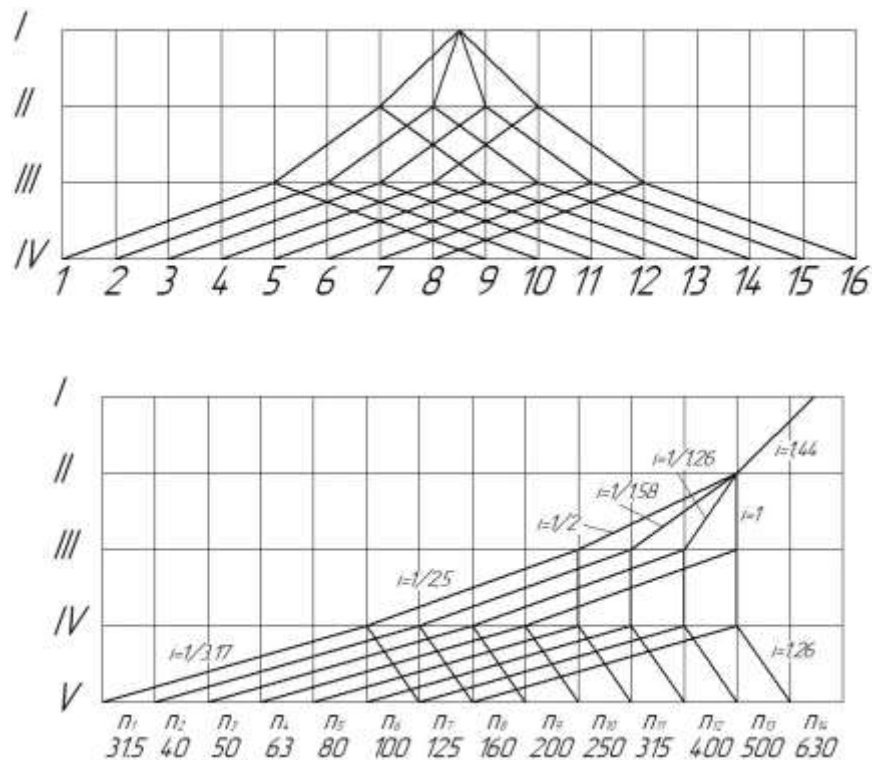


Рисунок 2.1 – Структурна сітка для структурної формули $z=4[1]^{\circ} \times 2[8]^2 \times 2[4]^1$

2.2.3 Підбір кількості зубів відповідно до передаточних відношень

Для блоку Б1 – $z = 99$; $i = 1$; $i_2 = 1,26$; $i_3 = 1/1,58$; $i_4 = 1/2$.

$$\begin{array}{llll} z_1=50; & z_3=44; & z_5=38; & z_7=33; \\ z_2=50; & z_4=55; & z_6=61; & z_8=66. \end{array}$$

Для блоку Б2 – $z = 99$; $i_5 = 1$; $i_6 = 1/2,5$;

$$z_9=50; \quad z_{10}=50; \quad z_{11}=28; \quad z_{12}=71.$$

Для блоку Б3 $z = 99$; $i_7 = 1,26$ $i_8 = 1/3,17$

$$z_{13}=55; \quad z_{14}=44; \quad z_{15}=24; \quad z_{16}=75$$

Визначемо дійсні частоти обертання і перевіримо їх на допустиме відхилення. Також, визначемо допустиме відхилення дійсної частоти обертання від номінальної:

$$n = (\varphi - 1) \cdot 10\% = (1,26 - 1) \cdot 10\% = 6\% \quad (2.4)$$

Кінематична формула коробки має вигляд:

$$720 \cdot \frac{\text{об}}{\text{хв}} \cdot \frac{100}{145} \cdot \begin{pmatrix} \frac{50}{50} \\ \frac{44}{50} \\ \frac{38}{61} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{50}{50} \\ \frac{28}{71} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{56}{44} \\ \frac{24}{75} \end{pmatrix} = n \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (2.5)$$

Похибка складає:

$$\eta = \left| \frac{31,9 - 31,5}{31,5} \right| * 100\% = 1,26\% \quad (2.6)$$

Розрахуємо дійсні частоти обертання та їх відхилення, а їх значення заносимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Нормативні та дійсні значення частот обертання шпинделя та їх відхилення

N_H об/хв	31,5	40	50	63	80	100	125
N_D об/хв	31,9	40,24	51	63,87	79,84	100,3	127,7
$n\%$	1,26	0,6	1,9	1,36	0,2	0,4	2,1
N_H об/хв	160	200	250	315	400	500	613
N_D об/хв	159,7	201,2	251,2	314,37	396,1	502,9	628,7
$n\%$	0,2	0,6	0,6	0,2	0,98	0,6	0,2

Розрахунок на міцність елементів коробки швидкостей.

Крутні моменти визначаю за формулою:

$$M_k = M_{ki} \cdot i_{\max} \cdot T_i \quad (2.7)$$

Крутний момент швидкохідного валу:

$$M_{кю} = 9550 \cdot N_e / n_{0i} = 9750 \cdot 5 / 720 = 67,7 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.8)$$

Результати розрахунку значення крутних моментів на різних валах коробки передач заносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Крутні моменти на валах

Вал коробки	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4
$M_k, \text{ Н}\cdot\text{м}$	67,7	95	131,3	181,6	251,2

Виконуємо попередній розрахунок валів.

Діаметри валів знаходимо за формулою:

$$d = \sqrt[3]{V \cdot M_k / 0,2 \cdot [\tau]} \quad (2.9)$$

приймаємо для сталі 45 $[\tau]=20 \text{ Н/мм}^2$ і для сталі 40Х $[\tau]=30 \text{ Н/мм}^2$.

Прийняті значення діаметрів валів заносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Прийняті значення діаметрів валів

№ валу	1	2	3	4
Сталь 40 d, мм	25	28	32	36
Сталь 45 d, мм	28	32	36	40

2.2.4 Розрахунок клино-пасової передачі

Вибір перерізу паса. В залежності від потужності, що передається ведучим шківом $P_I=5$ кВт та його частотою обертання (у випадку двошвидкісного двигуна - менша частота обертання) $n=720$ об/хв., відповідно до монограми на рисунку 5.3 [3, с. 83] приймаємо клиновий пас перерізу "Б".

Визначаємо мінімально допустимий діаметр ведучого шківа D_{\min} по таблиці 5.4 [3, с. 84] він становить $D_{\min} = 125$ мм.

В цілях підвищення довговічності пасу приймаю діаметр ведучого шківа на порядок вище від D_{\min} із стандартного ряду $D_p = 140$ мм.

3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Визначення розрахункових навантажень крутних моментів на валах

Вихідні данні для розрахунків

Глибина різання $t = 0,5$ мм;

Подача $s = 0,9 - 0,18$ мм/зуб;

Довжина леза фрези $B = 3 - 15$ мм;

Діаметр фрези $A = 100$ мм;

Частота обертання фрези $n = 40 - 4000$ об/хв

Число зубів фрези $z = 15$.

Сила різання визначається залежністю:

$$P_C = (10 \cdot C_p \cdot t \cdot s \cdot B \cdot z) / (D \cdot n) \quad (3.1)$$

де $C_p=825$; $x=1$; $y=0,75$; $u=1,1$; $Q=1,3$; $w=0,2$.

$$P_C = (10 \cdot 825 \cdot 0,5 \cdot 0,18 \cdot 15 \cdot 15) / (100 \cdot 100) = 336 \text{ Н.}$$

Визначаємо крутні моменти на валах за формулою:

$$M_{крі} = (P_C \cdot D_i) / (2 \cdot 100) \quad (3.2)$$

Тож, маємо

$$M_{кр1} = (336 \cdot 28) / 200 = 47 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр2} = (336 \cdot 32) / 200 = 53,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр3} = (336 \cdot 36) / 200 = 60,5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{кр4} = (336 \cdot 40) / 200 = 67,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3.2 Визначення згинаючих моментів та розрахунок валів

Для побудови епюр необхідно розглядати вали з найбільше навантаженими колесами.

Вихідні данні для розрахунку.

Діаметри валів: $D_1=28\text{мм}$; $D_2=32\text{мм}$; $D_3=36\text{мм}$; $D_4=40\text{мм}$.

