



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання курсового проекту  
з дисципліни

**"МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ  
РУХОМОГО СКЛАДУ"**

*(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної  
форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
за напрямом підготовки 6.050702 – «Електромеханіка»)*

Харків  
ХНУМГ  
2013

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни "Механічне обладнання рухомого складу". (для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050702 – «Електромеханіка») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Уклад.: І. Л. Скуріхін, А. В. Коваленко. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 23 с.

Укладачі:                    доц., к.т.н. І. Л. Скуріхін,  
                                      доц., к.т.н. А. В. Коваленко

Рецензент: проф., д.т.н. В.П. Шпачук

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,  
протокол №8 від 14.02.2012 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Загальні положення.....	5
2. Вихідні дані до курсового проекту.....	6
3. Методичні вказівки до вирішення планувальної задачі і визначенню вагових навантажень на ходові частини рухомого складу.....	7
4. Визначення центра ваги екіпажа за висотою.....	12
5. Вертикальне динамічне навантаження.....	13
6. Бічні навантаження й додаткові вертикальні й горизонтальні сили, що викликаються ними.....	14
7. Додаткові навантаження, викликані ухилом.....	15
8. Додаткові навантаження на ходові частини від дії сил інерції вздовж екіпажа.....	16
9. Схеми розрахункових навантажень.....	19

## ВСТУП

Студенти спеціальності “Електричний транспорт” – виконують курсовий проект з механічного обладнання рухомого складу (МОРС).

Проект включає такі етапи:

1. Вирішення планувального завдання, визначення пасажирського навантаження і розподіл ваги по ходових частинах рухомого складу (РС).
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 та ін.
4. Виконання графічної частини, що являє собою креслення загального вигляду ходових частин, окремих вузлів і деталей. Обсяг графічної частини: планування салону РС 1 аркуш на міліметровому папері формату А3, 1 аркуш формату А1 (за індивідуальним завданням).

Орієнтовно обсяг етапів проекту у відсотках складає: 1 етап – 20%, 2 етап – 20%, 3 етап – 40%, 4 етап – 15%, і оформлення пояснювальної записки – 5%.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

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

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

Величина навантажень, що сприймаються елементами конструкції РС у різних режимах роботи, обумовлюється для пасажирського РС числом пасажирів, станом дорожнього покриття, профілем шляху в плані і по вертикалі, динамікою руху, зчепленням колеса з рейкою (дорогою) й рядом інших чинників, що можуть змінюватись в широких межах. Основними документами, що нормують розрахункові навантаження і режими роботи РС, є ГОСТ 8802–78 “Вагони трамвайні пасажирські”, ГОСТ 7495–74 “Тролейбуси одноповерхові пасажирські”, ГОСТ 18226–72 “Вагони метрополітену”, “Правила експлуатації трамвая і троллейбуса”.

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

Навантаження, що діють на елементи механічного обладнання РС, підрозділяють на статичні й динамічні. До статичних навантажень відноситься власна вага екіпажа, що знаходиться 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, при коливаннях, від взаємодії між окремими частинами потягу. Механічне обладнання рухомого складу піддається також впливу навантажень, пов'язаних з роботою тягової передачі, механічних гальм, а також з технологією виготовлення і складання обладнання.

## 2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до першого і другого етапів курсового проекту

№ варіанту	Вид транс-порту	Довжина, м	Ширина, м	Кількість дверей по-двійних/одинарних	Радіус кривої, м	Ухил, %	Висота центра ваги мас, м	Конструктивна швидкість, км/г	Коефіцієнт інерції об'єктів 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 курсового проекту за типами рухомого складу:

- 1 Визначення направляючих 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 і 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 троллейбуса.
- 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 2-х колодкового гальма барабанного типу (тролейбус, трамвай).
- 20 Розрахунок редуктора тягової передачі (тролейбус, трамвай).
- 21 Розрахунок диференціала і півосей (тролейбус).

### **3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИРІШЕННЯ ПЛАНУВАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ І ВИЗНАЧЕННЮ ВАГОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ХОДОВІ ЧАСТИНИ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Вирішення планувального завдання необхідно для визначення вагових навантажень РС. При орієнтовних розрахунках, зокрема, у курсовому проектуванні, власна вага екіпажа тари  $G_T$  може бути визначена за рівнянням:

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

- де  $K_F$  – коефіцієнт питомої ваги РС, кг/м<sup>2</sup>;  
 $F_{\text{повн}} = D \cdot Ш$  – габаритна площа екіпажа, м<sup>2</sup>;  
 $D$  – габаритна довжина кузова, м;  
 $Ш$  – габаритна ширина кузова, м.

Загальна тенденція при проектуванні пасажирського РС полягає в зменшенні власної ваги екіпажа і, отже, у зниженні його питомої ваги. Сучасний РС, як то: трамвайні вагони мають питому вагу від 350 до 880 кг/м<sup>2</sup>, троллейбуси від 300 до 450 кг/м<sup>2</sup> і вагони метрополітену від 300 до 800 кг/м<sup>2</sup>.

Слід приймати такі значення ширини і довжини РС: ширина троллейбусів – 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, троллейбусів із жорстким кузовом – 12 м, вагонів метрополітену – 19–20 м, шарнірно-зчленованих трамваїв – 24–25 м, шарнірно-зчленованих троллейбусів – 24–25 м.

Спочатку проводять попереднє планування салону рухомого складу виходячи з наступних вимог:

- ширина подвійного сидіння – 0,9 м;
- ширина одинарного сидіння – 0,5 м;
- ширина одинарних дверей - не менш 650 мм;
- ширина подвійних дверей - не менш 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 і тролейбуса можна визначити розділивши площу підніжки на ширину двері.

Оскільки ширина і довжина РС обмежується відповідними ДСТ на РС, умовами вписування в криві й площею, що займають потяги, можна завдання з проектування РС починати, задаючись габаритною довжиною і 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  $F_{\text{ст}} = 2 v_{\text{ст}} \cdot (D + Ш)$  – площа, що займають стінки РС,  $\text{м}^2$ ;

$v_{\text{ст}}$  – товщина стінки, м. (для тролейбуса і 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 число стоячих  $E_{\text{ст}}$  і сидячих  $E_{\text{сид}}$  пасажирів, виходячи з прийнятого 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 РС, 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,  $\text{м}^2/\text{чол}$ .

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

Таким чином,

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

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

Виходячи з того, що вага одного пасажирів при розрахунках дорівнює  $g = 70$  кг, а максимальний коефіцієнт наповнення дорівнює  $10$  чол/ $\text{м}^2$  (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 по ходових частинах проводять наступним чином. Вагу тари кузова в курсовому проекті можна вважати розподіленою рівномірно по довжині екіпажа. Це навантаження замінюють зосередженою силою, яка прикладена в центрі габаритної довжини  $D$ . У центрі ваги і відповідних площ, що займають сидячі й стоячі пасажирів на площадках, проходах й ін., прикладається відповідна вага пасажирів. Згідно з вимогами повільності ходу, вписування в криві й коридору, що займається РС при русі на вулицях, співвідношення довжини  $D$  до бази екіпажа  $B$  повинно складати: 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 можна прийняти рівним  $D_{\text{гол}}/B_{\text{гол}} = 2 \div 2,2$ , а відношення довжини головної секції кузова і напівпричепа  $D_{\text{пр}}$  – рівним  $D_{\text{гол}}/B_{\text{пр}}$  передній зв'яз рекомендують брати рівним відстані від головного (другого по ходу) моста до точки зчленування кузовних секцій. Оскільки в курсовому проекті довжина всього екіпажа задана, то, користуючись зазначеними вище співвідношеннями, визначають базу екі-



пажа. Виходячи з рівності переднього і заднього зв'язів, що диктуються поздовжньою прохідністю для сучасного РС, знаходять за ваговими моментами щодо опор кузова вертикальні реакції в опорах, що будуть рівні навантаженням на відповідні ходові частини (див. розрахункові схеми на рис. 3.1–3.3).

Перевірку розподілу ваги при максимальному пасажирському навантаженні за ходовими частинами роблять таким чином. Для двохосьових 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 і задню – 39–40%; для вагонів трамвая і метрополітена 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 курсовому проекті виконують на комп'ютері.

