

УДК 621.85

Волонцевич Д.О., д-р техн. наук; Воронцов С.М., канд. техн. наук; Мормило Я.М., Яремченко А.С.

ПІДВИЩЕННЯ ПРОХІДНОСТІ КОЛІСНИХ МАШИН ТА ВИРІВНЮВАННЯ РЕСУРСУ АГРЕГАТИВ ТРАНСМІСІЇ ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ СТАТИЧНОГО ДИСБАЛАНСУ РОЗПОДІЛУ ВАГИ МІЖ МОСТАМИ

Вступ. Актуальність задачі.

Починаючи з кінця 90-х років минулого сторіччя більшість країн світу почали значно більшу увагу в концепціях побудови своїх збройних сил приділяти застосуванню колісних шасі замість гусеничних особливо для легкоброньованої техніки. Це пов'язано з багатьма причинами, основними з яких є: менша вага, більша швидкість, більший ресурс, більша економічність і при виготовленні і при експлуатації. Однак при всіх цих перевагах колісна техніка має суттєво меншу прохідність на бездоріжжі. Тому питання отримання максимально можливих показників тягової прохідності і вирівнювання ресурсних показників між ведучими колесами при розробці нових колісних шасі без додаткових капіталовкладень і без зменшення інших тактико-технічних характеристик є **задачею важливою і актуальною.**

Короткий аналіз існуючого підходу до розподілу ваги повнопривідної колісної машини між ведучими мостами

В сучасних колісних машинах високої прохідності прийнято повну (максимальну) вагу машини розподіляти між мостами рівномірно. Це необхідно для забезпечення рівномірного розподілу тиску на опорну поверхню і для реалізації максимально можливої сили тяги повнопривідної машини на місцевості. Рівномірність цього розподілу контролюється в статиці на горизонтальній площині для повністю укомплектованої, заправленої машини з водієм (екіпажем) та максимально дозволеним вантажем (боекомплект).

Однак в реальних обставинах при русі машини виникає багато динамічних і квазістатичних факторів, які вносять дисбаланс у цю встановлену у статиці рівновагу. До таких факторів можна віднести сили інерції при прискоренні і уповільненні, сили опору повітря, сили, що виникають при подоланні ухилів, моменти опору коченню коліс (рис. 1).

І, якщо більшість цих факторів діє епізодично, то моменти опору коченню коліс діють постійно, доки машина рухається по дорозі або місцевості.

Безумовно, якщо в важких дорожніх умовах колісна машина рухається з повністю заблокованою трансмісією, то за рахунок перерозподілу ваги між мостами в максимальній силі тяги ми не втрачаємо, але ми перевантажуємо задній міст (групу задніх мостів) і їхній привод. Це призводить до нерівномірного зносу, як правило, уніфікованих агрегатів трансмісії (головних передач, колісних редукторів, карданних шарнірів).

Якщо ж ми рухаємось при незаблокованому повному диференціальному приводі, то за рахунок перерозподілу ваги між мостами ми втрачаємо максимально можливу силу тяги за рахунок вирівнювання на міжосьових диференціалах сили тяги по найменшій, що задається першим ведучим мостом. У цьому випадку нерівномірності зносу немає, але є достатньо суттєва стабільна втрата в прохідності.

Питання перерозподілу нормальних реакцій під мостами при русі машини не нове. Певною мірою воно відображене навіть в підручниках і навчальних посібниках з загальної теорії автомобіля [1, 2]. Але не зовсім в тій постановці, що може стати корисною для повнопривідних машин.

© Д.О.Волонцевич, 2015

Тому вирішення цього протиріччя шляхом раціонального вибору величини попередньо заданого статичного дисбалансу для багатокілісних повнопривідних колісних машин є **актуальною задачею**.

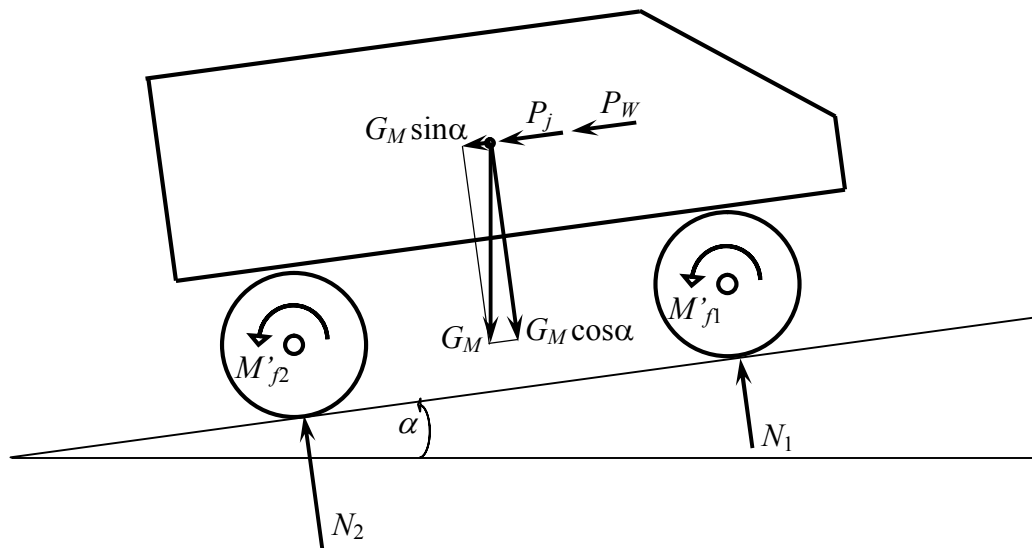


Рис. 1. Додаткові силові фактори, що впливають на перерозподіл нормальних реакцій N_1 та N_2 під мостами:
 $G_M \sin \alpha$ – сила протидії підйому; P_j – сила протидії прискоренню;
 P_w – сила опору повітря; M'_1, M'_2 – моменти опору коченню коліс

