

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

**КУЗОВА, ВІЗКИ, КОЛІСНІ ПАРИ ТА БУКСОВІ ВУЗЛИ
ЛОКОМОТИВІВ**

Конспект лекцій

Частина 3

Механічна частина ТРС

Харків 2022

Кузова, візки, колісні пари та буксові вузли локомотивів: конспект лекцій. Ч. 3. Механічна частина ТРС / Д. О. Аулін, О. В. Клименко, Д. М. Коваленко, М. В. Максимов. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 46 с.

Конспект лекцій відповідає напряму підготовки здобувачів базової вищої освіти 273 «Залізничний транспорт» освітньої програми «Локомотиви та локомотивне господарство» з дисципліни «Теорія та конструкція локомотивів». Викладено вимоги до конструкцій кузовів, візків, колісних пар та буксових вузлів локомотивів, принципи розрахунку технічних характеристик, конструкцій основних вузлів екіпажної частини локомотивів. Призначено для студентів II–V-го курсів усіх форм навчання.

Іл. 43, бібліогр.: 8 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 23 січня 2022 р., протокол № 12.

Рецензент

проф. Д. С. Жалкін

ЗМІСТ

Тематичний план навчальної дисципліни.....	4
Вступ.....	5
1 Колісні пари локомотивів.....	7
1.1 Призначення та класифікація колісних пар.....	7
1.2 Конструкція основних елементів колісних пар локомотивів.....	10
1.3 Особливості руху колісної пари рейковою колією.....	16
2 Буксові вузли локомотивів.....	20
2.1 Призначення буксових вузлів.....	20
2.2 Підшипникові вузли букс.....	20
2.3 З'єднання букс з рамою візка.....	26
3 Кузова локомотивів.....	32
3.1 Призначення та класифікація кузовів локомотивів.....	32
3.2 Кузова з несучою головною рамою.....	32
3.3 Суцільнонесучі кузова локомотивів.....	34
3.4 Кузова з суцільнонесучою обшивкою.....	36
3.5 Питомі параметри кузовів та вимоги до них.....	37
4 Рами візків локомотивів.....	39
4.1. Призначення, класифікація та компоновка рам візків.....	39
4.2 Особливості технології виготовлення рам візків.....	40
4.3 Компонувальні схеми рам візків локомотивів.....	42
Контрольні питання.....	45
Список літератури.....	46

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1 Колісні пари локомотивів. Призначення та класифікація колісних пар. Конструкція основних елементів колісних пар локомотивів. Особливості руху колісної пари в рейковій колії.

2 Буксові вузли локомотивів. Призначення буксових вузлів. Підшипникові вузли букс. З'єднання букс з рамою візка.

3 Кузова локомотивів. Призначення та класифікація кузовів локомотивів. Кузова з несучою головною рамою. Суцільнонесучі кузова локомотивів. Питомі параметри кузовів та вимоги до них.

4 Рами візків локомотивів. Призначення, класифікація та компоновка рам візків. Особливості технології виготовлення рам візків. Компонувальні схеми рам візків локомотивів.

ВСТУП

Пристрої механічної частини значною мірою визначають безпеку руху тягового рухомого складу (ТРС), його міцність, віброзахисні і тягові властивості. Тому вивчення принципів роботи і конструкції пристроїв механічної частини, умов роботи їх в експлуатації, способів підтримки їхньої працездатності має бути невід'ємною частиною комплексу знань в процесі навчання студентів, що спеціалізуються в області тягового рухомого складу. Метою дисципліни «Теорія та конструкція локомотивів» розділу «Механічна частина» є вивчення:

- пристроїв механічної частини ТРС, їх еволюції;
- принципів вибору параметрів і проектування окремих елементів механічної частини;
- методів розрахунку елементів механічної частини і оптимізації їх конструкції.

Поданий розділ дисципліни дає можливість фахівцеві розуміти фізичну основу низки конструкторських рішень, прийнятих при проектуванні механічної частини, оволодіти методами аналізу причин несправності механічної частини і розробляти ефективні заходи щодо їх виявлення та усунення. «Теорія та конструкція локомотивів» розділ «Механічна частина» базується на відомостях, отриманих студентами при вивченні дисциплін: «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка», «Обчислювальна техніка», «Загальний курс залізниць».

Вивчивши даний розділ, студент має знати:

- пристрій механічної частини вітчизняного магістрального серійного і дослідного ТРС;
- призначення окремих елементів механічної частини, режими і умови їхньої роботи;
- принципи вибору параметрів окремих елементів механічної частини;
- методи розрахунку вузлів механічної частини на міцність при дії статичних і динамічних навантажень.

Вивчивши розділ, студент повинен вміти:

- проводити обґрунтований вибір параметрів і конструкцій окремих вузлів механічної частини;

- здійснювати оцінювання прийнятого конструкторського рішення з точки зору габариту рухомого складу, безпеки руху, міцності і довговічності.

Вивчивши дисципліну, студент повинен мати уявлення:

- про сучасні досягнення в області магістрального локомотивобудування;

- про перспективи розвитку конструкцій механічної частини ТРС;

- про сучасні методи оптимізації та автоматизації розрахунків конструкцій із застосуванням сучасних комп'ютерних програм.

У третій частині конспекту лекцій розглянуто будову, призначення, принципи роботи і класифікації різних конструкцій кузовів, візків, колісних пар та буксових вузлів локомотивів.

Для закріплення вивченого матеріалу є ряд контрольних питань.

1 Колісні пари локомотивів

План лекції

Призначення та класифікація колісних пар. Конструкція основних елементів колісних пар локомотивів. Особливості руху колісної пари в рейковій колії.

1.1 Призначення та класифікація колісних пар

Призначення колісних пар:

- передача ваги локомотива на рейкову колію;
- забезпечення направленої руху екіпажу в рейковій колії;
- реалізація тягових та гальмівних зусиль від тягових та гальмівних пристроїв;
- сприйняття та передача динамічних зусиль, діючих на екіпажну частину при русі.

Колісна пара локомотива складається з вісі, двох рушійних коліс та пристроїв передачі обертаючого моменту від тягового приводу.

Колісні пари локомотивів прийнято класифікувати за такими ознаками:

а) за розташуванням буксових шийок відносно коліс (рисунок 1.1):

- зовнішнє (більшість рухомого складу);
- внутрішнє (паровози, тепловоз ТГМ23).

б) за розташуванням, кількістю та параметрами зубчастих коліс:

- симетричний двосторонній привід з косозубими зубчастими колесами (вантажні електровози) (рисунок 1.2);
- несиметричний (боковий) односторонній привід з прямозубим зубчастим колесом (тепловози) (рисунок 1.3);
- центральний привід з конічним зубчастим колесом (тепловози та МВРС з гідравлічною передачею потужності) (рисунок 1.4);

в) за конструкцією коліс:

- суцільнокатані;
- збірні.

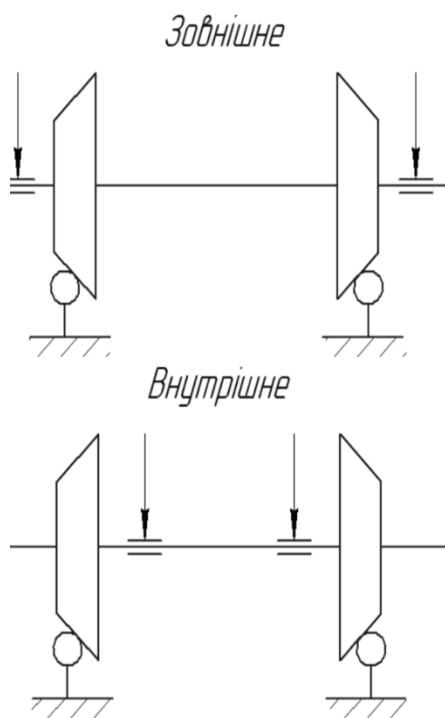


Рисунок 1.1 – Розташування буксових шийок відносно коліс

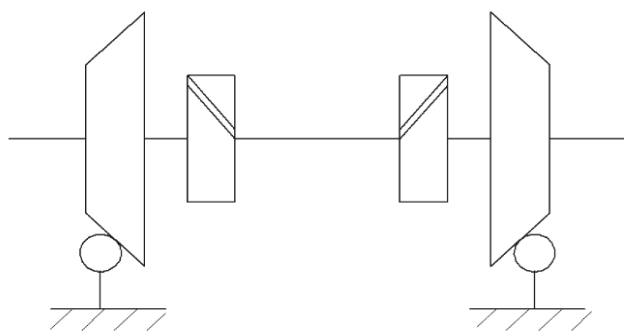


Рисунок 1.2 – Колісна пара з симетричним двостороннім приводом

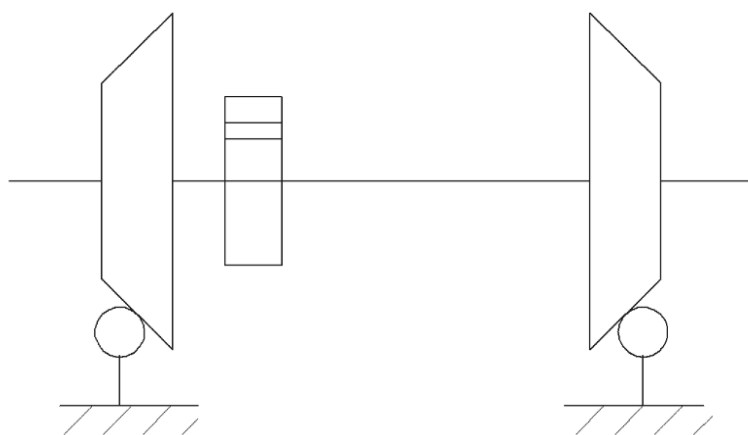


Рисунок 1.3 – Колісна пара з несиметричним одностороннім приводом

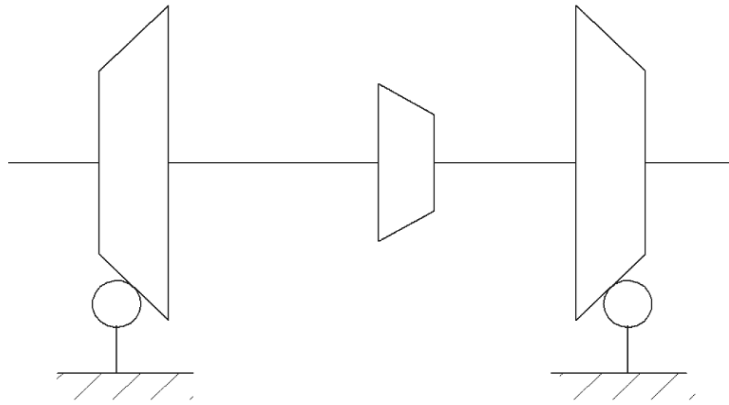


Рисунок 1.4 – Колісна пара з центральним конічним приводом

Збірні колеса складаються з колісних центрів та бандажів – це основний тип, який застосовується на локомотивах.

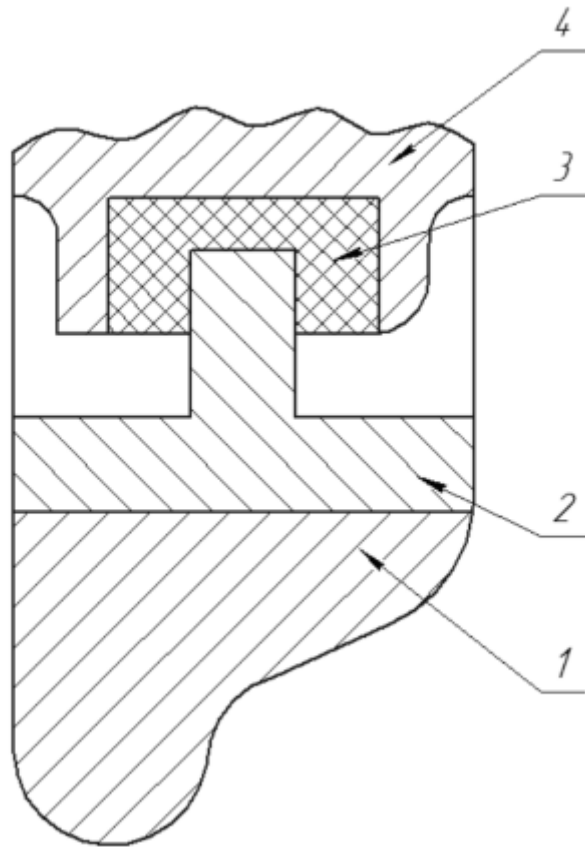
Суцільнокатані колеса мають нижчу масу у порівнянні зі збірними та дешевші у виготовленні. Однак зносостійкість поверхонь кочення суцільнокатаних коліс як правило менша, ніж у збірних. Тому суцільнокатані колеса на колісних парах, які реалізують силу тяги, як правило не використовують (за винятком деяких тепловозів з гідравлічною передачею потужності). Разом з цим, з міркувань забезпечення безпеки руху на високошвидкісному рухомому складі застосовують тільки суцільнокатані колеса.

г) за конструкцією колісного центра:

- однодискові колісні центри (тепловози $D_k = 1050$ мм);
- дводискові колісні центри (вантажні електровози);
- спицеві (пасажирські електровози, електропоїзди).

Дводискові та спицеві колісні центри застосовують для колісних пар з $D_k = 1050$ мм, для зменшення невіднесеної маси та як слід зменшення дії динамічних навантажень на рейкову колію. Для зниження дії ударних навантажень на рейкову колію проводилися дослідження з впровадження коліс з вбудованими пружними елементами.

Дослідна експлуатація коліс з вбудованими пружними елементами (рисунок 1.5) показала незадовільні надійність та строк служби пружних елементів.