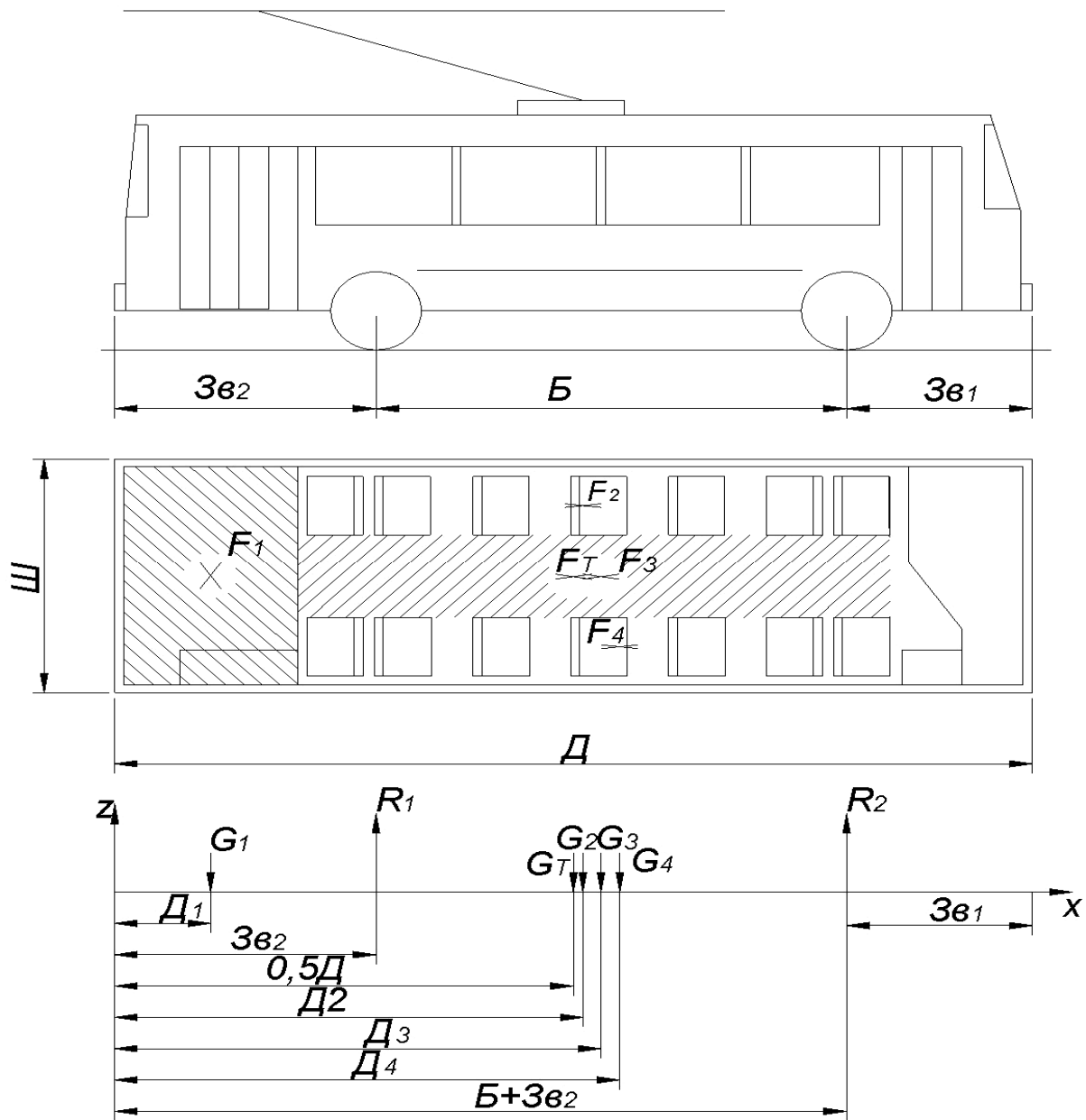


Рис. 3.1 – Вагові навантаження на мости двовісного тролейбуса

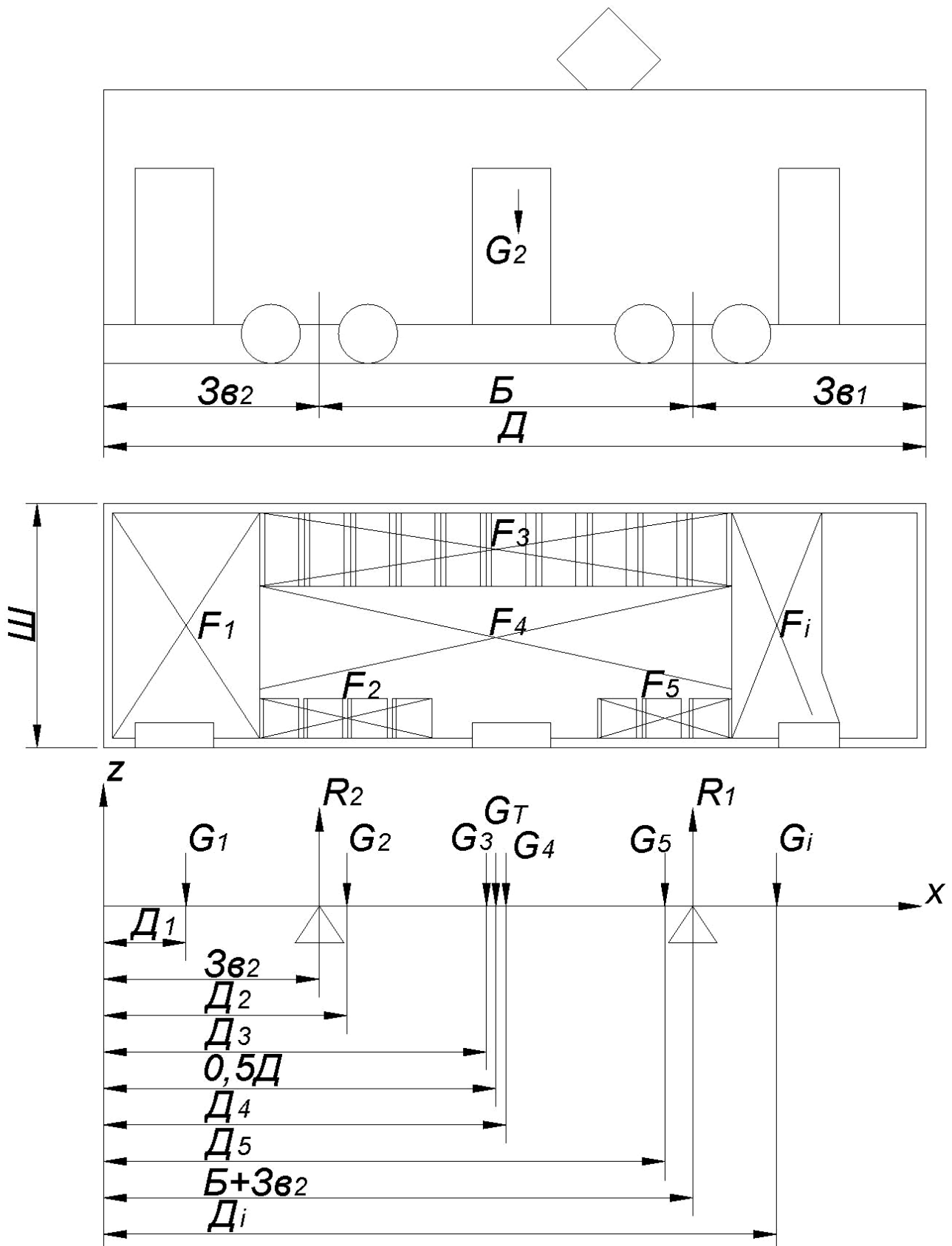


Рис. 3.2 – Вагові навантаження на візки чотиривісного трамвайного вагона

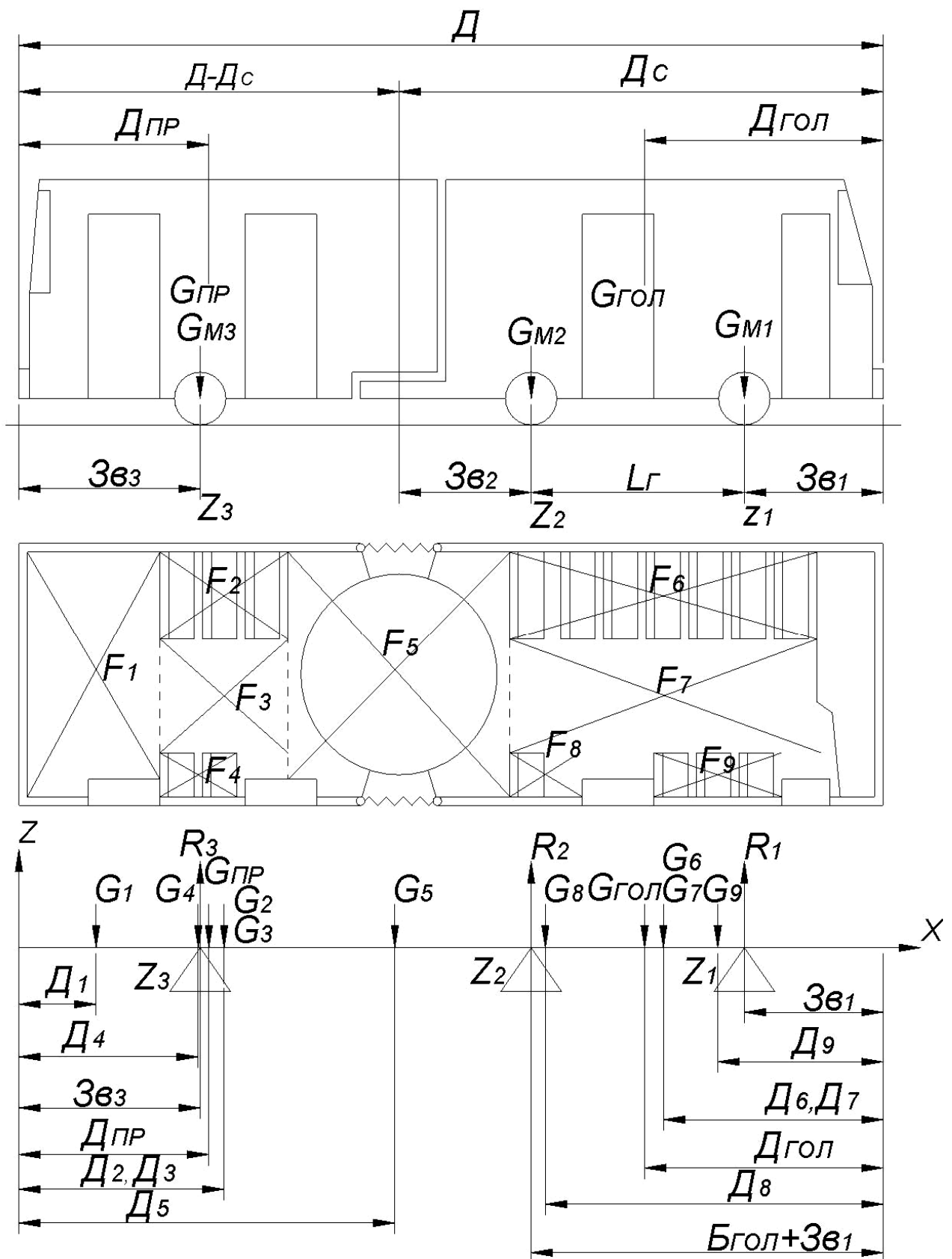


Рис. 3.3 – Вагові навантаження на мости тривісного шарнірно-зчленованого тролейбуса

#### 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА 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 по вертикалі;

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

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

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

Для практичного обчислення центра ваги можна скористатись наступним способом. В обраному масштабі розташовують найбільш важке обладнання РС, точки прикладення ваг пасажирів і таким чином 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 і пасажирського навантаження. Вирахувавши прогин підвіски, віднімають його з координати центра ваги по висоті.

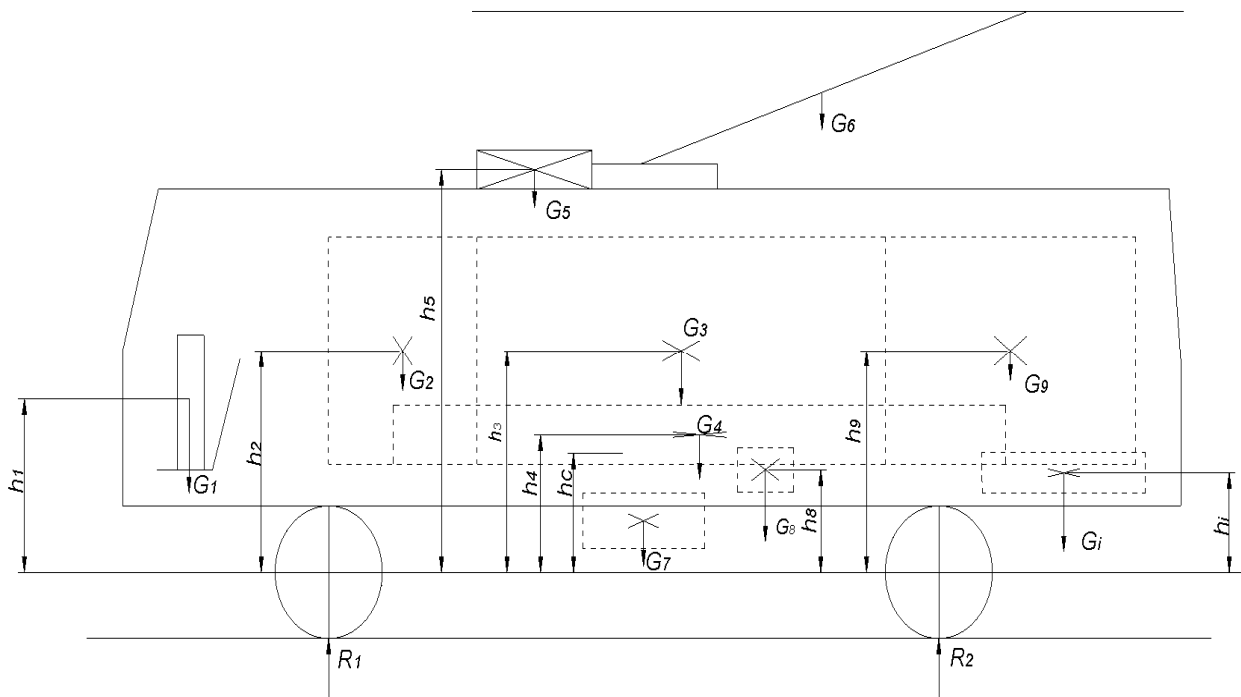


Рис. 4.1 – Схема до визначення центра ваги рухомого складу