Мета і постановка задачі

Всі факти, описані у вступі і розділі 1 даної роботи, підкреслюють важливість і актуальність задачі підвищення прохідності повнопривідних колісних машин та вирівнювання ресурсу агрегатів трансмісії шляхом раціонального вибору величини попередньо заданого статичного дисбалансу розподілу ваги між мостами.

Метою даної роботи є розробка методики раціонального вибору величини попередньо заданого статичного дисбалансу розподілу ваги між мостами для підвищення прохідності і вирівнювання ресурсу агрегатів трансмісії за рахунок вирівнювання навантаження на ведучі мости при русі машини в тяговому режимі.

Задачі, що вирішуються для досягнення поставленої мети:

- 1) Визначення впливу кожної з усіх збудовуючих сил на перерозподіл нормальних реакцій під мостами для машин з різними кількістю і розташуванням цих мостів.
- 2) Визначення раціональної величини попередньо заданого статичного дисбалансу розподілу ваги між мостами.

Основна частина

Загальні положення

Величину дисбалансу ваги машини між мостами пропонується визначати показниками, які розраховуються за формулами:

$$m = \frac{N_R}{N_F}; \quad m_F = \frac{N_F}{N_M} \quad \text{та} \quad m_R = \frac{N_R}{N_M},$$

де m – показник відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім;

m_F – показник нерівномірності завантаження переднього мосту;

m_R – показник нерівномірності завантаження заднього мосту;

N_F – нормальна реакція під переднім мостом при русі машини;

N_R – нормальна реакція під заднім мостом при русі машини;

N_M – середня нормальна реакція під мостами для машини, що знаходиться в статичній на горизонтальній площині і обчислюється за формулою:

$$N_M = \frac{G_M}{n_{axles}},$$

де G_M – повна максимальна вага машини;

n_{axles} – кількість мостів в машині.

Для геометричних характеристик машин прийняті такі позначення, які наведені на рис. 2. На рис. 2 введені такі позначення:

L – подовжня база машини;

L_1 – відстань між першим і другим мостами для 3- та 4-вісних машин;

L_2 – відстань між першим і третім мостами для 4-вісних машин;

A – відстань від першого мосту до подовжньої координати центру ваги;

H – висота від опорної поверхні до вертикальної координати центру ваги.

Будемо розглядати поставлену задачу, приймаючи такі допущення:

1) висота центру мас машини співпадає з висотою дії сили опору повітря;

2) для чотиривісних машин будемо розглядати тільки симетричні варіанти компоновок 2-2 та 1-2-1, при яких $A=L/2=(L_1+L_2)/2$;

3) для тривісних машин за умови рівномірного навантаження всіх осей в статичній положення центру мас A буде однозначно залежати від L_1 та L і визначатися за формулою:

$$A = \frac{(L + L_1)}{3};$$

Всі розрахунки будемо проводити у відносних величинах, для чого всі лінійні розміри виражатимемо через подовжню базу машини L , а сили – через вагу машини G_M :

– відносна висота центру мас $h = \frac{H}{L}$;

– відносна відстань від першого мосту до подовжньої координати центру ваги $a = \frac{A}{L}$;

– відносна відстань між першим і другим мостами для 3- та 4-вісних машин $l_1 = \frac{L_1}{L}$;

– відносна відстань між першим і третім мостами для 4-вісних машин $l_2 = \frac{L_2}{L}$;

– відносні нормальні реакції під мостами відповідно $n_1 = \frac{N_1}{G_M}$, $n_2 = \frac{N_2}{G_M}$, $n_3 = \frac{N_3}{G_M}$,

$n_4 = \frac{N_4}{G_M}$;

– узагальнена питома подовжня збурююча сила $p = \frac{P}{G_M}$, де P – повна подовжня збурююча сила, що може включати в себе компоненти згідно з формулою:

