

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Міжнародна науково-практична конференція
«ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»
11-12 березня 2024 року

ВЗАЄМОДІЯ ПОВНОПРИВІДНОГО АВТОМОБІЛЯ ЗІ СТЕНДОМ
ПРИ ТЯГОВИХ ВИПРОБУВАННЯХ

Доцент кафедри ТЕСА
ім. проф. Говорущенка М.Я.

Мармут І.А.

Харків 2024

Аналізуючи сучасні тенденції розвитку автомобілебудування, можна помітити, що з кожним роком збільшується кількість автомобілів з повним приводом. Вступивши на шлях створення повнопривідних легкових автомобілів, компанії працювали в декількох напрямках. У результаті з'явився цілий ряд конструктивних схем повнопривідних трансмісій - Quattro, Syncro, 4Matic, 4Motion тощо. За принципом дії їх можна розділити на три великі групи:

- постійний повний привід;
- повний привід, що підключається автоматично;
- системи з ручним включенням повного приводу.

У зв'язку з великою кількістю повнопривідних автомобілів постає необхідність у їхньому технічному обслуговуванні, зокрема, у діагностуванні тягових властивостей.

ROTOTEST Industrial Dynamometer Systems



Найбільше поширення для цього одержали роликові стенди. У переважній більшості випадків стенди мають конструкцію для перевірки тільки однієї осі (одноосьові стенди). При діагностуванні тільки одна з осей автомобіля перебуває на стенді. Колеса інших осей (осі) перебувають на підлозі. У цьому випадку при діагностуванні автомобілів із приводом на одну вісь проблем не виникає.

MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG **Dynamometer for Passenger Cars**

