

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

**«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»,  
«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»**

*(для студентів 1–3 курсів усіх форм навчання спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,  
а також слухачів другої вищої освіти)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2018**

Методичні рекомендації до розрахунково-графічної роботи з дисциплін «Механічне обладнання рухомого складу», «Механічне обладнання транспортних засобів» (для студентів 1–3 курсів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, а також слухачів другої вищої освіти) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. А. В. Коваленко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 27 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. А. В. Коваленко

Рецензент

**В. П. Шпачук**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 6 від 5 грудня 2017 р.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення.....	5
2 Вихідні дані до розрахунково-графічної роботи.....	6
3 Методичні рекомендації до вирішення планувальної задачі і визначенню вагових навантажень на ходові частини ТЗ.....	8
4 Визначення центру ваги екіпажа за висотою.....	14
5 Вертикальне динамічне навантаження.....	15
6 Бічні навантаження та додаткові вертикальні й горизонтальні сили, що спричиняються ними.....	16
7 Додаткові навантаження, спричинені ухилом.....	17
8 Додаткові навантаження на ходові частини від дії сил інерції вздовж екіпажа.....	18
9 Схеми розрахункових навантажень.....	22
Список рекомендованих джерел.....	27

## ВСТУП

Студенти спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійних програм «Електричний транспорт» і «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» виконують розрахунково-графічну роботу з механічного обладнання рухомого складу (далі – МОРС) або транспортних засобів (далі – МОТЗ).

Розрахунково-графічна робота передбачає такі етапи:

1. Вирішення планувального завдання, визначення пасажирського навантаження та розподіл ваги по ходових частинах транспортного засобу (далі – ТЗ).
2. Визначення додаткових навантажень на ходові частини.
3. Розрахунок заданих елементів ходової частини, що включає впорядкування розрахункової схеми, визначення розрахункових навантажень і механічних напружень, оцінку міцності проєктованих елементів. Можуть вирішуватись також специфічні задачі з визначення витрати стиснутого повітря, нагрівання гальм тощо.

Орієнтовно обсяг етапів роботи у відсотках становить: 1 етап – 30 %, 2 етап – 30 %, 3 етап – 30 % й оформлення пояснювальної записки – 10 %.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Зазвичай елементи ТЗ розраховують при найбільш невідгідному сполученні й максимальних навантаженнях, що можуть виникати при різноманітних режимах роботи.

Проектування механічного обладнання ТЗ, що має необхідну міцність та довговічність, мінімальну вагу, потребує ретельної оцінки напруженого стану кожного елемента конструкції. Крім розрахунків на міцність під час проектування деталей і вузлів ТЗ виконують розрахунки на довговічність, утому, нагрівання, усталеність тощо.

Величина навантажень, що сприймаються елементами конструкції ТЗ у різних режимах роботи, обумовлюється для пасажирського ТЗ кількістю пасажирів, станом дорожнього покриття, профілем шляху в плані й за вертикаллю, динамікою руху, зчепленням колеса з рейкою (дорогою) і низкою інших чинників, що можуть змінюватись у широких межах. Головними документами, що нормують розрахункові навантаження та режими роботи ТЗ, є ДСТ 8802-78 «Вагони трамвайні пасажирські», ДСТ 7495-74 «Тролейбуси одноповерхові пасажирські», ДСТ 18226-72 «Вагони метрополітену», «Правила експлуатації трамвая і тролейбуса».

Важливим етапом розрахунку є вибір розрахункової схеми проєктованих елементів конструкції. Дійсний напружений стан конструкції дуже складний, тому вводять низку допущень, що спрощують розрахункову схему, але забезпечують безпеку експлуатації ТЗ при мінімально необхідних запасах міцності.

Навантаження, що діють на елементи механічного обладнання ТЗ, підрозділяють на статичні й динамічні. До статичних навантажень належить власна вага екіпажа, що перебуває у спокої, (або частина його ваги, яка припадає на ту деталь, що розраховують), і корисне (пасажирське) навантаження. Під час руху на транспортний засіб діють динамічні навантаження, що виникають від взаємодії між ходовими частинами й шляхом (рейкою), від дії сил інерції при пуско-гальмових режимах, у разі коливань, від взаємодії між окремими частинами потягу. Механічне обладнання транспортних засобів піддається також впливу навантажень, обумовлених роботою тягової передачі, механічних гальм, а також із технологією виготовлення та складання обладнання.

## 2 ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до першого та другого етапів розрахунково-графічної роботи

Варіант	Вид транспорту	Довжина, м	Ширина, м	Кількість дверей подвійних/ одинарних	Радіус кривої, м	Ухил, ‰	Висота центра ваги мас, м	Конструктивна швидкість, км/г	Коефіцієнт інерції обертових мас (1+γ)
1	Тролейбус	10	2,4	2/0	15	10	0,7	50	1,16
2		11	2,4	2/1	15	10	0,7	50	1,16
3		12	2,5	3/0	15	15	0,8	55	1,16
4		10	2,5	2/0	18	15	0,8	55	1,16
5		11	2,5	3/0	18	10	0,9	60	1,16
6		12	2,6	3/0	18	10	0,9	60	1,16
7		10	2,6	2/0	20	15	1,0	65	1,16
8		11	2,6	2/1	20	15	1,0	65	1,16
9		12	2,6	3/0	20	10	1,1	70	1,16
10		13	2,6	2/1	20	10	1,1	70	1,16
11	Трамвай	12	2,6	2/1	25	15	0,7	50	1,16
12		12	2,6	2/0	25	20	0,7	60	1,16
13		13	2,6	3/0	26	25	0,8	60	1,16
14		13	2,6	3/0	26,5	20	0,8	50	1,16
15		14	2,7	2/1	27	20	0,9	50	1,16
16		14,5	2,7	2/1	27,5	25	0,9	50	1,16
17		14,5	2,7	2/2	28	25	1,0	60	1,16
18		15	2,7	2/2	28	23	1,0	65	1,16
19		15	2,8	2/2	30	23	1,1	65	1,16
20		15	2,8	2/2	29	20	1,1	65	1,16
21	Метрополітен	17	2,7	3	100	10	0,7	70	1,18
22		17	2,7	4	110	15	0,7	70	1,18
23		17,5	2,7	4	120	10	0,7	75	1,18
24		17,5	2,8	4	120	15	0,8	75	1,18
25		18	2,8	4	140	10	0,8	80	1,18
26		18	2,8	3	140	15	0,8	80	1,18
27		18,5	2,9	4	160	10	0,9	85	1,18
28		18,5	2,9	4	170	15	0,9	85	1,18
29		17	3	4	180	15	1	90	1,18

## **Варіанти вихідних даних до третього етапу розрахунково-графічної роботи за типами транспортних засобів**

1. Визначення напрямних зусиль колісних пар (трамвай, метро).
2. Розрахунок напружень у середньому перерізі кузова й у його поперечному перерізі по шворневій балці (тролейбус, трамвай, метро).
3. Розрахунок осі колісної пари на міцність (трамвай, метро).
4. Розрахунок гумових елементів колеса на вертикальне та поздовжнє навантаження (трамвай, метро).
5. Розрахунок на міцність пружини (трамвай, метро).
6. Розрахунок на міцність листової ресори (тролейбус).
7. Розрахунок на міцність ведучого моста тролейбуса (тролейбус).
8. Розрахунок на міцність керованого моста тролейбуса без рульового керування (тролейбус).
9. Розрахунок гумових пружних елементів ресорного підвішування (трамвай).
10. Розрахунок основних параметрів пневморесори (тролейбус).
11. Визначення розрахункових навантажень у тяговій передачі тролейбуса.
12. Визначення розрахункових навантажень в елементах тягової передачі при рамно-осьовій підвісці ТЕД (трамвай).
13. Визначення розрахункових навантажень в елементах тягової передачі при незалежній підвісці ТЕД (трамвай, метро).
14. Розрахунок на міцність елементів карданної передачі: шліцьової втулки, шліців, хрестовини, болтів, труби карданного вала, голчастих підшипників (тролейбус, трамвай).
15. Розрахунок на міцність елементів рульового керування: рульового вала, сошки, поздовжньої рульової тяги, поперечної рульової тяги, рульового привода (тролейбус).
16. Розрахунок шворневої балки візка (трамвай, метро).
17. Розрахунок поздовжньої балки візка (трамвай, метро).
18. Розрахунок жорстких коліс (метро).
19. Розрахунок двоколодкового гальма барабанного типу (тролейбус, трамвай).
20. Розрахунок редуктора тягової передачі (тролейбус, трамвай).
21. Розрахунок диференціала та півосей (тролейбус).

### **3 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИРІШЕННЯ ПЛАНУВАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ Й ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ХОДОВІ ЧАСТИНИ ТЗ**

Вирішення планувального завдання необхідно для визначення вагових навантажень ТЗ. Для орієнтовних розрахунків, зокрема у розрахунково-графічній роботі, власну вагу екіпажа тари  $G_T$  можна визначити за рівнянням:

$$G_T = K_F \cdot F_{\text{повн}}, \quad (3.1)$$

де  $K_F$  – коефіцієнт питомої ваги РС,  $\text{кг/м}^2$ ;

$F_{\text{повн}} = D \cdot Ш$  – габаритна площа екіпажа,  $\text{м}^2$ ;

$D$  – габаритна довжина кузова, м;

$Ш$  – габаритна ширина кузова, м.

Загальна тенденція у проектуванні пасажирського ТЗ полягає в зменшенні власної ваги екіпажа і, отже, у зниженні його питомої ваги. Сучасний ТЗ, як то: трамвайні вагони мають питому вагу від 350 до 880  $\text{кг/м}^2$ , тролейбуси від 300 до 450  $\text{кг/м}^2$  і вагони метрополітену від 300 до 800  $\text{кг/м}^2$ .

Потрібно приймати такі значення ширини та довжини ТЗ: ширина тролейбусів – 2,5 м, вагонів трамвая – 2,65 м і вагонів метрополітену – 2,7 м; максимальна довжина трамвайних вагонів із жорстким кузовом не повинна перевищувати 15,3 м, тролейбусів із жорстким кузовом – 12 м, вагонів метрополітену – 19–20 м, шарнірно-зчленованих трамваїв – 24–25 м, шарнірно-зчленованих тролейбусів – 24–25 м.

