

УДК 629.113

ДО ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ОПОРУ ПОВОРOTУ ЗАДНЬОЇ ОСІ НАПІВПРИЧЕПА ГІБРИДНОГО АВТОПОЇЗДА

**В.П. Сахно, проф., д.т.н., В.М. Поляков, проф., к.т.н.,
О.М. Тімков, доц., к.т.н., В.М. Босенко, асистент,
Національний транспортний університет, м. Київ**

***Анотація.** Визначено кути нахилу осі шворня керованих коліс задньої осі напівприцепа, за яких як ваговий стабілізуючий момент, так і момент бічних реакцій досягають свого максимального значення. Ці моменти необхідно враховувати при визначенні потужності електродвигуна, який використовують для повороту керованих коліс напівприцепа гібридного автопоїзда.*

***Ключові слова:** напівпричіп, керована вісь, кути встановлення шворня, ваговий стабілізуючий момент, момент поздовжніх реакцій, гібридний автопоїзд.*

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОВОРОТА ЗАДНЕЙ ОСИ ПОЛУПРИЦЕПА ГИБРИДНОГО АВТОПОЕЗДА

**В.П. Сахно, проф., д.т.н., В.М. Поляков, проф., к.т.н.,
О.Н. Тимков, доц., к.т.н., В.Н. Босенко, ассистент,
Национальный транспортный университет, г. Киев**

***Аннотация.** Определены углы наклона оси шворня управляемых колес задней оси полуприцепа, при которых как весовой стабилизирующий момент, так и момент боковых реакций достигают своего максимального значения. Эти моменты необходимо учитывать при определении мощности электродвигателя, который используют для поворота управляемых колес полуприцепа гибридного автопоезда.*

***Ключевые слова:** полуприцеп, управляемая ось, углы установки шворня, весовой стабилизирующий момент, момент продольных реакций, гибридный автопоезд.*

ON DETERMINING THE MOMENT OF RESISTANCE TO ROTATION OF THE REAR AXLE OF THE HYBRID LORRY CONVOY SEMITRAILER

**V. Sakhno, Prof., D. Sc. (Eng.), V. Poliakov, Prof., Ph.D. (Eng.),
O. Timkov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), V. Bosenko., T. Asst.,
National Transport University, Kyiv**

***Abstract.** The angle of inclination of the kingpin axis of the steered wheels of the semitrailer rear axle in which a weight stabilizing moment and the moment of side reactions reach their maximum value is determined. These points must be considered when determining the capacity of the electric motor, which is used for turning the steered wheels of a hybrid lorry convoy semitrailer.*

***Key words:** semitrailer, steering axle, king pin installation angles, weight stabilizing moment, moment of longitudinal reactions, hybrid lorry convoy.*

Вступ

Серед вимог, що висуваються до керованих коліс ланок автопоїзда, найбільш значущими

є вимоги до їх стабілізації. При незадовільній стабілізації колеса відхиляються від прямо-лінійного руху під впливом нерівностей опорної поверхні. Схильність задніх керованих

коліс напівпричепа до коливань є небезпечною з погляду безпеки руху. Крім того, ці коливання викликають підвищені знос шин та витрату палива. До нестійкості прямолінійного руху призводять:

- а) знакоперемінна бокова сила, що виникає на задній керованій осі напівпричепа в початковий момент входу в поворот і викликає появу поперечних коливань коліс цієї осі;
- б) зростання бокової реакції на колесах задньої керованої осі при виході з повороту, що може спричинити початок заносу.

Проблема нестійкості прямолінійного руху автопоїздів вирішується спеціальними конструктивними заходами.

У технічній літературі пропонується вирішення цієї проблеми шляхом підбору співвідношення мас ланок і відстані від центру мас до осі повороту. Проте причини виникнення коливань при цьому не усуваються: змінюється тільки їх власна частота, що істотно обмежує можливості цього заходу.