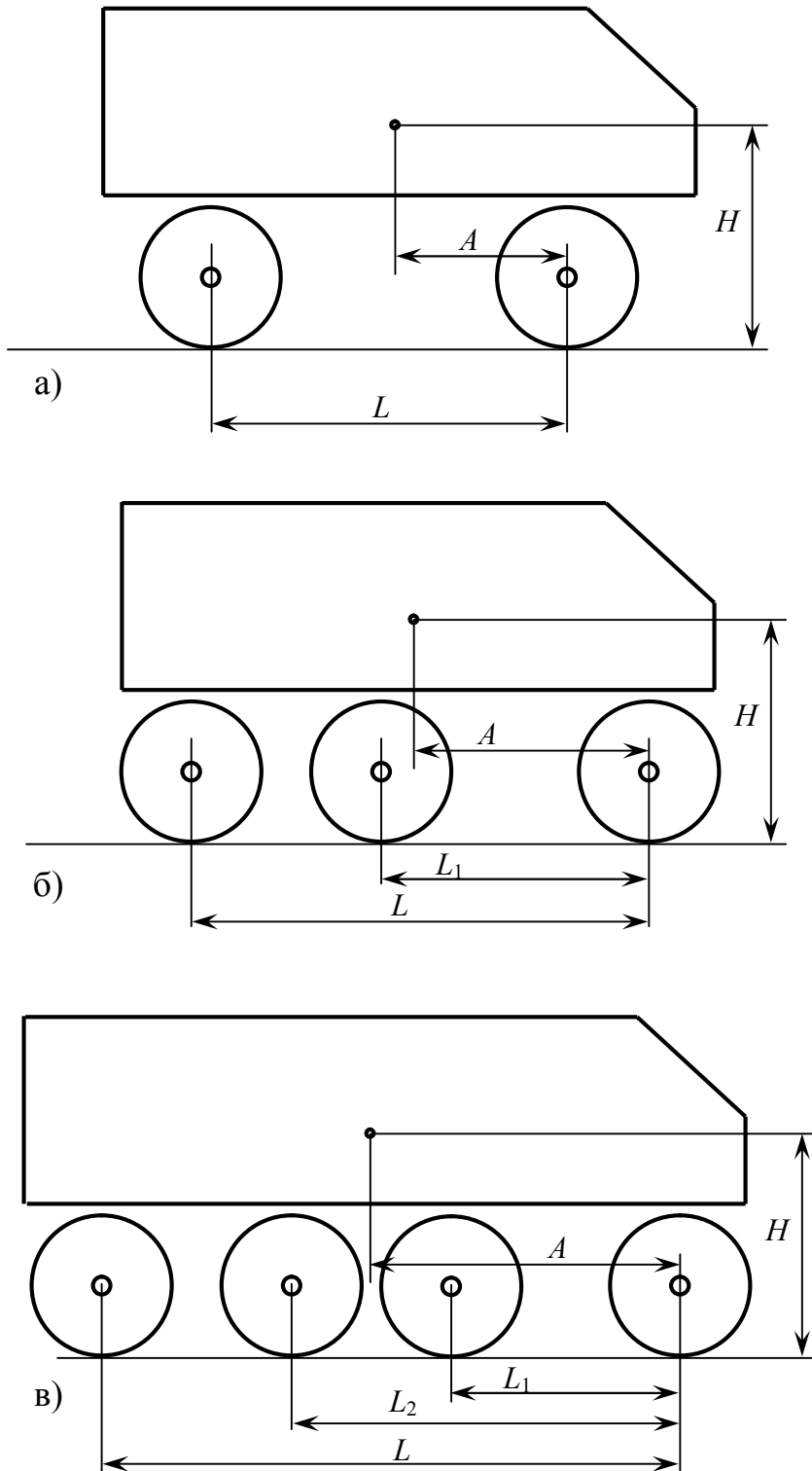


Рис. 2. Геометричні характеристики машин:
а) двовісних; б) тривісних; в) чотиривісних

$$P = P_j + P_W + G_M \sin \alpha + P(M'_f),$$

де P_j – сила протидії прискоренню j , що визначається за формулою:

$$P_j = \frac{G_M}{g} j;$$

P_W – сила опору повітря, що визначається за формулою $P_W = k_\alpha F v^2$, де, в свою чергу: k_α – коефіцієнт обтічності; F – площа лобової проекції машини; v – швидкість руху машини;

$G_M \sin \alpha$ – сила протидії підйому;

$P(M'_f)$ – сила, що приведена до центру мас машини, яка викликана реактивними моментами від опору коченню всіх коліс.

Походження останньої сили доцільно пояснити докладніше.

Для будь-якого ведучого колеса, навантаженого вертикальною силою N , що рівномірно прямолінійно котиться по горизонтальній дорозі під дією обертального моменту, який прикладений до осі колеса, виникає сила опору кочення. Ця сила з класичної теорії руху колісних машин визначається за формулою $P_f = Nf$ (тут f – коефіцієнт опору руху на заданій місцевості для відповідного типу шин і тиску в них). Для подолання цієї сили, що діє в площині дороги, до колеса для забезпечення рівномірного руху необхідно підвести обертальний момент $M_f = P_f R_{DW}$ в напрямку обертання колеса (тут R_{DW} – радіус ведучого колеса). Відповідно третього закону Ньютона до корпусу машини (ведучого мосту) буде прикладений реактивний момент $M'_f = -M_f$. Щоб привести отриманий реактивний момент до узагальненої збурюючої сили необхідно поділити його на висоту розташування центру мас: $P(M'_f) = \frac{NfR_{DW}}{H}$.