Спочатку проводять попереднє планування салону рухомого складу відповідно до таких вимог:

- ширина подвійного сидіння – 0,9 м;
- ширина одинарного сидіння – 0,5 м;
- ширина одинарних дверей – не менше 650 мм;
- ширина подвійних дверей – не менше 1200 мм;
- ширина проходу між сидіннями не повинна бути менше 0,6 м;
- двері не повинні співпадати з мостами чи візками;
- площа підніжок вагонів метрополітену дорівнює нулю;
- глибину підніжки для трамвая та тролейбуса можна визначити розділивши площу підніжки на ширину дверей.



Оскільки ширина й довжина ТЗ обмежується відповідними ДСТ на ТЗ, умовами вписування в криві й площею, що займають потяги, можна завдання з проектування ТЗ починати, задаючись габаритною довжиною та шириною кузова.

Площу, яку займають пасажирів, визначають так:

$$F_{\text{пас}} = F_{\text{повн}} - F_{\text{ст}} - F_{\text{каб}} - F_{\text{підн}}, \quad (3.2)$$

де  $F_{\text{ст}} = 2 \cdot v_{\text{ст}} \cdot (D + \Pi)$  – площа, що займають стінки ТЗ,  $\text{м}^2$ ;

$v_{\text{ст}}$  – товщина стінки, м. (для тролейбуса та трамвая приймають

$v_{\text{ст}} = 0,08$  м, для метрополітену  $v_{\text{ст}} = 0,1$  м);

$F_{\text{каб}}$  – площа кабіни водія,  $\text{м}^2$ ;

$F_{\text{підн}} = n_o f_o + n_p f_p$  – площа підніжок,  $\text{м}^2$ ;

$n_o$  і  $n_p$  – кількість одинарних та подвійних дверей;

$f_o = 0,4$  – площа підніжки одинарної двері,  $\text{м}^2$ ;

$f_d = 0,7$  – площа підніжки подвійної двері,  $\text{м}^2$ .

Після визначення  $F_{\text{пас}}$  можна розрахувати кількість стоячих  $E_{\text{ст}}$  і сидячих  $E_{\text{сид}}$  пасажирів, з огляду на прийняте співвідношення між ними:

$$\beta = E_{\text{ст}}/E_{\text{сид}}, \quad (3.3)$$

яке відповідає ДСТ 10022-75 і прийнятими нормам, що визначені досвідом проектування ТЗ, можна вибрати такими: для тролейбусів і трамваїв не менше 2:1, для вагонів метрополітену – 3:1.

$$F_{\text{пас}} = E_{\text{сид}} \cdot f_{\text{сид}} + E_{\text{ст}} \cdot f_{\text{ст}} \quad (3.4)$$

де  $f_{\text{сид}}$  – площа, яку займає один сидячий пасажир,  $\text{м}^2/\text{люд}$ .

$f_{\text{ст}}$  – площа, яку займає один стоячий пасажир,  $\text{м}^2/\text{люд}$ .

Отже,

$$E_{\text{сид}} = F_{\text{пас}} / (f_{\text{сид}} + \beta f_{\text{ст}}); \quad (3.5)$$

$$E_{\text{ст}} = \beta \cdot E_{\text{сид}}. \quad (3.6)$$

Зважаючи на те, що вага одного пасажирів під час розрахунків дорівнює  $g = 70$  кг, а максимальний коефіцієнт наповнення дорівнює  $10$  люд/ $\text{м}^2$  (згідно з ДСТ 7495-74 і ДСТ 8802-78), можна визначити повну вагу пасажирів:

$$G_{\text{пас}} = (E_{\text{сид}} + E_{\text{ст}}) \cdot g. \quad (3.7)$$

Розподіл ваги кузова з пасажирів за ходовими частинами проводять у такий спосіб. Вагу тари кузова в розрахунково-графічній роботі можна вважати

розподіленою рівномірно за довжиною екіпажа. Це навантаження замінюють зосередженою силою, яка прикладена в центрі габаритної довжини  $D$ . У центрі ваги й відповідних площ, що займають сидячі й стоячі пасажирів на площадках, проходах тощо, прикладається відповідна вага пасажирів. Згідно з вимогами повільності ходу, вписування в криві й коридору, що займається ТЗ під час руху на вулицях, співвідношення довжини  $D$  до бази екіпажа  $B$  повинно становити: для трамваїв і тролейбусів  $D/B = 2 \div 2,2$ ; для вагонів метрополітену  $D/B = 1,55$ ; для шарнірно-зчленованих тривісних тролейбусів відношення головної секції кузова до бази має дорівнювати  $D_{\text{гол}}/B_{\text{гол}} = 2 \div 2,2$ , а відношення довжини головної секції кузова та напівпричепа  $D_{\text{пр}} - D_{\text{гол}}/B_{\text{пр}}$  передній звіс рекомендують брати рівним відстані від головного (другого по ходу) моста до точки зчленування кузовних секцій. Оскільки в розрахунково-графічній роботі довжина всього екіпажа задана, то, користуючись зазначеними вище співвідношеннями, визначають базу екіпажа. З огляду на рівність переднього та заднього звісів, що диктуються поздовжньою прохідністю для сучасного ТЗ, знаходять за ваговими моментами щодо опор кузова вертикальні реакції в опорах, що будуть рівні навантаженням на відповідні ходові частини (див. розрахункові схеми на рисунках 3.1–3.3).

Перевірку розподілу ваги при максимальному пасажирському навантаженні за ходовими частинами роблять у такий спосіб. Для двоосьових тролейбусів відповідно до ДСТ 7495-74 на передній міст повинно припадати навантаження не більше 36 %; для шарнірно-зчленованих тривісних тролейбусів на передню вісь повинно припадати 20–21 %; на середню та задню – 39–40 %; для вагонів трамвая та метрополітену можна приймати розподіл ваги між візками рівномірним, тобто при двох візках по 50 %, при трьох візках по 33,3 %. Розрахунок розподілу ваги за ходовими частинами у розрахунково-графічній роботі виконують на комп'ютері.