## 5. ВЕРТИКАЛЬНЕ ДИНАМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Вертикальне динамічне навантаження зумовлюється прискореннями підресорних частин механічного обладнання, що виникають при вертикальних коливаннях кузова, наїзді на нерівності. Теоретичне визначення динамічних навантажень є складним завданням. Часто 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 ж деталь.

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

де  $G = R_1 + R_2$  – повна вага РС з пасажиром;

$R_1, R_2$  – реакції в опорах кузова.

Цей коефіцієнт завжди більше одиниці. При множенні ваги РС 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 направляєтся в розрахунках у ту ж сторону, що і сили ваги. Для рейкового РС коефіцієнт вертикальної динаміки може бути підрахований за формулою:

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

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

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

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

Можна рекомендувати такі розміри коефіцієнта вертикальної динаміки:

Для рейкового РС: при розрахунку кузова  $K_d = 1,1 - 1,5$ ;

– при розрахунку підресорених елементів ходових частин  $K_d = 1,15$ ;

– при розрахунку непідресорених елементів ходових частин  $K_d = 1,2 - 1,3$ .

Для безрейкового РС:

– при розрахунку кузова  $K_d = 1,2 - 1,3$ ;

– при розрахунку непідресорених елементів ходових частин  $K_d = 2$ .