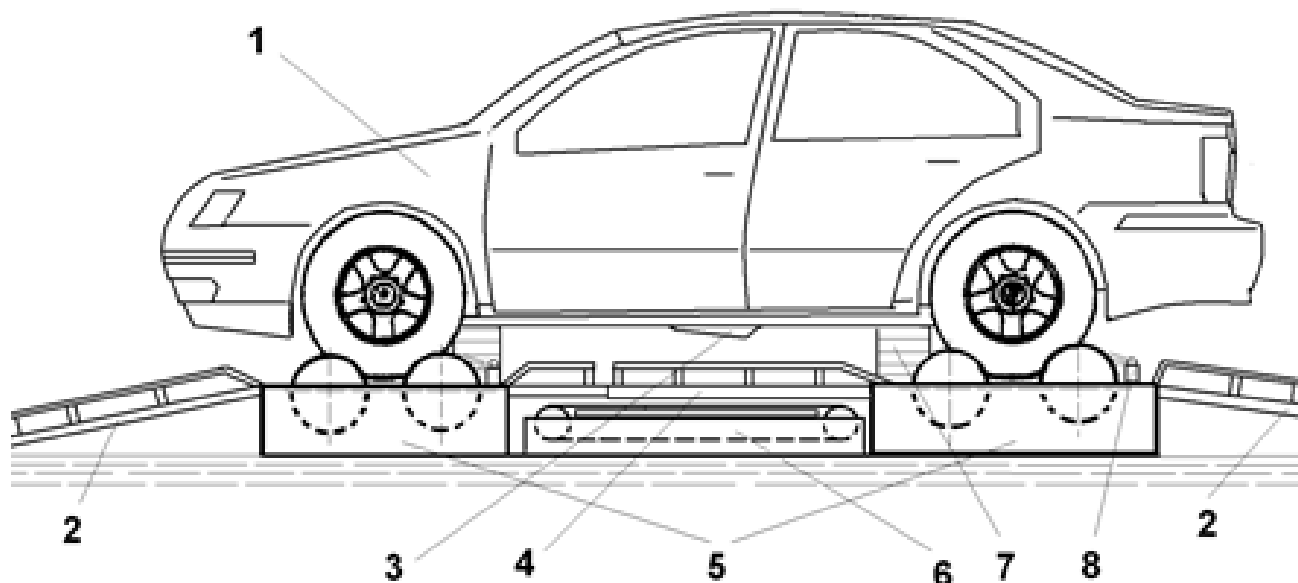
FPS 2700



LPS 3000

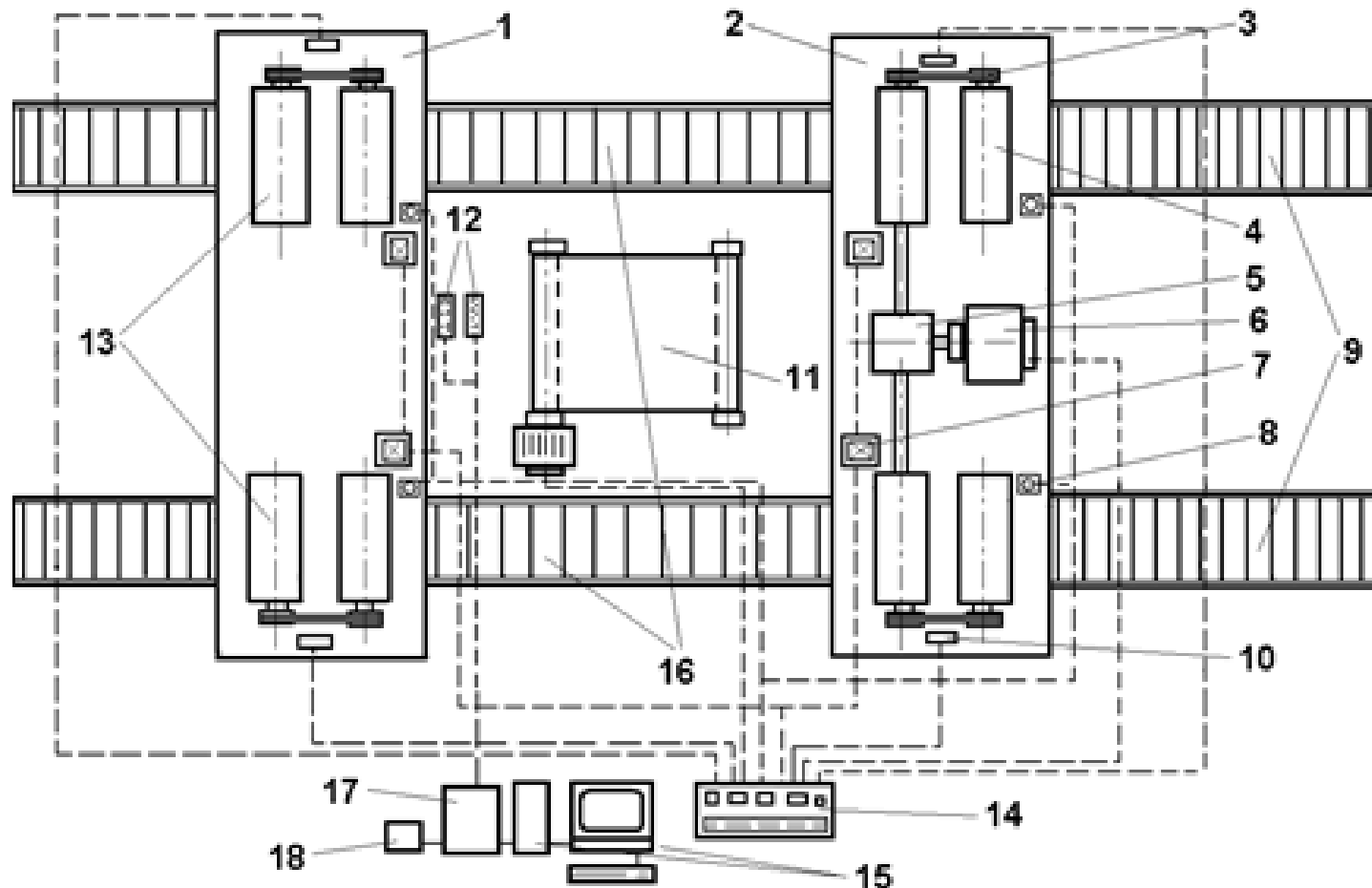


Але при діагностуванні повнопривідних автомобілів можуть виникнути проблеми. Оскільки автомобіль оснащений повним приводом, то момент починає передаватися з передньої осі на задню вісь і автомобіль може з'їхати зі стенда. Для перевірки автомобілів 4x4 треба використовувати двохосьовий стенд із рухомим заднім роликівим агрегатом, регульованим під різні бази автомобілів. Під час виміру всі колеса автомобіля обертаються в прямому напрямку. Даний спосіб перевірки тягових властивостей є найбільш коректним для сучасних повнопривідних автомобілів з надзвичайно складними трансмісіями. Він дозволяє найбільш точно оцінити реальний технічний стан силового агрегату. Загальний вид діагностичного стенду представлений на рисунках 1 та 2.