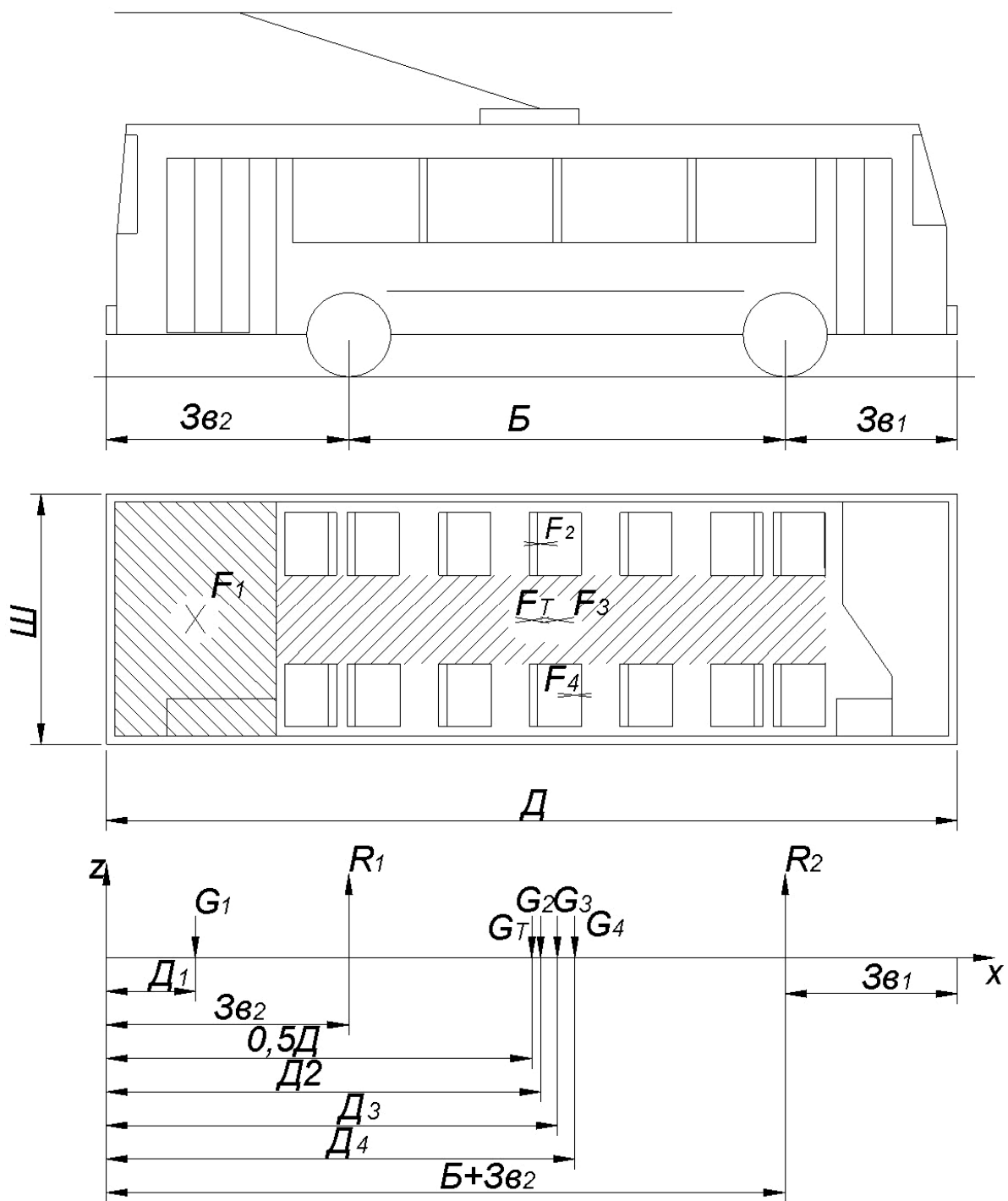


Рисунок 3.1 – Вагові навантаження на мости двоосьового тролейбуса

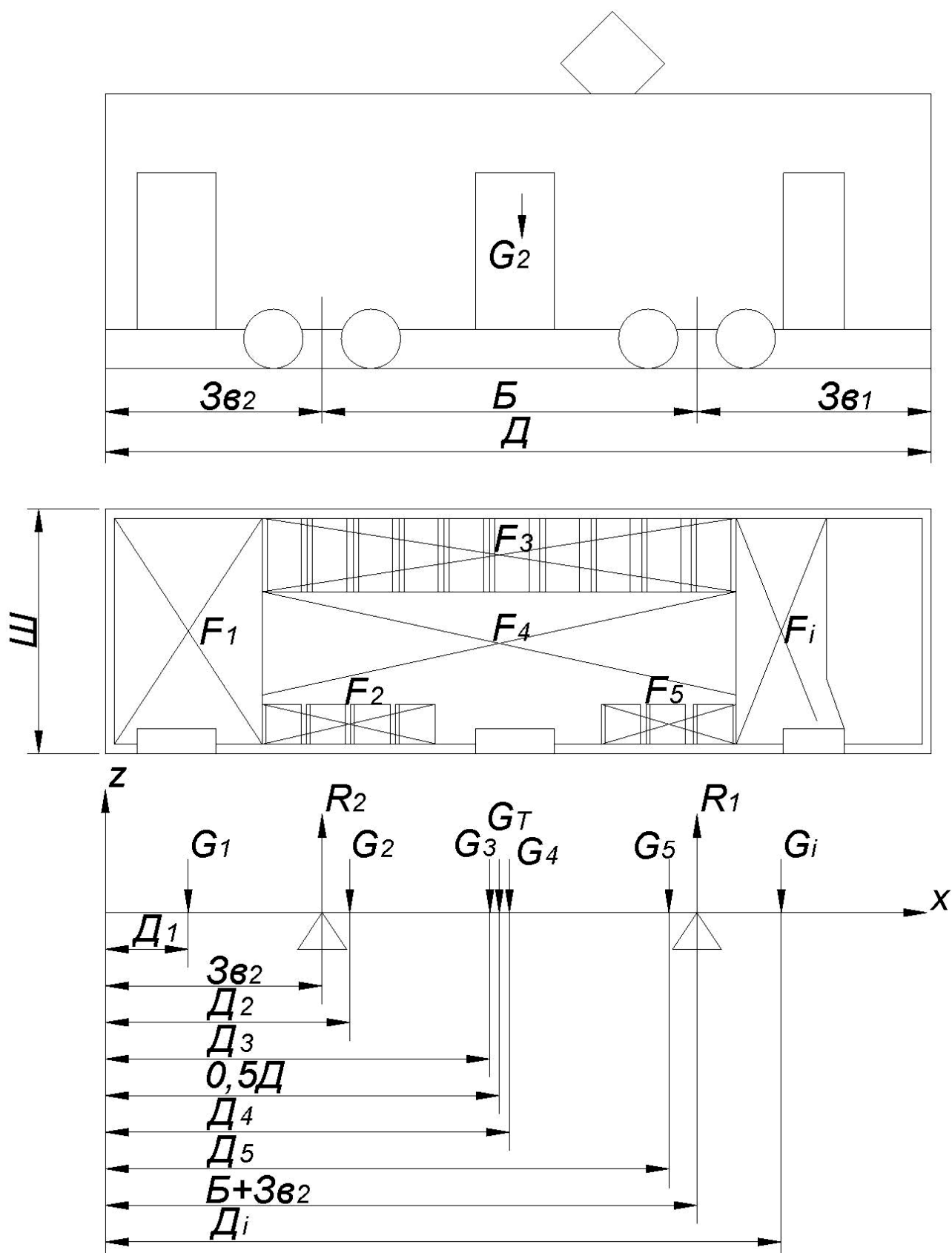


Рисунок 3.2 – Вагові навантаження на візки чотиривісного  
трамвайного вагона

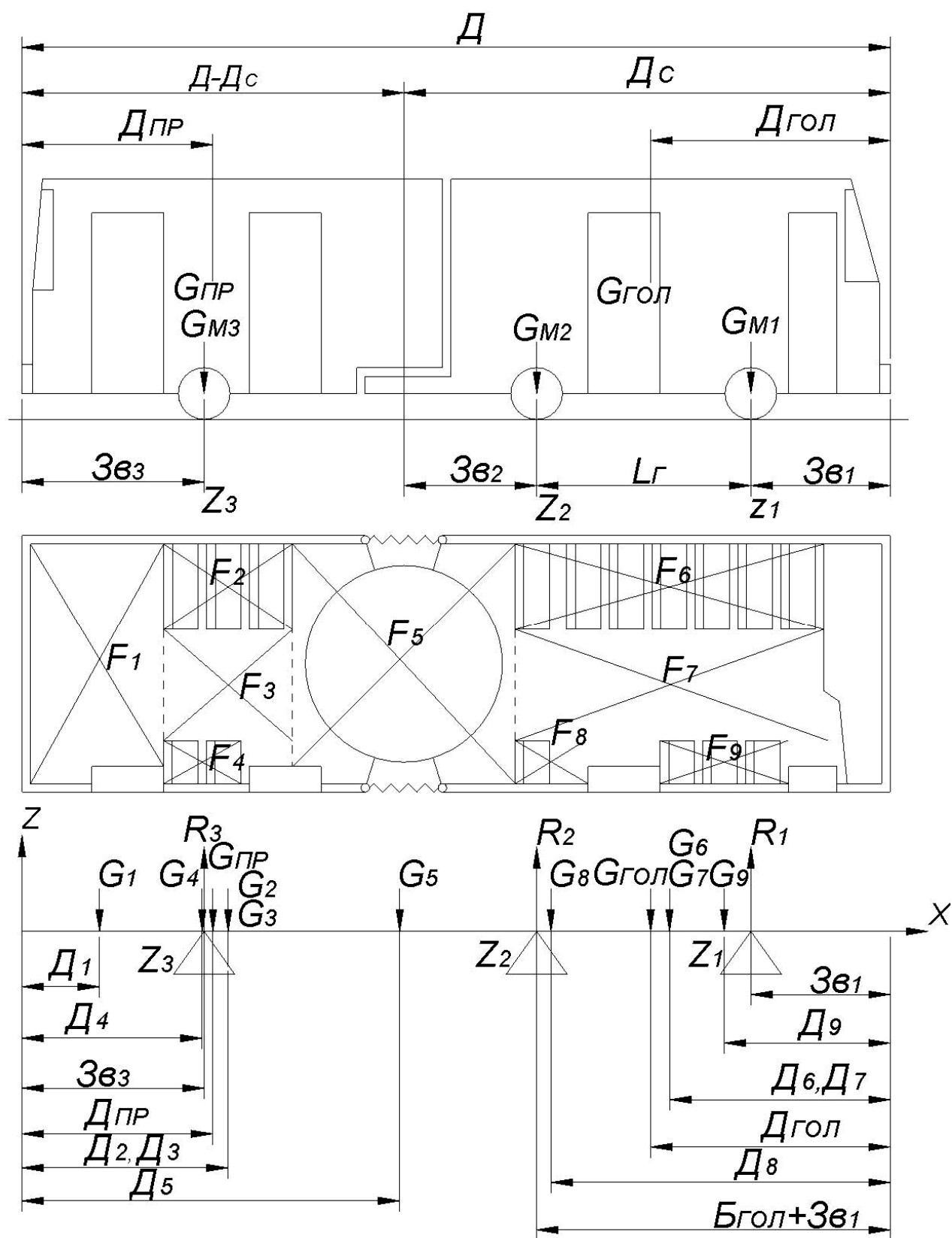


Рисунок 3.3 – Вагові навантаження на мости тривісного шарнірно-зчленованого тролейбуса

#### 4 ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУ ВАГИ ЕКІПАЖА ЗА ВИСОТОЮ

Обчислення координати центра ваги за висотою розрахунковим шляхом щодо довільно обраної системи координат проводиться за формулою:

$$h_i = \frac{\sum G h_i}{\sum G_i}, \quad (4.1)$$

де  $h_i$  – положення центра ваги за вертикаллю;

$\sum G h_i$  – сума статичних моментів ваг окремих елементів ТЗ, зокрема пасажирське навантаження відносно системи координат;

$\sum G_i$  – сума ваг елементів, включаючи пасажирське навантаження.

Визначення суми ваг обладнання ТЗ не становить труднощів, а вертикальні координати кожного елемента щодо обраного рівня знайти дуже складно.

Для практичного обчислення центра ваги можна скористатись таким способом. В обраному масштабі розташовують найважче обладнання ТЗ, точки прикладення ваг пасажирів, і у такий спосіб одержують координати кожного елемента (рис. 4.1). Положення обладнання вказують для порожнього екіпажа, тому враховують осадку кузова на підвісці під дією пасажирського навантаження. Для цього необхідно знати жорсткість (гнучкість) пружного ресорного підвішування та пасажирського навантаження. Вирахувавши прогин підвіски, віднімають його з координати центра ваги по висоті.

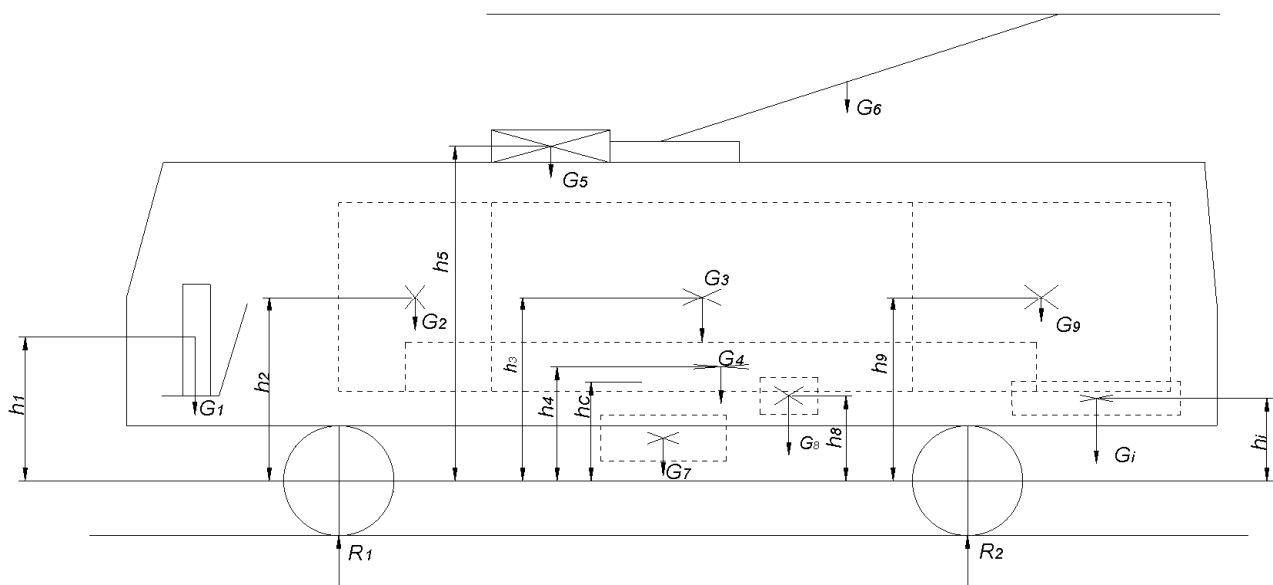


Рисунок 4.1 – Схема до визначення центра ваги рухомого складу

## 5 ВЕРТИКАЛЬНЕ ДИНАМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Вертикальне динамічне навантаження зумовлюється прискореннями підресорних частин механічного обладнання, що виникають у разі вертикальних коливань кузова та наїзду на нерівності. Теоретичне визначення динамічних навантажень є складним завданням. Зазвичай ці навантаження знаходять експериментально. За результатами дослідних даних отримані емпіричні формули для визначення коефіцієнта динаміки, що є відношенням максимального динамічного навантаження в розрахунковому режимі до статичного навантаження на цю саму деталь.

$$K_d = P_{\max}/G, \quad (5.1)$$

де  $G = R_1 + R_2$  – повна вага ТЗ з пасажирями;

$R_1, R_2$  – реакції в опорах кузова.