Вплив узагальненої збурюючої сили на перерозподіл нормальних реакцій під мостами двовісної машини

До машини з геометричними характеристиками згідно рис. 2а прикладемо узагальнену подовжню збурюючу силу P . Тоді, виходячи з рівноваги обертальних моментів, розрахованих відносно центрів плям контакту під переднім та заднім мостами, одержуємо нормальні реакції під мостами:

$$N_F = N_1 = \frac{LG_M - PH}{2L} = \frac{G_M}{2} - Ph; \quad N_R = N_2 = \frac{LG_M + PH}{2L} = \frac{G_M}{2} + Ph.$$

Середня нормальна реакція $N_M = \frac{G_M}{2}$.

Відповідно показники нерівномірності

$$m = \frac{0,5G_M + Ph}{0,5G_M + Ph} = \frac{0,5 + ph}{0,5 - ph}; \quad m_F = \frac{0,5G_M - Ph}{0,5G_M} = 1 - 2ph \quad \text{та} \quad m_R = \frac{0,5G_M + Ph}{0,5G_M} = 1 + 2ph.$$

Для h в діапазоні 0,1 ... 0,5 побудовано графіки показника відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім (рис. 3а), та показників нерівномірності завантаження переднього і заднього мостів (рис. 3б).

Максимальне значення узагальненої подовжньої збурюючої сили P для кожної відносної висоти розташування центру мас обмежувалось відривом переднього мосту від дороги.

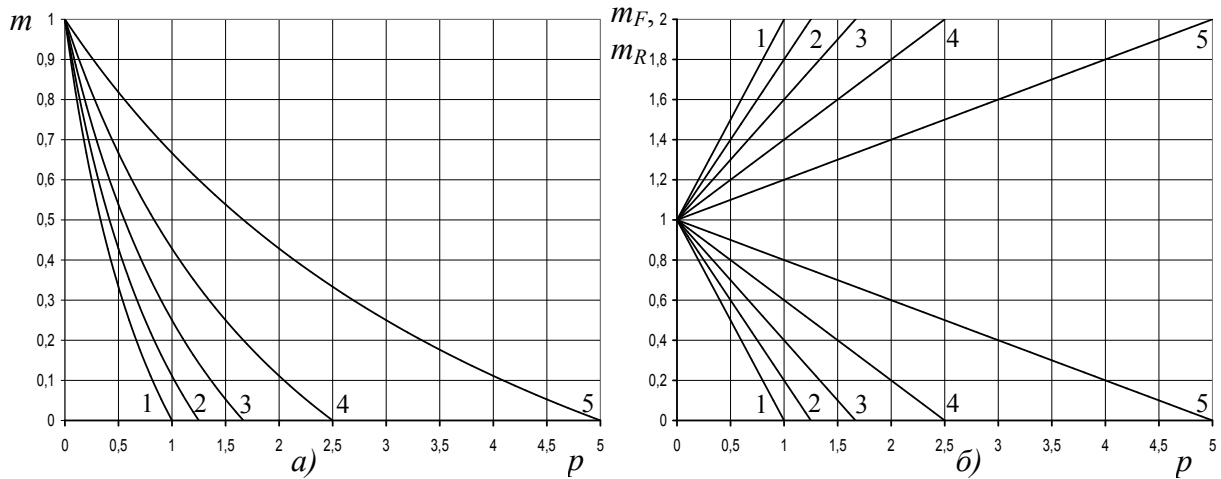


Рис. 3. Показники нерівномірності завантаження осей двовісної машини:
 а) – показники відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім;
 б) – показники нерівномірності завантаження переднього і заднього мостів;
 1 – $h=0,5$; 2 – $h=0,4$; 3 – $h=0,3$; 4 – $h=0,2$; 5 – $h=0,1$

Вплив узагальненої збурюючої сили на перерозподіл нормальних реакцій під мостами тривісної машини

До машини з геометричними характеристиками згідно рис. 2б прикладемо узагальнену подовжню збурюючу силу P . Тоді, виходячи з рівноваги обертальних моментів та за умови жорсткості корпусу машини, розрахованих відносно центрів плям контакту під переднім та заднім мостами, одержуємо такі нормальні реакції під мостами та подовжню координату центру мас при рівномірному розподілі ваги між мостами в статичі у відносних величинах:

$$a = \frac{1+l_1}{3}; \quad n_1 = \frac{1+l_1^2 - (1+l_1)(a+ph)}{2(l_1^2 - l_1 + 1)}; \quad n_3 = \frac{1+n_1l_1 - 2n_1}{l_1 + 1}; \quad n_2 = 1 - n_1 - n_3.$$

Відповідно показники нерівномірності

$$m = \frac{n_1}{n_3}; \quad m_F = \frac{n_1}{0,333} \quad \text{та} \quad m_R = \frac{n_3}{0,333}.$$

Для h в діапазоні 0,1 ... 0,5 та l_1 в діапазоні 0,25 ... 0,75 побудовано графіки показника відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім, та показників нерівномірності завантаження переднього і заднього мостів (рис. 4).

Також, як і для двовісної машини, максимальне значення узагальненої подовжньої збурюючої сили P для кожної відносної висоти розташування центру мас обмежувалось відривом переднього мосту від дороги.