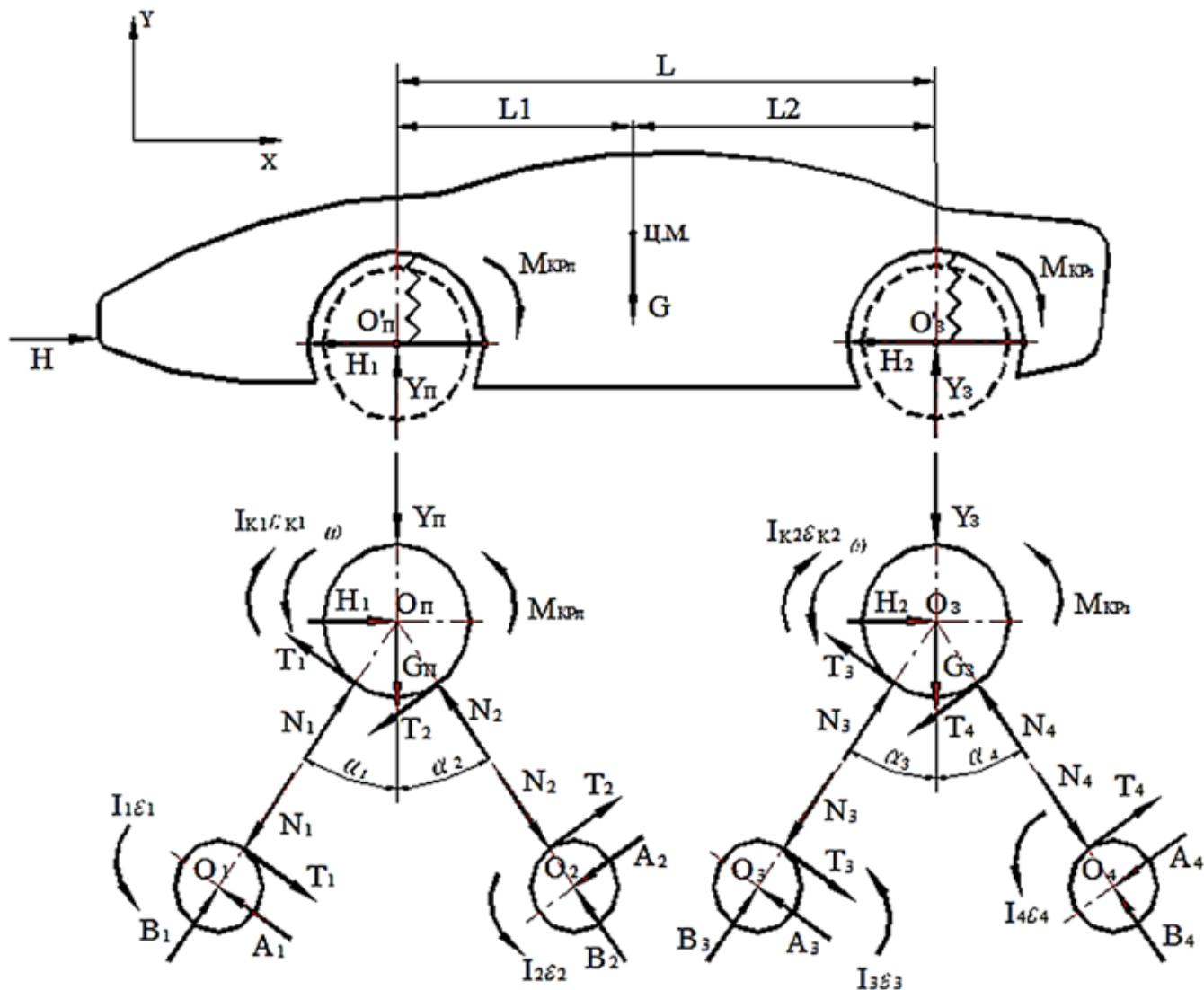
1 - автомобіль, що перевіряється; 2 - в'їзні апарелі; 3 - антена радарного датчика швидкості; 4 - розсувні апарелі; 5 – роликіві модулі; 6 – доріжка імітатора руху; 7 - пневматичні піднімальні пристрої; 8 - керовані пульверизатори для змочування роликів