## 6. БІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ Й ДОДАТКОВІ ВЕРТИКАЛЬНІ Й ГОРИЗОНТАЛЬНІ СИЛИ, ЩО ВИКЛИКАЮТЬСЯ НИМИ

До бічних навантажень  $P_{\text{б}}$  (рис. 6.1) відносять відцентрову силу  $P_{\text{в}}$ , силу бічного тиску повітря. Відцентрову силу, що виникає при прямованні по кривій, приймають як прикладену в центрі ваги на висоті  $h$  (рис. 6.1).

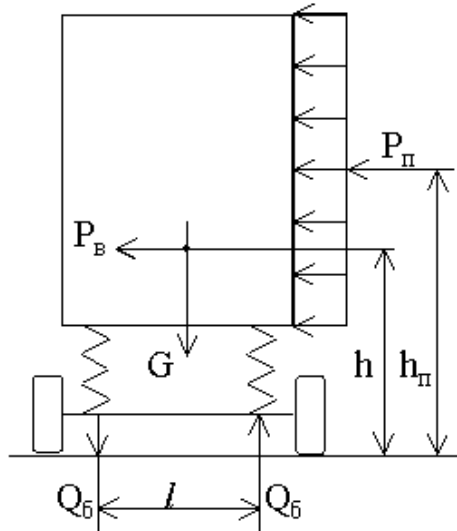


Рис. 6.1 – Розрахункова схема бічних навантажень та додаткових вертикальних і горизонтальних сил, викликаних ними

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

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

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

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

Повітряна складова бічної сили  $P_{\text{п}}$  прикладається на висоті середини бічної поверхні кузова  $h_{\text{п}} = 0,5h_{\text{к}}$  і дорівнює:

$$P_{\text{п}} = pS_{\text{б}}, \quad (6.3)$$

де  $p = 5$  мПа – розрахунковий питомий тиск бічного повітря;

$S_{\text{б}}$  – площа бічної поверхні кузова, м<sup>2</sup>.

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

Додаткові вертикальні навантаження від дії бічних сил будуть:

$$Q_{\text{б}} = \frac{P_{\text{в}} \cdot h + P_{\text{п}} h_{\text{п}}}{l} \quad (6.4)$$

## 7. ДОДАТКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ, ВИКЛИКАНІ УХИЛОМ

При русі екіпажа на ухилах з'являється горизонтальна сила, що є складовою ваги і спрямована завжди вниз по ухилу (рис. 7.1). Ця сила викликає додаткове вертикальне навантаження  $Q_{ув}$  і горизонтальне навантаження  $Q_{уг}$ , що діють на ходові частини:

$$Q_{ув} = G'h/Б; \quad (7.1)$$

$$Q_{уг} = 0,5G'; \quad (7.2)$$

При цьому сила ваги розкладається на дві складові: горизонтальну  $G'$  і вертикальну  $G''$ :

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

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

Тут  $\alpha_y$  визначають за розміром ухилу "i", що задається у відсотках. Таким чином:

$$i = \operatorname{tg} \alpha_y,$$

$$\alpha_y = \operatorname{arctg} i.$$

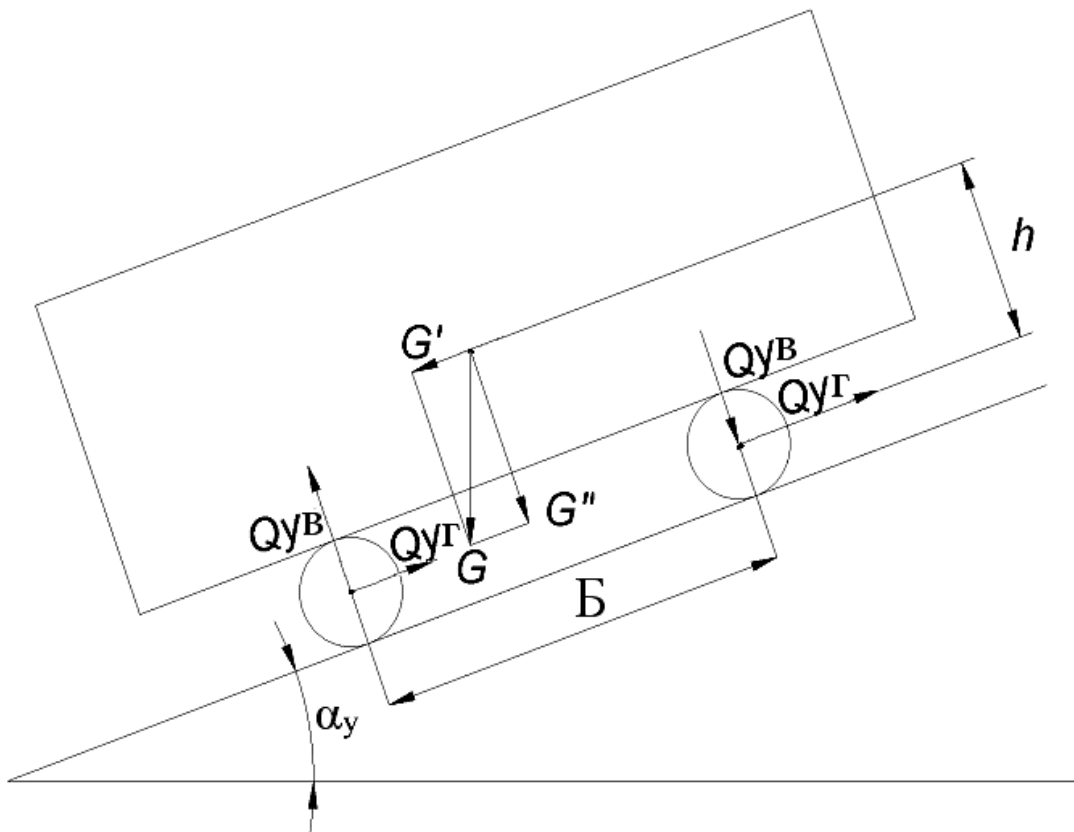


Рис. 7.1 – Схема додаткових навантажень на ходові частини екіпажа на ухилі

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

При пуску і гальмуванні сила інерції прикладається в центрі ваги і направлена вздовж екіпажа. При гальмуванні сила інерції спрямована вперед за рухом, а при пуску (розгоні) – проти руху. Сили інерції викликають додаткові горизонтальні і вертикальні навантаження (рис. 8.1–8.3), що впливають на ходові частини. Силу інерції кузова з пасажирами визначають за формулою:

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

де  $m$  – маса кузова з пасажирами;

$\frac{dV}{dt}$  – 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 обертових мас екіпажа (для тролейбусів і трамваїв 1,16, для метро 1,18);

$\psi$  – коефіцієнт зчеплення.