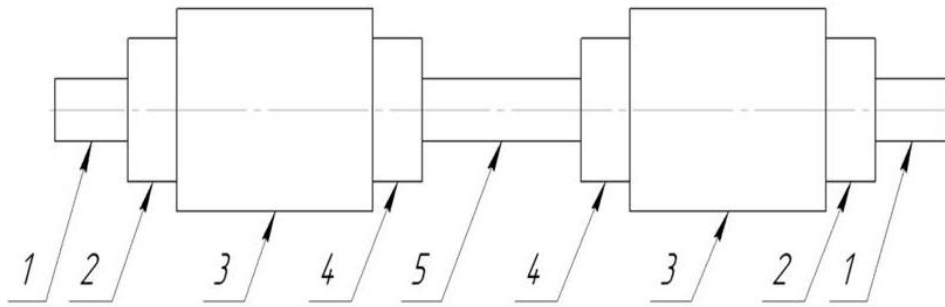
1 – бандаж; 2 – обід; 3 – пружний гумовий елемент;
4 – колісний центр

Рисунок 1.5 – Дослідне колесо з вбудованим пружним елементом

1.2 Конструкція основних елементів колісних пар локомотивів

Вісі колісних пар виготовляють з осьової сталі ОсЛ або ОсВ. Вона являє собою сталевий круглий брус, змінного за довжиною поперечного перерізу. Для зниження концентрації напруг у місцях зміни діаметрів вісі роблять плавні переходи – галтелі, виконані визначеним радіусом. Для підвищення втомної міцності циліндричні поверхні вісі (окрім середньої частини), а також галтелі зміцнюються накаткою роликками з навантаженням 30–40 кН, при цьому границя втоми сталі підвищується майже в двічі[1,2].

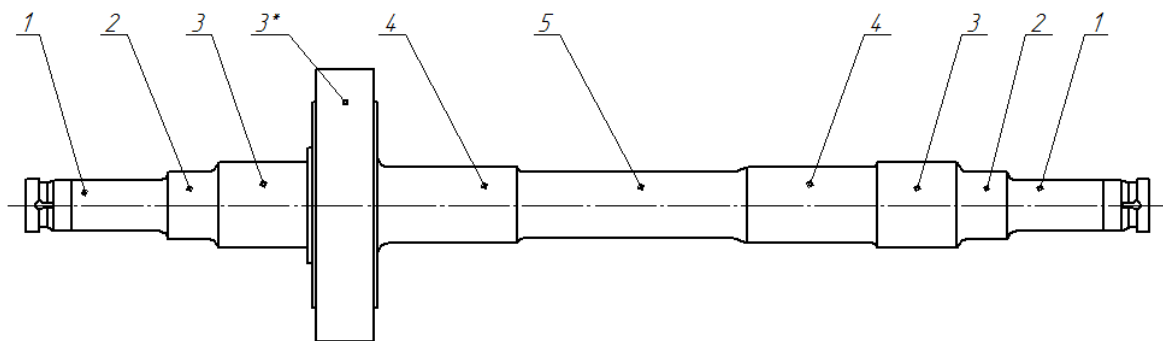
1 Вісь уніфікованої колісної пари вантажних електровозів (рисунок 1.6).



1 – буксова шийка; 2 – передпідматочинна частина; 3 – підматочинна частина; 4 – шийка моторно-осьового підшипника; 5 – середня частина

Рисунок 1.6 – Вісь уніфікованої колісної пари вантажних електровозів

2 Вісь уніфікованої колісної пари вантажних тепловозів (рисунок 1.7).

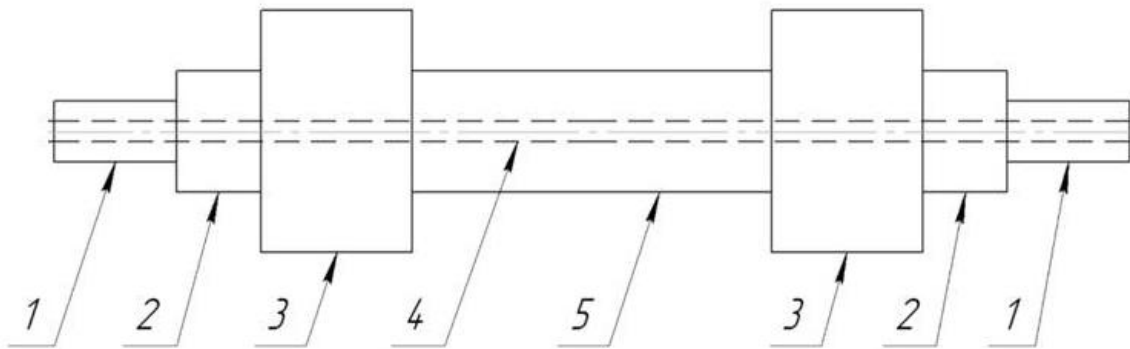


1 – буксова шийка; 2 – передпідматочинна частина; 3 – підматочинна частина; 3* – шийка під зубчасте колесо тягового редуктора; 4 – шийка моторно-осьового підшипника; 5 – середня частина

Рисунок 1.7 – Вісь уніфікованої колісної пари вантажних тепловозів

У вантажних електровозів, на відміну від тепловозів, зубчасті колеса напресовані на подовжені частини маточин колісних центрів.

3 Колісна пара тепловоза з опорно-рамним підвішуванням тягового електродвигуна (рисунок 1.8).



1 – буксова шийка; 2 – передпідматочинна частина; 3 – підматочинна частина; 4 – шийка моторно-осьового підшипника; 5 – середня частина

Рисунок 1.8 – Вісь колісної пари пасажирського тепловоза

При опорно-рамному підвішуванні ТЕД вісь колісної пари в середній частині менш навантажена порівняно з опорно-осьовим підвішуванням, тому діаметр середньої частини зменшений, а вісь виконують з внутрішнім наскрізним отвором.

Вісі колісних пар ТРС, обладнаного дисковими гальмами, мають посадкові поверхні для встановлення гальмових дисків.

Свердлення наскрізних отворів дало змогу знизити масу колісної пари порівняно з уніфікованою колісною парою на 100 кг.

Таблиця 1.1 – Діаметри наскрізних отворів у вісях колісних пар пасажирських тепловозів

$D_{\text{отв.}}$, мм	ТЕП60	ТЕП70	2ТЕ121
Серія тепловозу	70	80	75

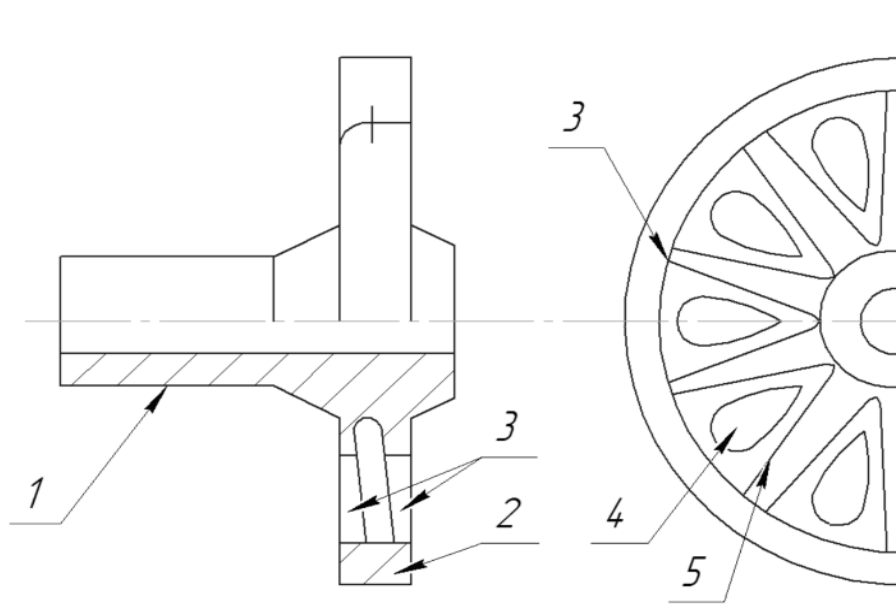
Колісні центри

Колісні центри відливають зі сталі марки 20Л або 25Л. Для зняття внутрішніх напружень після лиття їх відпалюють. На електровозах з діаметром коліс 1250 мм застосовують спицеві та дводискові колісні центри [3].

До недоліків спицевих колісних центрів можна віднести:

- відносно високу імовірність утворення тріщин у зонах з'єднання спиць з ободом та маточиною;
- відносно високий динамічний вплив спицевих колісних центрів на рейкову колію.

Колісні центри уніфікованих колісних пар вантажних електровозів (рисунок 1.9) виготовляються з подовженими маточинами для посадки великого зубчастого колеса тягового редуктора. Обід та маточину з'єднують два диска з отворами. Для збільшення міцності та жорсткості колісного центра диски з'єднуються простінками, які відіграють роль спиць і утворюють коробчасту жорстку конструкцію.

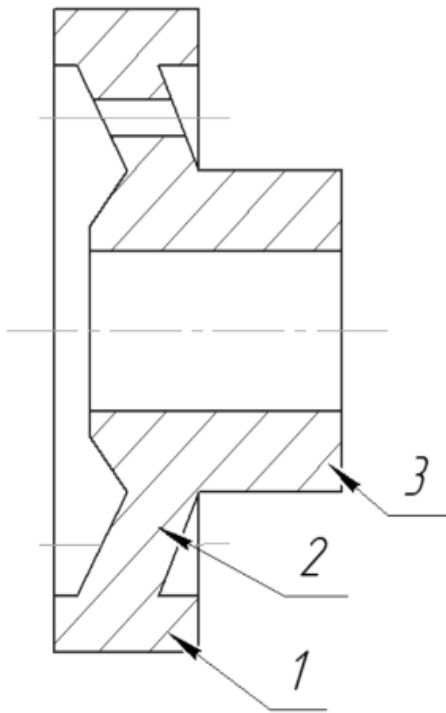


1 – подовжена маточина; 2 – обід; 3 – колісний диск; 4 – отвори в колісному диску; 5 – простінок (ребро жорсткості)

Рисунок 1.9 – Колісний центр вантажного електровоза

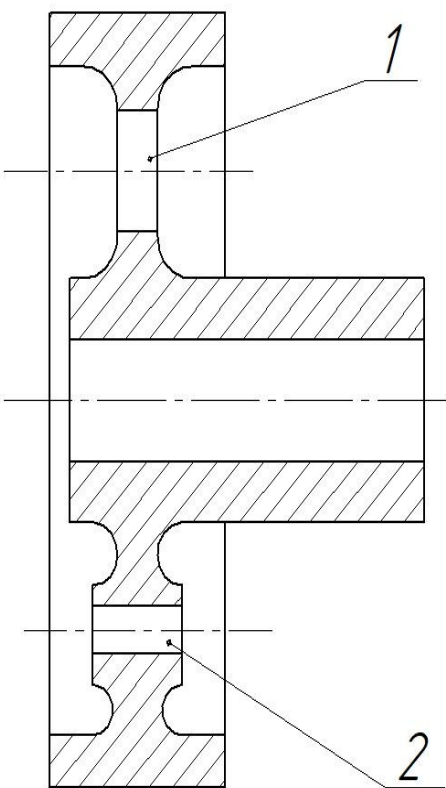
Уніфіковані колісні пари тепловозів з діаметром кола кочення $D_k = 1050$ мають однодискові колісні центри (рисунок 1.10).

У пасажирських тепловозів з опорно-рамним підвішуванням ТЕД колісні центри мають приливи з отворами для запресування пальців тягового приводу, а також отвори для проходження цапф шарнірно-повідкових муфт механізму повздовжньої компенсації (рисунок 1.11).



1 – обід; 2 – колісний диск; 3 – маточина

Рисунок 1.10 – Колісний центр вантажного тепловоза з опорно-осьовим підвішуванням ТЕД



1 – отвір, $D = 200\text{мм}$; прилив з отвором, $D = 70\text{мм}$

Рисунок 1.11 – Колісний центр пасажирського тепловоза з опорно-рамним підвішуванням ТЕД

Таблиця 1.2 – Маса колісних пар локомотивів різних серій

Серія локомотива	ВЛ10	2ТЕ121	2ТЕ116	ТЕП60	ТЕП70
$D_{к.}$, мм	1250	1250	1050	1050	1220
$m_{кц.}$, мм	364	340	300	300	400

Бандаж є змінною частиною колісних пар локомотивів, що обумовлюється такими причинами:

- кочення колісної пари локомотива рейковою колією супроводжується проковзуванням (до 2 % енергії, підведеної до точки контакту колеса з рейкою, витрачається на тертя та знос);
- значні контактні напруження в точці контакту колеса з рейкою, що виникають через значні осьові навантаження.

Бандажі виготовляють з розкисленої мартенівської сталі, яка за хімічним складом відповідає сталі 60.

Забезпечення одночасно високої твердості та в'язкості матеріалу бандажа досягається за рахунок загартування та відпуску, а також за рахунок введення легуючих добавок.

Середня частина бандажа забезпечує центрування руху колісної пари в рейковій колії, попереджає знос поверхні кочення у вигляді жолобу, знижує чутливість колісної пари до несправностей рейкової колії.

Зовнішня частина бандажа призначена для проходження кривих та стрілочних переводів.

Крім профілю за стандартом ГОСТ 11018-87 (рисунок 1.12), на залізницях України отримав розповсюдження криволінійний профіль типу ДМеТІ, запропонований спеціалістами Дніпровського металургійного інституту. За своєю формою він наближається до середньо зношеного за прокатом бандажу. Профіль ДМеТІ забезпечує одноточковий контакт колеса з рейкою при набіганні.

Світовий та вітчизняний досвід експлуатації рухомого складу дає змогу зробити висновок, що відношення твердості рейок та коліс 1:1 є найбільш сприятливим з точки зору зношення пари тертя «колесо-рейка».

Існують різні способи підвищення твердості поверхонь кочення коліс. Один з найбільш ефективних – плазмове оброблення профілю кочення. При такому обробленні

досягається твердість поверхневого шару 380-400 НВ на глибину до 3 мм.