Засоби підвищення стійкості руху автомобілів і автопоїздів із задніми керованими колесами напівпричепа шляхом введення їх блокування або затримки повороту по відношенню до передніх коліс частково позбавляють їх високих показників повороткості й викликають додаткове зношення шин. Це істотно обмежує їх використання або робить зовсім непридатними для автопоїздів у процесі експлуатації. Однак ідеологія боротьби з нестійкістю, що базується на принципі забезпечення пасивної ролі задніх керованих коліс у формуванні поворотного моменту, може бути застосована і під час пошуку конструктивних рішень, спрямованих на підвищення стійкості руху автопоїздів із задньою керованою віссю напівпричепа. Для цього треба, щоб поворот задніх коліс не починався до тих пір, доки не виникне бокова сила, спрямована до миттєвого центру повороту (так можна уникнути зміни знака бокової сили); а подальший поворот передніх і задніх коліс повинен зменшувати момент опору повороту в порівнянні з моментом при некерованих задніх колесах.

За певних співвідношень конструктивних параметрів напівпричепа можна добитися того, що в контакт керованих коліс задньої осі з опорною поверхнею величини результатуючих бічних сил та стабілізуючих момен-

тів будуть наближатися до нуля, а вагові стабілізуючі моменти та моменти поздовжніх реакцій будуть перешкоджати зростанню їх випадкових поворотів від напрямку прямолінійного руху.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є вибір таких конструктивних параметрів задньої керованої осі напівпричепа, зокрема кутів нахилу осі шворня, за яких забезпечується задовільна стійкість руху автопоїзда.

Аналіз публікацій

Основним навантаженням, що діє в рульовому керуванні, є момент опору повороту керованих коліс напівпричепа, який під час руху формується кутовою швидкістю повороту колеса відносно осі шворня, кутами відведення коліс цієї осі, рівнодійною реакцій опорної поверхні відносно осі шворня, гіроскопічними та інерційними моментами, моментами тертя у шворневих вузлах. Аналіз усіх складових моменту опору повороту керованих коліс і стійкість їх до коливань наведені в роботі [1]. З огляду на суперечливість ряду вимог, що висувуються до керованого колісного модуля, й їх залежність здебільшого від одних і тих самих конструктивних параметрів, доходимо висновку, що поліпшуючи одні з них, можна явно погіршити інші. Так, зменшення кута подовжнього нахилу осі шворня до певних меж, які зумовлені конструктивними параметрами моста, підвищує довговічність шин керованих коліс, але негативно впливає на стійкість руху автопоїзда.

Для задовільної стабілізації та стійкості керованих коліс момент опору повороту повинен бути максимальним, а для забезпечення необхідної маневреності – мінімальним. У момент опору повороту входять декілька складових. Завдання полягає в дослідженні впливу поперечного і поздовжнього нахилів осі шворня на кожну з них із наступною оцінкою їх внеску у величину цього моменту.

Дослідження моменту опору поворотної задньої осі напівпричепа

У цій роботі поставлено задачу мінімізувати значення моменту опору повороту коліс керованої осі напівпричепа за рахунок підбору кутів нахилу осі шворня у поздовжній та поперечній площинах, забезпечивши при

цьому як оптимальне значення вагового стабілізуючого моменту, так і моменту рівнодійної бокових реакцій.

Момент опору повороту керованих коліс напівпричепа під час руху автопоїзда (з достатньою для практичних розрахунків точністю) можна подати у вигляді многочлена [1], а саме:

$$\sum M_k(\theta) = \sum M_{\omega}(\theta) + M_{\text{ш}}(\theta) + \sum M_{Rz}(\theta) + M_{Ry}(\theta) + \sum M_{Rx}(\theta) + M_{\text{ТРш}}(\theta), \quad (1)$$

де $\sum M_k(\theta)$ – момент опору повороту керованих коліс задньої осі напівпричепа відносно осі шворня; $\sum M_{\omega}(\theta)$, $M_{\text{ш}}(\theta)$, $\sum M_{Rz}(\theta)$, $M_{Ry}(\theta)$, $\sum M_{Rx}(\theta)$, $M_{\text{ТРш}}(\theta)$ – складові моменту опору повороту, зумовлені відповідно кутовою швидкістю повороту цапфи, стабілізуючим моментом шини, що виникає в результаті кочення керованих коліс із відведенням, ваговим стабілізуючим моментом; моментами, викликаними рівнодійними бокових і поздовжніх реакцій опорної поверхні на колеса самовстановлювальної осі напівпричепа, а також тертям у шворневому вузлі.