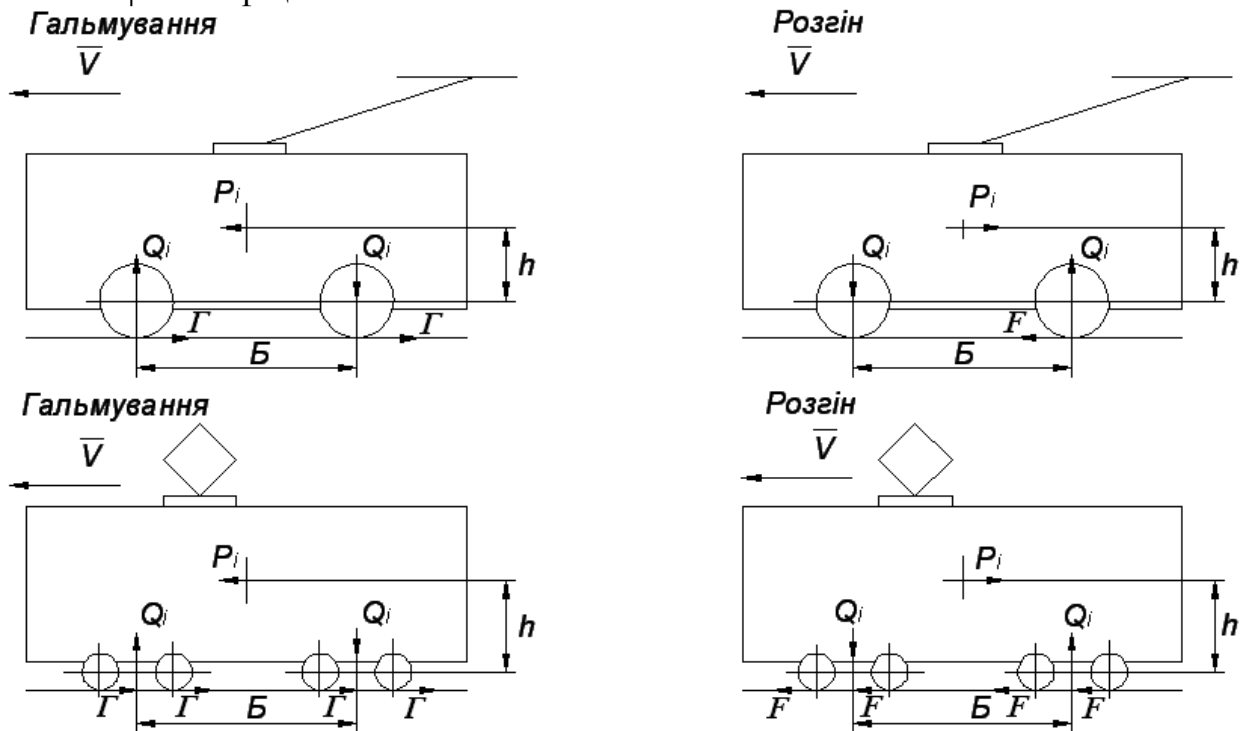


Рис. 8.1 – Додаткові вертикальні й горизонтальні навантаження тролейбуса і трамвая при гальмуванні й пуску

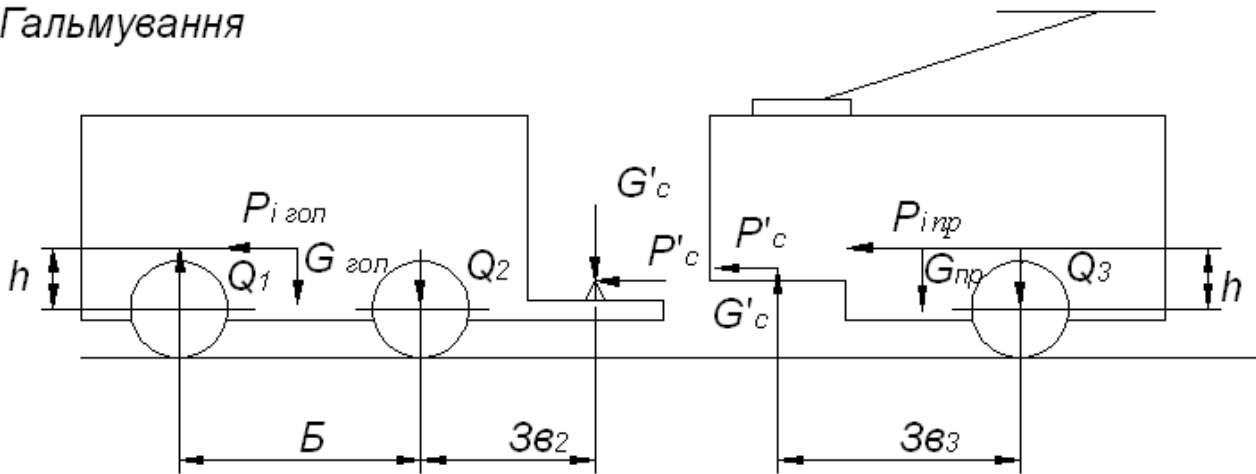


Величину прискорення (уповільнення) визначають розміром коефіцієнта зчеплення, що для рейкового РС лежить у межах  $\psi = 0,15 \div 0,33$ , а для тролейбусів  $\psi = 0,4 \div 0,8$ . При встановленні навантажень приймають великі значення розмірів уповільнень і прискорень. З урахуванням того, що сучасні трамвайні вагони мають рейкове електромагнітне гальмо, що не залежить від зчеплення коліс із рейкою, можна приймати такі значення прискорень і уповільнень (табл. 8.1)

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

Гальмування



Розгін

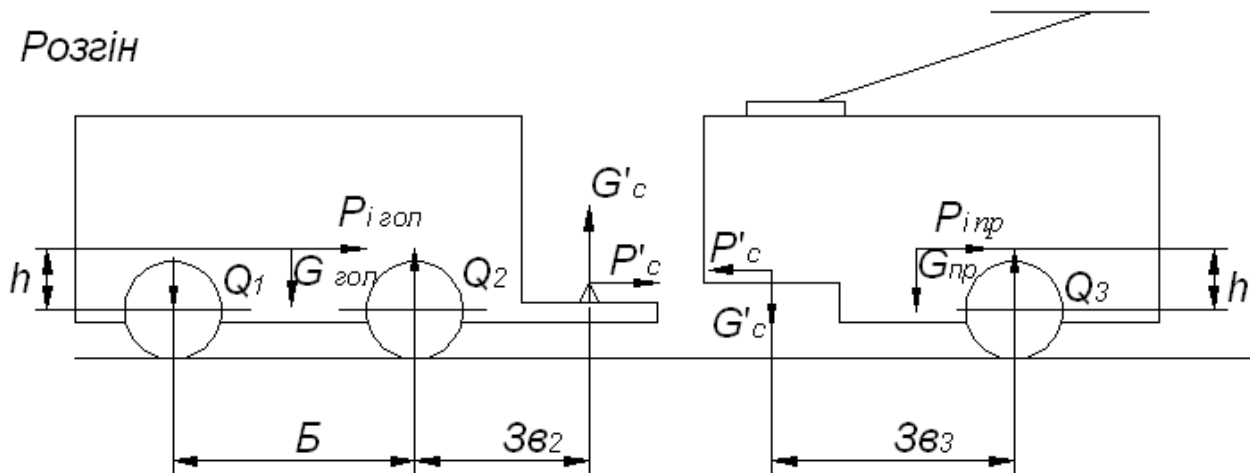


Рис. 8.2 – Додаткові вертикальні й горизонтальні навантаження при гальмуванні й пуску шарнірно-з'єднаних тривісних тролейбусів

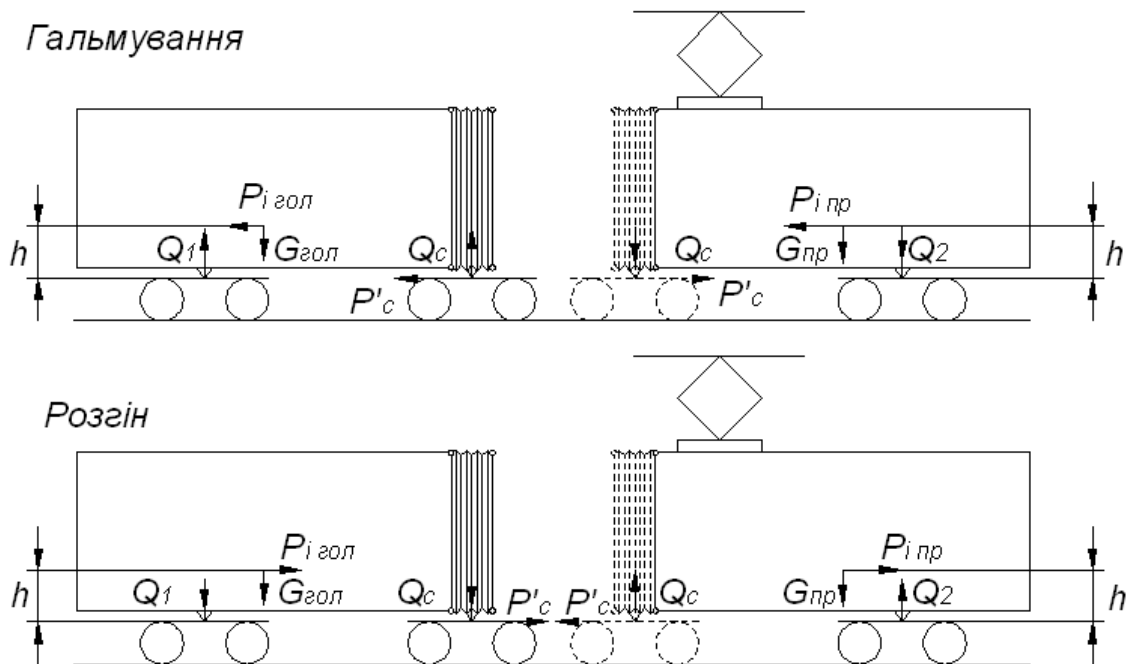


Рис. 8.3 – Додаткові вертикальні й горизонтальні навантаження при гальмуванні й пуску шарнірно-з'єднаних трамваїв