Вплив узагальненої збурюючої сили на перерозподіл нормальних реакцій під мостами чотиривісної машини

До машини з геометричними характеристиками згідно рис. 2в прикладемо узагальнену подовжню збурюючу силу P . Розглянемо три варіанти розташування осей з симетричним відносно бази розташуванням мостів та центру мас: 1-1-1-1, 2-2, 1-2-1. Відповідно значення параметрів $l_1 = 0,333$, $l_2 = 0,667$ для 1-1-1-1, $l_1 = 0,25$, $l_2 = 0,75$ для 2-2 та $l_1 = 0,375$, $l_2 = 0,625$ для 1-2-1.

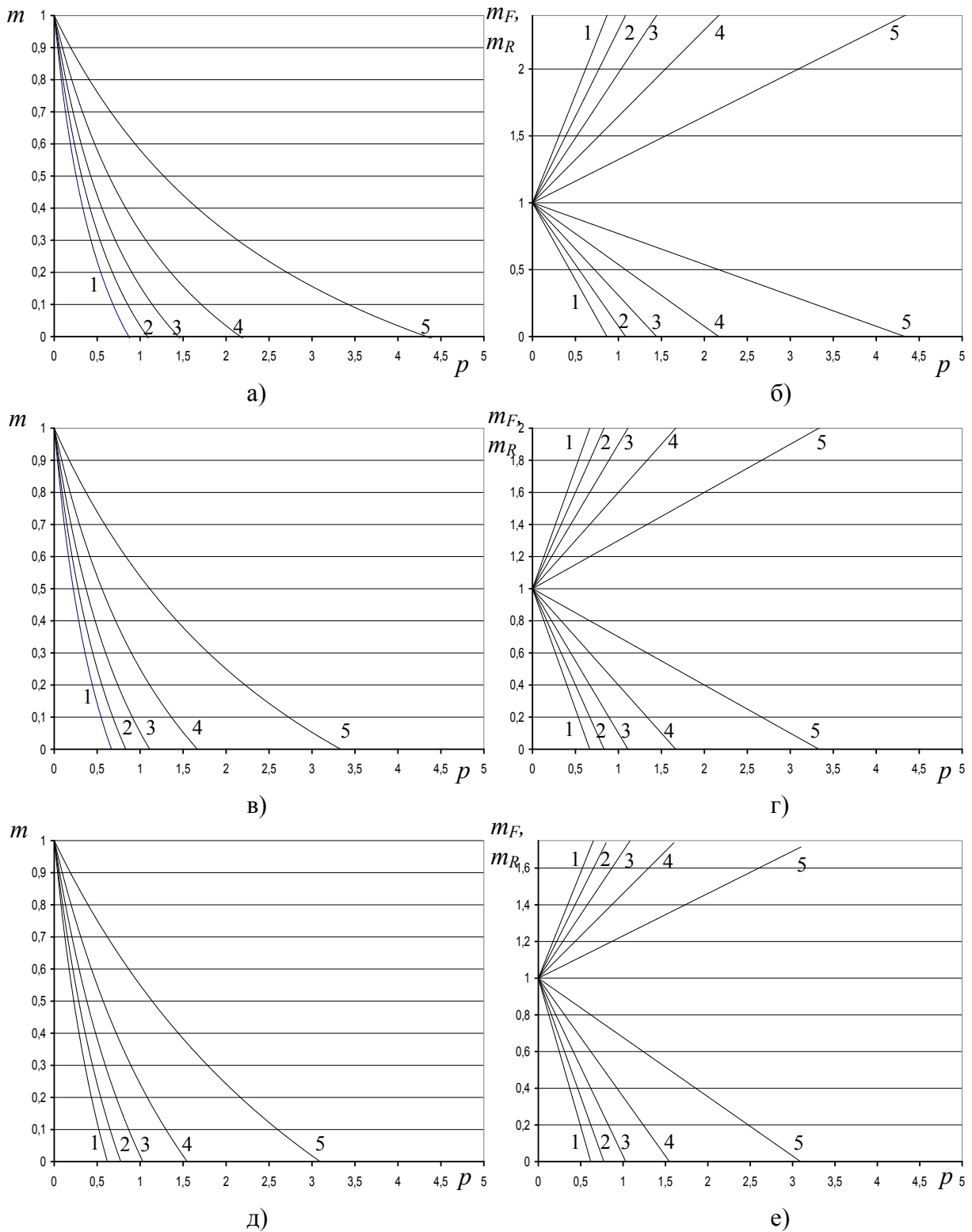


Рис. 4. Показники нерівномірності завантаження осей тривісної машини:
 а), в) д) – показники відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім відповідно для $l_1 = 0,25$; $l_1 = 0,5$ та $l_1 = 0,75$;
 б), г) е) – показники нерівномірності завантаження переднього і заднього мостів відповідно для $l_1 = 0,25$; $l_1 = 0,5$ та $l_1 = 0,75$;
 1 – $h=0,5$; 2 – $h=0,4$; 3 – $h=0,3$; 4 – $h=0,2$; 5 – $h=0,1$

Тоді, виходячи з рівноваги обертальних моментів та за умови жорсткості корпусу машини, розрахованих відносно центрів плям контакту під переднім та заднім мостами, одержуємо такі нормальні реакції під мостами при рівномірному розподілі ваги між мостами в статиці у відносних величинах:

$$n_{1(4)} = 0,25 \mp \frac{ph}{1,25 + l_1(l_1 - 1)}.$$

Відповідно показники нерівномірності

$$m = \frac{n_1}{n_4}; \quad m_F = \frac{n_1}{0,25} \quad \text{та} \quad m_R = \frac{n_4}{0,25}.$$

Для h в діапазоні 0,1 ... 0,5 та l_1 в раніше указаному діапазоні побудовано графіки показника відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім, та показників нерівномірності завантаження переднього і заднього мостів (рис. 5).