Рис. 1. Повноопорний роликівий стенд інерційного типу



1 - пасивний роликовий модуль; 2 - активний роликовий модуль; 3 - шків з клиноремінною передачею; 4 - ролики активного модуля; 5 - редуктор активного модуля; 6 - електро/гідропривід активного модуля; 7 - пневматичні піднімальні пристрої; 8 - керовані пульверизатори для змочування роликів; 9 - в'їзні апарелі; 10 - система виміру швидкості; 11 – доріжка імітатора руху (у випадку застосування радарного датчика швидкості); 12 – роз'єм підключення діагностичного сканера до системи бортової самодіагностики; 13 - ролики пасивного модуля; 14 - пульт керування діагностичним стендом; 15 - персональний комп'ютер; 16 - розсувні апарелі; 17 - діагностичний сканер; 18 - принтер

Рис. 2. Схема розташування основних елементів повноопорного роликового стенда



$M_{крп}$, $M_{крз}$ – крутні моменти на передньому і задньому колесах; G , $G_{п}$, $G_{з}$ – відповідно ваги кузова без переднього і заднього мостів і коліс, переднього і заднього мостів з колесами; H_1 , $Y_{п}$ – складові зусилля в передній підвісці; H_2 , Y_3 – складові зусилля в задній підвісці; H – зусилля в кріпильному з'єднанні

Рис. 1. Схема сил і моментів у системі «автомобіль-стенд» при тягових випробуваннях повнопривідного автомобіля на інерційному стенді

Рівновага переднього колеса:

$$\Sigma X = -T_1 \cdot \cos \alpha_1 - T_2 \cdot \cos \alpha_2 + N_1 \cdot \sin \alpha_1 - N_2 \cdot \sin \alpha_2 + H_1 = 0, \quad (1)$$

$$\Sigma Y = T_1 \cdot \sin \alpha_1 - T_2 \cdot \sin \alpha_2 + N_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \cos \alpha_2 - (Y_{\Pi} + G_{\Pi}) = 0. \quad (2)$$

Рівновага заднього колеса:

$$\Sigma X = -T_3 \cdot \cos \alpha_3 - T_4 \cdot \cos \alpha_4 + N_3 \cdot \sin \alpha_3 - N_4 \cdot \sin \alpha_4 + H_2 = 0, \quad (3)$$

$$\Sigma Y = T_3 \cdot \sin \alpha_3 - T_4 \cdot \sin \alpha_4 + N_3 \cdot \cos \alpha_3 + N_4 \cdot \cos \alpha_4 - (Y_3 + G_3) = 0. \quad (4)$$

Рівновага кузова:

$$\Sigma X = -H_1 - H_2 + H = 0, \quad \Sigma Y = -G + Y_{\Pi} + Y_3 = 0, \quad (5)$$

$$\Sigma M_{O'_3} = M_{\text{КР}\Pi} + M_{\text{КР}3} + Y_{\Pi} \cdot L - G \cdot L_2 = 0.$$

$$\text{Рух передніх коліс: } -M_{\text{КР}\Pi} + I_{\text{К}1} \cdot \varepsilon_{\text{К}1} + (T_1 + T_2) = 0. \quad (6)$$

$$\text{Рух задніх коліс: } -M_3 + I_{\text{К}2} \cdot \varepsilon_{\text{К}2} + (T_3 + T_4) = 0. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Рух роликів: } \quad & -I_1 \cdot \varepsilon_1 + T_1 \cdot r = 0, & -I_2 \cdot \varepsilon_2 + T_2 \cdot r = 0, \\ & -I_3 \cdot \varepsilon_3 + T_3 \cdot r = 0, & -I_4 \cdot \varepsilon_4 + T_4 \cdot r = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Очевидно, що система є статично невизначеною через наявність невідомих – горизонтальних реакцій у підвісках обох осей H_1 і H_2 . З формул (8) маємо:

$$T_1 = \frac{m_1 \cdot M_{\text{КРП}}}{m_{C1} \cdot R}, \quad T_2 = \frac{m_2 \cdot M_{\text{КРП}}}{m_{C1} \cdot R}, \quad T_3 = \frac{m_3 \cdot M_{\text{КРЗ}}}{m_{C2} \cdot R}, \quad T_4 = \frac{m_4 \cdot M_{\text{КРЗ}}}{m_{C2} \cdot R}. \quad (9)$$

Горизонтальні реакції H_1 і H_2 знаходимо за формулами:

$$H_1 = h_1 \cdot M_{\text{КРП}}; \quad H_2 = h_2 \cdot M_{\text{КРЗ}}. \quad (10)$$

