

УДК 631.3:62.001.57

Лілевман І., завідувач лабораторії, Лілевман О., ст. наук. співробітник (Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого), Подольський М., асистент (Херсонський національний технічний університет)

Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання

У статті описується розроблений авторами спосіб визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільгоспмашин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини. Спосіб полягає у визначенні координат вершин опорного контуру та центра ваги машини з наступним розрахунком кутів стійкості за запропонованою формулою. Апробація та практика застосування цього способу підтверджують його придатність для випробувань названого типу машин.

Ключові слова: колісні машини, випробування, поперечна статична стійкість, небалансирна підвіска, спосіб аналітичного моделювання, апробація.

Стан питання і суть проблеми. Ця стаття є продовженням публікацій в журналі щодо розроблених Південно-Українською філією УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого спільно з Херсонським національним технічним університетом способів визначення граничного кута поперечної статичної стійкості колісних сільськогосподарських машин без використання спеціального стендового обладнання, їх апробації та впровадження в практику випробувань.

Згідно зі стандартизованими методами [1, 2] визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільної сільгосптехніки має виконуватись на спеціальному стендовому обладнанні. Стенди, як засоби прямого вимірювання, забезпечують найвищу точність визначення поперечної статичної стійкості машин, але в практиці випробувань трапляється багато випадків, коли машина не може бути розміщена на стенді через свої великі розміри. Другою проблемою є те, що стенди – це непересувне устаткування, через що не можуть бути використані поза територією випробувальних центрів, де в багатьох випадках проводяться випробування сільськогосподарської техніки.

Для вирішення проблеми авторами статті розроблені три способи визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільськогосподарських машин без використання спеціального стендового обладнання, які ґрунтуються на застосуванні трьох видів моделювання: фізичного, аналітичного та графічного. Щодо способу із застосуванням фізичного моделювання, то в журналі [3] була відповідна публікація. Спосіб визначення граничного кута поперечної статичної стійкості із застосуванням аналітичного моделювання розроблений для чотирьох типів машин за конструкційними ознаками їх ходових частин, які об'єднані у дві групи за ідентичністю розрахункових формул.

До першої групи віднесені машини з балансирною підвіскою одного з мостів ходової частини та напівпри-

чіпні машини, а методологія визначення їх поперечної стійкості опублікована в журналі [4]. У цій статті йдеться про визначення зазначеного показника для машин другої групи, до якої включені триколісні та чотириколісні машини з небалансирною підвіскою коліс ходової частини.

Мета дослідження – розробити способи визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільгоспмашин без використання спеціального стендового обладнання.

Предмет дослідження – спосіб визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільгоспмашин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теоретичною основою розробленого способу визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання є три положення:

1) втрата машиною поперечної статичної стійкості, тобто перехід із стійкого в нестійке положення рівноваги, відбувається в той момент, коли лінія дії сили ваги машини, яка за визначенням проходить крізь центр ваги машини, перетинає її опорний контур;

2) залежно від кількості та взаємного розташування коліс тієї чи іншої машини опорний контур у більшості випадків може мати різні чотирикутні форми з вершинами посередині зовнішніх бокових сторін плям контакту коліс з площиною опори машини, тобто в точках К1, К2, К3, К4 (рис. 1, 2). Наприклад, сівалка зернотукова пресою СЗП-3,6В-06 (виробник ПАТ «Червона зірка» м. Кіровоград) має форму рівнобедреної трапеції (рис. 3);

3) граничний кут поперечної статичної стійкості колісної машини (α) в загальному випадку, тобто незалежно від різновиду її ходової системи, дорівнює куту