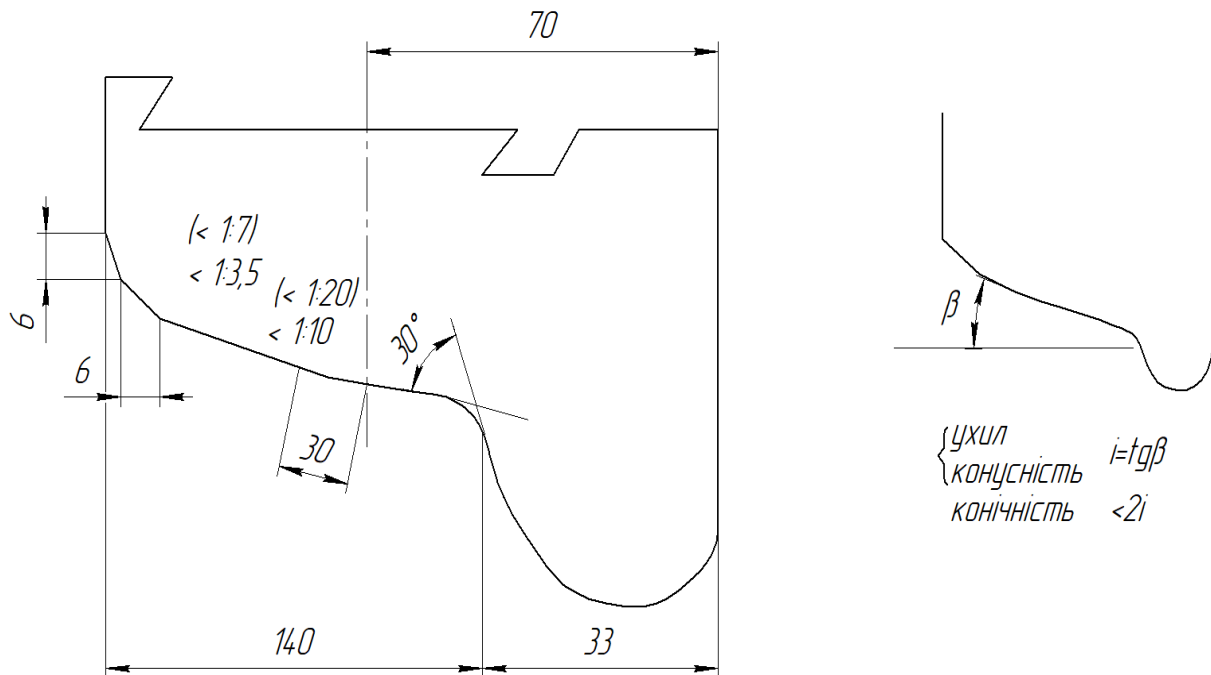


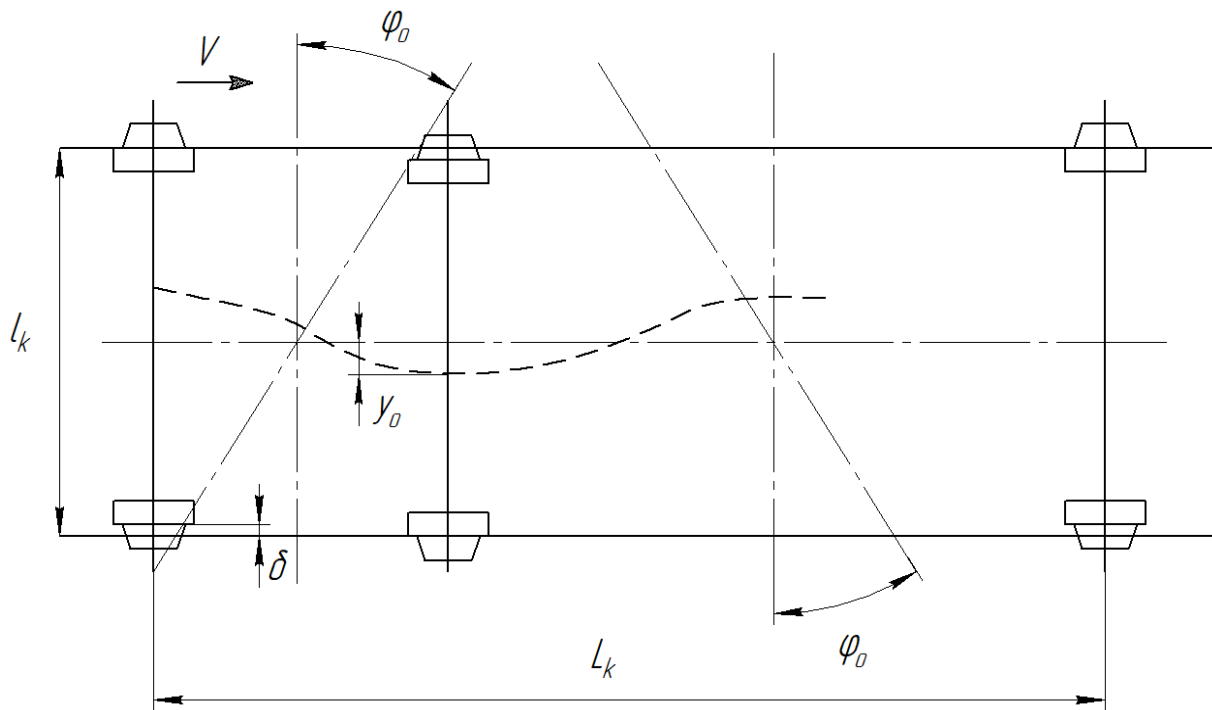
Рисунок 1.12 – Профіль бандажу за стандартом ГОСТ 11018-87

Зовні на бандажі набивають знаки та клейма в такій послідовності:

- номер підприємства-виробника;
- дата виготовлення;
- марка бандажу;
- клейма прийомки;
- номер плавки;
- номер бандажу.

1.3 Особливості руху колісної пари рейковою колією

Через конічну форму бандажа та наявність зазорів між гребнями коліс та головками рейок рух колісної пари рейковою колією супроводжується вилянням. Виляння складається з кутових та поперечних коливань колісної пари[4] (рисунок 1.13).



l_k – відстань між колами кочення, $l_k = 1580$ мм; δ – рейковий зазор, $\delta = 14$ мм.; $L_{кп}$ – довжина хвилі виляння колісної пари; y_0 – амплітуда поперечних коливань, φ_0 – амплітуда виляння (амплітуда кутових коливань)

Рисунок 1.13 – Схема звивистого руху колісної пари

Довжина хвилі виляння колісної пари за формулою Клінгеля

$$L_{кп} = 2\pi \sqrt{\frac{l_k \cdot R_H}{2i}}, \text{ м.}$$

Частота коливань

$$f_{кп} = \frac{V}{3,6L_{кп}}, \text{ Гц.}$$

$$y_0 \geq 1,5 \div 3 \text{ мм} \leq \frac{\delta}{2}$$

У результаті звивистого руху на колісні пари та рейкову колію діють динамічні сили.

$$L_{кп} = 2\pi \sqrt{\frac{l_k \cdot R_H}{2i}} = 2\pi \sqrt{\frac{1,58 \cdot 1,65 / 2}{2 \cdot 1/20}} = 18,1, \text{ м.}$$

$$f_{кп} = \frac{V}{3,6L_{кп}}, \text{ Гц динамічна сила } \sim f_{кп}^2.$$

$$[\downarrow \text{Динамічних сил} \Leftrightarrow \downarrow f_{кп} \Leftrightarrow \uparrow L_{кп} \Leftrightarrow \downarrow i],$$

Наприклад у високошвидкісного поїзда TGV $i = 1/100$.

$$\frac{\delta}{2} - \text{половина рейкового зазору } \frac{\delta}{2} = \frac{14}{2} = 7 \text{ мм.}$$

$$\varphi_0 = y_0 \sqrt{\frac{2i}{l_k R_H}} \leq 0,007 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1/20}{1,58 \cdot 1,65 / 2}} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,14^\circ.$$

Звивистий рух колісної пари приводить до звивистого руху візка. Довжина хвилі виляння візка для випадку, коли зв'язок колісної пари з рамою візка жорсткий, можна визначити за формулою Хаймана (рисунок 1.14)

$$L_B = L_{кп} \sqrt{\left(1 + 4 \frac{\sum_{i=1}^n n_{oc}^T a_i^2}{l_k^2 n_{oc}^T} \right)}, \text{ м,}$$

де a_i – відстань від i колісної пари до середини візка.

$$L_B^I = 18,1 \sqrt{\left(1 + 4 \cdot \frac{1^2 + 1^2}{1,58^2 \cdot 2} \right)} = 29,2 \text{ м,}$$

$$L_B^{II} = 18,1 \sqrt{\left(1 + 4 \cdot \frac{2^2 + 2^2}{1,58^2 \cdot 3} \right)} = 41,6 \text{ м.}$$

Таким чином $f_{\tau}^I > f_{\tau}^{II}$ в 1,4 раза.

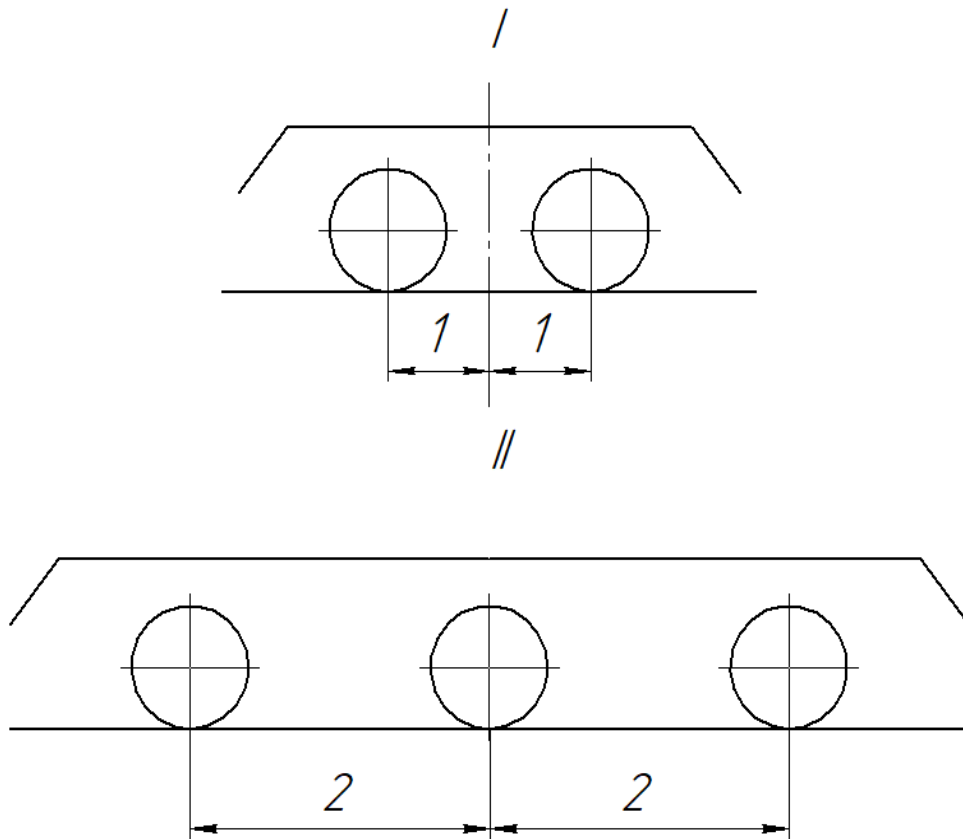


Рисунок 1.14 – Схеми для розрахунку L_B I – двовісного,
II – тривісного візків

Фактична частота виляння колісної пари буде знаходитися в діапазоні

$$L_{кп} \leq L \leq L_B, \text{ Гц.}$$

2 Буксові вузли локомотивів

План лекції

Буксові вузли локомотивів. Призначення буксових вузлів. Підшипникові вузли букс. З'єднання букс з рамою візка.

2.1 Призначення буксових вузлів

Буксовий вузол призначено для з'єднання вісі колісної пари, що обертається, з рамою візка або безпосередньо з рамою локомотива. При русі локомотива на буксовий вузол одночасно діють вертикальні, повздовжні та поперечні навантаження (рисунок 2.1).