Вертикальні зусилля в передній і задній підвісках:

$$Y_{\text{П}} = \frac{G \cdot L_2 - (M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}})}{L}; \quad Y_3 = \frac{G \cdot L_1 + (M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}})}{L}. \quad (11)$$

Навантаження на колеса:

$$G_{\text{П}} = Y_{\text{П}} + G_{\text{П}} = G_{\text{ПСТ}} - \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}; \quad G_3 = Y_3 + G_3 = G_{3\text{СТ}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}. \quad (12)$$

Радіальні реакції N_1, N_2, N_3, N_4 при тягових випробуваннях визначаємо зі спільного рішення пар рівнянь (1) і (2), (3) і (4) для симетричної схеми стенда ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha'$, $\alpha_3 = \alpha_4 = \alpha''$):

$$N_1 = \frac{M_{\text{КРП}} \cdot \left[\frac{-h_1}{\text{tg}\alpha'} + \frac{m_1 \cdot \cos 2\alpha' + m_2}{m_{\text{C1}} \cdot R \cdot \sin \alpha'} \right] + G_{\text{ПСТ}} \cdot \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos \alpha'}; \quad (13)$$

$$N_2 = \frac{M_{\text{КРП}} \cdot \left[\frac{h_1}{\text{tg}\alpha'} - \frac{m_1 + m_2 \cdot \cos 2\alpha'}{m_{\text{C1}} \cdot R \cdot \sin \alpha'} \right] + G_{\text{ПСТ}} \cdot \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos \alpha'}; \quad (14)$$

$$N_3 = \frac{M_{\text{КРЗ}} \cdot \left[\frac{-h_2}{\text{tg}\alpha''} + \frac{m_3 \cdot \cos 2\alpha'' + m_4}{m_{\text{C2}} \cdot R \cdot \sin \alpha''} \right] + G_{\text{ЗСТ}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos \alpha''}; \quad (15)$$

$$N_4 = \frac{M_{\text{КРЗ}} \cdot \left[\frac{h_2}{\text{tg}\alpha''} - \frac{m_3 + m_4 \cdot \cos 2\alpha''}{m_{\text{C2}} \cdot R \cdot \sin \alpha''} \right] + G_{\text{ЗСТ}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos \alpha''}. \quad (16)$$

Враховуючи умову прослизання ($T_2 = \varphi \cdot N_2$ і $T_4 = \varphi \cdot N_4$) після підстановок і перетворень отримуємо в загальному виді величини критичних крутних моментів при яких настає «відривання» шин від задніх роликів для переднього і заднього блоків стенда:

$$M_{\text{КРП1}} = \frac{\phi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{C1} \cdot R \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot \left(\cos \alpha_1 + \frac{\sin \alpha_1}{\text{tg } \alpha_2} \right) - \phi \cdot \left[m_{C1} \cdot R \cdot \left(\frac{-h_1}{\text{tg } \alpha_2} \cdot L - 2 \right) + \frac{m_1 \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2) + m_2 \cdot L}{\sin \alpha_2} \right]}; \quad (18)$$

$$M_{\text{КРП2}} = \frac{\phi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{C1} \cdot R \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot \left(\cos \alpha_2 + \frac{\sin \alpha_2}{\text{tg } \alpha_1} \right) - \phi \cdot \left[m_{C1} \cdot R \cdot \left(\frac{h_1}{\text{tg } \alpha_1} \cdot L - 2 \right) - \frac{m_1 + m_2 \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2) \cdot L}{\sin \alpha_1} \right]}; \quad (19)$$

$$M_{\text{КР33}} = \frac{\phi \cdot G_{3\text{СТ}} \cdot m_{C2} \cdot R \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot \left(\cos \alpha_3 + \frac{\sin \alpha_3}{\text{tg } \alpha_4} \right) - \phi \cdot \left[m_{C2} \cdot R \cdot \left(\frac{-h_2}{\text{tg } \alpha_4} \cdot L + 2 \right) + \frac{m_3 \cdot (\cos \alpha_3 \cdot \cos \alpha_4 - \sin \alpha_3 \cdot \sin \alpha_4) + m_4 \cdot L}{\sin \alpha_4} \right]}; \quad (20)$$

$$M_{\text{КР34}} = \frac{\phi \cdot G_{3\text{СТ}} \cdot m_{C2} \cdot R \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot \left(\cos \alpha_4 + \frac{\sin \alpha_4}{\text{tg } \alpha_3} \right) - \phi \cdot \left[m_{C2} \cdot R \cdot \left(\frac{h_2}{\text{tg } \alpha_3} \cdot L + 2 \right) - \frac{m_3 + m_4 \cdot (\cos \alpha_3 \cdot \cos \alpha_4 + \sin \alpha_3 \cdot \sin \alpha_4) \cdot L}{\sin \alpha_3} \right]}. \quad (21)$$