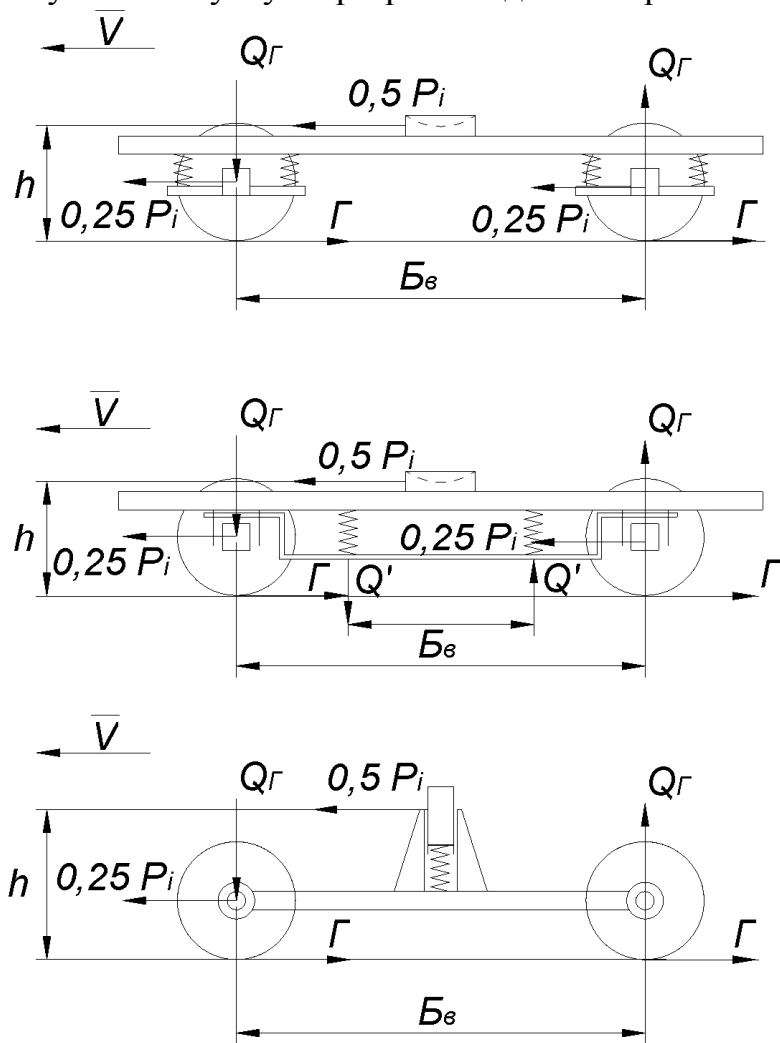


Рис. 8.4 – Схеми вертикальних і горизонтальних додаткових навантажень на колісні пари трамвайних візків

Формулу (8.3) використовують при розрахунках: мостів тролейбусів, шворневої й поздовжньої балок мостових візків. При розрахунках елементів двовісних поворотних візків трамвайних вагонів горизонтальні сили (див. рис. 8.4), прикладені в опорному вузлі кузова, викликають перерозподіл вертикального навантаження.

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

Горизонтальні додаткові навантаження визначають так:

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

де  $\kappa'$  – коефіцієнт, що враховує число 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.

## 9. СХЕМИ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

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

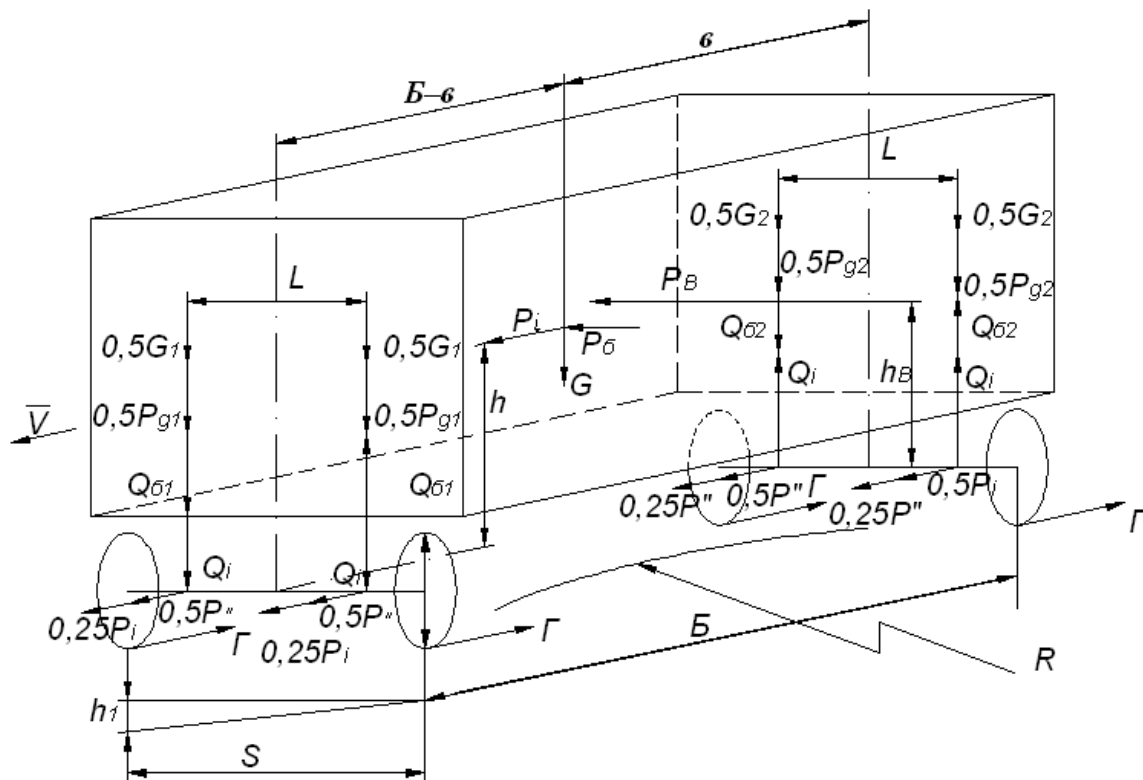


Рис. 9.1 – Схема сил при розрахунку двовісного тролейбуса (гальмування)