Цей коефіцієнт завжди більше одиниці. Шляхом множення ваги ТЗ на  $K_d$  можна одержати навантаження з урахуванням вертикальної динаміки, а додаткове вертикальне навантаження визначають за формулою:

$$P_d = G(K_d - 1). \quad (5.2)$$

Ця сила направляється в розрахунках у ту саму сторону, що й сили ваги. Для рейкового РС коефіцієнт вертикальної динаміки може бути підрахований за формулою:

$$K_d = 1 + a + 0,01V/f_{\text{ст}}, \quad (5.3)$$

де  $a$  – коефіцієнт, який дорівнює 0,1 для підресорених частин візка й 0,15 – для непідресорених частин;

$V$  – конструктивна швидкість екіпажа (75 км/год для трамвая, 90 км/год для метрополітену);

$f_{\text{ст}}$  – статичний прогин пружного підвішування, що може прийматись в межах 14–19 см.

Можна рекомендувати такі розміри коефіцієнта вертикальної динаміки:

1) для рейкового РС:

– для розрахунку кузова  $K_d = 1,1–1,5$ ;

- для розрахунку підресорених елементів ходових частин  $K_d = 1,15$ ;
- для розрахунку непідресорених елементів ходових частин  $K_d = 1,2-1,3$ ;
- 2) для безрейкового РС:
- для розрахунку кузова  $K_d = 1,2-1,3$ ;
- для розрахунку непідресорених елементів ходових частин  $K_d = 2$ .

## 6 БІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ДОДАТКОВІ ВЕРТИКАЛЬНІ Й ГОРИЗОНТАЛЬНІ СИЛИ, ЩО СПРИЧИНЯЮТЬСЯ НИМИ

З-поміж бічних навантажень  $P_b$  (рис. 6.1) виокремлюють відцентрову силу  $P_v$ , силу бічного тиску повітря. Відцентрову силу, що виникає під час прямування по кривій, приймають як прикладену в центрі ваги на висоті  $h$  (рис. 6.1).

$$P_v = \frac{mV_{кр}^2}{R} = \frac{GV_{кр}^2}{gR}, \quad (6.1)$$

де  $G$  – визначають як суму навантажень, кН;

$V_{кр}$  – швидкість рухомого складу в кривій, м/с:

$$V_{кр} = 1,27 \sqrt{R_{кр}}. \quad (6.2)$$

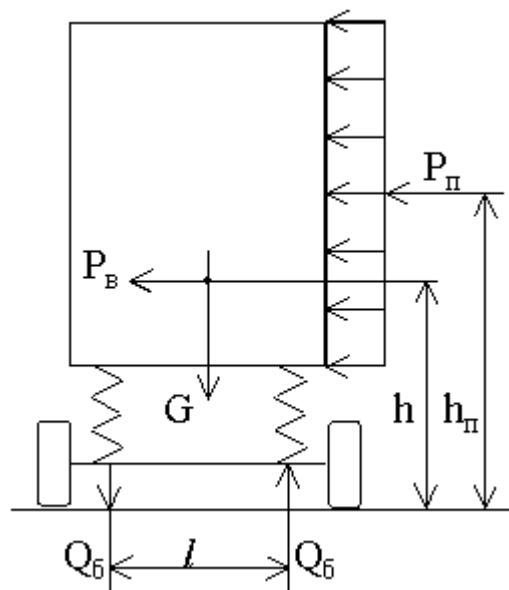


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема бічних навантажень та додаткових вертикальних і горизонтальних сил, викликаних ними



Повітряний складник бічної сили  $P_{\Pi}$  прикладається на висоті середини бічної поверхні кузова  $h_{\Pi} = 0,5h_k$  і дорівнює:

$$P_{\Pi} = pS_{\Pi}, \quad (6.3)$$

де  $p = 5 \text{ мПа}$  – розрахунковий питомий тиск бічного повітря;

$S_{\Pi}$  – площа бічної поверхні кузова,  $\text{м}^2$ .

Бічна сила повітря спрямовується в напрямі відцентрової сили з метою ускладнення умов навантаження.

Додаткові вертикальні навантаження від дії бічних сил будуть:

$$Q_6 = \frac{P_{\Pi} \cdot h + P_{\Pi} h_{\Pi}}{l} \quad (6.4)$$

## 7 ДОДАТКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ, СПРИЧИНЕНІ УХИЛОМ

Під час руху екіпажа на ухилах з'являється горизонтальна сила, що є складником ваги та спрямована завжди вниз по ухилу (рис. 7.1). Ця сила призводить до додаткового вертикального навантаження  $Q_{\text{ув}}$  і горизонтального навантаження  $Q_{\text{уг}}$ , що діють на ходові частини:

$$Q_{\text{ув}} = G' h / B; \quad (7.1)$$

$$Q_{\text{уг}} = 0,5G'. \quad (7.2)$$

При цьому сила ваги розкладається на два складники: горизонтальний  $G'$  і вертикальний  $G''$ :

$$G' = G \cdot \sin \alpha_y; \quad (7.3)$$

$$G'' = G \cdot \cos \alpha_y. \quad (7.4)$$

Тут  $\alpha_y$  визначають за розміром ухилу «і», що задається у відсотках. Отже:

$$i = \tan \alpha_y,$$

$$\alpha_y = \arctg i.$$

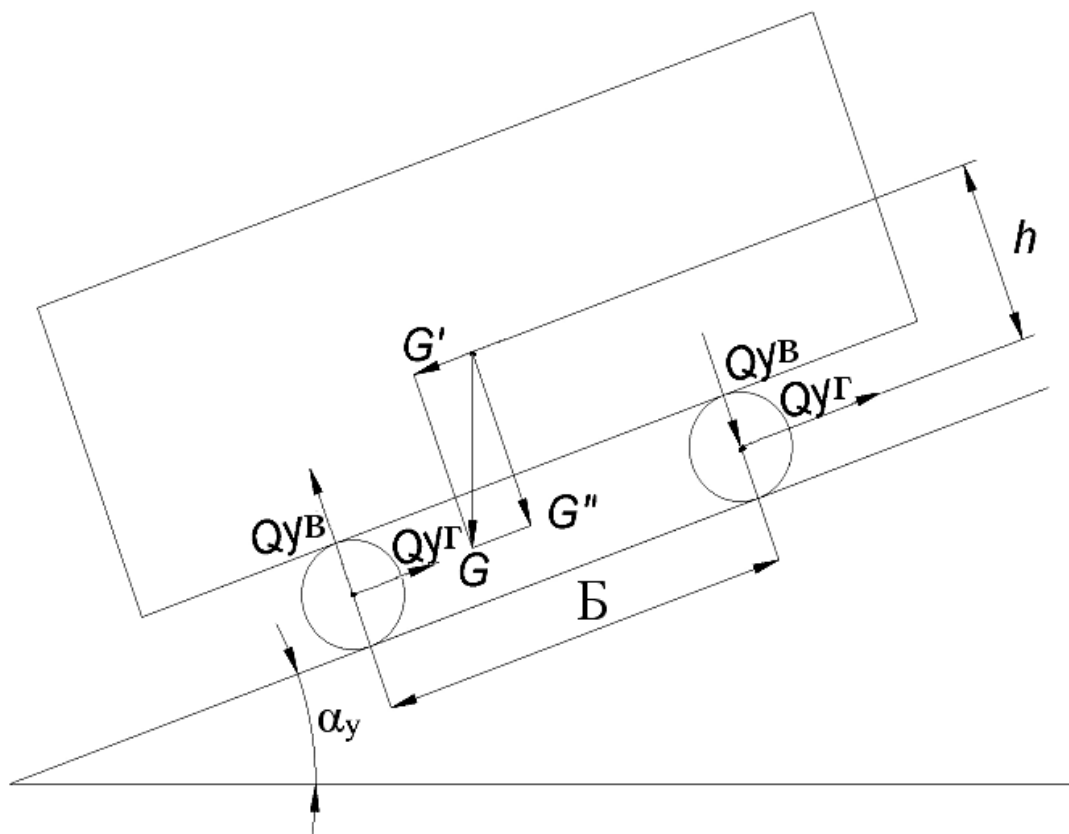


Рисунок 7.1 – Схема додаткових навантажень на ходові частини екіпажа на ухилі

## 8 ДОДАТКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ НА ХОДОВІ ЧАСТИНИ ВІД ДІЇ СИЛ ІНЕРЦІЇ ВЗДОВЖ ЕКІПАЖА

Під час пуску та гальмування сила інерції прикладається в центрі ваги й направлена вздовж екіпажа. Під час гальмування сила інерції спрямована вперед за рухом, а під час пуску (розгону) – проти руху. Сили інерції призводять до додаткових горизонтальних і вертикальних навантажень (рис. 8.1–8.3), що впливають на ходові частини. Силу інерції кузова з пасажиром визначають за формулою:

$$P_i = m \cdot \left| \frac{dV}{dt} \right|, \quad (8.1)$$

де  $m$  – маса кузова з пасажиром;

$\frac{dV}{dt}$  – величина прискорення або уповільнення.

Аналогічно визначають силу інерції будь-якого елемента ходової частини екіпажа.