Буксовий вузол для виконання своїх функцій повинен складатися з наступних основних елементів[4]:

- підшипниковий вузол, що сприймає радіальні та осьові навантаження;

- корпус;

- пристрої з'єднання букси з рамою візка, які мають забезпечувати:

а) високу жорсткість у повздовжній площині
 $j_x = 70 - 100$ кН/мм;

б) низьку жорсткість у вертикальній площині
 $j_y = 0,15 - 0,20$ кН/мм;

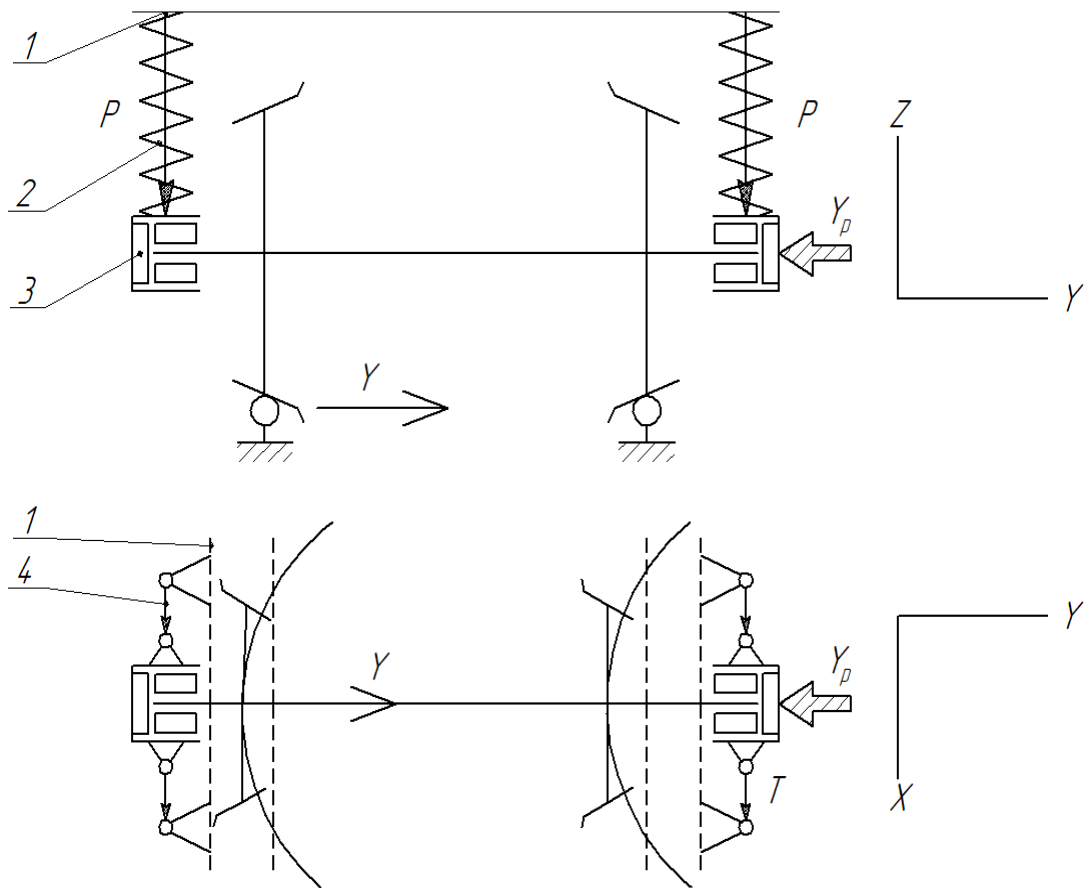
в) помірну жорсткість у поперечній площині $j_z \approx \frac{1}{10} j_x$, кН/мм.

2.2 Підшипникові вузли букс

Підшипникові вузли мають:

- сприймати радіальні та осьові навантаження, тобто вертикальні, повздовжні та поперечні зусилля;

- забезпечувати при необхідності вільні та пружні переміщення «розбіги» колісних пар відносно рами візка.



1 – рама візка; 2 – вузол вертикального зв'язку букси з рамою візка (буксова ступінь ресорного підвішування); 2 – корпус букси з підшипниковим вузлом; 3,4 – пристрої поперечного та повздовжнього зв'язку букси з рамою візка; Y – направляюча сила, діюча від рейок на колісну пару, виникає при русі екіпажу в кривих, при проходженні горизонтальних нерівностей, при вилянні; Y_p – рамна сила, тобто сила, діюча від рами візка на вісь колісної пари, виникає як реакція на рамну силу Y ; T – повздовжні сили тяги та гальмування, діючі між буксою та рамою візка

Рисунок 2.1 – Сили, діючі на буксовий вузол при русі локомотива

Особливості конструкції букс двовісних візків:

- відсутність вільних поперечних розбігів колісних пар через те, що двовісний візок вільно проходить криві ділянки рейкової колії;

- можливість використання підшипників, які одночасно сприймають радіальні та осьові навантаження.

Радіально-упорні роликові підшипники, що використовуються в буксових вузлах локомотивів, бувають:

- циліндричні (ВЛ10, ВЛ80);
- сферичні (ВЛ8, ЧС2, ЧМЕ3, ТЕП80);
- конічні.

Вільний поперечний розбіг на бік $C = 0,5 - 1$ мм за рахунок зазорів в підшипниках

Пружний поперечний розбіг осі виникає за рахунок пружних поперечних деформацій буксових повідків та сайлент-блоків. Жорсткість пружного поперечного зв'язку букси з рамою візка складає $j_y = 7,9$ кН/мм.

Перевагою буксового вузла електровоза ВЛ10 (рисунок 2.2) є простота конструкції за рахунок сприйняття підшипниками всіх видів навантаження.

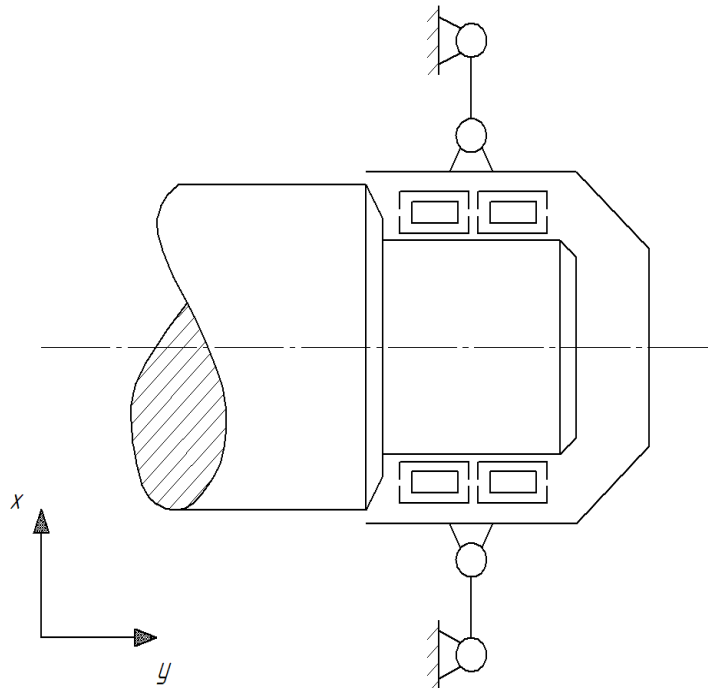


Рисунок 2.2 – Схема буксового вузла електровоза ВЛ10

Особливості конструкції букс тривісних візків

Для проходження тривісним візком кривої ділянки рейкової колії (рисунок 2.3) необхідна наявність вільного осьового розбігу середньої колісної пари $C_{сер} = 14 - 15$ мм на бік, це обумовлює неможливість використання радіально-упорних підшипників.

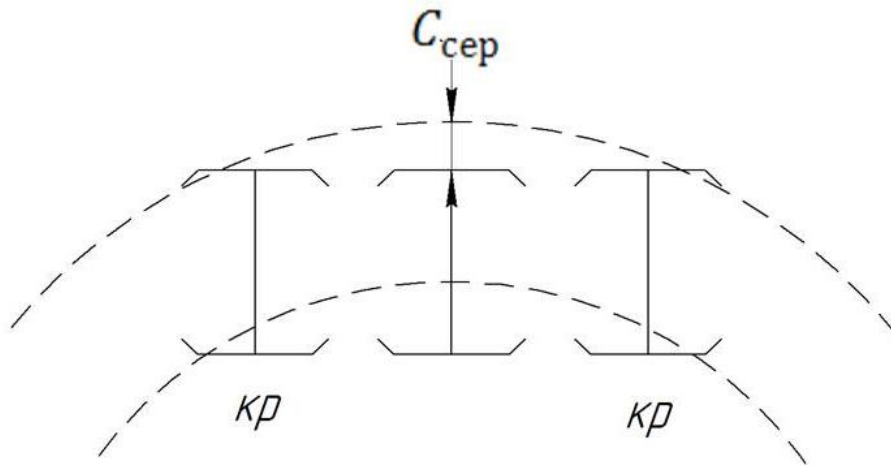


Рисунок 2.3 – Схема проходження тривісним візком кривої ділянки рейкової колії

В буксових вузлах тривісних візків тепловозів використовують роликові підшипники, які сприймають тільки радіальне навантаження і дають змогу організувати необхідний поперечний розбіг осей.

Вільний розбіг крайніх осей встановлюють в межах $C_{кр} \leq 2$ мм на бік (збільшення $C_{кр}$ призводить до більш інтенсивного виляння візка).

Конструкція буксових вузлів щелепних візків

Жорсткість поперечного зв'язку щелепної букси (рисунок 2.4) з рамою візка $ж_y \rightarrow \infty$, тому є необхідним введення пружного поперечного зв'язку між колісною парою та корпусом букси.

Пружний поперечний розбіг крайніх осей виникає за рахунок стиснення пружини и складає $y_{пр} = 11$ мм на бік. Наявність пружного осьового розбігу дає змогу зменшити дію поперечних динамічних сил, які виникають при звивистому русі візка при проходженні горизонтальних нерівностей рейкової колії, а також при входженні екіпажу в криві.

У буксових вузлах середніх осей пружного упора нема $y_{пр} = 0$, а вільний розбіг складає $C_{сер} = 14 - 15$ мм. Недоліком конструкції є наявність осьового упора ковзання, що викликає

потребу у двох видах змащення: консистентної – для підшипників кочення та рідкої – для підшипника ковзання.

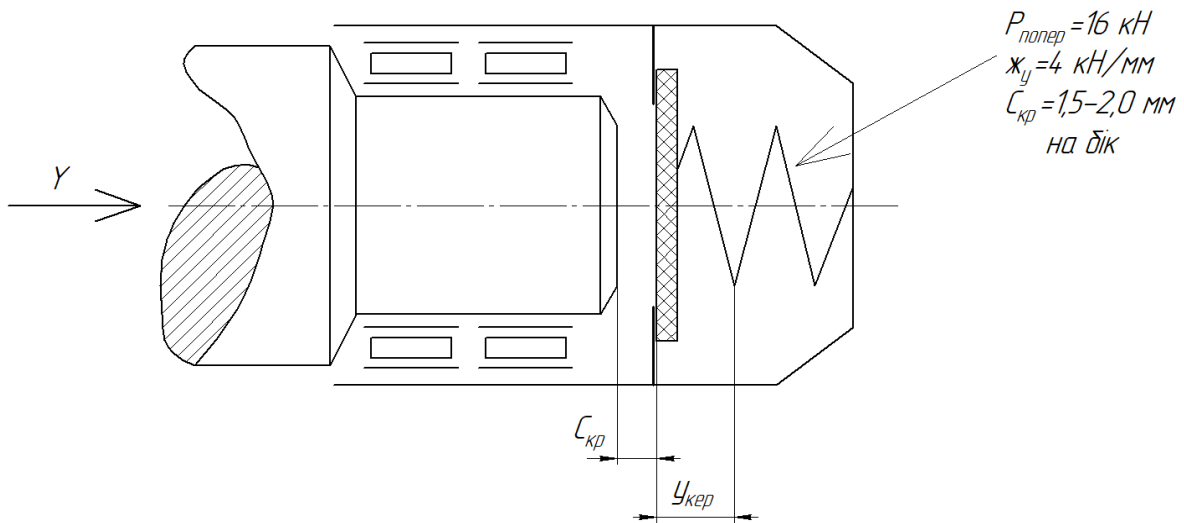
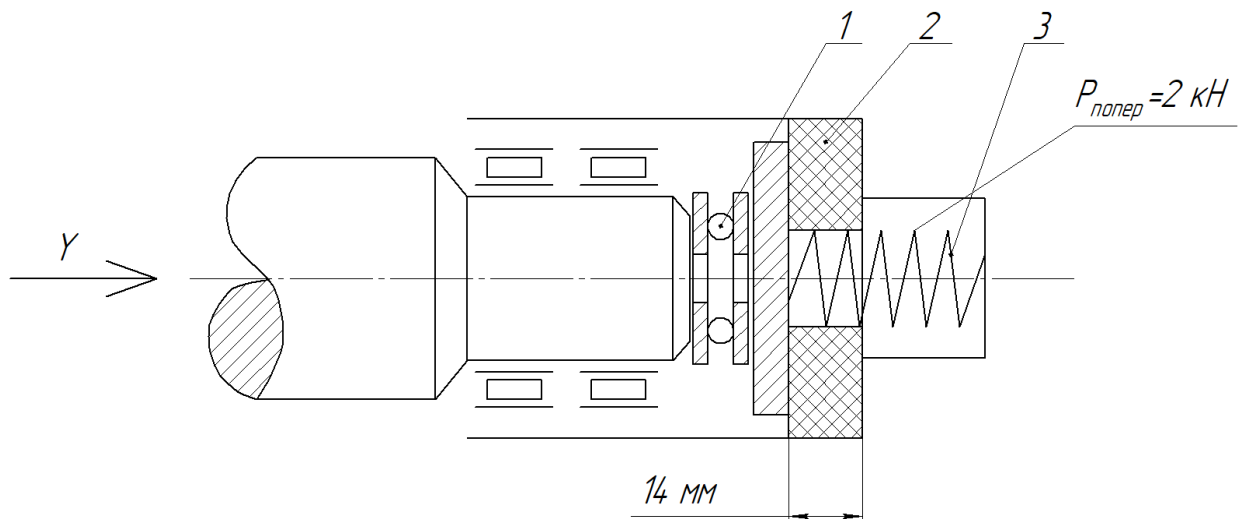


Рисунок 2.4 – Букса крайньої осі тривісного щелепного візка (TEM2, 2M62)

Конструкція повідкової букси з осьовим упором кочення (рисунок 2.5)



1 – упорний шариковий підшипник; 2 – гумово-металевий амортизатор;
3 – пружина, що підтримує упорний шариковий підшипник у закритому стані

Рисунок 2.5 – Букса крайньої осі тривісного безщелепного візка (2TE10M, 2TE116)

Вільний розбіг забезпечується стисненням гумово-металевого амортизатора та складає $C_{кр} = 1,5 - 2$ мм в буксі середньої осі гумово-металевого амортизатора, тому вільний розбіг $C_{сер} = 14$ мм. Пружний поперечний розбіг забезпечується деформацією буксових повідків $y_{пр} = 12 - 18$ мм, $ж_y = 3 - 4,5$ кН/мм.

Недолік конструкції – під дією сили Y деформується одна пара буксових повідків, що приводить до виникнення залишкових деформації повідків і сайлент-блоків.