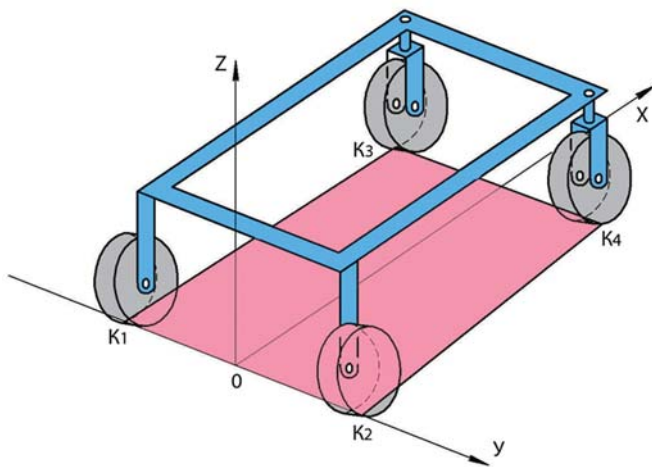


Рис. 1 – Схема розташування опорного контуру машини з чотирма небалансирно підвішеними колесами та зв'язаної з машиною просторової прямокутної системи координат

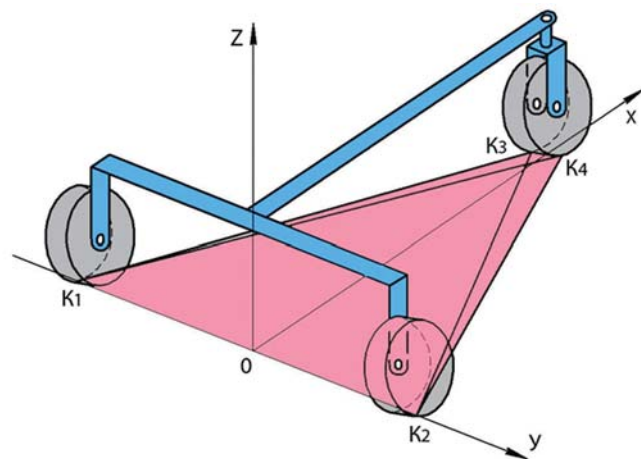


Рис. 2 – Схема розташування опорного контуру машини з трьома небалансирно підвішеними колесами та зв'язаної з машиною просторової прямокутної системи координат

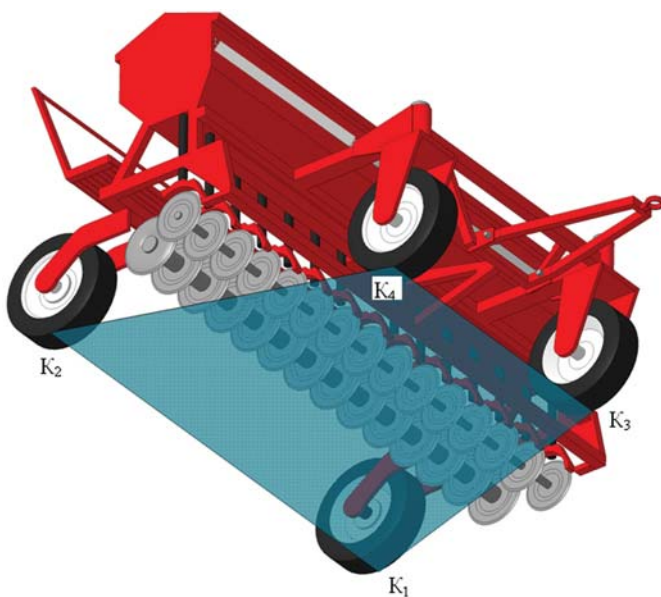


Рис. 3 – Схема розташування опорного контуру сіялки зернотукової пресової СЗП-3,6В-06

(α_1) між лініями дії сили ваги машини відносно горизонтального положення машини (лінія 1) і відносно нахиленого положення машини до стану нестійкої рівноваги (лінія 2), як кути з взаємно перпендикулярними сторонами ($\alpha = \alpha_1$) (рис. 4).