Також, як і для двовісних і тривісних машин, максимальне значення узагальної подовжньої збурюючої сили P для кожної відносної висоти розташування центру мас обмежувалось відривом переднього мосту від дороги.

Аналіз впливу узагальної збурюючої сили на перерозподіл нормальних реакцій під мостами колісного бронетранспортера БТР-4Е

Розглянемо рівномірний рух бронетранспортера по горизонтальній поверхні зі швидкістю v та коефіцієнтом опору руху f .

Для бронетранспортера БТР-4Е характерні такі відносні розміри [3, 4]: $l_1 = 0,3$; $h = 0,275$; $\frac{R_{DW}}{H} = 0,442$. Для оцінки сили опору повітря необхідні розміри лобової проекції: $B_M = 2,9$ м., $H_M = 2,86$ м., $h_M = 0,46$ м. Відповідно внесок сили опору повітря до узагальної збурюючої сили буде складати

$$p_W^* = \frac{P_W}{G_M} = \frac{k_\alpha F v^2}{G_M} = \frac{0,65 \cdot 2,9 \cdot (2,86 - 0,46)v^2}{21,9 \cdot 1000 \cdot 9,81} = 2,106 \cdot 10^{-5} v^2.$$

Крім того, для подолання цієї додаткової сили опору необхідно на ведучих колесах реалізувати обертальний момент, який до узагальної збурюючої сили буде додавати величину

$$p_W^{**} = \frac{P_W}{G_M} \cdot \frac{R_{DW}}{H} = 2,106 \cdot 10^{-5} \cdot 0,442 \cdot v^2 = 9,286 \cdot 10^{-6} \cdot v^2.$$

Тоді повний внесок сили опору повітря до узагальної збурюючої сили буде складати

$$p_W = p_W^* + p_W^{**} = (2,106 \cdot 10^{-5} + 9,286 \cdot 10^{-6}) \cdot v^2 = 3,035 \cdot 10^{-5} \cdot v^2.$$

Для подолання опору кочення по місцевості необхідно до ведучих коліс прикласти обертальний момент, що після приведення до узагальної збурюючої сили буде складати