Конструкція повідкової букси з шариковим радіально-упорним підшипником (рисунок 2.6)

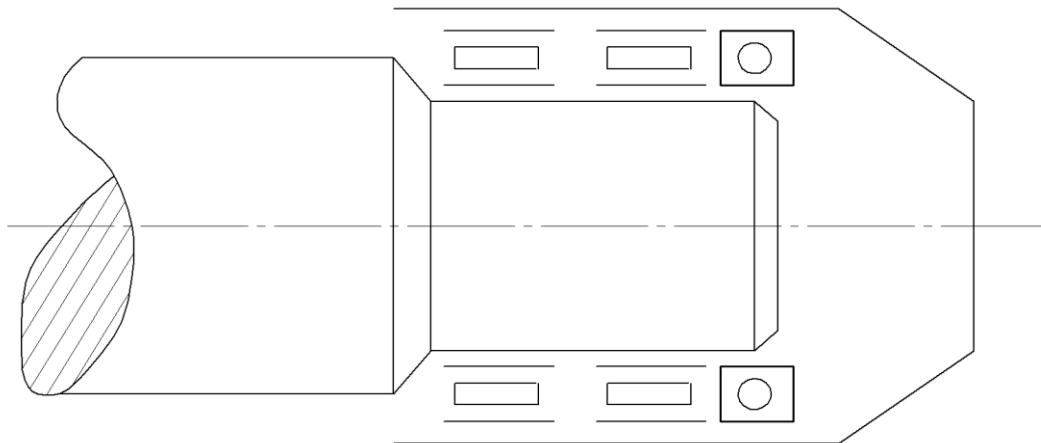


Рисунок 2.6 – Букса крайньої осі тривісного безщелепного візка з шариковим радіально-упорним підшипником (ТЕП60, ТЕП70, ТЕМ7, 2ТЕ121)

Вільний розбіг крайньої осі забезпечується наявністю зазорів в підшипниках та складає $C_{кр} = 0,5 - 1$ мм. Пружний поперечний розбіг забезпечується деформацією буксових повідків $y_{пр} = 10 - 13$ мм.

В буксових вузлах середніх осей радіально-упорних підшипників нема $C_{сер} = 14 - 15$ мм на бік.

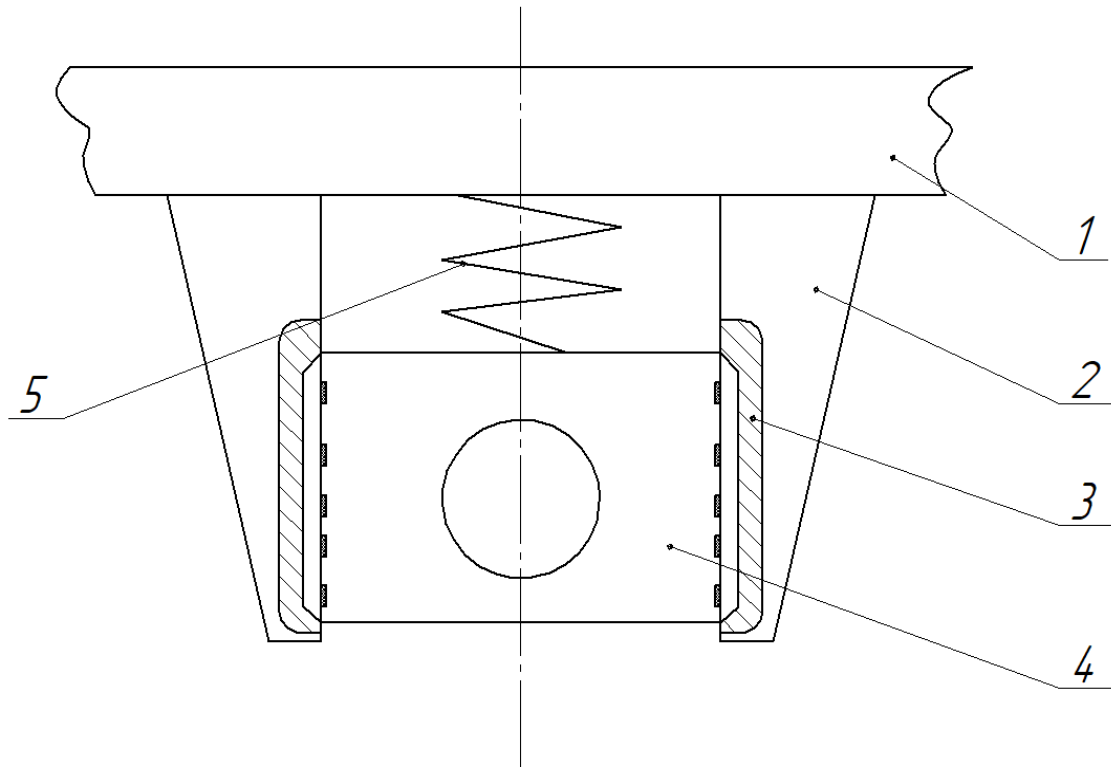
Переваги конструкції:

- при дії на вісь сили Y деформуються дві пари повідків, що суттєво зменшує залишкові деформації;

- центрування колісної пари з буксами відносно поздовжньої осі рейкової колії за рахунок сил, що виникають при поперечній деформації буксових повідків.

2.3 З'єднання букс з рамою візка

Букси з плоскими направляючими (щелепні) (рисунок 2.7)



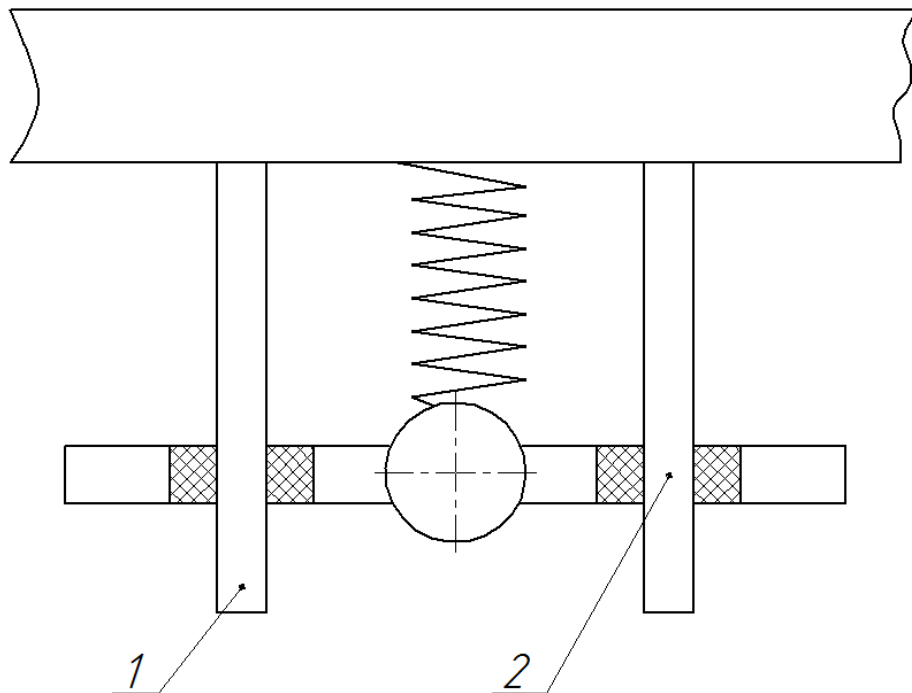
1 – рама візка; 2 – плоскі направляючі поверхні (щелепи); 3 – наличник з зносостійкої сталі 55Г (сталь Гадфільда); 4 – корпус букси з пазами;
5 – елементи пружного зв'язку букси з рамою візка

Рисунок 2.7 – Щелепна букса (ТЕМ2, 2М62)

Перевагою щелепних буксових вузлів є простота конструкції, до недоліків можна віднести:

- наявність поверхневого тертя в буксових направляючих;
- необхідність постійного змащування наличників;
- підвищений знос поверхонь тертя;
- зростання повздовжніх та поперечних зазорів;
- виникнення значних динамічних зусиль через виляння колісних пар.

Букси з циліндричними направляючими (рисунок 2.8)



1 – циліндричні направляючі (шплинтони); 2 – гумово-металевий блок з внутрішньою поверхнею з антифрикційної бронзи

Рисунок 2.8 – Букса з циліндричними направляючими (ЧС2, ЧС7)

Перевагою шплинтонних буксових вузлів є:

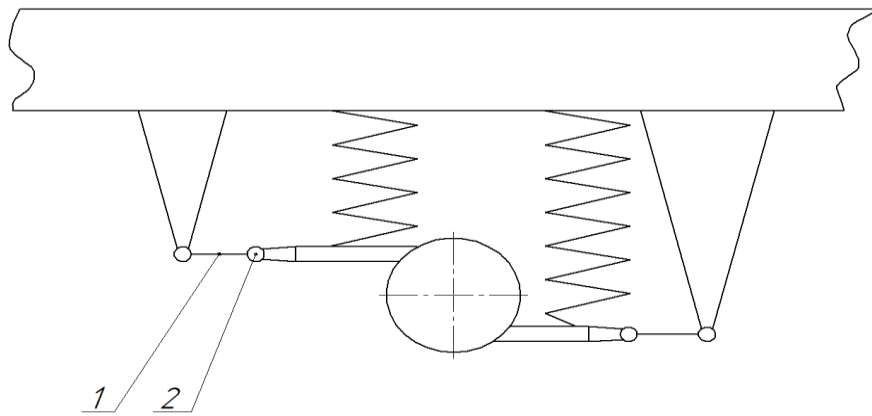
- з'єднання букси з рамою візка без зазорів;
- проста технологія ремонту.

До недоліків можна віднести вищу вартість виготовлення порівняно з щелепами та неможливість реалізації різної жорсткості в повздовжньому та поперечному напрямках $j_x = j_y$.

Повідкові букси (рисунок 2.9)

Переваги конструкції:

- відсутність зазорів в з'єднанні;
- гумово-металеві шарніри не потребують змащення;
- можливість реалізації оптимальних значень вертикальної, повздовжньої та поперечної жорсткостей в вузлі з'єднання букси з рамою візка. Наприклад для 2ТЕ116: $j_x = 90$ кН/мм; $j_y = 3$ кН/мм; $j_z = 0,185$ кН/мм.

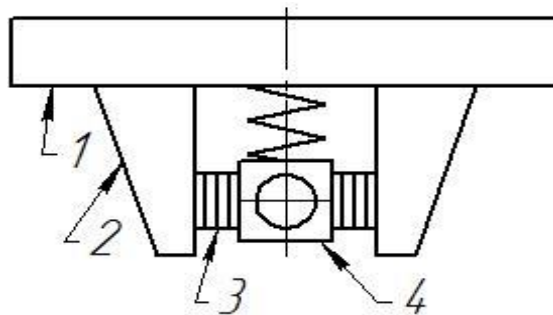


1 – повідок; 2 – гумово-металевий шарнір (сайлент-блок)

Рисунок 2.9 – Повідкова букса (2ТЕ116, ТЕП70, ТЕП150, 2ТЕ121)

До недоліків можна віднести скручування гумово-металевих шарнірів, що дещо перешкоджає вертикальному переміщенню букси відносно рами візка.

На закордонному ТРС для зв'язку букс з рамою візка використовують гумово-металеві блоки (рисунок 2.10).



1 – рама візка; 2 – щелепа; 3 – плоскі гумово-металеві елементи;
4 – корпус букси

Рисунок 2.10 – Щелепна букса з плоскими гумово-металевими блоками

Переваги конструкції:

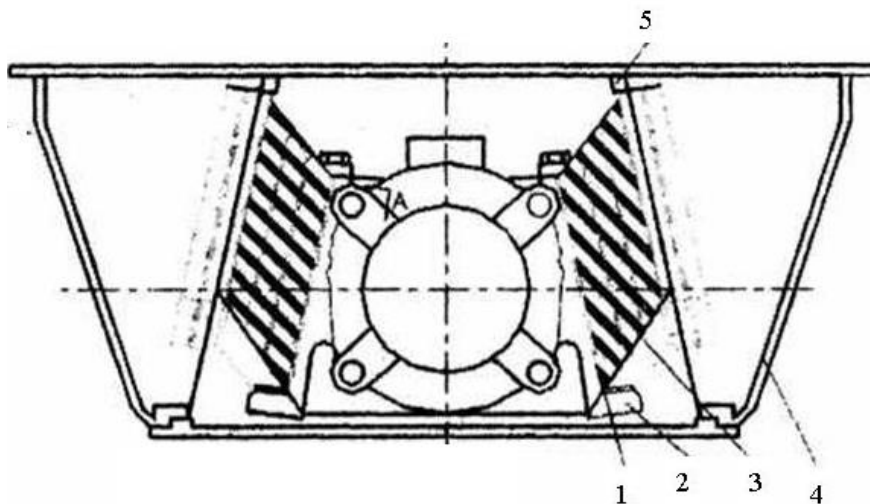
- відсутність зазорів між буксою та щелепами.

Недоліки конструкції:

- під дією вертикальних сил гумово-металеві блоки працюють на зсув, що обмежує амплітуду вертикальних коливань;

- підвищення жорсткості вертикального зв'язку букси і рами візка.

На деяких тепловозах залізниць Німеччини буксовими підвішуваннями застосовуються так звані ресори Меггі (рисунок 2.11). Змінюючи кути нахилу гумово-металевих блоків можна підбирати необхідну жорсткість зв'язку букси колісної пари з рамою візка.



1 – металеві листи; 2, 5 – установчі упори на буксі і на рамі візка;
3 – шари гуми; 4 – нахилені консолі

Рисунок 2.11 – Ресора Меггі

На Європейських залізницях гумово-металеві блоки в буксовому підвішуванні широко застосовуються на поїздах TGV, AGV, регіональних поїздах.