Модуль зубчастих колес: $m_1=2,25\text{мм}$, $m_2=2,5\text{мм}$, $m_3=2,75\text{мм}$.

Діаметр клинопасової передачі: $D_1 = 140\text{мм}$.

Крутні моменти на відповідних валах: $M_{кр1}=47 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{кр2}=53.7 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
 $M_{кр3}=60.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{кр4}=67.2 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Мета розрахунку:

- побудувати епюри згинаючих моментів;
- визначення небезпечного перетину;
- вточнити розрахунок діаметрів валів.

Для того щоб побудувати епюри згинаючих моментів, необхідно визначити найбільш навантажені колеса на кожному з валів. Самими навантаженими колесами будуть колеса з найбільшими ділильними діаметрами та максимальною відстань до опор.

3.2.1 Розрахунок першого валу коробки швидкостей

$$T_{\Gamma} = (2 \cdot M_{кр1}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 4700) / (2,25 \cdot 44) = 83,5 \text{ Н.}$$

$$P_{кл} = (2 \cdot M_{кр1}) / O \cdot I = (2 \cdot 4700) / 140 = 67,1 \text{ Н.}$$

$$T_{I2} = (2 \cdot M_{кр1}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 4700) / (2,25 \cdot 33) = 109,9 \text{ Н.}$$

У вертикальній площині:

$$T_{\text{в}} = - P_{\text{кл}} \cdot 57 - M_{\text{кр}} - T_{\Gamma} \cdot 110 + T_{I2} \cdot 245 - P_{\text{ду}} \cdot 375 \quad (3.3)$$

Тож

$$T_{\text{в}} = (-67,1 \cdot 57 - 4700 - 83,5 \cdot 110 + 109,9 \cdot 245) / 375 = 24,57 \text{ Н.}$$

Складаємо рівняння рівноваги.

$$\Sigma M_{\text{в}}=0.$$

$$F_{\text{кл}} - T_{11} - P_{\text{вy}} + T_{12} - R_{\text{ay}} = 0;$$

$$R_{\text{ay}} = F_{\text{кл}} - T_{11} - P_{\text{вy}} + T_{12} = 67,1 - 83,5 - 24,57 + 109,9 = 68,93\text{Н};$$

Ділянка АВ ($0 < X < 57$):

$$M_{\Gamma} = F_{\text{кл}} \cdot X - M_{\text{кр}};$$

$$M_{\Gamma\text{а}} = 4700 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{\Gamma\text{в}} = -67,1 \cdot 57 - 4700 = -8524,7 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 110$):

$$M = F_{\text{кл}} \cdot (X + 57) - M_{\text{кр}} + R_{\text{by}} \cdot X M_{\Gamma\text{в}} = 8524,7 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{\Gamma\text{с}} = -67,1 \cdot (110 + 57) - 4700 + 68,93 \cdot 110 = -8323,4 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

Ділянка СВ ($0 < X < 135$):

$$M_{\Gamma} = F_{\text{кл}} (X + 167) - M_{\text{кр}} + R_{\text{by}} (X+110) + T_{11} \cdot X M_{\Gamma\text{с}} = 8323,4 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{\Gamma\text{д}} = -67,1 \cdot (135+167) - 4700 + 68,93 \cdot (135+110) + 83,5 \cdot 135 = 3196,15 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Ділянка ОЕ ($0 < X < 130$):

$$M_{\Gamma} = -F_{\text{кл}} \cdot (X+302) - M_{\text{кр}} + R_{\text{by}} \cdot (X+245) + T_{11} \cdot (X+135) - T_{12} \cdot X;$$

$$M_{\Gamma\text{о}} = 3196,15 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{\Gamma\text{е}} = -67,1 \cdot (130+302) - 4700 + 68,93 \cdot (130+245) + 83,5 \cdot (130 \cdot 435) - 109,9 \cdot 130 = 0.$$

У горизонтальній площині:

$$\Sigma M_{\Gamma} = P_{11} \cdot 110 + R_{\text{bx}} \cdot 375 - P_{12} \cdot 245 \quad (3.4)$$

$$P_{11} = T_{12} \cdot t \cdot g \alpha = 83,5 \cdot t \cdot g 20^{\circ} = 30,39 \text{ Н};$$

$$P_{12} = T_{12} \cdot t \cdot g \alpha = 109,9 \cdot t \cdot g 20^{\circ} = 40 \text{ Н}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 135$):

$$M_{\Gamma} = -R_{\text{ay}} \cdot (X+110) + T_{21} \cdot X;$$

$$M_{\Gamma\text{в}} = -3988,6 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{\Gamma\text{с}} = -36,26 \cdot (110+135) + 86,78 \cdot 135 = 2831,6 \text{ Н}\cdot\text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 130$):

$$M_{\Gamma} = -R_{\text{ay}} \cdot (X+245) + T_{21} \cdot (X+135) - T_{22} \cdot X;$$

$$M_{\Gamma\text{с}} = 2831,6 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{\Gamma\text{е}} = -36,26 \cdot 375 + 86,78 \cdot 265 - 72,3 \cdot 130 = 0.$$

У горизонтальній площині:

$$\Sigma M_T = P_{21} \cdot 110 - P_{22} \cdot 245 + R_{ex} \cdot 375 = 0 \quad (3.5)$$

$$P_{21} = T_{21} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 86,78 \cdot 0,364 = 31,5 \text{ Н};$$

$$P_{22} = T_{22} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 72,3 \cdot 0,36 = 26,2 \text{ Н};$$

$$R_{ex} = (-P_{21} \cdot 110 + P_{21} \cdot 245) / 375 = (-31,5 \cdot 110 + 26,2 \cdot 245) / 375 = 7,9 \text{ Н};$$

$$\Sigma F_y = 0;$$

$$-R_{Ax} + P_{21} - P_{22} + R_{ex} = 0;$$

$$R_{Ax} = P_{21} - P_{22} + R_{ex} = 31,5 - 26,2 + 7,9 = 13,2 \text{ Н}.$$

Ділянка АВ ($0 < X < 110$):

$$M_T = P_{ax} \cdot X;$$

$$M_{Ta} = 0;$$

$$M_{TB} = 13,2 \cdot 110 = 1452 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 135$):

$$M_T = R_{Ax} \cdot (X+110) - P_{21} \cdot X;$$

$$M_{TB} = 836 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TC} = 13,2 \cdot 240 - 31,5 \cdot 130 = -2240,6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 130$):

$$M_T = R_{Ax} \cdot (X+245) - P_{21} \cdot (X+135) + P_{22} \cdot X;$$

$$M_{TC} = -2240,6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TE} = 13,2 \cdot 375 - 31,5 \cdot 265 + 26,2 \cdot 130 = 0.$$

Визначаємо сумарні згинаючі моменти:

$$M_B = \sqrt{M_T^2 + M_P^2} = \sqrt{3988,6^2 + 1452^2} = 8365,21 \text{ мм};$$

$$M_C = \sqrt{2831,6^2 + 1018,5^2} = 3903 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Перевіряємо діаметр валу:

$$d_1 = \sqrt{M_c / (0,1 * [q-1] \mu)} = \sqrt{4244,67 / (0,1 * 750)} = 7,5 \text{ мм} \leq 28 \text{ мм}.$$

Таким чином умова міцності забезпечується.