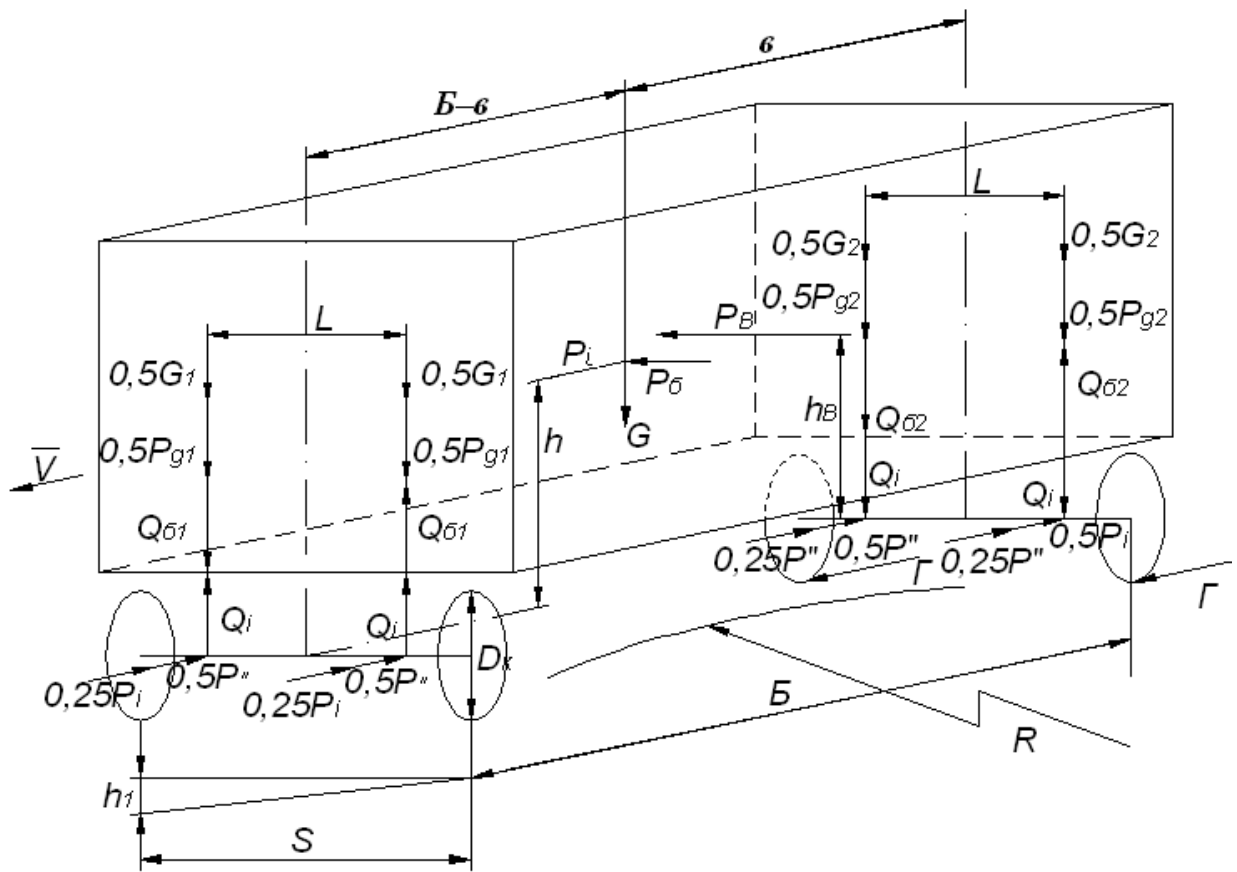


Рис. 9.2 – Схема сил при розрахунку двовісного тролейбуса (розгін)

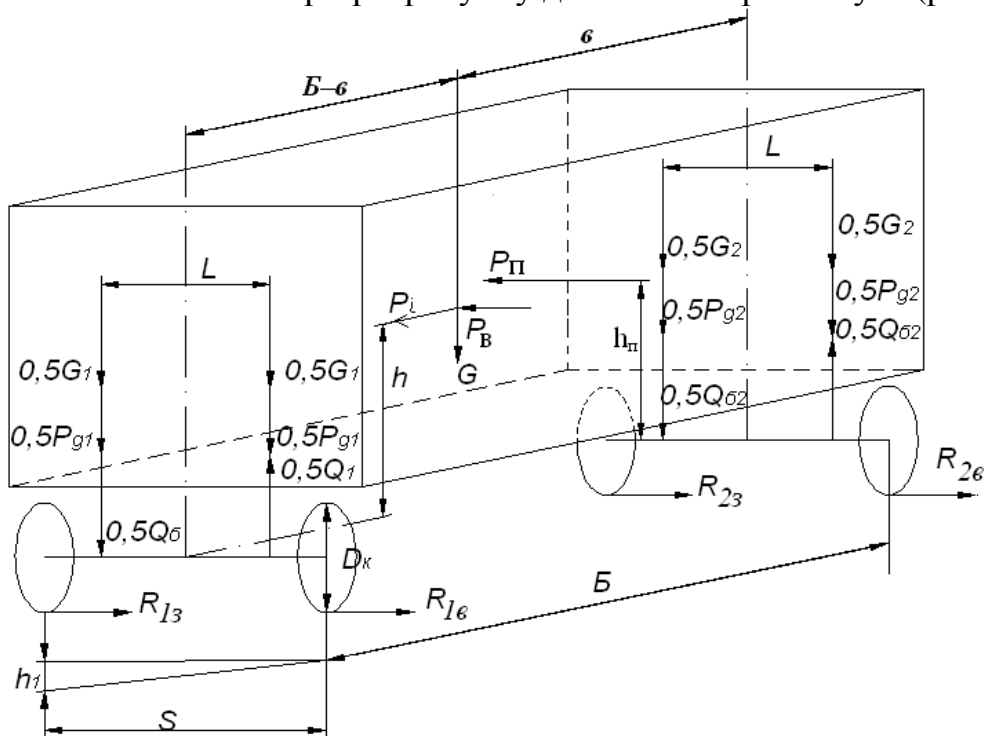


Рис. 9.3 – Схема сил при розрахунку двовісного тролейбуса (занос)

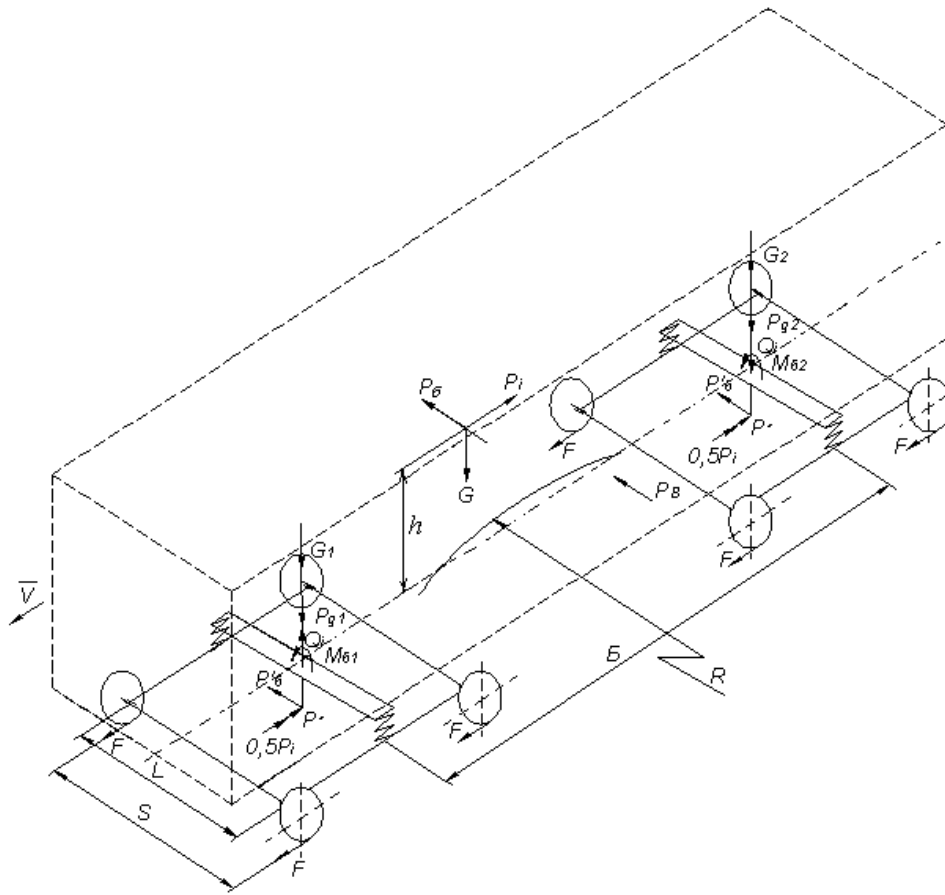


Рис 9.4 – Схема сил при розрахунку мостових елементів візків трамвайних вагонів (розгін)