Дослідимо на екстремум ваговий стабілізуючий момент.

Ваговий стабілізуючий момент при комбінованому нахилі осі шворня визначається такими залежностями [1]

$$M_{Rz} = M_{Rz\alpha\text{ш}} + M_{Rz\beta\text{ш}}, \quad (2)$$

де $M_{Rz\alpha\text{ш}}$, $M_{Rz\beta\text{ш}}$ – вагові стабілізуючі моменти, зумовлені відповідно поздовжнім та поперечним нахилом осі шворня $\alpha_{\text{шо}}$, $\beta_{\text{ш}}$.

Ці моменти визначаються такими залежностями [1]

$$M_{Rz\alpha\text{ш}1,2} = R_z \cos(\alpha_{\text{шо}} + \gamma_{\text{шо}}) (l_{\text{ц}} - r_{\text{д}} \text{tg} \gamma_{\text{ш}}) \times \cos \beta_{\text{ш}} \sin \alpha_{\text{шо}} \sin(\theta_{01} + \theta_{\text{л}1}); \quad (3)$$

$$M_{Rz\beta\text{ш}1,2} = R_z \cos(\alpha_{\text{шо}} + \gamma_{\text{шо}}) (l_{\text{ц}} - r_{\text{д}} \text{tg} \gamma_{\text{ш}}) \times \sin \beta_{\text{ш}} \cos(\theta_{01} + \theta_{\text{л}1}). \quad (4)$$

У записаних виразах (3) і (4) взято позначення:

$\gamma_{\text{шо}}$ – кут розвалу коліс у нейтральному положенні; $\gamma_{\text{ш}} = \gamma_{\text{шо}} + \beta_{\text{ш}}(1 - \cos \theta_0)$ – поточний кут розвалу, θ_0 – кут недовороту коліс; індекс

«1» відноситься до лівого колеса, індекс «2» – до правого.

Ваговий стабілізуючий момент за модулем та напрямком відповідає додатковому моменту, який необхідно створити відносно кожної з осей шворнів для повороту коліс керованої осі напівпричепа.

Для того, щоб колеса не відхилялися під дією випадкових збурень від нейтрального положення, ваговий стабілізуючий момент M_{Rz1} повинен бути максимальним у цьому положенні, причому подальший поворот коліс має зменшувати його.

Відшукавання значень кутів нахилу осі шворня $\alpha_{\text{шо}}$ і $\beta_{\text{шо}}$, за яких функція $M_{Rz1}(\alpha_{\text{ш}}, \beta_{\text{ш}})$ має максимум, є задачею диференціального обчислення функцій багатьох змінних.

Вся сукупність розв'язків рівнянь

$$\frac{\partial M_{Rz1}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0, \quad \frac{\partial M_{Rz1}(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = 0 \quad (5)$$

утворює множину значень, що надають екстремального значення функції $M_{Rz1}(\alpha, \beta)$ і є необхідною умовою існування екстремуму [2].

Другою умовою є те, що диференціал $M_{Rz1}(\alpha, \beta)$ – від'ємний (достатня умова існування екстремуму). Це дозволяє знайти такі значення α_0 , β_0 , за яких функція $M_{Rz1}(\alpha, \beta)$ має максимум.

Розглянемо задачу розрахунку екстремуму вагового стабілізуючого моменту при комбінованому нахилі осі шворня для лівого колеса задньої керованої осі напівпричепа.