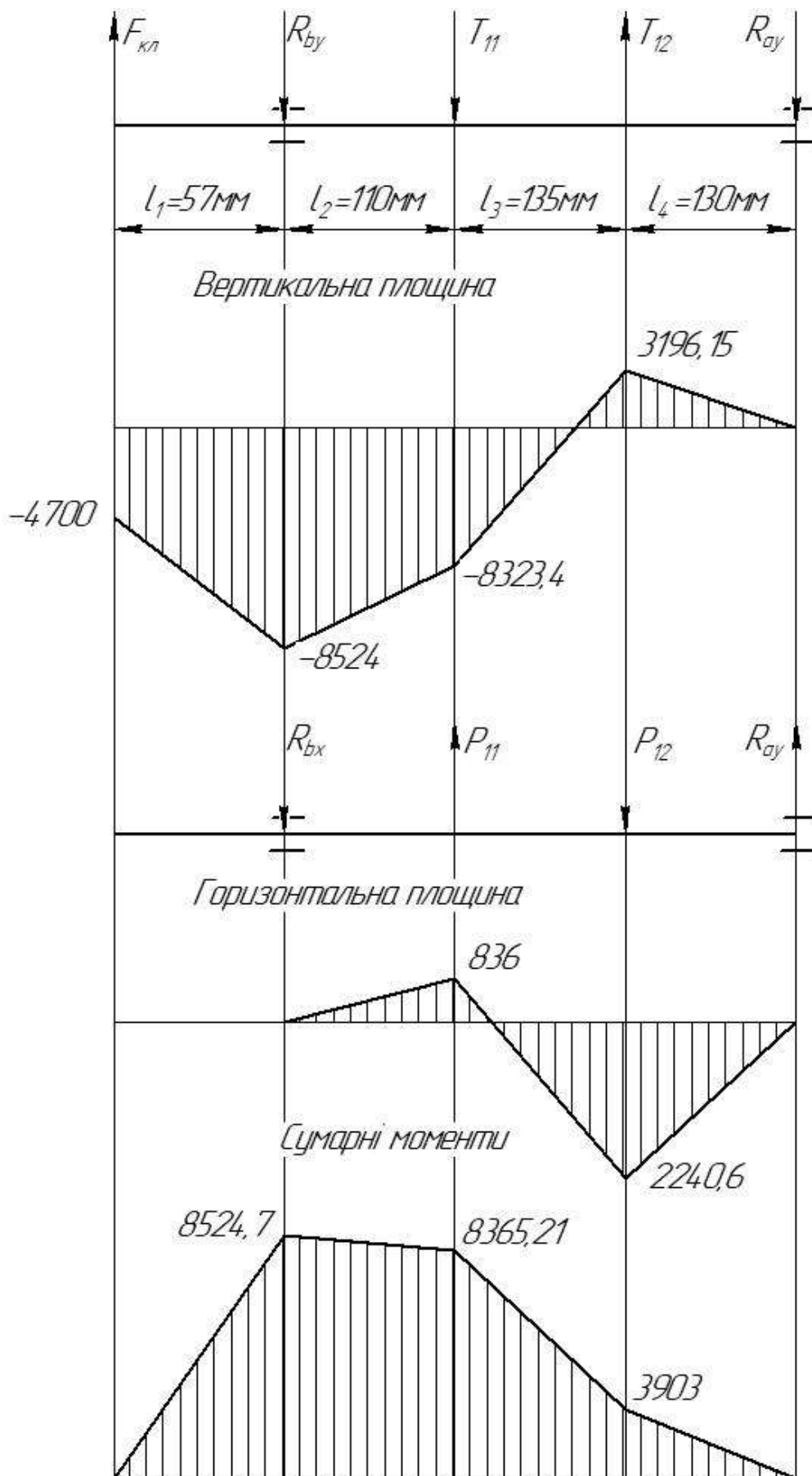


Рисунок 3.1 – Епюри крутних моментів на першому валу

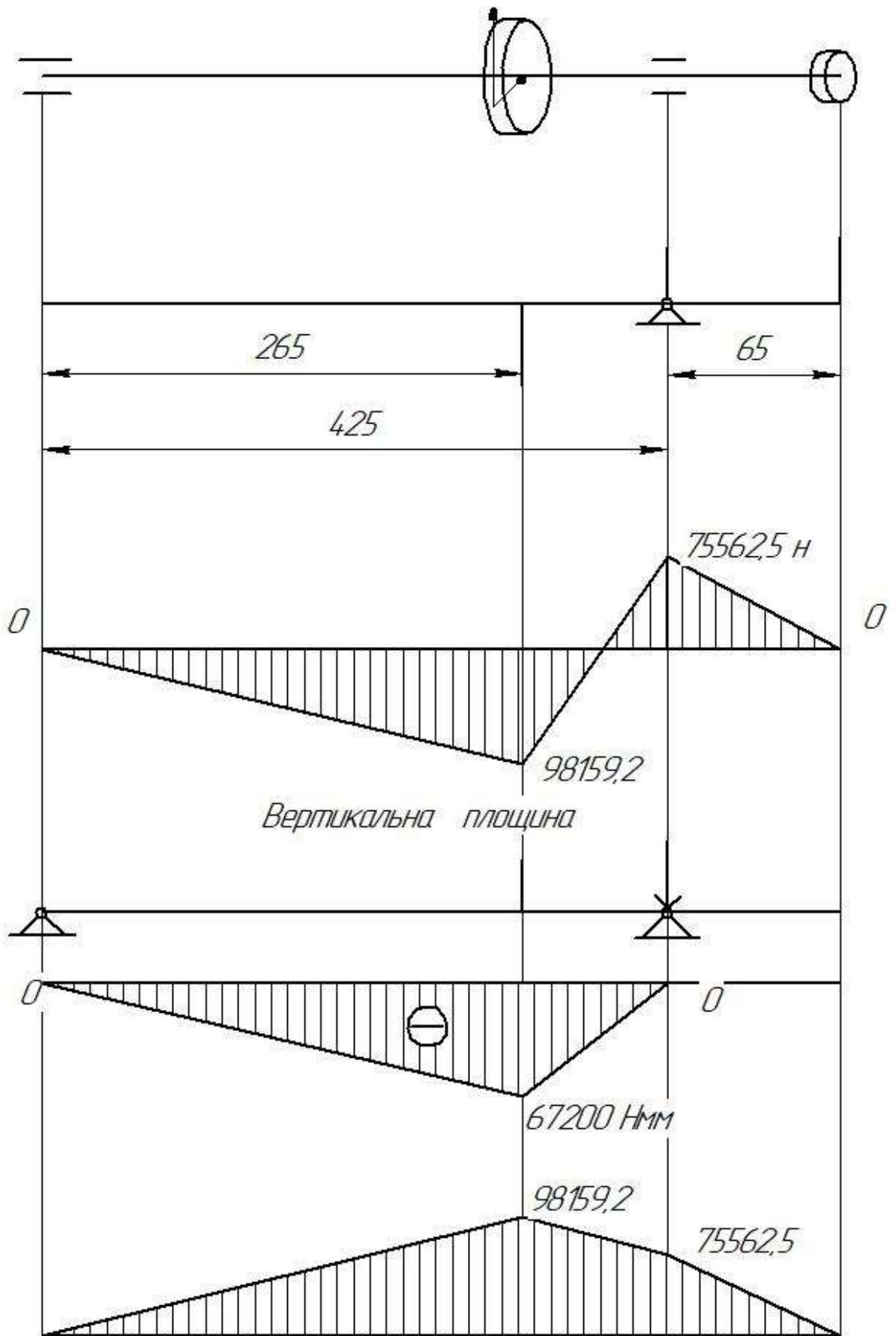


Рисунок 3.2 – Епюри згинаючих моментів на першому валу

3.2.2 Розрахунок другого валу коробки швидкостей

$$T_{\Gamma} = (2 \cdot M_{\text{кр1}}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 4700) / (2,25 \cdot 44) = 83,5 \text{ Н.}$$

$$P_{\text{кл}} = (2 \cdot M_{\text{кр1}}) / O \cdot I = (2 \cdot 4700) / 140 = 67,1 \text{ Н.}$$

$$T_{12} = (2 \cdot M_{\text{кр1}}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 4700) / (2,25 \cdot 33) = 109,9 \text{ Н.}$$

У вертикальній площині:

$$T_{\text{в}} = -P_{\text{кл}} \cdot 57 - M_{\text{кр}} - T_{\Gamma} \cdot 110 + T_{12} \cdot 245 - P_{\text{ду}} \cdot 375 \quad (3.6)$$

Отже

$$T_{\text{в}} = (-67,1 \cdot 57 - 4700 - 83,5 \cdot 110 + 109,9 \cdot 245) / 375 = 24,57 \text{ Н.}$$

Складаємо рівняння рівноваги.

$$\Sigma M_{\text{в}} = 0. \quad F_{\text{кл}} - T_{11} - P_{\text{в}} + T_{12} - R_{\text{ау}} = 0;$$

$$R_{\text{ау}} = F_{\text{кл}} - T_{11} - P_{\text{в}} + T_{12} = 67,1 - 83,5 - 24,57 + 109,9 = 68,93 \text{ Н};$$