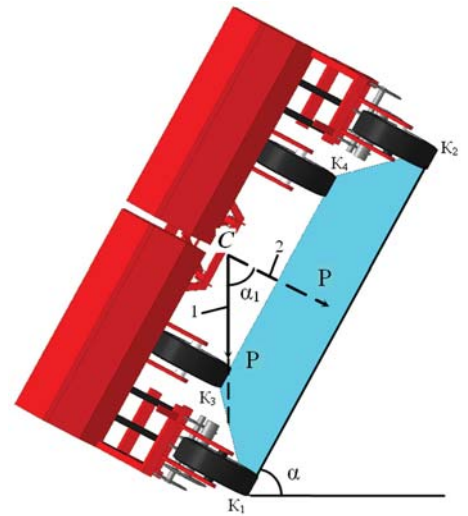


Рис. 4 – Схема розташування лінії дії сили ваги сіялки СЗП-3,6В-06 відносно її горизонтального положення і відносно нахиленого положення до стану нестійкої рівноваги (частина конструкції з робочими органами не зображена)

Таким чином, задача щодо визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машини зводиться до:

- розрахунку кутів між лінією дії сили ваги машини відносно горизонтального положення машини і лініями дії сили ваги відносно положень машини у стані нестійкої рівноваги в результаті її нахилу на лівий та правий боки;
- вибору найменшого з розрахованих кутів у якості оцінного значення.

Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання складається з трьох етапів.

На першому етапі з горизонтально розташованою машиною зв'язується просторова прямокутна система координат (OXYZ) (рис. 1, 2). Вісь абсцис (OX) системи координат співпадає з проекцією на площину опори машини вертикальної поздовжньої площини, яка проходить посередині між некерованими колесами, вісь ординат (OY) співпадає з проекцією на площину опори машини вертикальної поперечної площини, яка проходить крізь осі некерованих коліс, а вісь аплікату (OZ) – перпендикулярна до зазначених координатних осей і перетинає початок координат (O).

У цій системі координат вимірюються поперечні координати вершин K_1, K_2, K_3, K_4 ($Y_{K_1}, Y_{K_2}, Y_{K_3}, Y_{K_4}$) опорного контуру горизонтально розташованої машини та поздовжні координати вершин K_3, K_4 (X_{K_3}, X_{K_4}) (рис. 1, 2). Згідно зі стандартизованою методикою [5, 6] визначаються координати центру ваги машини (X_c, Y_c, Z_c).

На другому етапі, з метою урахування поперечного зсуву (поперечної деформації) пневматичних колісних шин у момент втрати машиною поперечної статичної стійкості на схилі, проводять коригування поперечних координат точок K_1, K_2, K_3, K_4 . Це пояснюється тим, що при нахилі машини на лівий бік поперечні координати точок K_1, K_3 відносно зв'язаної з машиною системи координат будуть меншими за абсолютною величиною поперечних координат відповідних точок горизон-

тально розташованої машини на величину поперечно-го зсуву (поперечної деформації) шин. Аналогічно будуть змінюватись поперечні координати точок K_2 і K_4 у разі нахилу машини на правий бік порівняно з поперечними координатами цих точок при горизонтальному положенні машини.

При значеннях кута поперечного нахилу машини, близьких до мінімально допустимого значення граничного кута поперечної статичної стійкості $25^\circ-30^\circ$ [7, 8, 9, 10] поперечний зсув (поперечна деформація) шин в середньому буде дорівнювати нормальному прогину шин [11]. За визначенням, нормальний прогин шин (h_o) розраховується як різниця вільного (r_o) і статичного (r_c) радіусів колеса:

$$h_o = r_o - r_c.$$

Отже, в загальному випадку, під час втрати машиною поперечної статичної стійкості кориговані поперечні координати точок K_1, K_2, K_3, K_4 ($Y'_{K1}, Y'_{K2}, Y'_{K3}, Y'_{K4}$) можна визначити з несуттєвою похибкою, як поперечні координати середніх точок зовнішніх сторін плям контакту коліс з опорною поверхнею при горизонтальному положенні машини ($Y_{K1}, Y_{K2}, Y_{K3}, Y_{K4}$), зменшені за абсолютною величиною на величину нормального прогину шин.

На третьому етапі розраховуються граничні кути поперечної статичної стійкості машини в результаті її нахилу на лівий та правий боки та вибирається найменший кут як оцінне значення.