Одним з перспективних напрямів удосконалення буксових вузлів є заміна шплинтонів та буксових повідків на конічні гумово-металеві блоки – метакони. Кожний метакон складається з конусних елементів різного діаметра, вкладених один в інший.

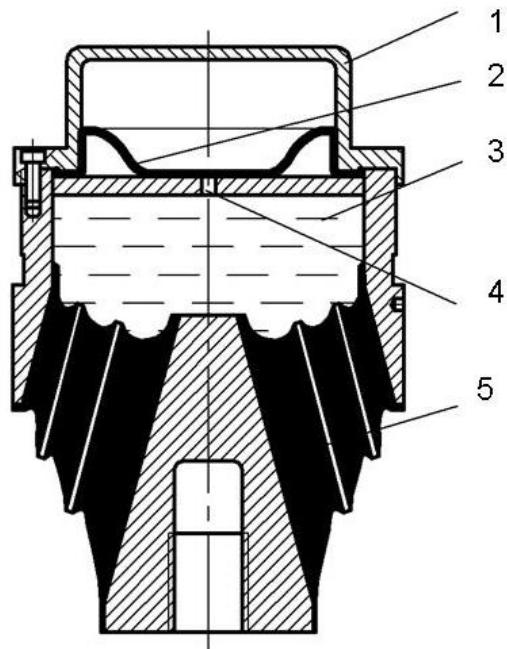
Переваги:

- під дією вертикальних сил гумово-металевий блок працює як на зсув, так і на стиснення. Це дозволяє відмовитися від використання пружин в буксовому ступені ресорного підвішування;

- можливість вибору оптимальної жорсткості в трьох напрямках;

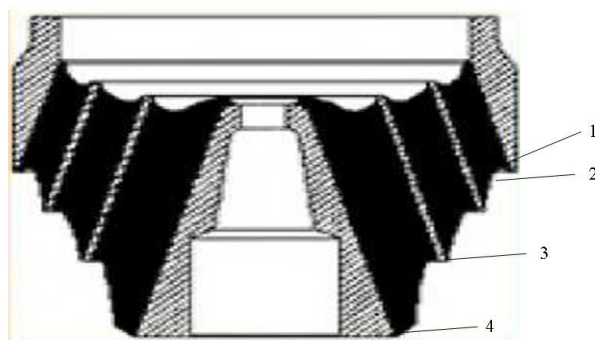
- відсутність зазорів та поверхневого тертя в зв'язку букси з рамою візка;

- можливість оснащення метакона гідравлічним демпфером (гідрофедер) (рисунок 2.12). Метакон без демпфера ще має назву конусфедер (рисунок 2.13, 2.14).



1 – кожух; 2 – діафрагма; 3 – демпфуюча рідина; 4 – дросельний отвір;
5 – метакон

Рисунок 2.12 – Конічний гумово-металевий блок з гідравлічним демпфером – гідрофедер



1 – опорний конус рами візка; 2 – гумові конуси; 3 – металеві конуси;
4 – опорний конус букси

Рисунок 2.13 – Конічний гумово-металевий блок – метакон



Рисунок 2.14 – Модернізований буксовий вузол візка електропоїзда з гідрофедером

Гідрофедер забезпечує гасіння коливань за трьома координатами. Найактивніше поглинає вібрацію і шум в поздовжньому вертикальному напрямку.

Недоліки:

- залежність жорсткості гуми від температури навколишнього середовища.

3 Кузова локомотивів

План лекції

Кузова локомотивів. Призначення та класифікація кузовів локомотивів. Кузова з несучою головною рамою. Суцільнонесучі кузова локомотивів. Питомі параметри кузовів та вимоги до них.

3.1 Призначення та класифікація кузовів локомотивів

Кузов та головна рама локомотива призначено для розміщення локомотивної бригади, силового та допоміжного обладнання, пристроїв керування локомотивом. Конструкція головної рами та кузова визначаються родом служби локомотива, компоновкою обладнання, способом сприйняття та передачі навантажень, виробничо-технологічними умовами виготовлення та експлуатації локомотива. Тому до кузовів та головних рам висуваються суворі вимоги щодо жорсткості, міцності та надійності [5,6].

Вимоги до конструкції кузовів локомотивів:

- забезпечення міцності та жорсткості в вертикальному, поперечному та поздовжньому напрямках;
- відповідність вимогам технічної естетики та аеродинаміки;
- забезпечення довговічності в межах строку служби локомотива;
- низька металоємність.

Класифікацію кузовів локомотивів наведено в таблиці 3.

3.2 Кузова з несучою головною рамою

У кузовів такого типу усі зовнішні навантаження сприймає міцна головна рама. Кузов локомотива виконує функції огороджуючого пристрою (не сприймає та не передає навантажень) та може бути капотного або вагонного типу. Капотний кузов більш простий у виготовленні, розбиранні та ремонті ніж вагонний[6].

Таблиця 3 – Класифікація кузовів локомотивів

За розподіленням зовнішніх навантажень між елементами кузова	За конструкційним виконанням кузова	За виконанням несучого елемента кузова	Серії локомотивів
Кузов з несучою головною рамою	Вагонний тип кузова	Головна рама неохоплюючого типу	Вантажні тепловози: 2М62, 2ТЕ10М, 2ТЕ116
		Головна рама охоплюючого типу	Вантажні електровози: ВЛ10, ВЛ80
	Капотний тип кузова	Головна рама неохоплюючого типу	Маневрові та промислові тепловози
Суцільнонесучий кузов	З несучим каркасом	З боковими стінками, виконаними за типом розкісної ферми	ТЕП60, ТЕП70
		З боковими стінками, виконаними за типом безрозкісної ферми	ТЕ109
	Оболонкового типу з несучою обшивкою	З каркасованою обшивкою	2ТЕ121
		З багат шаровою обшивкою	Закордонні тепловози

Основою несучих головних рам є дві міцні повздовжні балки, які мають назву – хребтові. Якщо хребтові балки розташовані над рамою візка, тоді головну раму називають неохоплюючого типу (рисунок 3.1).

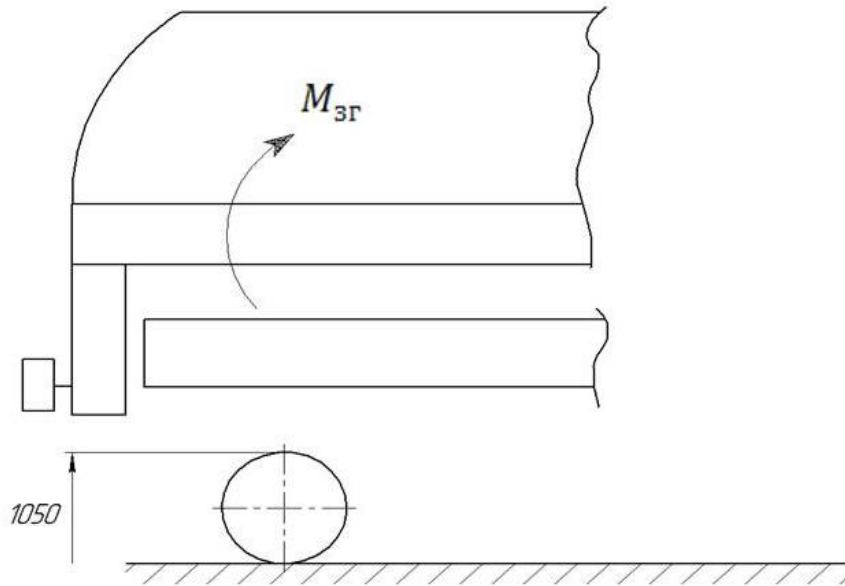


Рисунок 3.1 – Головна рама неохоплюючого типу

У цьому випадку головна рама додатково навантажена згинаючим моментом $M_{зг}$ від повздовжньої сили тяги, прикладеної до автозчепного пристрою. Необхідність забезпечення міцності головної рами приводить до підвищення її ваги. Крім того зі збільшенням діаметру коліс D_k згинаючий момент $M_{зг}$ та маса головної рами зростають. Тому на вантажних електровозах з $D_k = 1250$ мм застосовують головні рами охоплюючого типу. В цьому випадку хребтові балки розташовані таким чином, що вони охоплюють раму візка. При цьому згинаючий момент $M_{зг}$ від сили тяги в автозчепному пристрої зменшується, як слід зменшується маса головної рами.

Недоліком головних рам локомотивів охоплюючого типу є ускладнене технічне обслуговування візків.

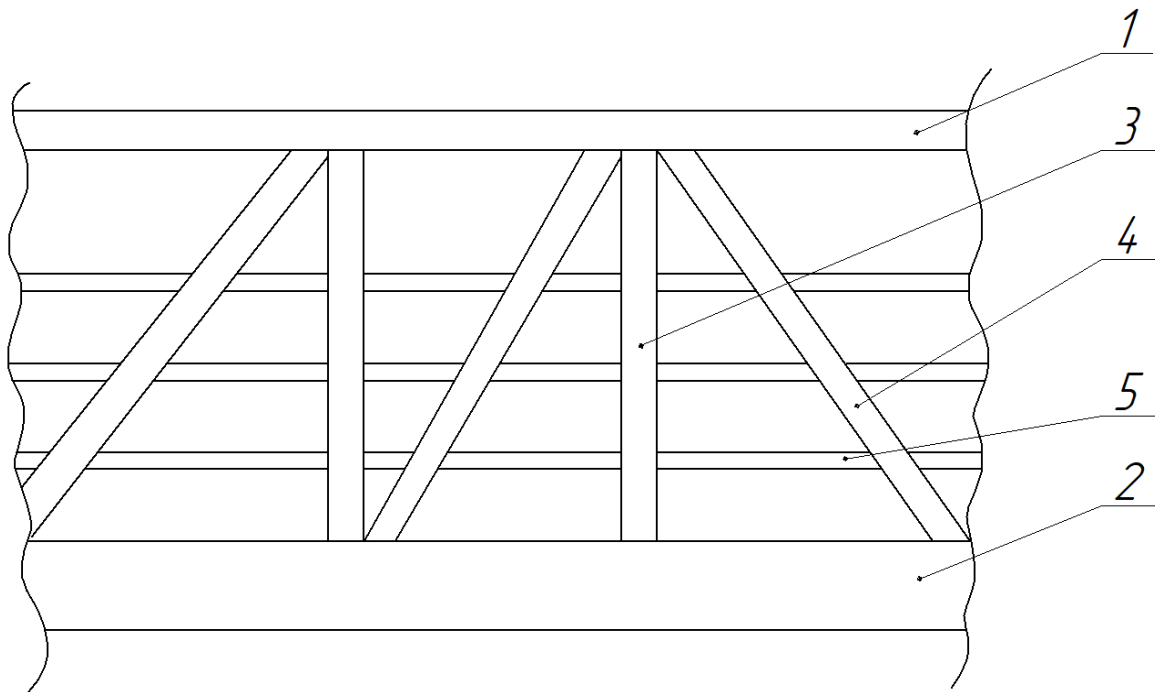
3.3 Суцільнонесучі кузова локомотивів

Несучими елементами в таких кузовах є не тільки рама локомотива, а і бокові стінки. Кузов сумісно з рамою сприймає та передає вертикальні навантаження. В цьому випадку раму проектують для сприйняття переважно горизонтальних зусиль, тому її маса суттєво зменшується.

Стіни кузова можуть бути виконані у вигляді несучого каркасу з листовою обшивкою або у вигляді суцільнонесучої обшивки.

Кузова з несучим каркасом

Каркас кузова може бути виконаний у вигляді розкісної ферми (рисунок 3.2).



1 – верхній пояс; 2 – нижній пояс (рама кузова зварена з штампованих елементів); 3 – стійка; 4 – розкіс; 5 – легкі повздовжні елементи (стрингери)

Рисунок 3.2 – Каркас кузова у вигляді розкісної ферми

Каркас кузова може бути виконаний у вигляді безрозкісної ферми (рисунок 3.4).

В кузовах локомотивів з каркасом у вигляді розкісної ферми обшивка, як правило, з алюмінію або пластмасова, кріпиться до каркасу заклепками та не бере часті в передачі навантажень.

У безрозкісних конструкціях кузовів обшивка стальна, іноді гофрована, кріпиться до каркасу зваркою та разом з каркасом бере участь в сприйнятті навантажень.

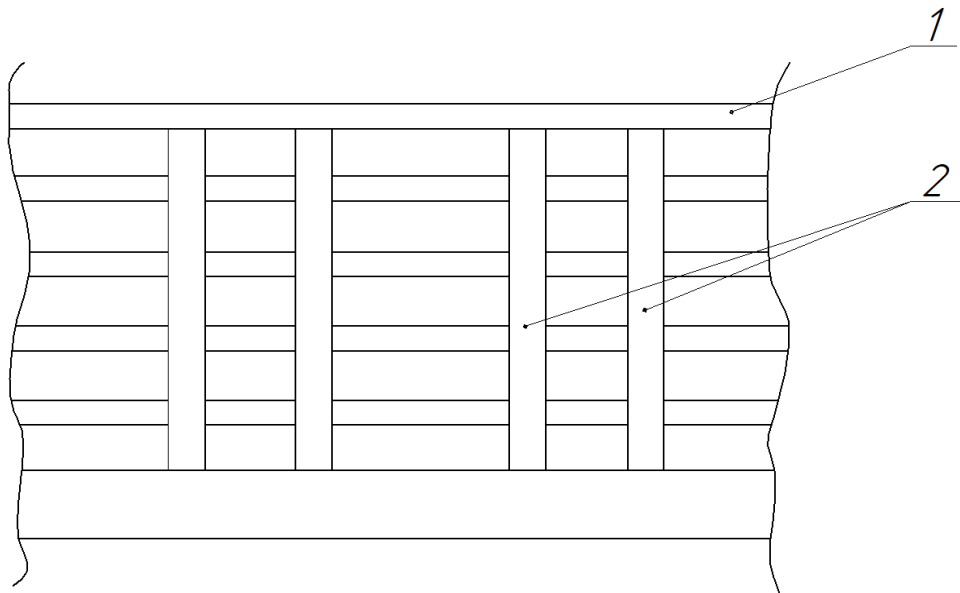


Рисунок 3.3 – Каркас кузова у вигляді безрозкісної ферми

3.4 Кузова з суцільнонесучою обшивкою

У кузовах такого типу стойки та розкоси, тобто елементи ферми, відсутні. В цьому випадку всі навантаження сприймаються безпосередньо стінками кузова. Суцільнонесучі стінки кузова складаються з двох листів обшивки жорстко зв'язаних один з одним у поперечному напрямі. Залежно від конструкції поперечного зв'язку обшивка може бути багатошаровою або каркасованою (рисунки 3.4, 3.5).