Ділянка АВ ($0 < X < 57$):

$$M_{\Gamma} = F_{\text{кл}} \cdot X - M_{\text{кр}}; \quad M_{\text{та}} = 4700 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{\text{тв}} = -67,1 \cdot 57 - 4700 = -8524,7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Ділянка ВС ($0 < X < 110$):

$$M = F_{\text{кл}} \cdot (X + 57) - M_{\text{кр}} + R_{\text{в}} \cdot X - M_{\text{тв}} = 8524,7 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{\text{тс}} = -67,1 \cdot (110 + 57) - 4700 + 68,93 \cdot 110 = -8323,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

Ділянка СВ ($0 < X < 135$):

$$M_{\Gamma} = F_{\text{кл}} (X + 167) - M_{\text{кр}} + R_{\text{в}} (X + 110) + T_{11} \cdot X - M_{\text{тс}} = 8323,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{\text{тд}} = -67,1 \cdot (135 + 167) - 4700 + 68,93 \cdot (135 + 110) + 83,5 \cdot 135 = 3196,15 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Ділянка ОЕ ($0 < X < 130$):

$$M_{\Gamma} = -F_{\text{кл}} \cdot (X + 302) - M_{\text{кр}} + R_{\text{в}} \cdot (X + 245) + T_{11} \cdot (X + 135) - T_{12} \cdot X;$$

$$M_{\text{то}} = 3196,15 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{\text{те}} = -67,1 \cdot (130 + 302) - 4700 + 68,93 \cdot (130 + 245) + 83,5 \cdot (130 \cdot 435) - 109,9 \cdot 130 = 0.$$

У горизонтальній площині:

$$\Sigma M_{\Gamma} = P_{11} \cdot 110 + R_{\text{вх}} \cdot 375 - P_{12} \cdot 245 \quad (3.7)$$

$$P_{11} = T_{12} \cdot \tan \alpha = 109,9 \cdot \tan 20^{\circ} = 39,39 \text{ Н};$$

$$P_{12} = T_{12} \cdot \tan \alpha = 109,9 \cdot \tan 20^{\circ} = 40 \text{ Н.}$$

Ділянка ВС ($0 < X < 135$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot (X+110) + T_{21} \cdot X; \quad M_{TB} = -3988,6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TC} = -36,26 \cdot (110+135) + 86,78 \cdot 135 = 2831,6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 130$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot (X+245) + T_{21} \cdot (X+135) - T_{22} \cdot X;$$

$$M_{TC} = 2831,6 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad M_{TE} = -36,26 \cdot 375 + 86,78 \cdot 265 - 72,3 \cdot 130 = 0.$$

У горизонтальній площині:

$$\Sigma M_T = P_{21} \cdot 110 - P_{22} \cdot 245 + R_{ex} \cdot 375 = 0 \quad (3.8)$$

$$P_{21} = T_{21} \cdot \text{tg } \alpha = 86,78 \cdot 0,364 = 31,5 \text{ Н};$$

$$P_{22} = T_{22} \cdot \text{tg } \alpha = 72,3 \cdot 0,36 = 26,2 \text{ Н};$$

$$R_{ex} = (-P_{21} \cdot 110 + P_{21} \cdot 245) / 375 = (-31,5 \cdot 110 + 26,2 \cdot 245) / 375 = 7,9 \text{ Н};$$

$$\Sigma F_y = 0;$$

$$-R_{ax} + P_{21} - P_{22} + R_{ex} = 0;$$

$$R_{ax} = P_{21} - P_{22} + R_{ex} = 31,5 - 26,2 + 7,9 = 13,2 \text{ Н}.$$

Ділянка АВ ($0 < X < 110$):

$$M_T = R_{ax} \cdot X; \quad M_{Ta} = 0; \quad M_{TB} = 13,2 \cdot 110 = 1452 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 135$):

$$M_T = R_{ax} \cdot (X+110) - P_{21} \cdot X; \quad M_{TB} = 1452 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TC} = 13,2 \cdot 245 - 31,5 \cdot 135 = -1018,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 130$);

$$M_T = R_{ax} \cdot (X+245) - P_{21} \cdot (X+135) + P_{22} \cdot X;$$

$$M_{TC} = -1018,5 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TE} = 13,2 \cdot 375 - 31,5 \cdot 265 + 26,2 \cdot 130 = 0.$$

Визначаємо сумарні згинаючі моменти:

$$M_B = \sqrt{M_T^2 + M_P^2} = \sqrt{3988,6^2 + 1452^2} = 4244,67 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_C = \sqrt{2831,6^2 + 1018,5^2} = 3009,2 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Перевіряємо діаметр другого валу:

$$d_2 = \sqrt{M_c / (0,1 * [q-1] \mu)} = \sqrt{4244,67 / (0,1 * 750)} = 7,5 \text{ мм} \leq 32 \text{ мм}.$$

Таким чином умова міцності забезпечується.