В загальному вигляді умовний коефіцієнт використання навантаження:

$$q_{\text{КРП}} = \frac{M_{\text{КРП}}}{G_{\text{ПСТ}} \cdot R}; \quad q_{\text{КРЗ}} = \frac{M_{\text{КРЗ}}}{G_{\text{ЗСТ}} \cdot R} \quad (22)$$

Після підстановок і перетворень отримаємо:

$$q_{\text{КРП1}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C1}} \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot (\cos \alpha_1 + \frac{\sin \alpha_1}{\text{tg} \alpha_2}) - \phi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{-h_1}{\text{tg} \alpha_2} \cdot L - 2) + \frac{m_1 \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2) + m_2 \cdot L}{\sin \alpha_2} \cdot L]}; \quad (23)$$

$$q_{\text{КРП2}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C1}} \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot (\cos \alpha_2 + \frac{\sin \alpha_2}{\text{tg} \alpha_1}) - \phi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{h_1}{\text{tg} \alpha_1} \cdot L - 2) - \frac{m_1 + m_2 \cdot (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2) \cdot L}{\sin \alpha_1} \cdot L]}; \quad (24)$$

$$q_{\text{КРЗ3}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C2}} \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot (\cos \alpha_3 + \frac{\sin \alpha_3}{\text{tg} \alpha_4}) - \phi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{-h_2}{\text{tg} \alpha_4} \cdot L + 2) + \frac{m_3 \cdot (\cos \alpha_3 \cdot \cos \alpha_4 - \sin \alpha_3 \cdot \sin \alpha_4) + m_4 \cdot L}{\sin \alpha_4} \cdot L]}; \quad (25)$$

$$q_{\text{КРЗ4}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C2}} \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot (\cos \alpha_4 + \frac{\sin \alpha_4}{\text{tg} \alpha_3}) - \phi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{h_2}{\text{tg} \alpha_3} \cdot L + 2) - \frac{m_3 + m_4 \cdot (\cos \alpha_3 \cdot \cos \alpha_4 + \sin \alpha_3 \cdot \sin \alpha_4) \cdot L}{\sin \alpha_3} \cdot L]}; \quad (26)$$

Для станда симетричної схеми вищезазначені залежності приймуть вид:

$$M_{\text{КРП1}} = \frac{\phi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{\text{C1}} \cdot R \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{-h_1}{\text{tg} \alpha'} \cdot L - 2) + \frac{m_1 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_2}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (27)$$

$$M_{\text{КРП2}} = \frac{\phi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{\text{C1}} \cdot R \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{h_1}{\text{tg} \alpha'} \cdot L - 2) - \frac{m_1 + m_2 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (28)$$

$$M_{\text{КРП33}} = \frac{\phi \cdot G_{\text{ЗСТ}} \cdot m_{\text{C2}} \cdot R \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{-h_2}{\text{tg} \alpha'} \cdot L + 2) + \frac{m_3 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_4}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (29)$$

$$M_{\text{КРП34}} = \frac{\phi \cdot G_{\text{ЗСТ}} \cdot m_{\text{C2}} \cdot R \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{h_2}{\text{tg} \alpha'} \cdot L + 2) - \frac{m_3 + m_4 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (30)$$

$$Q_{\text{КРП1}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C1}} \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{-h_1}{\text{tg} \alpha'} \cdot L - 2) + \frac{m_1 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_2}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (31)$$

$$Q_{\text{КРП2}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C1}} \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{h_1}{\text{tg} \alpha'} \cdot L - 2) - \frac{m_1 + m_2 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (32)$$

$$Q_{\text{КРП33}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C2}} \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{-h_2}{\text{tg} \alpha'} \cdot L + 2) + \frac{m_3 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_4}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (33)$$

$$Q_{\text{КРП34}} = \frac{\phi \cdot m_{\text{C2}} \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \phi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{h_2}{\text{tg} \alpha'} \cdot L + 2) - \frac{m_3 + m_4 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (34)$$