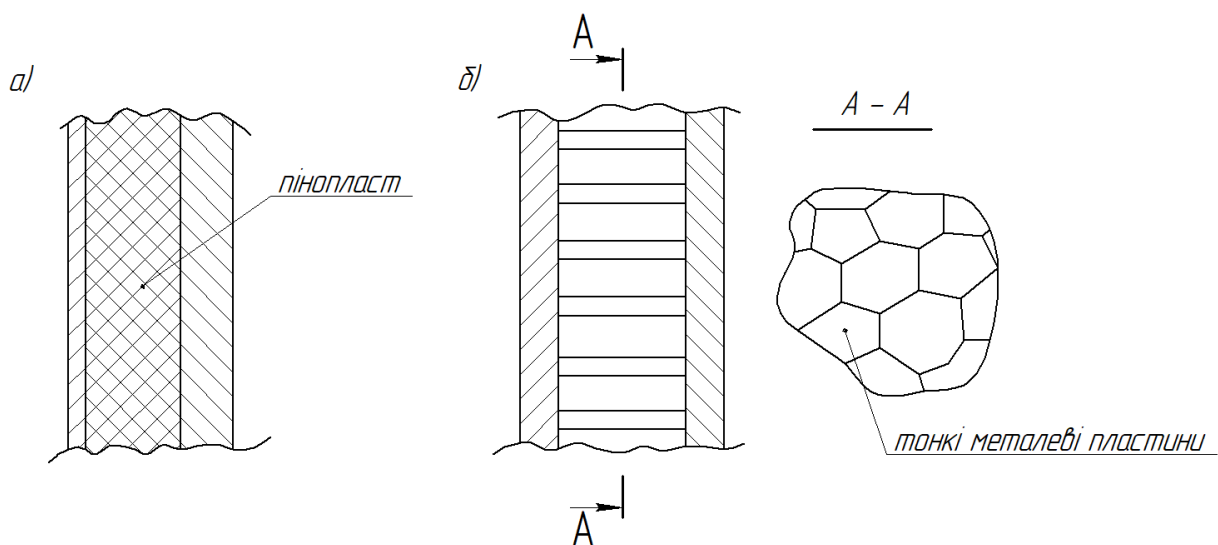
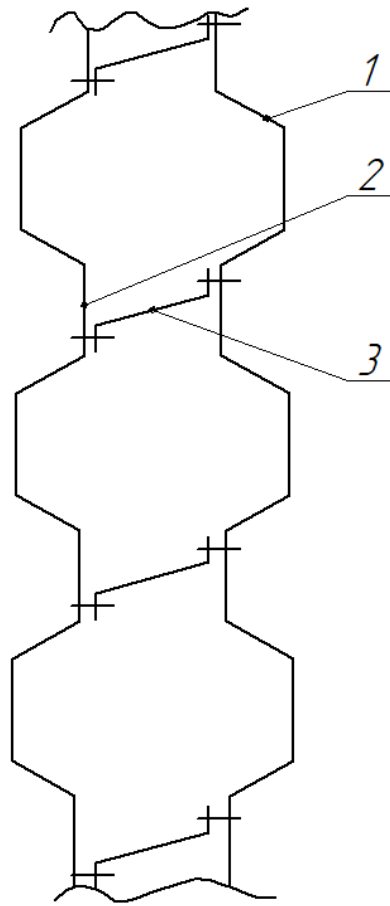


Рисунок 3.4 – Багатошарова обшивка несучого кузова



1 – внутрішній гофрований лист; 2 – зовнішній гофрований лист; 3 – каркас обшивки з z-подібних профілів

Рисунок 3.5 – Каркасована обшивка несучого кузова

3.5 Питомі параметри кузовів та вимоги до них

Металоемність кузова

$$\overline{m}_k = \frac{m_k + m_p}{L_p}, \text{ Т/М.}$$

де m_k – маса кузова; m_p – маса головної рами; L_p – довжина головної рами.

У кузовів з несучою головною рамою

$$\overline{m}_k = 1,2 \div 1,8 \text{ Т/М;}$$

Для суцільнонесучих кузовів

$$\overline{m}_k = 0,9 \div 1,3 \text{ т/м};$$

Кузова з суцільнонесучою обшивкою закордонного виробництва

$$\overline{m}_k = 0,65 \div 0,8 \overline{m}_k = 0,65 \div 0,8 \text{ т/м};$$

Відповідно до технічних вимог тепловози нового покоління повинні мати несучий кузов вагонного типу з металоємністю до **0,95** т/м.

Маневрові локомотиви повинні мати кузов капотного типу з несучою головною рамою з металоємністю до **1,4** т/м.

4 Рами візків локомотивів

План лекції

Рама візків локомотивів. Призначення, класифікація та компоновка рам візків. Особливості технології виготовлення рам візків. Компонувальні схеми рам візків локомотивів.

4.1 Призначення, класифікація та компоновка рам візків

Рама візків призначена для розміщення вузлів екіпажної частини та тягового привода, а також для сприйняття та передачі вертикальних, повздовжніх та поперечних сил, діючих між елементами екіпажної частини (рисунок 4.1).

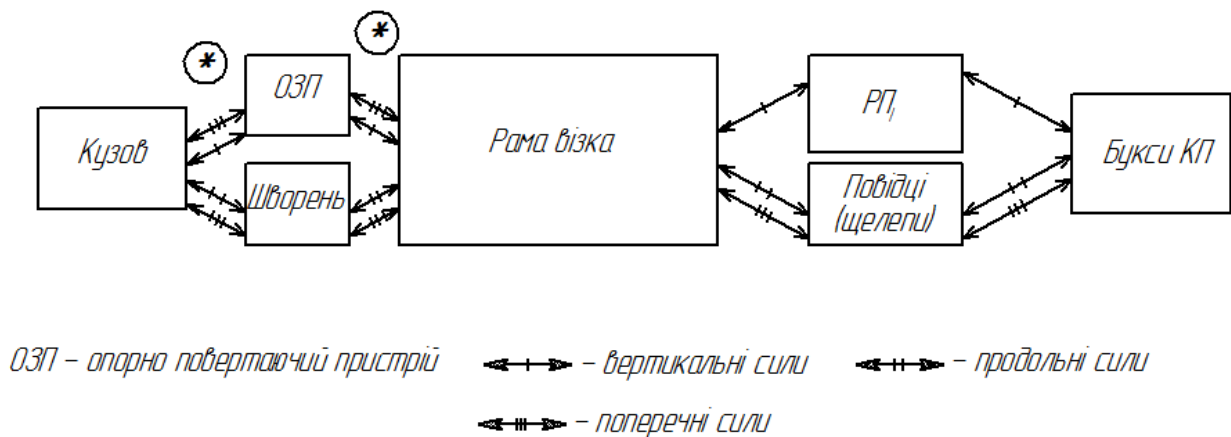


Рисунок 4.1 – Схема передачі зусиль у візку

*поперечні сили передаються через опорно-звертальні пристрої, якщо локомотив має пружний поперечний зв'язок між кузовом та візком [7].

Рама візків прийнято класифікувати за такими ознаками:

а) за конструкцією з'єднання з буксами:

- щелепні;
- безщелепні;

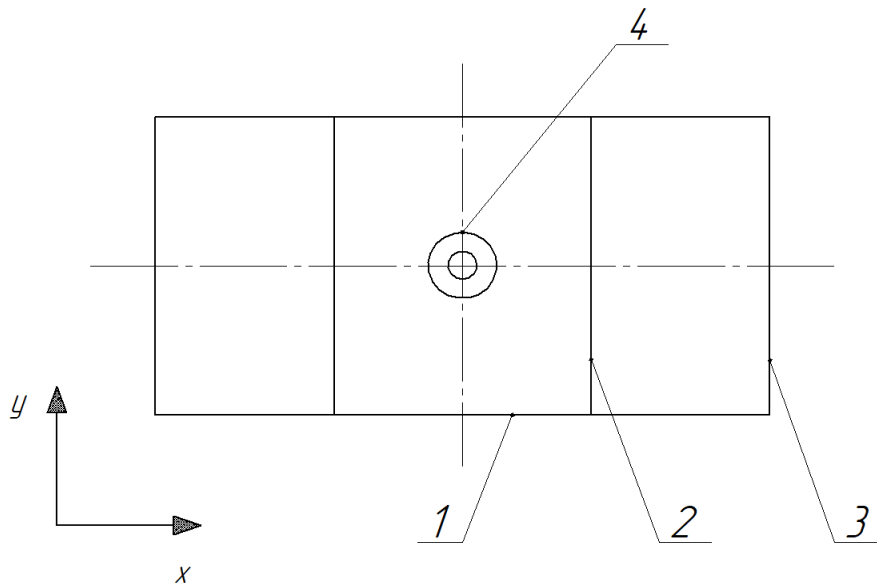
б) за кількістю вісей:

- двовісні;
- тривісні;
- чотиривісні;

в) за наявністю та конструкцією міжвізкових з'єднань:

- з міжвізковим з'єднанням;
- без міжвізкового з'єднання;
- г) за конструкцією з'єднання кузова та візка:
 - шворневі;
 - безшворневі;
- д) за технологією виготовлення.

Загальна компоновка рам візків (рисунок 4.2).



1 – повздовжні балки (боковини); 2 – поперечна балка; 3 – кінцева балка; 4 – шворнева балка

Рисунок 4.2 – Конструкція рами візка локомотива

4.2 Особливості технології виготовлення рам візків

За технологією виготовлення відокремлюють наступні типи рам візків[8]:

- брускові – боковини рами виготовлені зі сталевого бруса (рисунок 4.3). Недолік – висока маса візка;
- литі (ВЛ8) (рисунок 4.4). Недоліки – значний відсоток браку при виготовленні, складність контролю якості лиття;
- зварно-литі – вантажні та маневрові тепловози. Рами мають зварені боковини та поперечні балки, кінцеві балки – швелер (щелепні візки), шворнева балка, щелепи та кронштейни – литі. На безщелепних візках – одна кінцева балка – зварна;

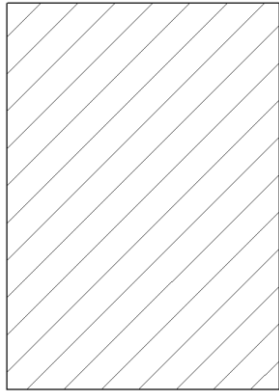


Рисунок 4.3 – Поперечний перетин боковини рами зі сталевго бруса

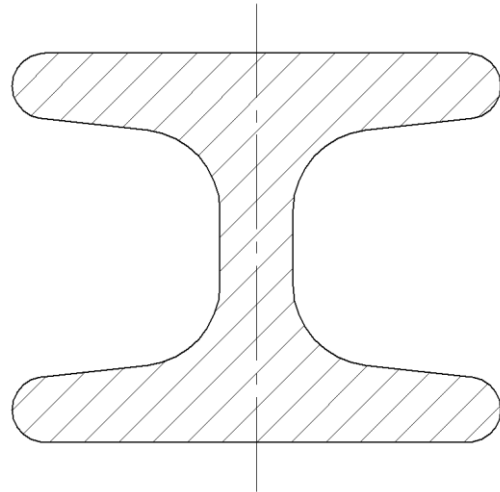
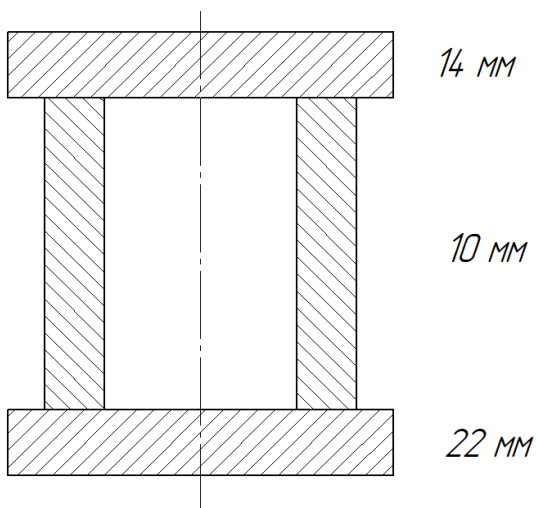
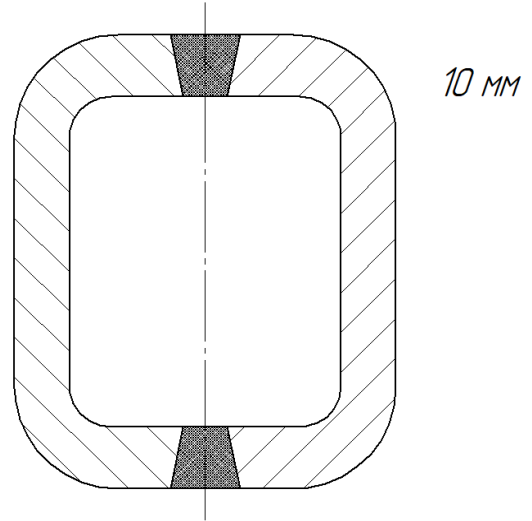


Рисунок 4.4 – Поперечний перетин боковини рами електровозу ВЛ8

- зварні (рисунок 4.5) – всі балки зварені зі штампованих елементів. Кронштейни для кріплення букс, тягового привода та пристроїв гальмівної системи – литі.