Додаткові вертикальні навантаження визначають так:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot h}{B}. \quad (8.2)$$

Величину прискорення або уповільнення для екіпажів, які реалізують силу тяги або гальмові сили, на ободі колеса можна обчислити за формулою:

$$\frac{dV}{dt} = 9,81 \cdot \frac{\psi}{1 + \gamma}, \quad (8.3)$$

де  $1 + \gamma$  – коефіцієнт інерції оберткових мас екіпажа (для тролейбусів і трамваїв 1,16, для метро 1,18);

$\psi$  – коефіцієнт зчеплення.

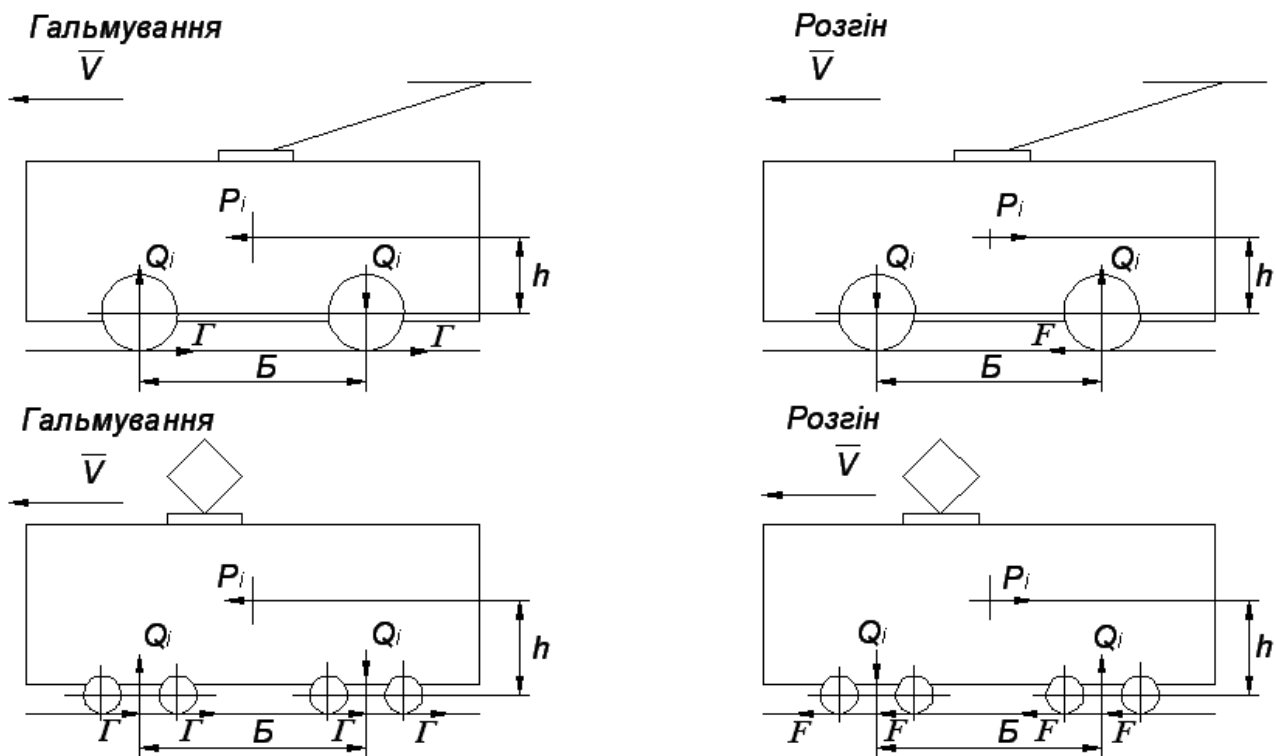


Рисунок 8.1 – Додаткові вертикальні й горизонтальні навантаження тролейбуса та трамвая під час гальмування й пуску

Величину прискорення (уповільнення) визначають розміром коефіцієнта зчеплення, що для рейкового РС лежить у межах  $\psi = 0,15 \div 0,33$ , а для тролейбу-

сів  $\psi = 0,4 \div 0,8$ . Для встановлення навантажень приймають великі значення розмірів уповільнень і прискорень. З огляду на те, що сучасні трамвайні вагони мають рейкове електромагнітне гальмо, що не залежить від зчеплення коліс із рейкою, можна приймати такі значення прискорень і уповільнень (табл. 8.1)

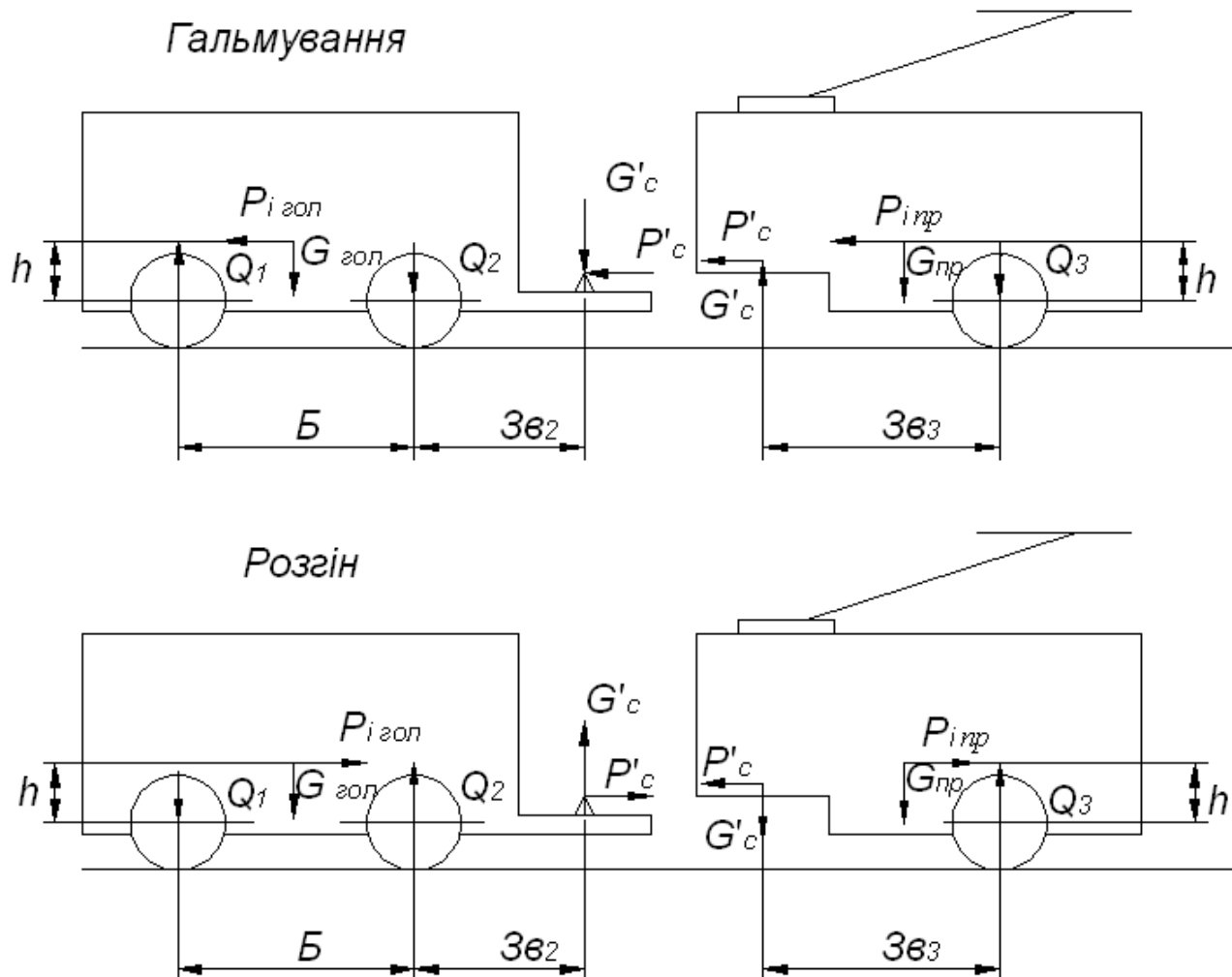


Рисунок 8.2 – Додаткові вертикальні й горизонтальні навантаження під час гальмування і пуску шарнірно-з'єднаних тривісних тролейбусів

Таблиця 8.1 – Значення прискорень і уповільнень для РС

РС		ЗіУ-9	КТМ-5МЗ	Т-3	Метрополітен
Прискорення	м/с <sup>2</sup>	1,5	1,5	1,8	1,2
Уповільнення	м/с <sup>2</sup>	5,0	3,5	3,5	1,2

Формулу (8.3) використовують для розрахунків: мостів тролейбусів, шворневої й поздовжньої балок мостових візків. При розрахунках елементів двові-

сних поворотних візків трамвайних вагонів горизонтальні сили (див. рис. 8.4), прикладені в опорному вузлі кузова, викликають перерозподіл вертикального навантаження.