$$p_f = \frac{P(M'_f)}{G_M} = \frac{f R_{DW}}{H} = 0,442 \cdot f.$$

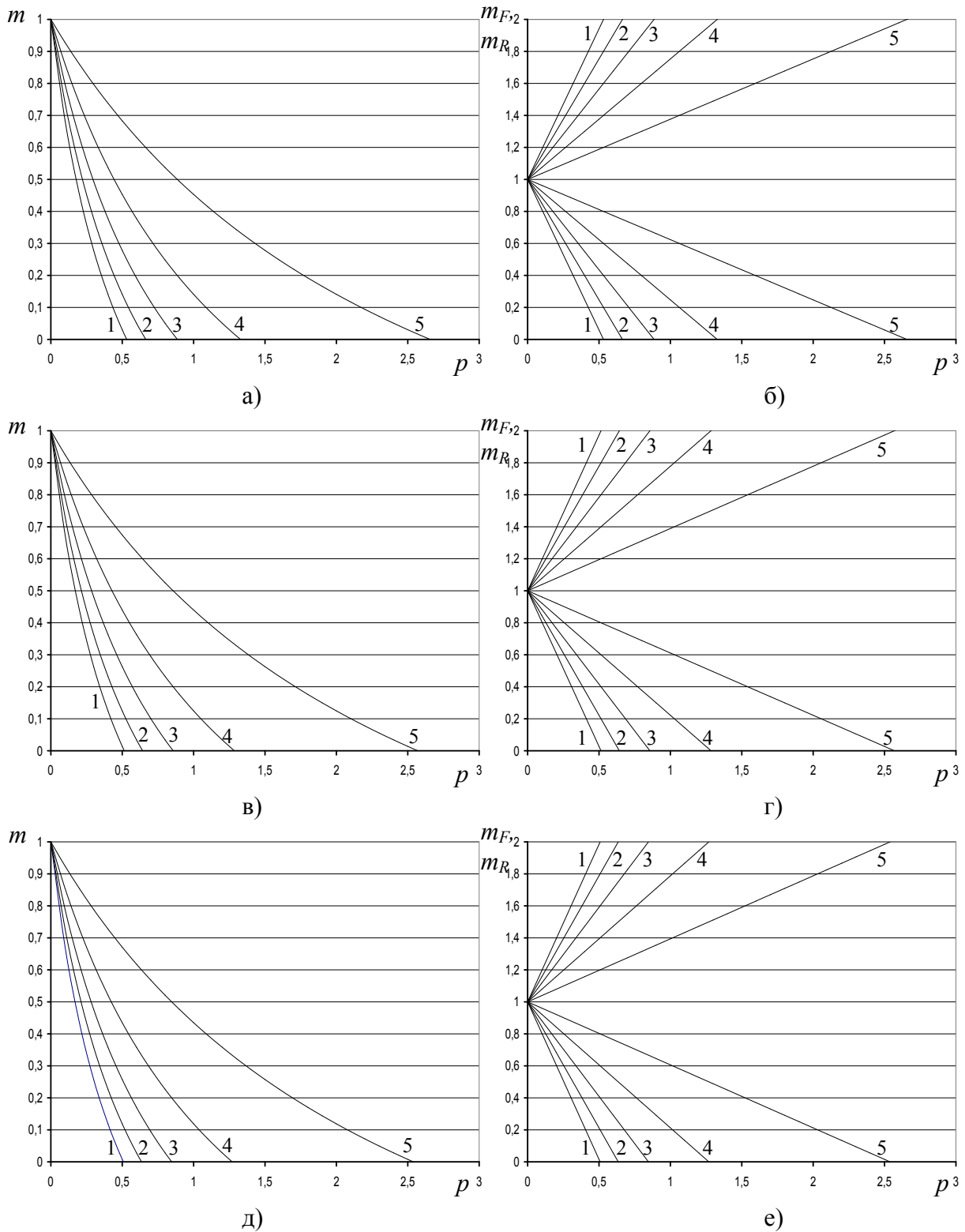


Рис. 5. Показники нерівномірності завантаження осей чотиривісної машини:
 а), в) д) – показники відносної нерівномірності завантаження заднього мосту порівняно з переднім відповідно для $l_1 = 0,333, l_2 = 0,667$; $l_1 = 0,25, l_2 = 0,75$; $l_1 = 0,375, l_2 = 0,625$;
 б), г) е) – показники нерівномірності завантаження переднього і заднього мостів відповідно для
 $l_1 = 0,333, l_2 = 0,667$; $l_1 = 0,25, l_2 = 0,75$; $l_1 = 0,375, l_2 = 0,625$;
 1 – $h=0,5$; 2 – $h=0,4$; 3 – $h=0,3$; 4 – $h=0,2$; 5 – $h=0,1$

Повне значення узагальненої збурюючої сили буде складати

$$p = p_w + p_f = 3,035 \cdot 10^{-5} \cdot v^2 + 0,442 \cdot f .$$

Для цієї узагальненої збурюючої сили було побудовано графік залежності показника нерівномірності завантаження заднього мосту при варіюванні швидкості від 0 до 33 м/с і коефіцієнту опору руху від 0,015 до 0,3 (рис. 6).

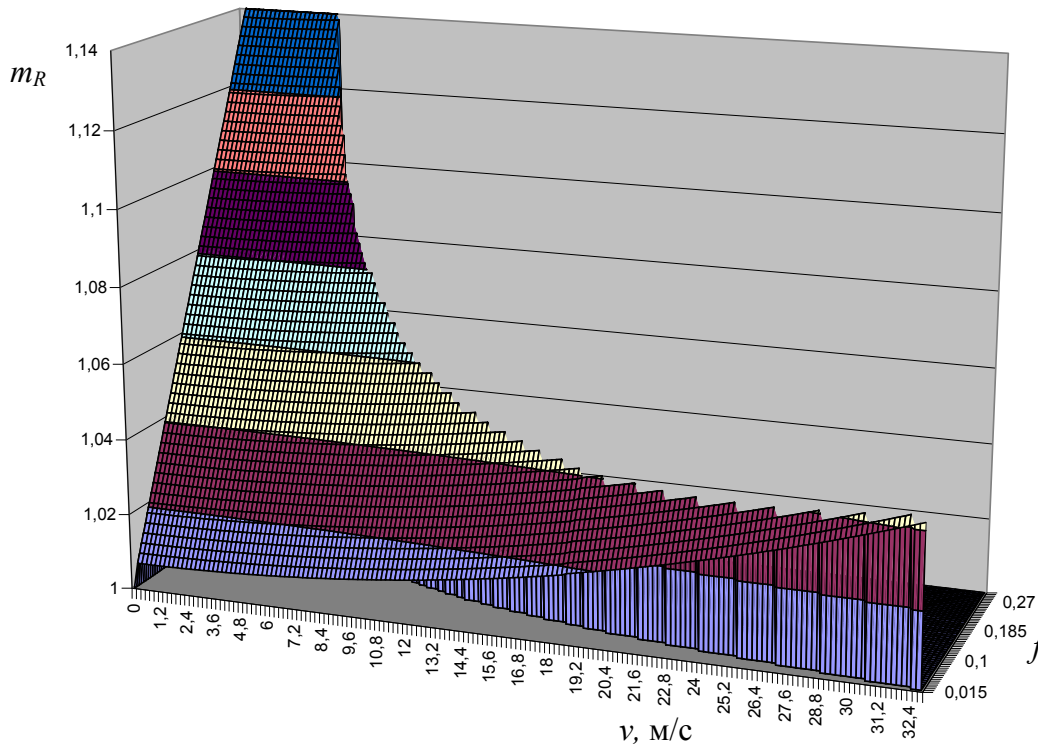


Рис. 6. Показник нерівномірності завантаження заднього мосту БТР-4Е при рівномірному русі по горизонтальній дорозі