З урахуванням (2)–(4) ваговий стабілізуючий момент запишемо у вигляді

$$M_{Rz1} = R_z \cos(\alpha_{\text{шо}} + \gamma_{\text{шо}}) (l_{\text{ц}} - r_{\text{д}} \text{tg} \gamma_{\text{ш}}) [\sin \beta_{\text{ш}} \times \cos(\theta_{01} + \theta_{\text{л}1}) + \cos \beta_{\text{ш}} \sin \alpha_{\text{шо}} \sin(\theta_{01} + \theta_{\text{л}1})]. \quad (6)$$

Зважаючи на малість кутів $\alpha_{\text{ш}}$, $\beta_{\text{ш}}$, $\gamma_{\text{ш}}$, γ_0 , θ_0 , розкладемо їх функції в ряд Тейлора і всі складові, що мають ступінь, більший за одиницю, відкинемо.

Тоді ваговий стабілізуючий момент при нейтральному положенні коліс задньої керованої осі напівпричепа запишеться у вигляді [2]

$$M_{RzI} = R_z [1 - 0,5(\alpha_{\text{шо}} + \gamma_{\text{шо}})^2] (l_{\text{ц}} - r_{\text{д}} \gamma_{\text{ш}}) [(1 - 0,5\beta_{\text{ш}}^2) \alpha_{\text{шо}} \theta_0 + \beta_{\text{ш}}(1 - 0,5\theta_0^2)]. \quad (7)$$

Необхідні умови існування екстремуму (5) задовольняються при [2]

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{шо}} = 0, \beta_{\text{ш}} = 0; \beta_{\text{ш}1,2} = A^{-1} \{ -B \pm [B^2 - \\ - 4A\gamma_{\text{шо}}^{-1}(4,5l_{\text{ц}}\gamma_{\text{шо}}r_{\text{д}}^{-1} - (0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2)]^{0,5} \}, \\ \alpha_{\text{шо}1,2} = \pm [2l_{\text{ц}}(1 + \beta_{\text{ш}1}^2)(\gamma_{\text{шо}}r_{\text{д}})^{-1}]^{0,5}, \\ \alpha_{\text{шо}3,4} = \pm [2l_{\text{ц}}(1 + \beta_{\text{ш}2}^2)(\gamma_{\text{шо}}r_{\text{д}})^{-1}]^{0,5}. \end{aligned} \quad (8)$$

У наведених виразах взято такі позначення

$$\begin{aligned} A = 12(\gamma_{\text{шо}} + 1,5l_{\text{ц}}r_{\text{д}}^{-1}), \\ B = 2r_{\text{д}}l_{\text{ц}}^{-1}(0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2 - 9\gamma_{\text{шо}}. \end{aligned} \quad (9)$$

При цьому враховано, що $\theta_0 = \alpha_{\text{шо}}\beta_{\text{ш}}^{-1}$ [3].

За умови додатності виразу під знаком кореня, з (6) випливає умова, яка накладає обмеження на один з параметрів $r_{\text{д}}, l_{\text{ц}}, \gamma_{\text{шо}}$

$$[2r_{\text{д}}l_{\text{ц}}^{-1}(0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2 - 9\gamma_{\text{шо}}] > 48(\gamma_{\text{шо}} + 1,5l_{\text{ц}}r_{\text{д}}^{-1}) \times \gamma_{\text{шо}}^{-1}(4,5l_{\text{ц}}\gamma_{\text{шо}}r_{\text{д}}^{-1} - (0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2). \quad (10)$$

З'ясуємо можливі знаки коренів $\beta_{\text{ш}1,2}$.