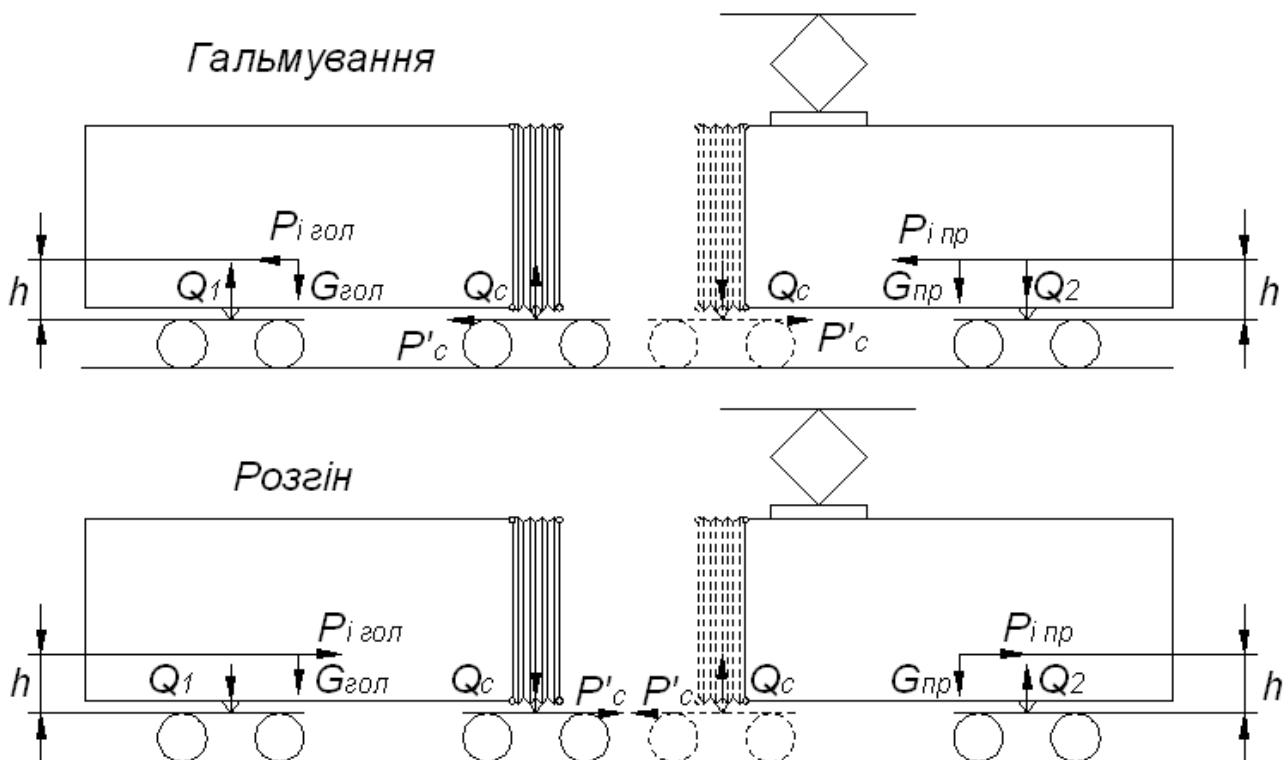


Рисунок 8.3 – Додаткові вертикальні й горизонтальні навантаження під час гальмування і пуску шарнірно-з'єднаних трамваїв

$$Q_{\Gamma} = \frac{(P' + P'')(h - R_{\kappa})}{B_{\text{в}}}. \quad (8.4)$$

Горизонтальні додаткові навантаження визначають так:

$$P' = \kappa' P_1, \quad (8.5)$$

де  $\kappa'$  – коефіцієнт, що враховує кількість візків, мостів, наприклад, якщо вагон має два візки, то  $\kappa' = 0,5$ .

$$P'' = m'' \left| \frac{dV}{dt} \right|, \quad (8.6)$$

де  $m''$  – маса елемента візка або маса моста тролейбуса.

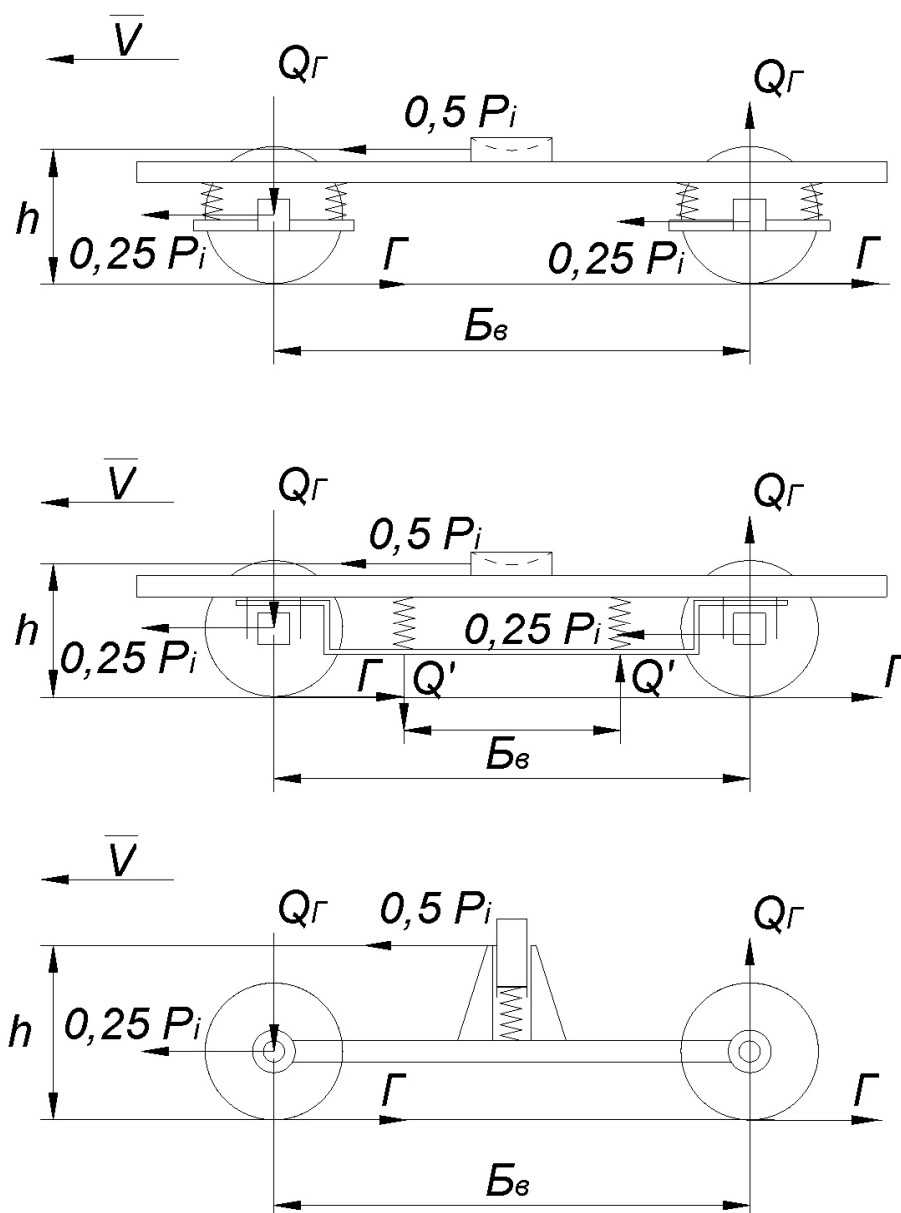


Рисунок 8.4 – Схеми вертикальних і горизонтальних додаткових навантажень на колісні пари трамвайних візків

## 9 СХЕМИ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Результатом визначення навантажень, що впливають на мости тролейбусів і візки вагонів трамвая та метрополітену, є впорядкування розрахункової схеми. На рисунках 9.1–9.7 подані розрахункові схеми навантажень при різноманітних режимах: розгоні, гальмуванні, заносі для різних типів ТЗ. На зазначених рисунках сила тяги позначена  $F$ , сила гальмування –  $\Gamma$ .

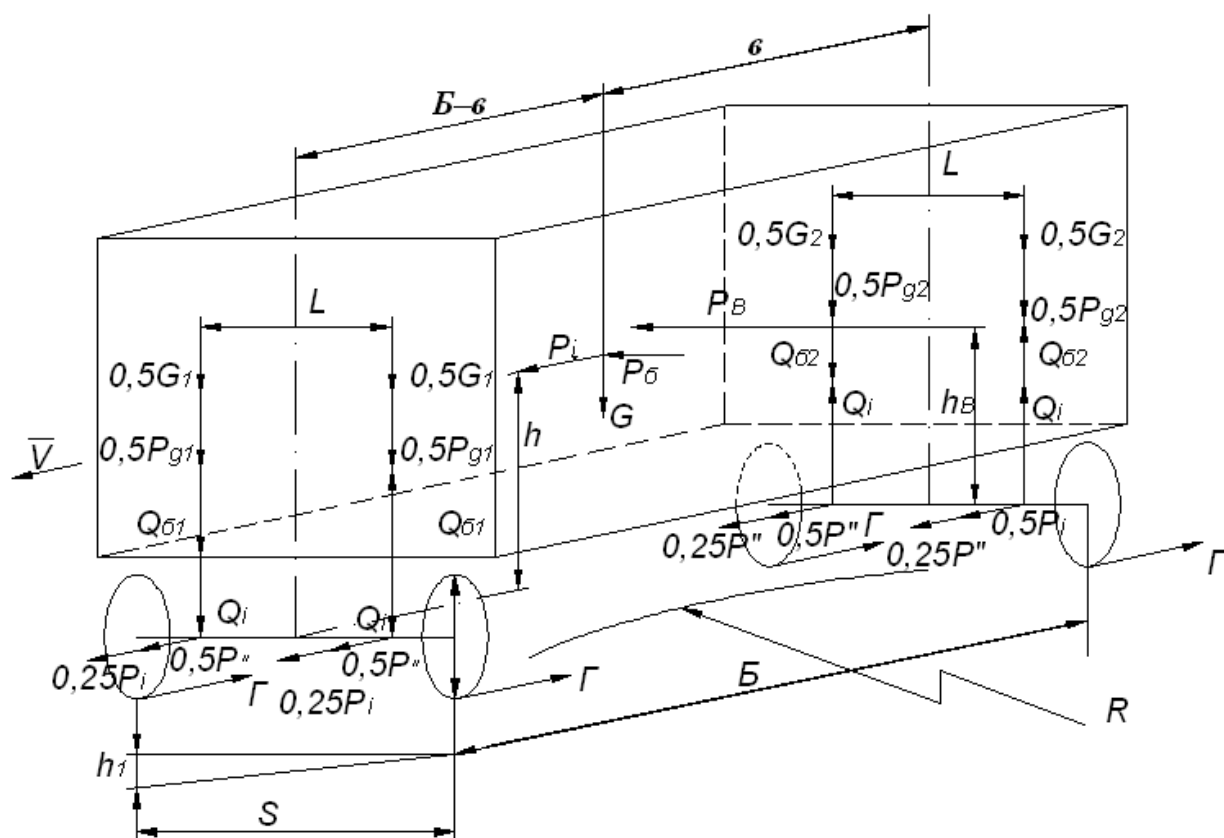


Рисунок 9.1 – Схема сил для розрахунку двовісного тролейбуса (гальмування)