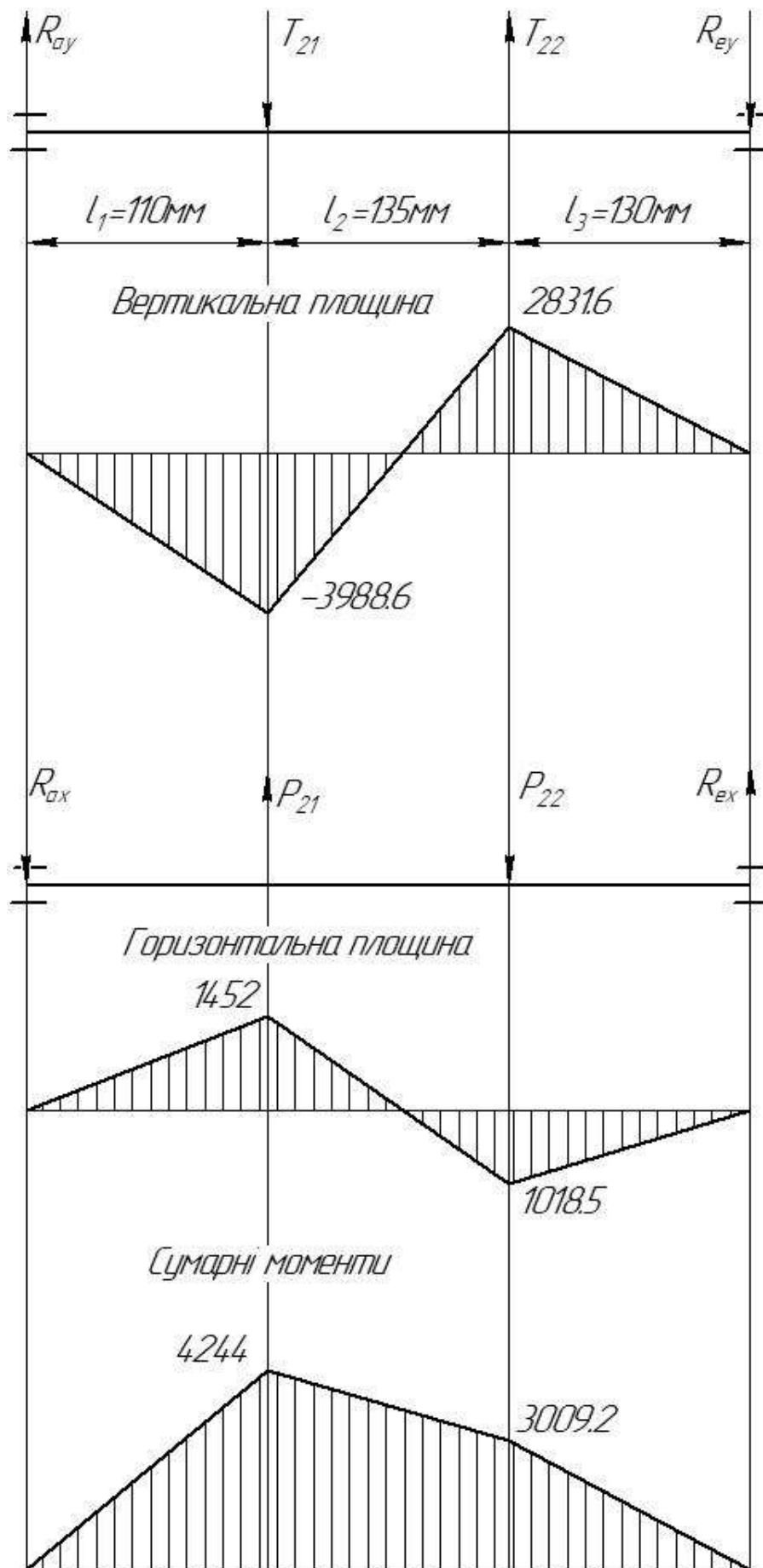


Рисунок 3.3 – Епюри крутних моментів на другому валу

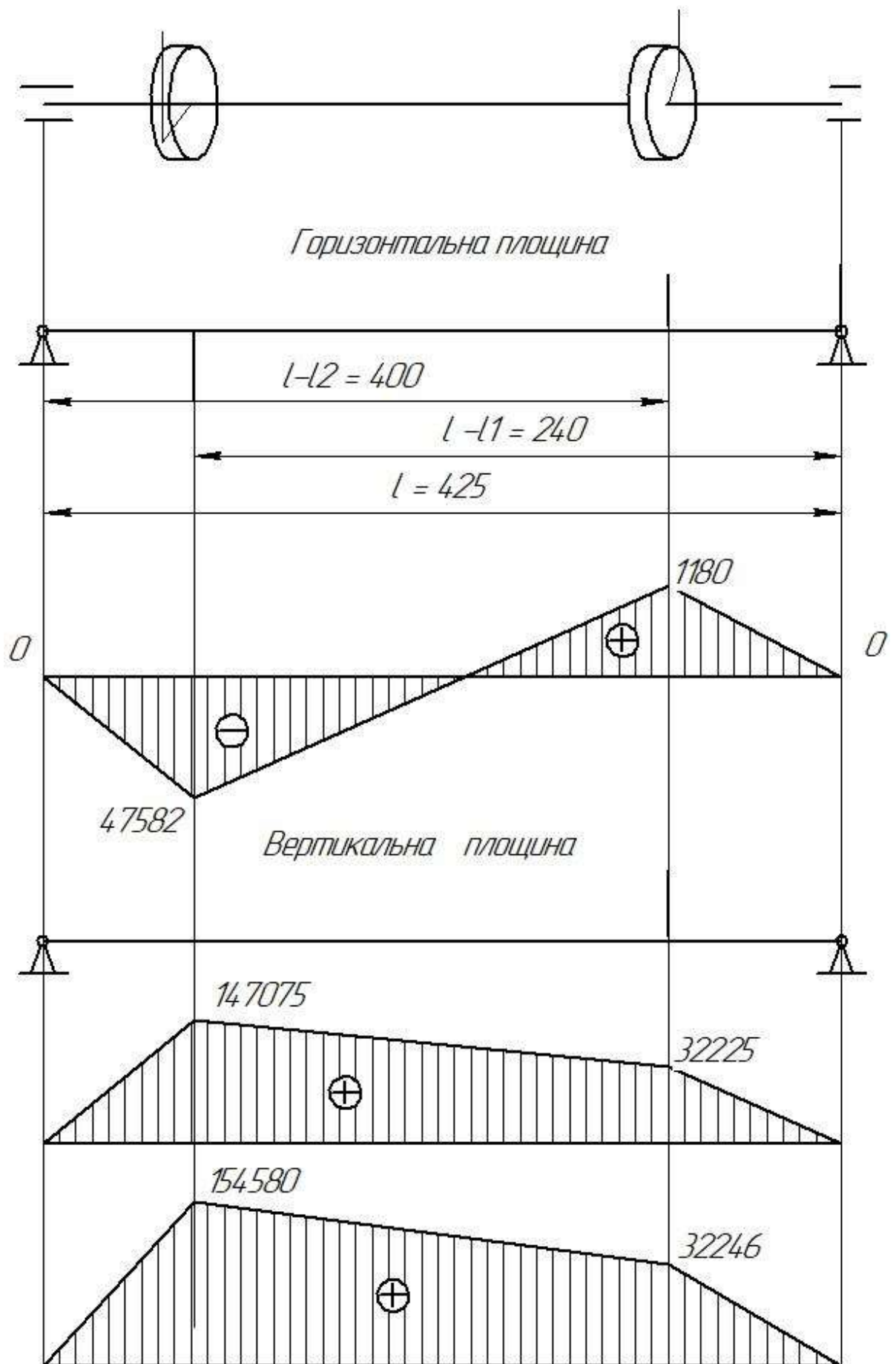


Рисунок 3.4 – Епюри згинаючих моментів на другому валу

3.2.3 Розрахунок третього валу коробки швидкостей

Знаходимо діючі сили:

$$T_{31} = (2 \cdot M_{\text{крз}}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 6050) / (2,75 \cdot 55) = 80 \text{ Н};$$

$$T_{32} = (2 \cdot M_{\text{крз}}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 6050) / (2,5 \cdot 50) = 90 \text{ Н}.$$

У вертикальній площині:

$$\Sigma M_B = T_{32} \cdot 280 - T_{31} \cdot 145 - R_{Ey} \cdot 375 = 0 \quad (3.9)$$

$$R_{Ey} = (T_{32} \cdot 280 - T_{31} \cdot 145) / 375 = (96,8 \cdot 280 - 80 \cdot 145) / 375 = 41,34 \text{ Н};$$

$$\Sigma F_y = 0; \quad R_{ay} + T_{32} - T_{31} - R_{Ey} = 0;$$

$$R_{ay} = -T_{32} + T_{31} + R_{Ey} = -96,8 + 80 + 41,34 = 24,5 \text{ Н};$$

Ділянка АВ ($0 < X < 145$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot X; \quad M_{TA} = 0;$$

$$M_{TB} = -24,5 \cdot 145 = -3552,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 135$):

$$M_T = R_{ay} \cdot (X + 145) + T_{31} \cdot X; \quad M_{TB} = -3552,5 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TC} = -24,5 \cdot 280 + 80 \cdot 135 = 3940 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 95$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot (X + 280) + T_{31} \cdot (X + 135) - T_{32} \cdot X;$$

$$M_{TC} = 3940 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TE} = -24,5(95 + 280) + 80(95 + 135) - 96,8 \cdot 95 = 0.$$

У горизонтальній площині

$$\Sigma M_T = P_{31} \cdot 145 - P_{32} \cdot 280 + R_{ex} \cdot 375 = 0 \quad (3.10)$$

$$P_{31} = T_{31} \cdot \text{tg } 20 = 80 \cdot 0,364 = 29,04 \text{ Н};$$

$$P_{32} = T_{32} \cdot \text{tg } 20 = 96,8 \cdot 0,364 = 35 \text{ Н};$$

$$R_{ex} = (-P_{31} \cdot 145 + P_{32} \cdot 280) / 375 = (-29,04 \cdot 145 + 35 \cdot 280) / 375 = 15 \text{ Н};$$

$$\Sigma F_y = 0;$$

$$-R_{ax} + P_{31} + P_{32} - R_{ex};$$

$$R_{ax} = P_{31} + P_{32} - R_{ex} = 29,04 - 35 + 15 = 9 \text{ Н}.$$

Ділянка АВ ($0 < X < 145$):

$$M_T = R_{ax} \cdot X; \quad M_{Ta} = 0;$$

$$M_{TB} = 9 \cdot 145 = 1305 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 135$):

$$M_T = R_{ax} \cdot (X+145) - P_{31} \cdot X;$$

$$M_{Tc} = 9 \cdot (135+145) - 29,04 \cdot 135 = -140 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 95$):

$$M_T = R_{ax} \cdot (X+280) - P_{31} \cdot (X+135) + P_{32} \cdot X;$$

$$M_{Tc} = -1400 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{Te} = 9 \cdot (95+280) - 29,04 \cdot (95+135) + 35 \cdot 95 = 0.$$

Визначаємо сумарні згинаючі моменти:

$$M_B = \sqrt{M_T^2 + M_P^2} = \sqrt{1305^2 + 3552,5^2} = 3784,5 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_c = \sqrt{3940^2 + 1400^2} = 4181,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Перевіримо діаметр третього валу:

$$d_3 = \sqrt{M_c / (0,1 \cdot [q-1] \mu)} = \sqrt{4181,3 / (0,1 \cdot 750)} = 7,5 \text{ мм} < 36 \text{ мм}.$$

Таким чином умова міцності забезпечується.