З виразів (8) та (5) випливає, що $B^* > 0$ при

$$4,5l_{\text{ц}}\gamma_{\text{шо}}r_{\text{д}}^{-1} < (0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2. \quad (11)$$

У цьому випадку один з коренів $\beta_{\text{ш}1,2}$ є від'ємним, а інший – додатним. Тоді умова (10) запишеться у вигляді

$$12(\gamma_{\text{шо}} + 1,5l_{\text{ц}}r_{\text{д}}^{-1}) > r_{\text{д}}^2l_{\text{ц}}^{-2}[(0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2 - 4,5\gamma_{\text{шо}}l_{\text{ц}}r_{\text{д}}^{-1}] \quad (12)$$

$$\text{і } B < 0 \text{ при } 4,5l_{\text{ц}}\gamma_{\text{шо}}r_{\text{д}}^{-1} < (0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2. \quad (13)$$

Якщо $\beta_{\text{ш}1,2}$ є додатними, то (12) набуде вигляду

$$12(\gamma_{\text{шо}} + 1,5l_{\text{ц}}r_{\text{д}}^{-1}) < r_{\text{д}}^2l_{\text{ц}}^{-2}[4,5\gamma_{\text{шо}}l_{\text{ц}}r_{\text{д}}^{-1} - (0,5\gamma_{\text{шо}}^2 - 1)^2]. \quad (14)$$

Додатковими критеріями, які дозволяють із множини підозрюваних на екстремум значень $\alpha_{\text{шо}}, \beta_{\text{ш}}, f = M_{RzI}(\alpha, \beta)$ у точці p_0 обрати одне, за умови [2]

$$D(p_0) = \begin{vmatrix} f''_{\beta\beta}(p_0) & f''_{\beta\alpha}(p_0) \\ f''_{\alpha\beta}(p_0) & f''_{\alpha\alpha}(p_0) \end{vmatrix} > 0,$$

$$f_{\beta\beta} < 0. \quad (15)$$

З урахуванням знаків коренів досліджуємо умову (15)

$$\begin{aligned} f''_{\beta\beta} = R_z [1 - 0,5(\alpha_{\text{шо}} + \gamma_{\text{шо}})^2] \cdot \frac{\alpha^2}{\beta^3} \times \\ \times (2l_{\text{ц}} - r_{\text{д}}\gamma_{\text{шо}}\alpha^2\beta^{-1}) < 0. \end{aligned} \quad (16)$$

При цьому знак $\alpha_{\text{шо}}$ не впливає на знак $f''_{\beta\beta}$, а на $\beta_{\text{ш}}$ – впливає.

Умові (16) задовольняють обидва корені $\beta_{\text{ш}1,2}$, а (13) – при виконанні (11) – тільки від'ємний корінь, а при виконанні (15) – більший із додатних коренів. Із двох коренів $\alpha_{\text{шо}1,2}$ достатнім умовам (13) та (14) задовольняють тільки від'ємні корені.

Значення $\alpha_{\text{шо}} = 0, \beta_{\text{ш}} = 0$ також не задовольняють умовам (15).

Таким чином, отримано вирази для визначення кутів нахилу осі шворнів, за яких ваговий стабілізуючий момент задньої керованої осі напівпричепа досягає свого максимального значення.

Дослідимо тепер умови, за яких момент бокових реакцій буде максимальним.

Результуючий момент, зумовлений рівнодією бічних реакцій керованого колеса при комбінованому нахилі осі шворня, визначається залежністю:

– для лівого керованого колеса

$$\begin{aligned} M_{R\Sigma 1} = R_x l_{\text{ц}} \sin \varphi [-\cos \varphi \cos \theta_{\text{ш}} \sin(\theta_0 + \theta_{\text{ш}1}) - \\ - \sin \alpha_{\text{шо}} \cos \beta_{\text{ш}} \sin \theta_{\text{л}} - \sin(\theta_0 + \theta_{\text{ш}1}) + \\ + \cos \beta_{\text{ш}} \sin \theta_{\text{л}} \cos(\theta_0 + \theta_{\text{ш}1})] + R_x r_{\text{д}} \cos \gamma_{\text{ш}} \times \\ \times (\sin \beta_{\text{ш}} \cos \alpha_{\text{шо}} + \sin \alpha_{\text{шо}} \sin \theta_{\text{л}}); \end{aligned} \quad (17)$$