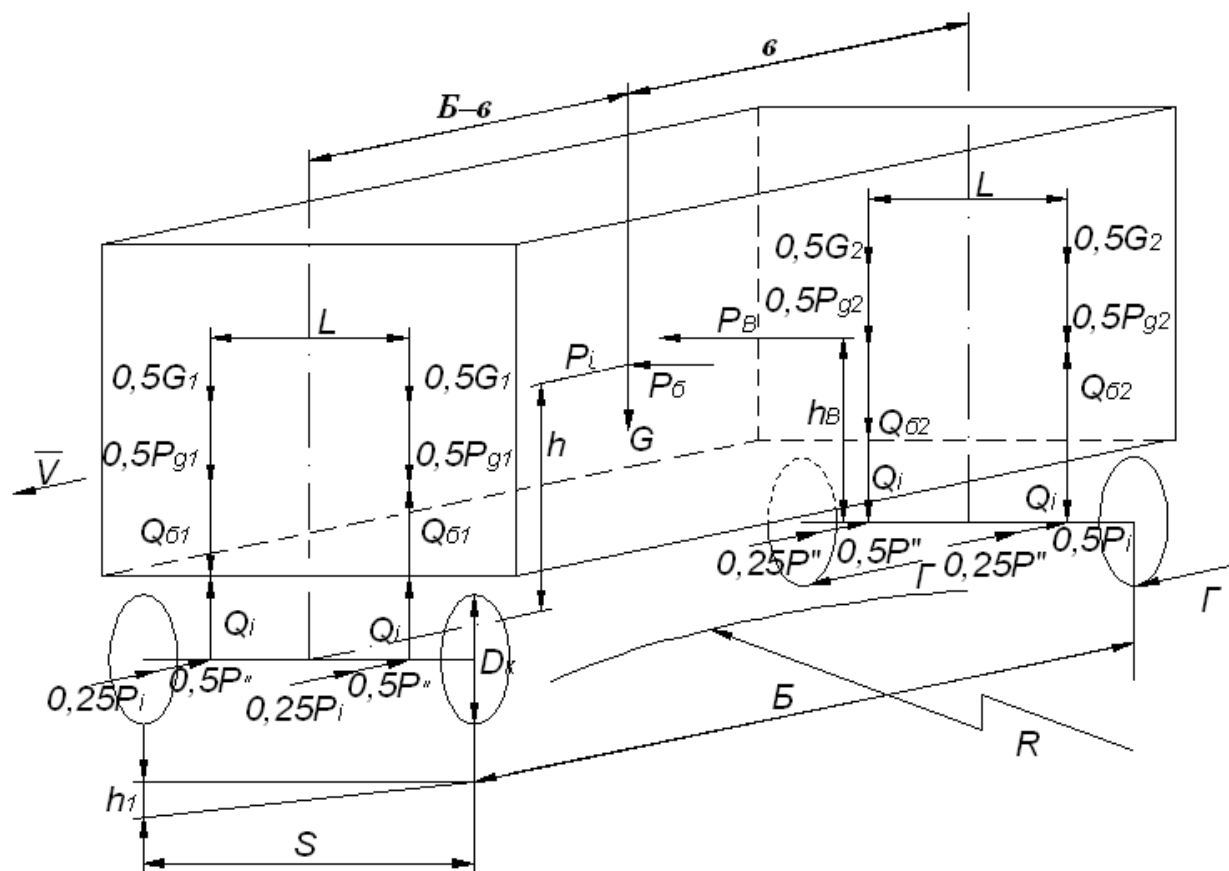


Рисунок 9.2 – Схема сил для розрахунку двовісного тролейбуса (розгін)

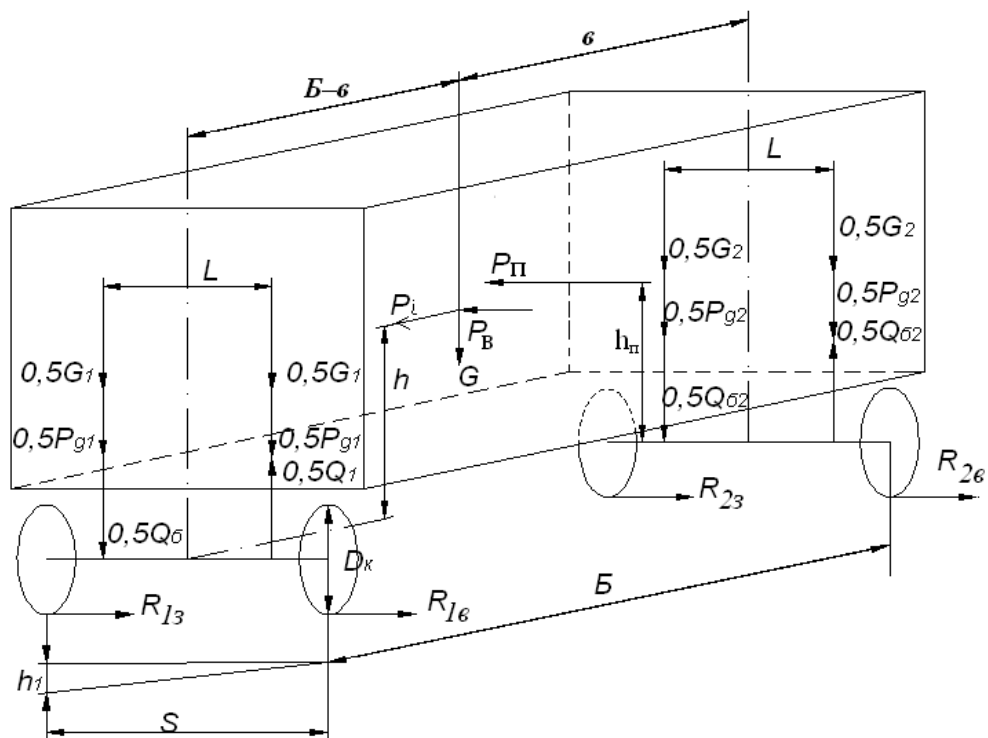


Рисунок 9.3 – Схема сил для розрахунку двовісного тролейбуса (занос)

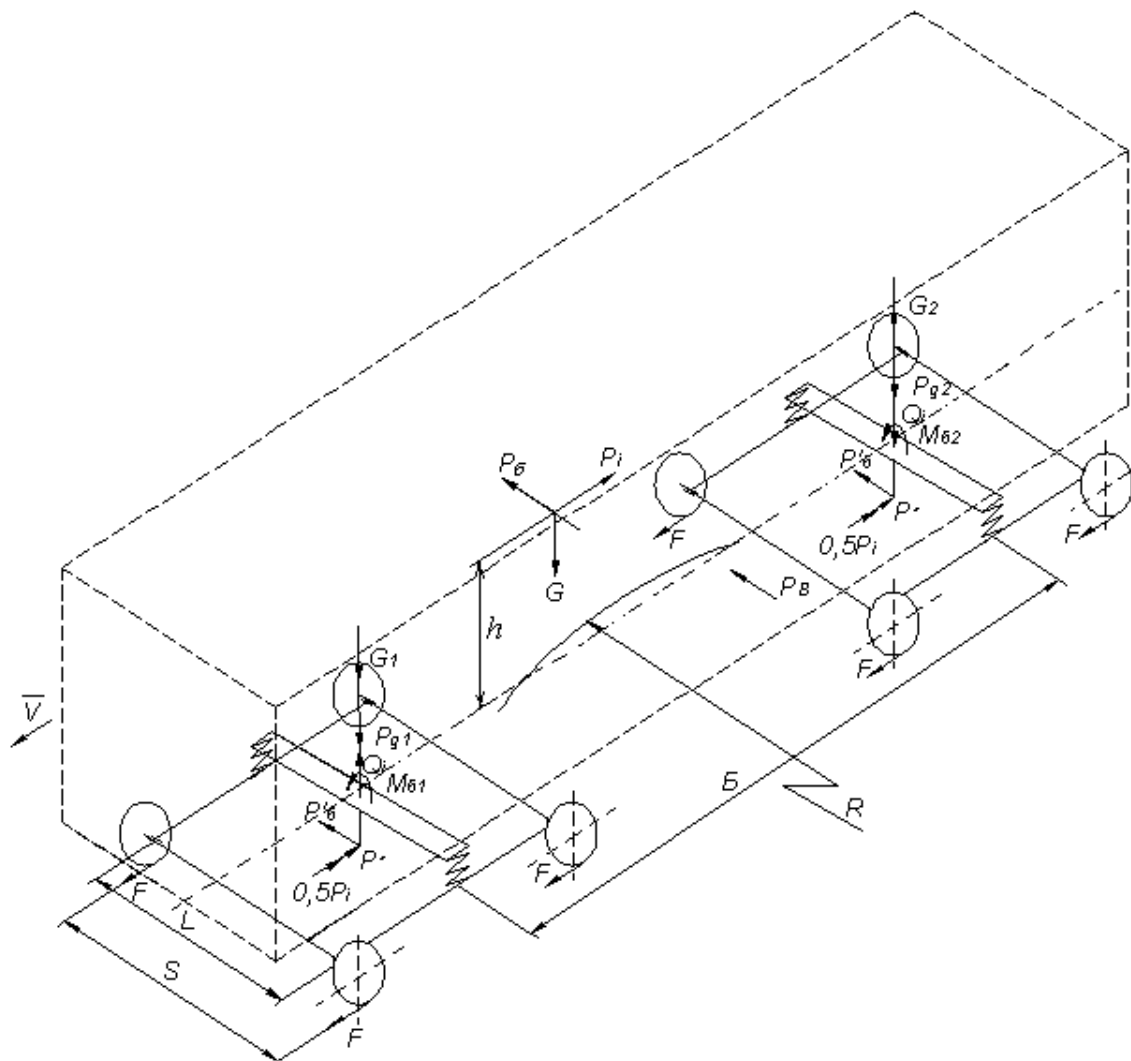


Рисунок 9.4 – Схема сил для розрахунку мостових елементів візків трамвайних вагонів (розгін)