3.2.4 Розрахунок четвертого валу коробки швидкостей

Знаходимо діючі сили:

$$T_{41} = (2 \cdot M_{кр4}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 6720) / (2,75 \cdot 44) = 111 \text{ Н};$$

$$T_{42} = (2 \cdot M_{кр4}) / (m \cdot z) = (2 \cdot 6720) / (2,75 \cdot 75) = 65,16 \text{ Н}.$$

У вертикальній площині:

$$\Sigma M_B = -T_{41} \cdot 145 - T_{42} \cdot 232 - R_{cy} \cdot 375 = 0 \quad (3.11)$$

$$R_{cy} = (T_{41} \cdot 145 - T_{42} \cdot 232) / 375 = (111 \cdot 145 + 65,16 \cdot 232) / 375 = 83,2 \text{ Н};$$

$$\Sigma F_y = 0;$$

$$R_{ay} - T_{41} - T_{42} + R_{cy} = 0; \quad R_{ay} = T_{41} + T_{42} - R_{cy} = 111 + 65,16 - 83,2 = 92,9 \text{ Н}.$$

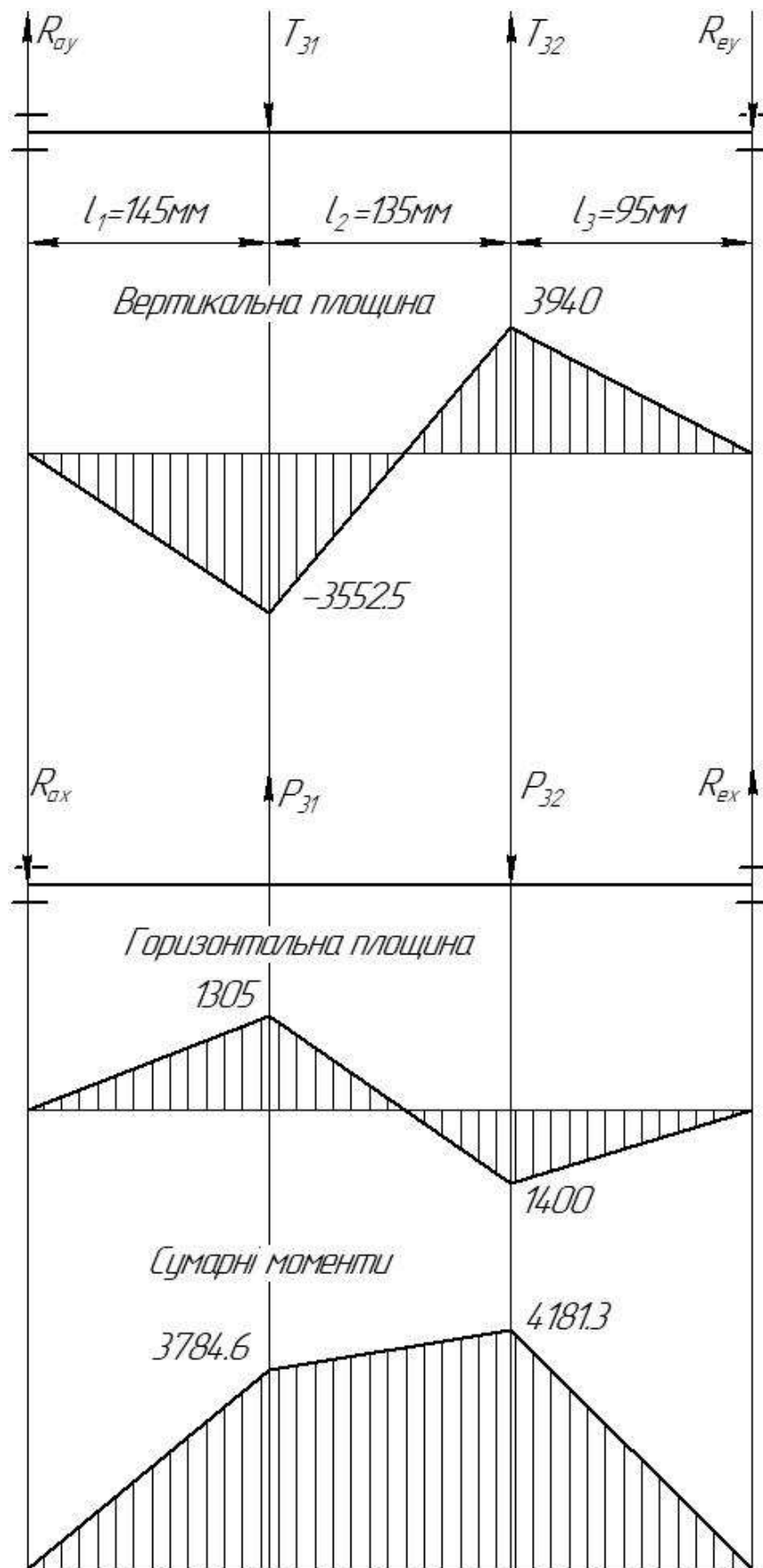


Рисунок 3.5 – Епюри крутних моментів на третьому валу

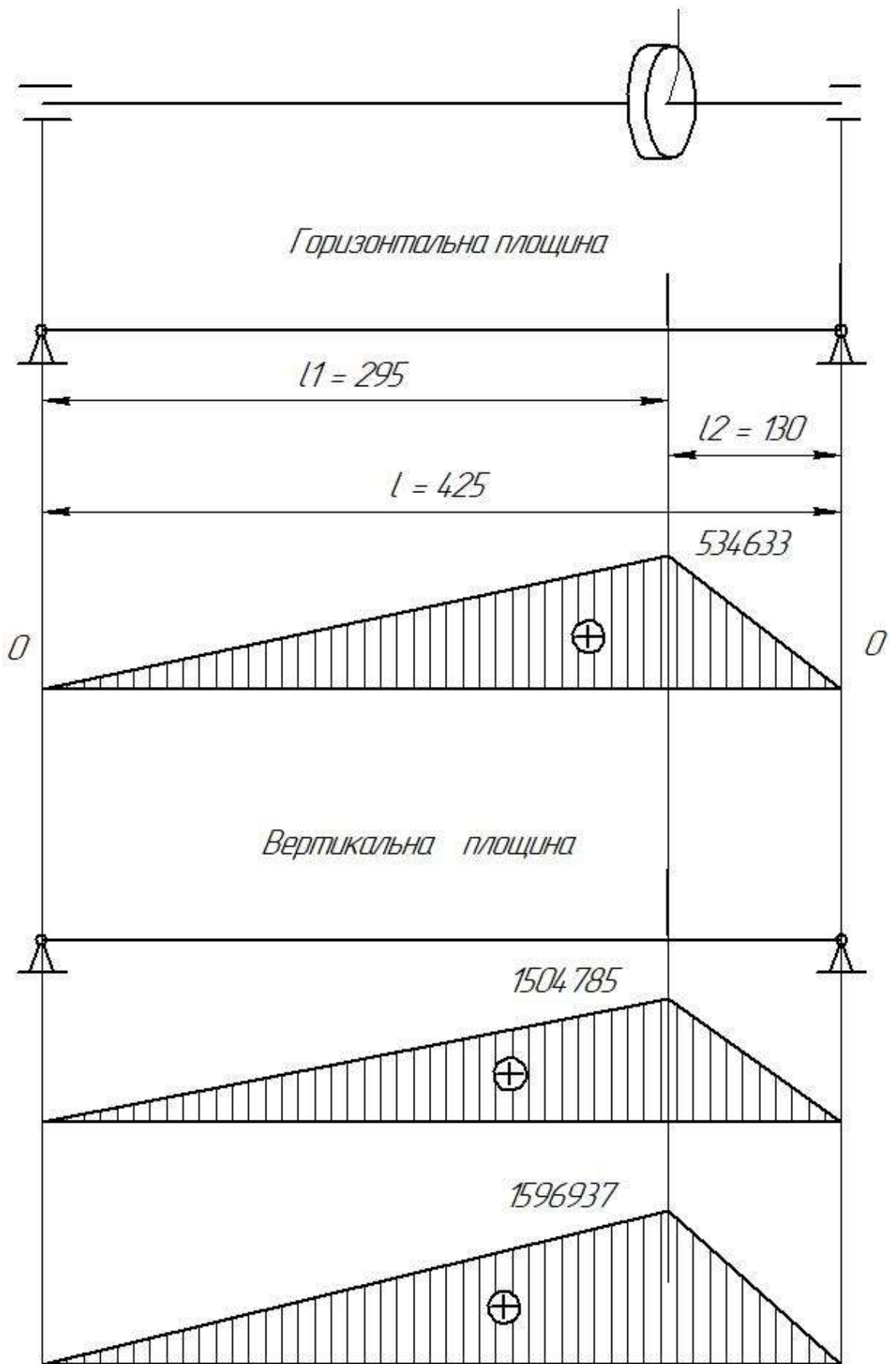


Рисунок 3.6 – Епюри згинаючих моментів на третьому валу

Ділянка АВ ($0 < X < 145$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot X; \quad M_{TA} = 0; \quad M_{TB} = -92,9 \cdot 145 = -13474,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 87$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot (X+145) + T_{41} \cdot X;$$

$$M_{TB} = -13474,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad M_{TC} = -92,9 \cdot (87+145) + 111 \cdot 87 = -11895,8 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 143$):

$$M_T = -R_{ay} \cdot (X+232) + T_{41} \cdot (X+87) + T_{42} \cdot X;$$

$$M_{TC} = -11895,8 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TH} = 92,9 \cdot (143+232) + 111 \cdot (87+143) + 65,16 \cdot 143 = 0.$$

У горизонтальній площині:

$$\Sigma M_T = P_{41} \cdot 145 + P_{42} \cdot 232 - R_{ex} \cdot 375 = 0 \quad (3.12)$$

$$R_{ex} = (P_{41} \cdot 145 + P_{42} \cdot 232) / 375 = (40,3 \cdot 145 + 24,65 \cdot 232) / 375 = 30,2 \text{ Н}.$$

$$\Sigma F_v = 0; \quad -R_{ax} + P_{41} + P_{42} - R_{ex} = 0;$$

$$R_{ax} = P_{41} + P_{42} - R_{ex} = 40,3 + 24,65 - 30,2 = 34,74 \text{ Н}.$$

Ділянка АВ ($0 < X < 145$):

$$M_T = R_{ax} \cdot X; \quad M_{TA} = 0; \quad M_{TB} = 34,74 \cdot 145 = 5037,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка ВС ($0 < X < 87$):

$$M_T = R_{ax} \cdot (X+145) - P_{41} \cdot X;$$

$$M_{TB} = 5037,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad M_{TC} = 3474 \cdot 232 - 40,3 \cdot 87 = 4553,58 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ділянка СЕ ($0 < X < 143$):

$$M_T = R_{ax} \cdot (X+232) - P_{41} \cdot (X+87) + P_{42} \cdot X;$$

$$M_{TC} = 4553,5 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{TH} = 34,74 \cdot (143+232) - 40,3 \cdot (87+143) + 24,65 \cdot 143 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Сумарні згинаючі моменти:

$$M_B = \sqrt{M_T^2 + M_P^2} = \sqrt{13474,1^2 + 5037,4^2} = 14385,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$M_C = \sqrt{11895,8^2 + 4553,58^2} = 12737,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Перевіряємо діаметр четвертого валу.

$$d_4 = \sqrt{M_C / (0,1 \cdot [q-1] \mu)} = \sqrt{14385,3 / (0,1 \cdot 750)} = 14 \text{ мм} < 40 \text{ мм}.$$

Таким чином умова міцності забезпечується.