*Ст 3 К17
(мостава)*



Сталь 20

а – вантажний тепловоз 2ТЕ116; б – пасажирський тепловоз ТЕП70

Рисунок 4.5 – Поперечні перетини зварених боковин

Використання прокату для виготовлення рам візків зменшує трудовитрати, але при рівній міцності приводить до підвищення маси.

4.3 Компонувальні схеми рам візків локомотивів

Щелепний шворневий тривісний візок (рисунок 4.6).

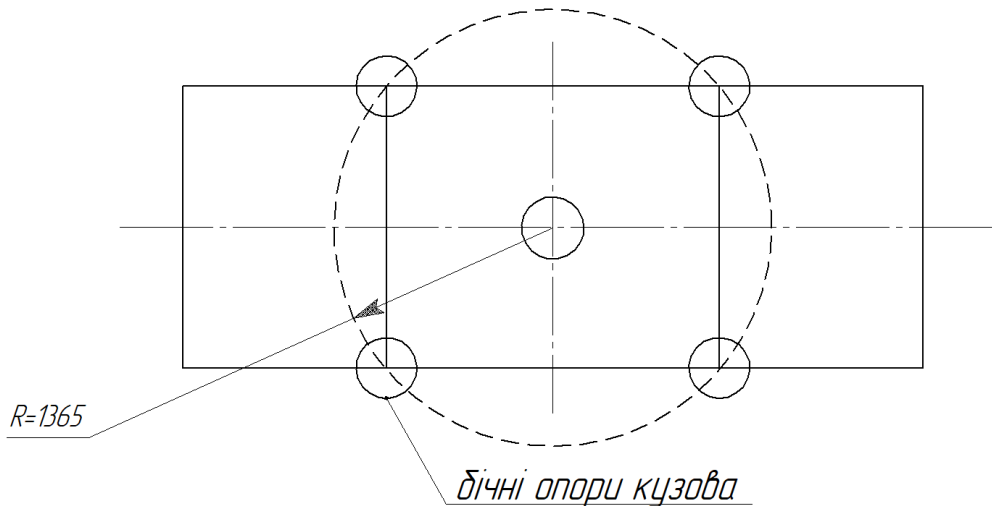


Рисунок 4.6 – Схема щелепного тривісного візка тепловозів 2М62, ТЕМ2

Безщелепний шворневий тривісний візок (рисунок 4.7).

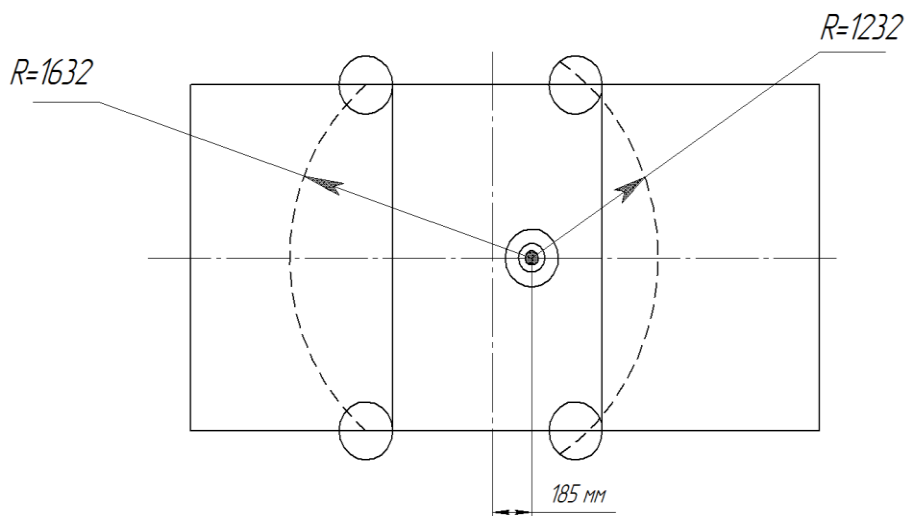


Рисунок 4.7 – Схема безщелепного тривісного візка тепловозів 2ТЕ10М, 2ТЕ116, 2ТЕ121

Безщелепний шворневий з колісковими підвісками (рисунок 4.8).

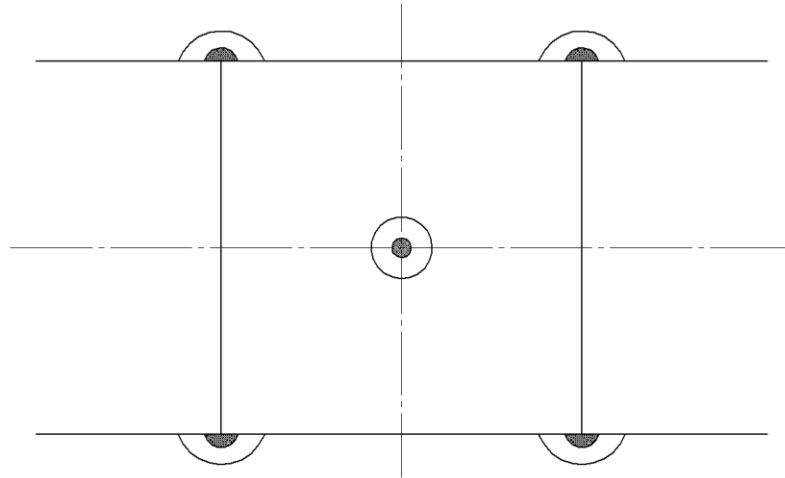


Рисунок 4.8 – Схема безщелепного шворневого тривісного візка з колісковими підвісками тепловоза ЧМЕЗ

Безщелепний шворневий з ресорним підвішуванням «Флексикоїл» (рисунок 4.9).

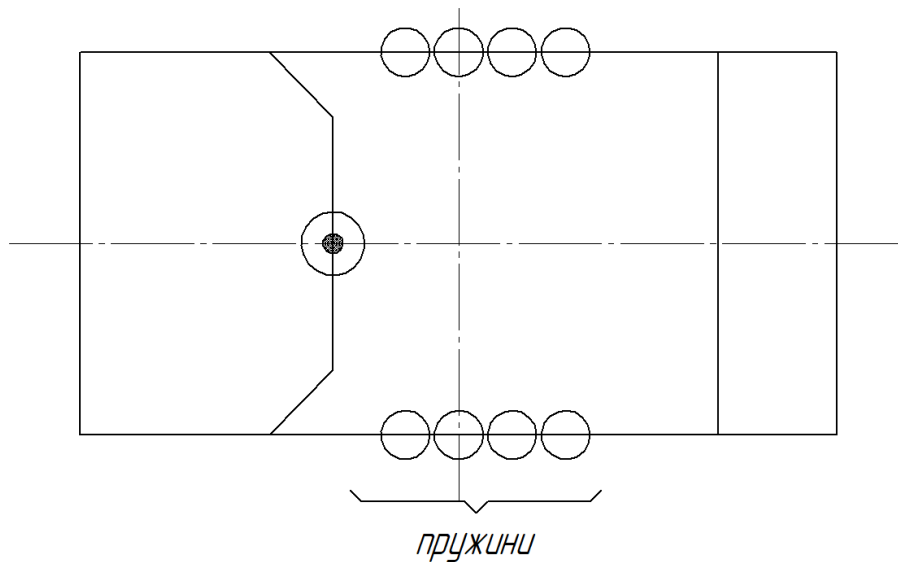


Рисунок 4.9 – Схема безщелепного шворневого тривісного візка з ресорним підвішуванням «Флексикоїл»

Безщелепний безшворневий візок з маятниковими опорами (рисунок 4.10).

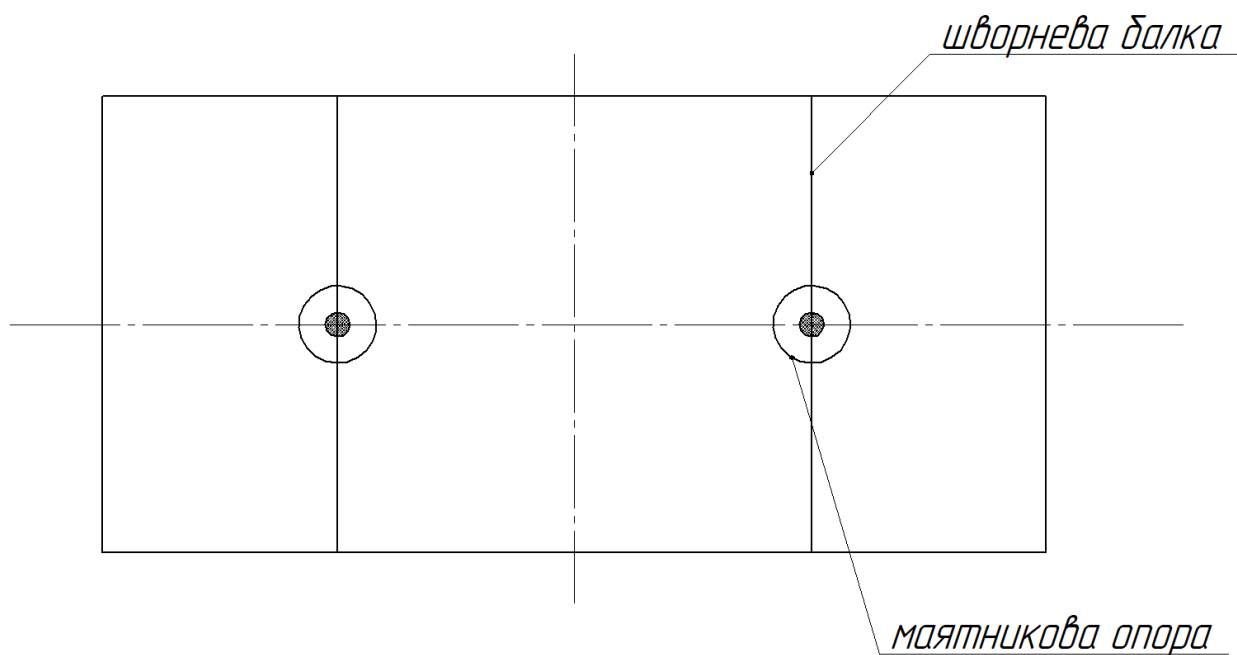


Рисунок 4.10 – Схема безщелепного безшворневого тривісного візка з центральними маятниковими опорами тепловозу ТEP60

Контрольні питання

- 1 За якими технічними ознаками класифікуються колісні пари тягового рухомого складу?
- 2 Від яких характеристик рухомого складу залежить діаметр колеса колісної пари?
- 3 Чим обумовлено використання суцільнокатаних коліс на високошвидкісному рухомому складі?
- 4 Які існують шляхи забезпечення осьового розбігу колісних пар локомотивів?
- 5 Основні недоліки з'єднання букс з рамою візка за допомогою плоских направляючих (щелеп)?
- 6 Яким вимогам мають відповідати пристрої з'єднання букси з рамою візка?
- 7 Для якого рухомого складу доцільне використання радіально-упорних підшипників в буксових вузлах?
- 8 За якими технічними ознаками класифікуються кузова тягового рухомого складу?
- 9 Як залежить конструкція кузова локомотива від роду його служби?
- 10 Що означає питома металоємність кузова?
- 11 Які види навантажень передаються через раму візка?
- 12 Які пристрої забезпечують передачу повздовжніх сил від букси до рами візка?
- 13 Які технічні вимоги до кузовів локомотивів нового покоління?

Список літератури

1 Теорія та конструкція локомотивів: навч. посіб. Ч. 1. Загальні характеристики та будова локомотивів / Е. Д. Тартаковський, А. Ф. Агулов, Г. Г. Басов, А. П. Фалендиш. Харків: УкрДАЗТ, 2006. 75 с.

2 Агулов А. Ф., Фалендиш А. П. Методичні вказівки до курсового і дипломного проектування з дисципліни «Теорія та конструкція локомотивів». Ч. 4. Вписування екіпажів у криві. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 37 с.

3 Теорія та конструкція локомотивів: методичні вказівки до самостійної роботи. Ч. 1. Допоміжні системи та механічна частина тепловозів / А. П. Фалендиш, А. Ф. Агулов, Г. Г. Басов, П. О. Харламов. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 64 с.

4 Тартаковський Е. Д., Агулов А. Ф., Фалендиш А. П. Теорія та конструкція локомотивів. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів. Харків: УкрДАЗТ, 2009. 160 с.

5 Теорія та конструкція рухомого складу високошвидкісного транспорту: підручник / С. В. Панченко, О. Б. Бабанін, А. О. Каграманян та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 362 с.

6 Toshiyuki A. Application of Universal Design to Railway Facilities Japanese Railway Engineering. 2001. No 146. P. 1. 7 Demadret R. Maintenance and renovation of High Speed Lines / 7th Training on High Speed Systems. Paris: UIC, 2010.

7 Ресорне підвішування тягового рухомого складу: конспект лекцій. Ч. 1. Механічна частина ТРС / Д. О. Аулін, А. Л. Сумцов, О. В. Клименко, Ю. В. Жовтий. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 52 с.

8 Пристрої зв'язку кузова локомотива з візками: конспект лекцій. Ч. 2. Механічна частина ТРС / Д. О. Аулін, О. О. Анацький, О. В. Клименко, В. І. Коваленко. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 54 с.

КУЗОВА, ВІЗКИ, КОЛІСНІ ПАРИ ТА БУКСОВІ ВУЗЛИ
ЛОКОМОТИВІВ

Конспект лекцій

Частина 3

Механічна частина ТРС

Відповідальний за випуск Клименко О. В.

Підписано до друку 2022 р.

Умовн. друк. арк. 2,75. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.