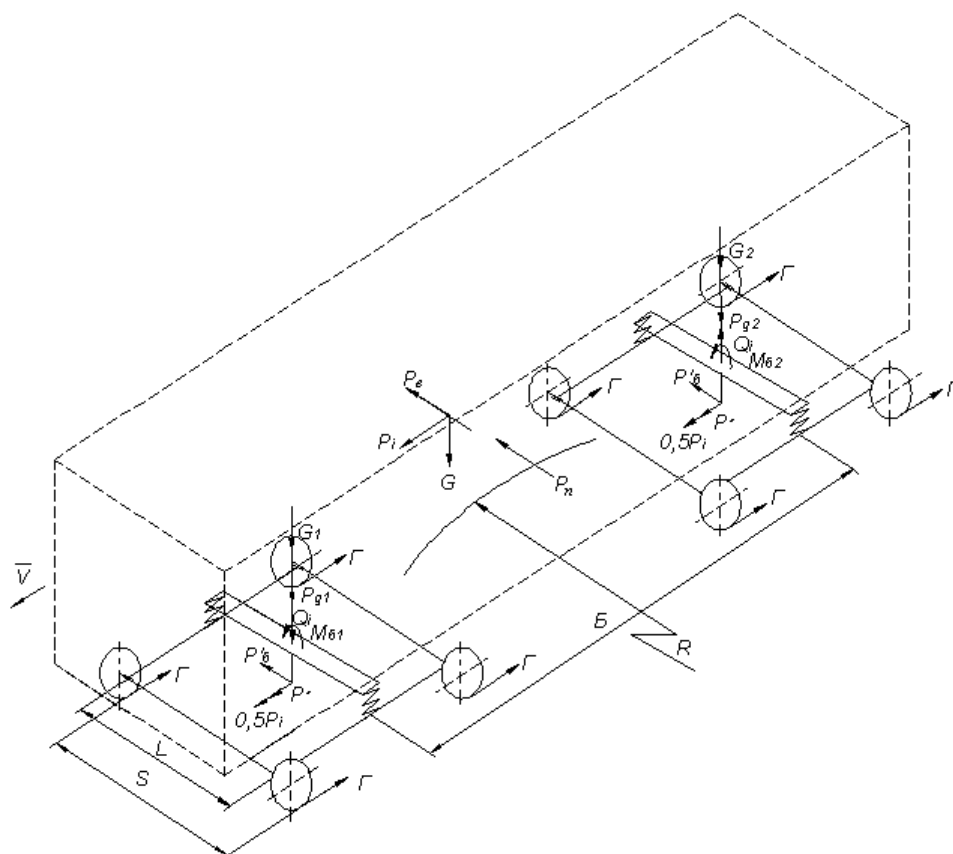


Рисунок 9.5 – Схема сил для розрахунку мостових елементів візків трамвайних вагонів (гальмування)

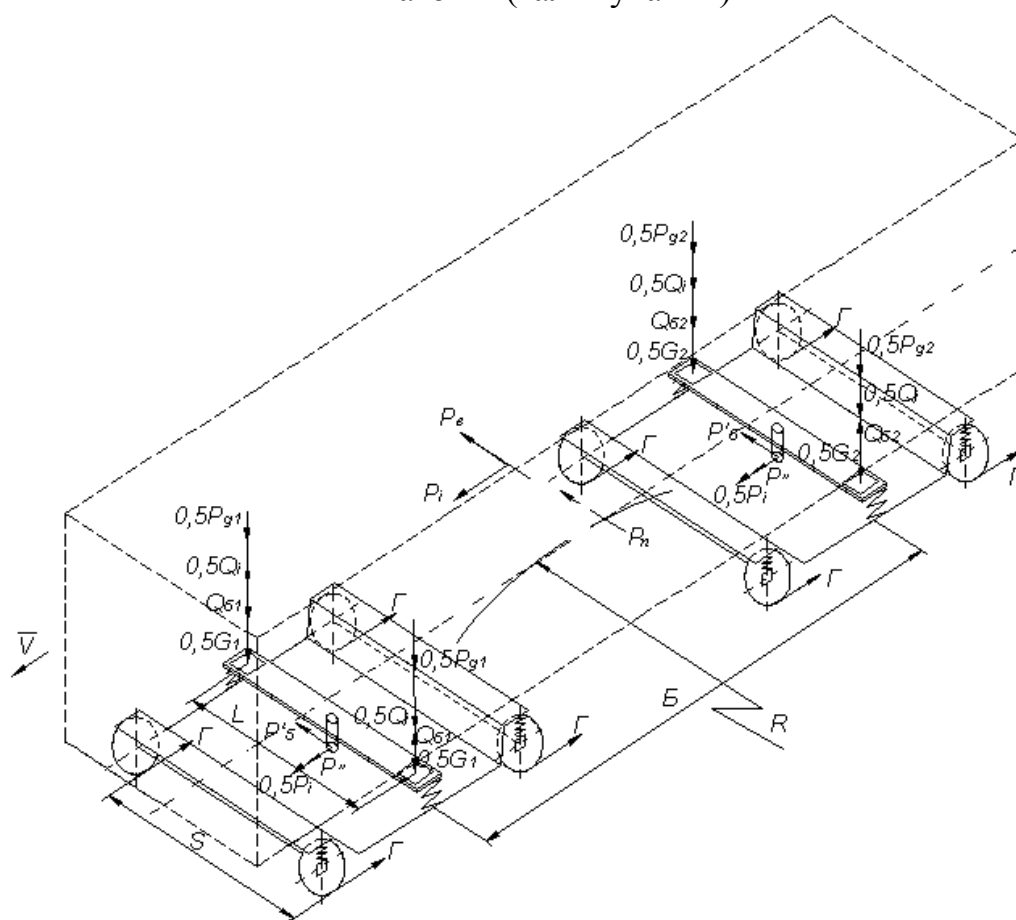


Рисунок 9.6 – Схема сил для розрахунку ходових частин візків вагонів метрополітену(опора кузова по краях шворневої балки) під час гальмування

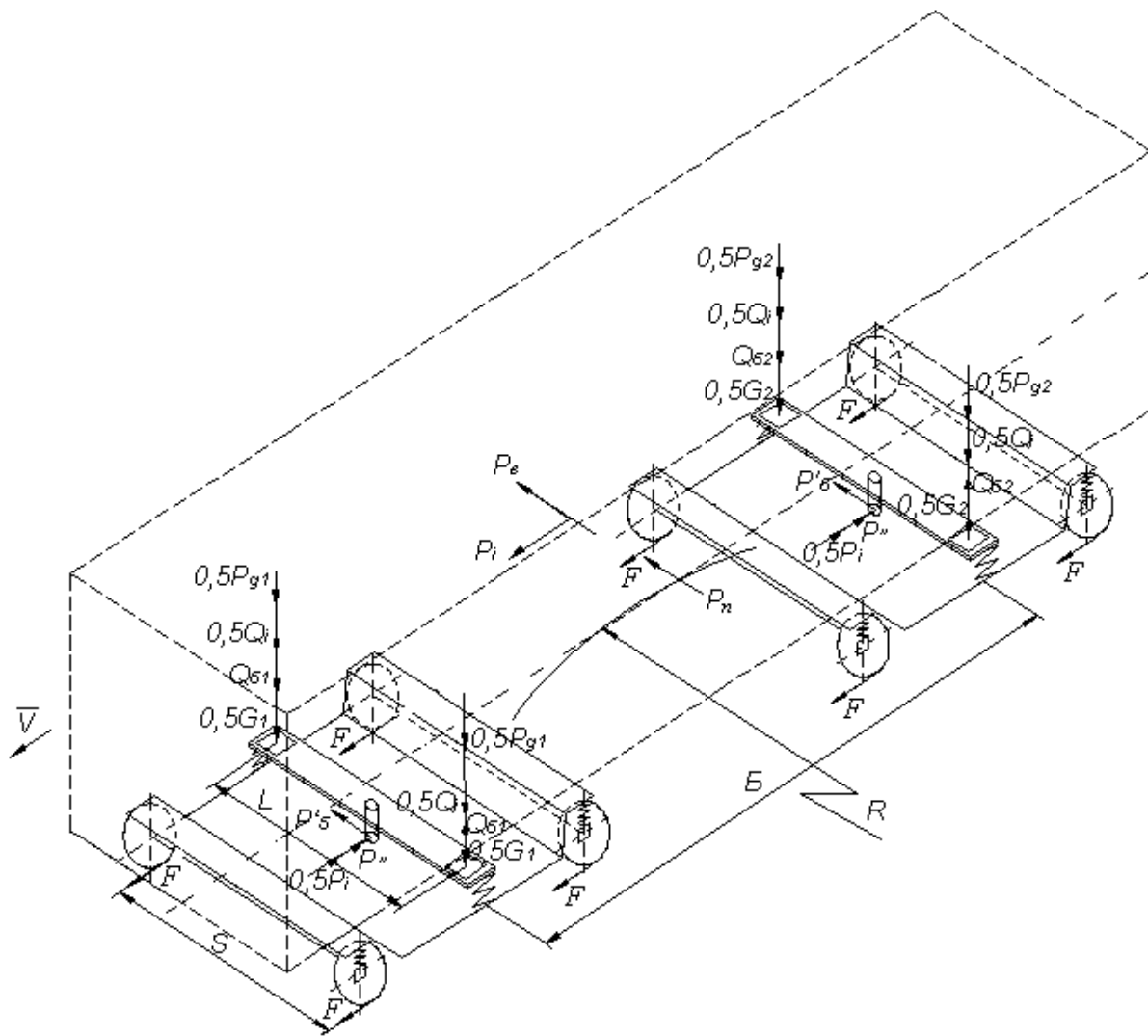


Рисунок 9.7 – Схема сил для розрахунку ходових частин візків вагонів метрополітену (опора кузова по краях шворневої балки) під час розгону

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скуріхін І. Л. Механічне обладнання рухомого складу міського електротранспорту. Навчальний посібник з грифом МОНМСУ // І. Л. Скуріхін, А. В. Коваленко. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 224 с.
2. Тархов С. Електротранспорт України. Енциклопедичний путівник / С. Тархов, К. Козлов, А. Оландер. – Київ : Варто, 2010. – 863 с.
3. Максимов А. Н. Городской электротранспорт. Троллейбус / А. Н. Максимов. – М. : Академия, 2004. – 249 с.
4. Кирсанов А. И. Трамвайные вагоны. В помощь водителю / А. И. Кирсанов. – М. : Железнодорожное дело, 2012. – 336 с.
5. Богдан Н. В. Троллейбус. Теория, конструирование, расчет / Н. В. Богдан, Ю. Е. Атаманов, А. И. Сафонов; / под ред. Н. В. Богдана. – Минск : Ураджай, 1999. – 346 с.
6. Добровольская Э. М. Устройство и ремонт электропоездов : монография / Э. М. Добровольская. – М. : ИКЦ Академкнига, 2005. – 455 с.

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до розрахунково-графічної роботи  
з навчальних дисциплін

**«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»,  
«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»**

*(для студентів 1–3 курсів усіх форм навчання спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,  
а також слухачів другої вищої освіти)*

Укладач **КОВАЛЕНКО** Андрій Віталійович

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *А. В. Коваленко*

План 2018 поз. 194 М

---

Підп. до друку 21.05.2018. Формат 60×84 /16.  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,0.  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків 61002.  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.