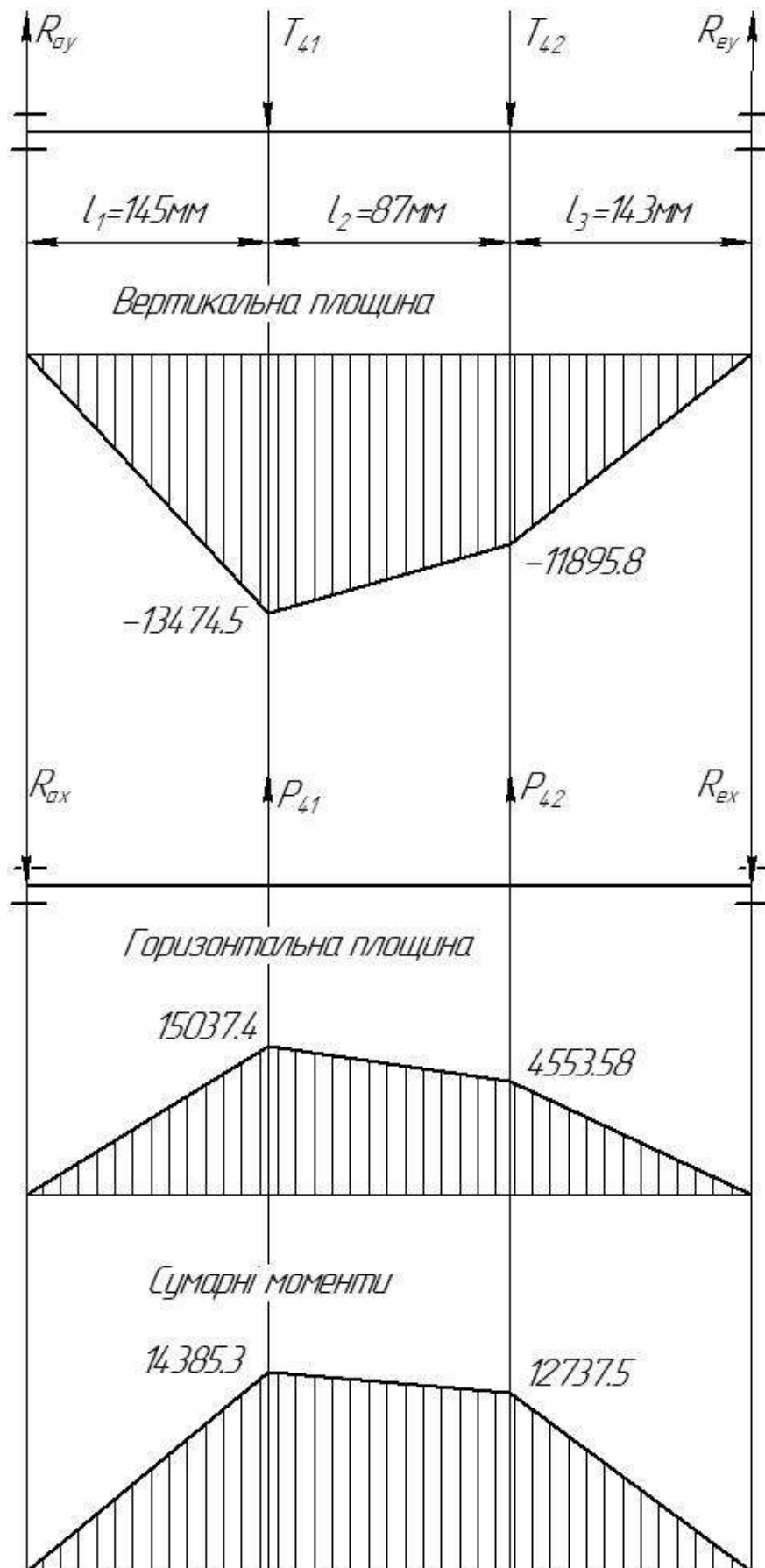


Рисунок 3.7 – Епюри крутних моментів на четвертому валу

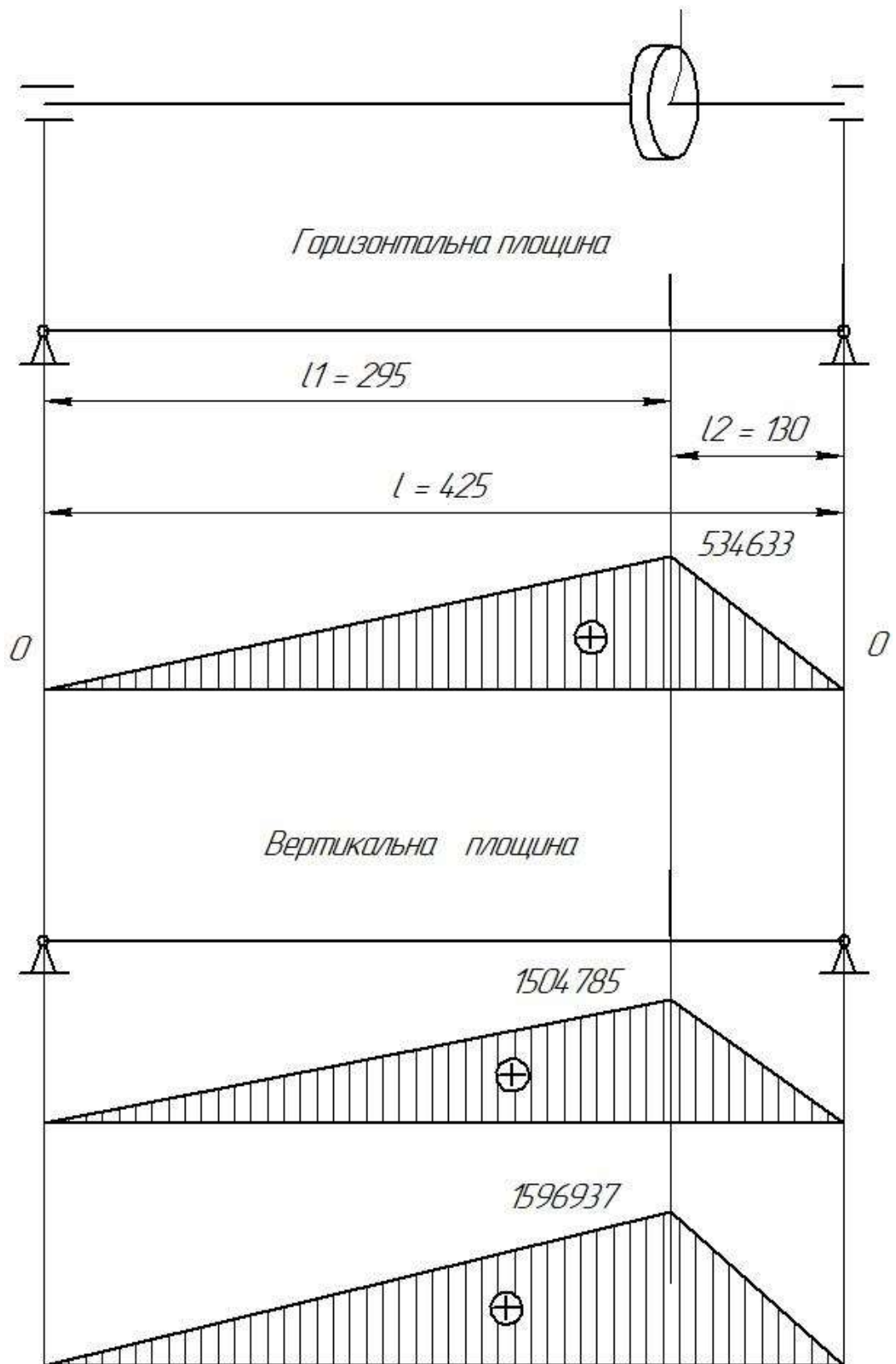


Рисунок 3.8 – Епюри згинаючих моментів на четвертому валу

3.3 Вибір підшипників для валів коробки швидкостей

Для першого валу вибираємо радіальний однорядний шарикопідшипник номер 305, з параметрами:

$$d=25\text{мм}; V=62\text{мм}; C=1730\text{кгс}; C_o=1000\text{кгс}.$$

$$R_B = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BX}^2} = \sqrt{71,75^2 + 6,49^2} = 72H;$$

$$R_E = \sqrt{R_{EY}^2 + R_{EX}^2} = \sqrt{24,75^2 + 16,1^2} = 29,5H;$$

Номінальна довговічність:

$$L = (C / P)^3 = (1730 / 72)^3 = 13872 \text{ об/хв}.$$

Для другого валу вибираємо радіальний однорядний шарикопідшипник номер 206, з параметрами:

$$d=30\text{мм}; V=62\text{мм}; C=1530\text{кгс}; C_o=1020\text{кгс}.$$

$$R_A = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AX}^2} = \sqrt{36,26^2 + 13,2^2} = 38,58H;$$

$$R_E = \sqrt{R_{EY}^2 + R_{EX}^2} = \sqrt{21,78^2 + 7,9^2} = 23,16H;$$

Номінальна довговічність:

$$L = (C / P)^3 = (1530 / 38,58)^3 = 62371,7 \text{ об/хв}.$$

Для третього валу вибираємо радіальний однорядний шарикопідшипник номер 206, з параметрами:

$$d=30\text{мм}; V=62\text{мм}; C=1530\text{кгс}; C_o=1020\text{кгс}.$$

$$R_B = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AX}^2} = \sqrt{24,5^2 + 9^2} = 26,1H;$$

$$R_E = \sqrt{R_{EY}^2 + R_{EX}^2} = \sqrt{41,34^2 + 15^2} = 43,97H;$$

Номінальна довговічність:

$$L = (C / P)^3 = (1530 / 43,97)^3 = 42131,3 \text{ об/хв}.$$

3.4 Вибір змащення коробки швидкостей

У якості матеріалів для змащення зубчастих передач застосовують рідинні мінеральні масла. Вибір сорту мінерального масла проводиться в залежності від умов роботи коробки швидкостей. Чим більше колова швидкість, тим менш в'язка повинно бути масло та навпаки, чим менша колова швидкість, тим більш в'язким повинно бути масло.

Робоча температура масла в коробці швидкостей не повинна перевищувати +50°C.

В даному випадку для змащення вибираю мінеральне масло, враховуючі матеріал колес та колову швидкість - масло індустріальне 20 (ГОСТ20799-75).

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена модернізації коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

1. В роботі були проаналізовані відповідні літературні джерела та встановлені конструктивні особливості радіально-свердлильних верстатів, зокрема вимоги до коробок швидкостей.