– для правого керованого колеса

$$\begin{aligned} M_{R\Sigma 2} = R_x l_{\text{ц}} \sin \varphi [\cos \alpha_{\text{шо}} \cos \theta_{\text{ш}} \sin(\theta_0 + \theta_{\text{ш}2}) - \\ - \cos \beta_{\text{ш}} \sin \theta_{\text{л}} \cos(\theta_0 + \theta_{\text{ш}2})] + R_x r_{\text{д}} \cos \gamma_{\text{ш}} \times \\ \times (\sin \alpha_{\text{шо}} \sin \theta_{\text{л}} - \sin \beta_{\text{ш}} \cos \alpha_{\text{шо}} \cos \theta_{\text{ш}}). \end{aligned} \quad (18)$$

Тут $\gamma_{\text{шо}}$ – кут розвалу коліс у нейтральному положенні

$$\gamma_{\text{ш}} = \gamma_{\text{шо}} + \beta_{\text{ш}}(1 - \cos \theta_0), \quad (19)$$

де $\gamma_{\text{ш}}$ – поточний кут розвалу; θ_0 – кут недовороту коліс;

– кут між віссю шворня і цапфою

$$\varphi = 0,5\pi - \alpha_{\text{шо}} - \gamma_{\text{шо}}. \quad (20)$$

Перетворимо вирази (17) і (18) з урахуванням (19) і малих значень кутів α_{ψ} , β_{ψ} , γ_{ψ} , γ_0, θ_0 (розкладемо їх функції у ряд Тейлора і всі доданки вище другого ступеня відкинемо). Тоді момент рівнодійної бічних реакцій у нейтральному положенні запишеться у вигляді:

– для лівого керованого колеса

$$M_{RX1} = R_x \ell_{\text{ц}} \left[1 - 0,5(\alpha + \gamma_0)^2 \right] \left[1 - \frac{\beta^2}{2} - \alpha - \gamma_0 - \alpha \times \left(1 - \frac{\beta^2}{2} \right) \theta_0 \right] \theta_0 + R_x r_d (1 - 0,5\gamma_{\text{ш}}^2) \times \left[\beta(1 - 0,5\alpha^2) + \alpha\theta_0 \right]; \quad (21)$$

– для правого керованого колеса

$$M_{RX2} = R_x \ell_{\text{ц}} \left[1 - 0,5(\alpha + \gamma_0)^2 \right] [\beta^2 - \alpha^2] \times 0,5\theta_0 + R_x r_d (1 - 0,5\gamma_{\text{ш}}^2) [\beta(1 - 0,5\alpha^2)(1 - 0,5\theta_0^2) + \theta_0]. \quad (22)$$

Необхідні умови існування екстремуму функції M_{RX1}

$$\frac{\partial M_{RX1}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0, \quad \frac{\partial M_{RX1}(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = 0 \quad (23)$$

приводять до системи двох рівнянь відносно невідомих α і β

$$\begin{aligned} \alpha^2 + 2A\alpha + B &= 0, \\ \frac{1}{2}(l_{\text{ц}}\beta - r_d\theta_0^2\gamma_{\text{ш}}^2)\theta_0\alpha^3 + \frac{1}{2}[C - (1 - \gamma_0)l_{\text{ц}}\beta\theta_0]\alpha^2 + &+ \left(\frac{1}{2}\gamma_0^2 - 1 - \gamma_0\right)l_{\text{ц}}\beta\theta_0\alpha - C + l_{\text{ц}}\beta\theta_0\left(1 - \frac{1}{2}\gamma_0^2\right) = 0, \end{aligned} \quad (24)$$

де

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{3}[3\gamma_0 - (1 - \frac{1}{2}\beta^2)(1 + \frac{3}{2}\theta_0)]\theta_0 + \frac{r_d}{l_{\text{ц}}\theta_0}(1 - \frac{1}{2}\gamma_{\text{ш}}^2)\beta, \\ B &= \frac{2}{3} \left\{ \begin{aligned} &\frac{3}{2}\gamma_0^2 - 1 - (1 - \frac{1}{2}\beta^2[\theta_0 - \gamma_0 - \\ &-\frac{1}{2}\gamma_0\theta_0 - r_d l_d^{-1}(1 - \frac{1}{2}\gamma_{\text{ш}}^2)]) \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (25)$$

$$C = r_d \left(1 - \frac{1}{2}\gamma_0^2 - 2\gamma_0\beta\theta_0^2 - 1,5\beta^2\theta_0^4 \right).$$