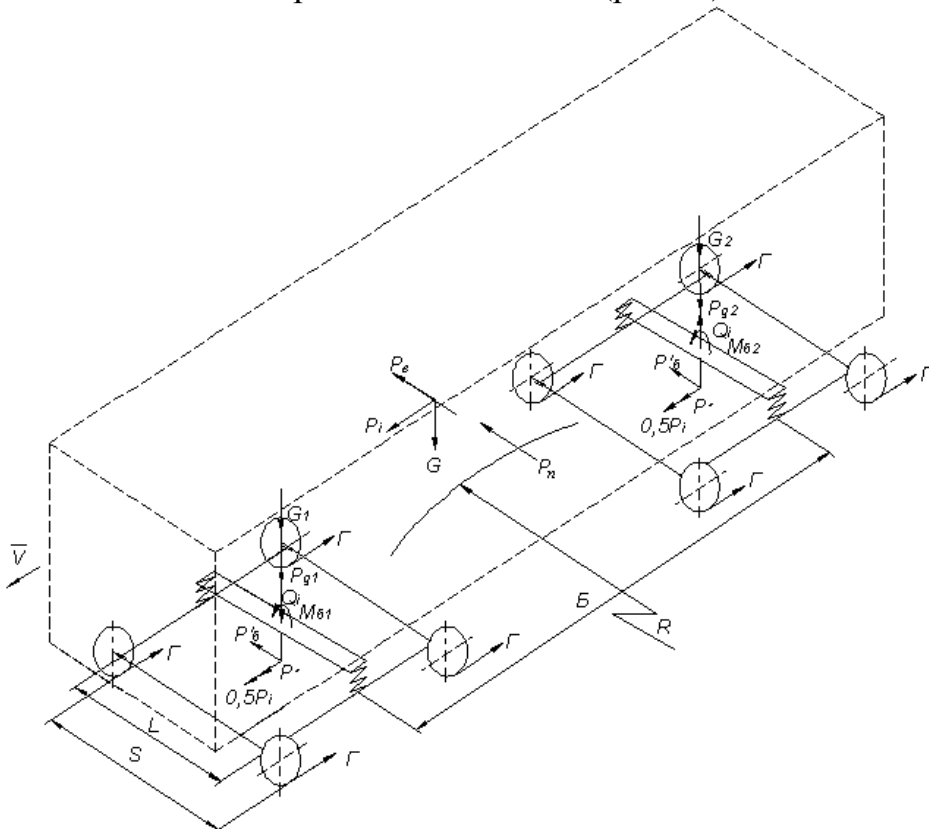


Рис 9.5 – Схема сил при розрахунку мостових елементів візків трамвайних вагонів (гальмування)

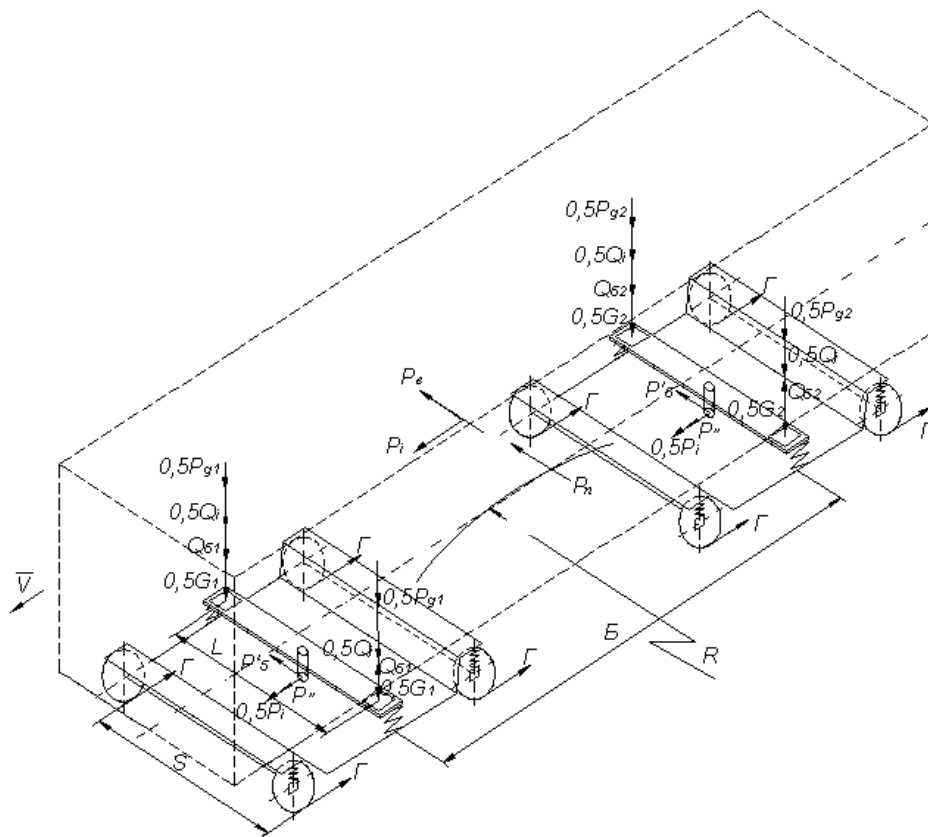


Рис. 9.6 – Схема сил при розрахунку ходових частин візків вагонів метрополітену (опора кузова по краях шворневої балки) при гальмуванні

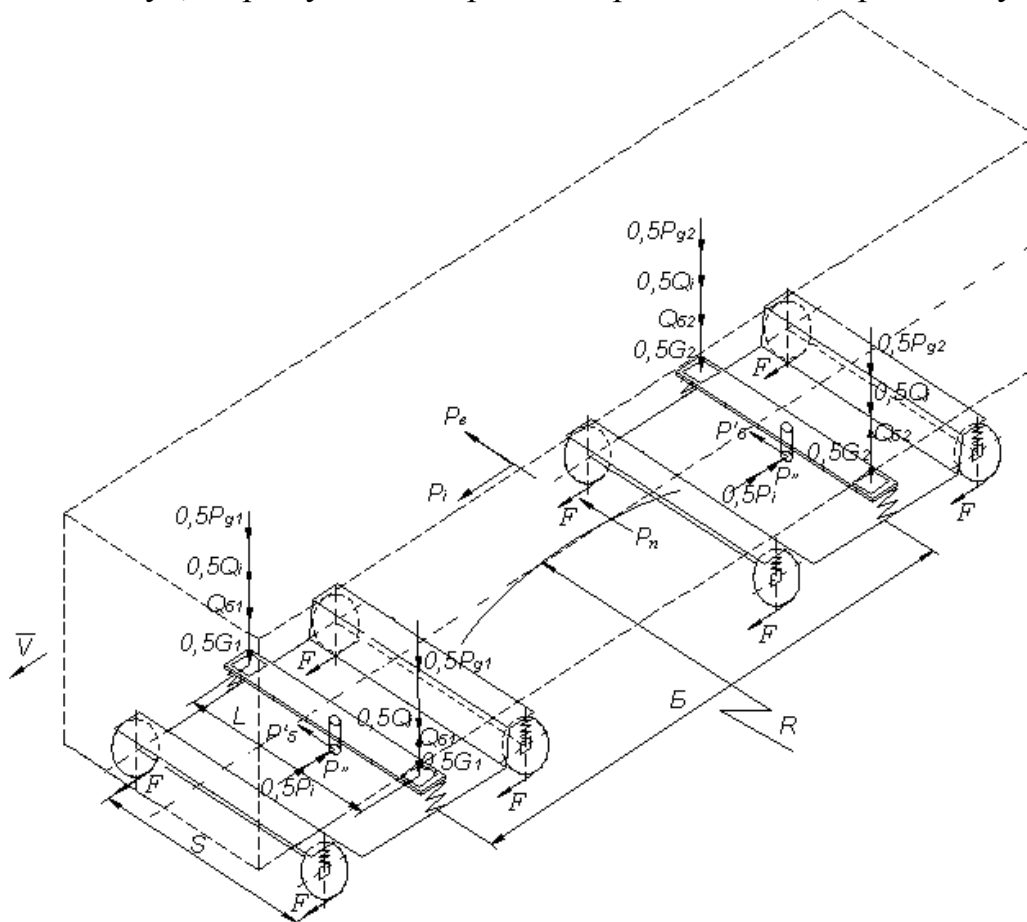


Рис. 9.7 – Схема сил при розрахунку ходових частин візків вагонів метрополітену (опора кузова по краях шворневої балки) при розгоні

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання курсового проекту  
з дисципліни

**"МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ  
РУХОМОГО СКЛАДУ"**

*(для студентів 3 курсу денної та 4 курсу заочної  
форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
за напрямом підготовки 6.050702 – «Електромеханіка»)*

Укладачі: **СКУРІХІН** Ігор Леонідович  
**КОВАЛЕНКО** Андрій Віталійович

Відповідальний за випуск *В. Х. Далека*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *О. А. Балашова*

План видання 2012, поз. 167М

---

Підп. до друку 27.03.12  
Друк на ризографі  
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16  
Ум.-друк. арк. 1,3  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.