2. Проведено кінематичний розрахунок коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

3. Виконано розрахунки навантажень крутних моментів, визначено згинаючі моменти на основі чого проведено розрахунки валів коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

4. Розроблено кресленик коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16 с.
2. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 40 с.
3. Н.Ф. Киркач, Р.А. Баласанян. Расчет и конструирование деталей машин. Харьков : «Основа», 1991. 276с.
4. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів : підручник / за ред. Р.І. Сіліна. Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2008. 448 с.
5. Агрегатно-модульне технологічне обладнання : навч. посіб. для ВНЗ у 3-х част. / Крижанівський В. А. та ін. ; за ред. Ю. М. Кузнецова. Кіровоград, 2003.
6. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ. 2014. 104 с.
7. Шевченко О.В., Беляєва А.Ю. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс] : навч. Посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 86 с.

8. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Металорізальні верстати: Навчальний посібник / За ред. Р.І. Сіпіна. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 268 с.
9. Pavlenko I. I. Robotic technological complexes: monograph / I. I. Pavlenko, V. A. Mazhara; under the editorship I. I. Pavlenko. – Kropyvnytskyi: KOD, 2019. – 382 p.
10. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Крушельницький В.В. Мехатроніка : підручник. Київ : НУБІП, 2020. 404 с.
11. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посіб. для вищ. навч. закл. / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський та ін. Київ : Либідь, 2005. 680 с.
12. Павленко І. І. Промислові роботи та РТК : монографія. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2016. 492 с.
13. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження : посібник. Львів : Світ, 2001. 296 с.
14. Мажара В.А., Годунко М.О. Основи гнучкого автоматизованого виробництва. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентами спеціальності “Прикладна механіка”. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 32 с.
15. Mazhara, V., Shcherbyna, K., Maniakin, S., & Filonenko, V. (2023). Efficiency of using turning machining centers. Global science: prospects and innovations : proceedings of IV international scientific and practical conference, Liverpool, 1-3 December, 2023. – Liverpool, United Kingdom : Cognum Publishing House, 2023. – P. 216-221.