Виходячи з рис. 6, середня нерівномірність завантаження мостів БТР-4Е в основних експлуатаційних режимах складає 4-5%. Це відповідає значенню узагальненої збурюючої сили $p = 0,0375 \dots 0,0475$. Відповідно для її компенсації необхідно провести зміщення центру мас від середини бази до носу машини на величину

$$\Delta L = p \frac{H}{L} L = 0,045 \dots 0,057 \text{ м.}$$

ВИСНОВКИ

Відповідно до поставлених для рішення цілей і завдань за результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

1) Отримані при розрахунках значення показника нерівномірності завантаження заднього мосту БТР-4Е при рівномірному русі по горизонтальній дорозі в основних експлуатаційних режимах становлять 4-5%, що не може істотно вплинути на прохідність машини.

2) Значення показника нерівномірності завантаження заднього мосту БТР-4Е при прискоренні та на підйом значно більші, але боротися з ними за рахунок введення постійного попереднього перенавантаження передніх мостів недоцільно.

3) У разі використання постійного повного диференціального механічного або індивідуального електричного приводу для вирівнювання завантаженості агрегатів трансмісії в основних експлуатаційних режимах рекомендується зміщати центр мас машини в бік носу від положення, яке забезпечує рівномірне завантаження мостів у статиці, на величину, що розрахована за наведеною методикою.

4) Для колісного бронетранспортера БТР-4Е це зміщення складає приблизно 0,05 м.

5) Надана рекомендація стосується виключно колісних машин з відносно сталим навантаженням і положенням центру мас в процесі експлуатації (бойові машини, автомобілі і спеціальні шасі, на яких розміщене технологічне обладнання і таке інше).

Література: 1. Вохминов Д.Е. Методика расчета тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля на стадии проектирования: Учебное пособие / Д.Е. Вохминов, В.В. Коновалов, В.В. Московкин и др. – М.: Изд-во МГТУ «МАМИ», 2000. – 48 с. 2. Туревский И.С. Теория автомобиля: Учебное пособие / И.С. Туревский. – М.: Высш. шк., 2005. – 240 с. 3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/БТР-4>. 4. [http:// kolleksiya.ru/tanki/632-btr-4-butsefal-sovremennyj-ukrainskij-bronetransporter.html](http://kolleksiya.ru/tanki/632-btr-4-butsefal-sovremennyj-ukrainskij-bronetransporter.html).

Bibliography (transliterated) 1. Vohminov D.E. Metodika rascheta tyagovo-skorostnyih svoystv i toplivnoy ekonomichnosti avtomobilya na stadii proektirovaniya: Uchebnoe posobie / D.E. Vohminov, V.V. Konovalov, V.V. Moskovkin i dr. – M.: Izd-vo MG TU «MAMI», 2000. – 48 s. 2. Turevskiy I.S. Teoriya avtomobilya: Uchebnoe posobie / I.S. Turevskiy. – M.: Vyissh. shk., 2005. – 240 s. 3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/BTR-4>. 4. [http:// kolleksiya.ru/tanki/632-btr-4-butsefal-sovremennyj-ukrainskij-bronetransporter.html](http://kolleksiya.ru/tanki/632-btr-4-butsefal-sovremennyj-ukrainskij-bronetransporter.html).

Волонцевич Д.О., Воронцов С.Н., Мормило Я.М., Яремченко А.С.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ КОЛЕСНЫХ МАШИН И ВЫРАВНИВАНИЕ РЕСУРСА АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИИ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ДИСБАЛАНСА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСА МЕЖДУ МОСТАМИ

В работе оценено влияние основных возмущающих сил, возникающих при движении колесной машины в тяговом режиме, на перераспределение нагрузок на мосты. Предложена методика рационального выбора величины предварительно заданного статического дисбаланса распределения веса между мостами для повышения проходимости и выравнивания ресурса агрегатов трансмиссии за счет выравнивания нагрузки на ведущие мосты при движении машины в тяговом режиме. Применение предложенной методики проиллюстрировано на примере колесного бронетранспортера БТР-4Е.

Volontsevich D.O., Vorontsov S.N., Mormilo J.M., Yaremchenko A.S.

ALIGNMENT RESOURCE OF TRANSMISSION UNITS AND IMPROVE OFF ROAD ABILITY OF WHEELED VEHICLES BY INTRODUCING STATIC UNBALANCE WEIGHT DISTRIBUTION BETWEEN THE AXLES

The paper assessed the impact of major disturbing forces generated by the movement of the car in traction mode on the redistribution of loads on axles. The technique of rational choice of the value of the predetermined static imbalance of weight distribution between the axles for alignment resource of transmission units and for improve off road ability due to load balancing on drive axles when driving the car in the traction mode is proposed. Application of the proposed method is illustrated by the example of a wheeled armored personnel carrier BTR-4E.