Після визначення α через β з першого рівняння (25) і підстановки отриманого результату у друге рівняння (25) зведемо систему (24) до одного рівняння відносно β . Розв'язуючи ці рівняння чисельно або аналітично, одержуємо набір параметрів β і α . Для того, щоб обрати з отриманої множини ті кути, що відповідають максимуму функції M_{RX1} , з отриманих умов треба вибрати ті, що задовольняють достатнім умовам існування екстремуму.

Вся сукупність розв'язків цих рівнянь утворить множину значень, що надають екстремального значення функції $M_{RX1}(\alpha, \beta)$.

Додатковими критеріями, що дозволяють із множини значень підозрюваних на екстремум обрати ті, що реалізують максимум функції $f = M_{RX\Sigma 1}(\alpha, \beta)$ у точці p_o , за умови

$$D(p_o) = \begin{vmatrix} f''_{\beta\beta}(p_o) & f''_{\beta\alpha}(p_o) \\ f''_{\alpha\beta}(p_o) & f''_{\alpha\alpha}(p_o) \end{vmatrix} > 0 \quad (26)$$

і

$$f_{\beta\beta} < 0.$$

Ці умови визначають значення кутів нахилу осі шворня, за яких момент рівнодійної бічних реакцій у нейтральному положенні колеса досягає свого максимального значення.

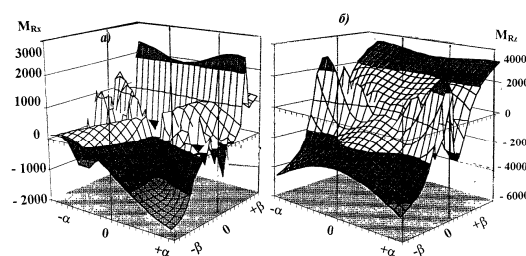


Рис. 1. Залежність моменту бічних реакцій (а) і вагового стабілізуючого моменту (б) від кутів нахилу осі шворня керованих коліс напівпричепа

На рис. 1 наведені моменти бічних реакцій і вагового стабілізуючого моменту в Нм для напівпричепа із задньою керованою віссю, для якого вихідними параметрами слугували: вертикальне навантаження на одне колесо $R_z = 40000$ Н, $\gamma_0 = 0,01$ рад, $L_{\text{ц}} = 0,3$ м, $R_d = 0,5$ м,

кути α і β змінювалися в межах від $-0,2$ рад до $0,2$ рад із кроком $0,02$.

Висновки

Аналіз наведених графіків дозволяє встановити значення кутів нахилу осі шворня, за яких як ваговий стабілізуючий момент, так і момент бічних реакцій досягають свого максимального значення. У конкретному випадку: кут нахилу осі шворня у поздовжній площині $\alpha_{ш} = -0,035$ рад; кут нахилу осі шворня в поперечній площині $\beta_{ш} = 0,115$ рад. Ці моменти необхідно враховувати при визначенні потужності електродвигуна, який використовують для повороту керованих коліс напівпричепа.

Література

1. Солтус А.П. Основы теории рабочего процесса и расчета управляющих колесных модулей: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / А.П. Солтус. – К., 1995. – 43 с.
2. Сахно В.П. Пошук шляхів підвищення стійкості прямолінійного руху автопоїзда / В.П. Сахно, Л.І. Зав'ялова, Є.Л. Барилоч, О.А. Крестянполь // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ПНЦ ТАУ. – 1999. – Вип. 3. – С. 61–67.
3. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1978. – 376 с.

Рецензент: М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 3 червня 2016 р.