Граничні кути поперечної статичної стійкості машини (чотириколісною або триколісною) з небалансирною підвіскою коліс ходової частини в результаті її нахилу на лівий та правий боки розраховуються за формулою, яка виведена методами аналітичної геометрії в ході розроблення способу:

$$\alpha_{1(2)} = \arccos \frac{Z_c}{\sqrt{\left[Y_c - \frac{X_c}{X_{K3(K4)}} (Y'_{K3(K4)} - Y'_{K1(K2)}) - Y'_{K1(K2)} \right]^2 + Z_c^2}}$$

де $\alpha_{1(2)}$ – кут поперечної статичної стійкості машини при її нахилі на лівий (правий) бік, град;

$Y'_{K1(K2)}$ – коригована по деформації шини поперечна координата точки K_1 (K_2) опорного контуру машини в розрахунку кута поперечної статичної стійкості машини при її нахилі на лівий (правий) бік, мм;

$Y'_{K3(K4)}$ – коригована по деформації шини поперечна координата точки K_3 (K_4) опорного контуру машини в розрахунку кута поперечної статичної стійкості машини при її нахилі на лівий (правий) бік, мм;

$X_{K3(K4)}$ – поздовжня координата точки K_3 (K_4) опорного контуру машини в розрахунку кута поперечної статичної стійкості машини при її нахилі на лівий (правий) бік, мм;

X_c, Y_c, Z_c – відповідно поздовжня, поперечна і вертикальна координати центра ваги машини, мм.

Спосіб апробовано на сівалці зернотуковій пресовій СЗП-3,6В-06, яка має чотириколісну ходову частину, та на візку ВУ-3 з жнивваркою зерновою ЖЗС-7 і змонтованим на ній пристроєм для збирання ріпаку ПЗР-6-01 (виробник ТОВ НВП “Херсонський машино-

будівний завод”), який має триколісну ходову частину.

Процес апробації включає:

- визначення граничного кута поперечної статичної стійкості зазначених машин розробленим способом із застосуванням аналітичного моделювання та стандартизованим способом прямого вимірювання цього показника з використанням стенда СУ-40 (рис. 5, 6);

- співставлення розбіжностей між значеннями граничного кута поперечної статичної стійкості машин, отриманих порівнюваними способами, з допустимими похибками вимірювань [1, 2].

Результати апробації наведені в таблиці.

Результати апробації способу визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання

Найменування і марка машини	Граничний кут поперечної статичної стійкості машини, град.		Розбіжність між значеннями граничного кута поперечної статичної стійкості машини, що визначені порівнюваними способами, град.	Допустима похибка вимірювань, град.
	визначений способом із застосуванням аналітичного моделювання	визначений стандартизованим способом із застосуванням стенда СУ-40		
Сівалка зернотукова пресова СЗП-3,6В-06	51,13	51	0,13	±1
Універсальний візок для перевезення жнивварок ВЖУ-7 з машиною кукурудзо-збиральною КМС-8	30,58	31,0	0,42	±1

З аналізу отриманих даних видно, що значення граничного кута поперечної статичної стійкості кожної з досліджених машин, які визначені із застосуванням аналітичного моделювання, відрізняються від значень цього показника за результатами прямого вимірювання на стенді СУ-40 у межах допустимої похибки вимірювань.

Апробація також підтвердила, що використання розробленого способу забезпечує можливість визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини:



Рис. 5 – Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості сівалки зернотукової пресової СЗП-3,6В-06 на стенді СУ-40



Рис. 6 – Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості триколісного візка ВУ-3 з жнивваркою зерною ЖЗС-7 і змонтованим на ній пристроєм для збирання ріпаку ПЗР-6-01 на стенді СУ-40

- незалежно від габаритних розмірів машин;
- на території підприємств та організацій, які не оснащені спеціальним стендом;
- у межах допустимої похибки вимірювань;
- з економією витрат енергії, матеріалів, робочого часу, а отже – з економією грошових витрат;
- зі зниженням рівня небезпеки процесу випробувань.

Таким чином, спосіб визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання придатний для проведення випробувань. Цей спосіб протягом останніх чотирьох років неодноразово використовували фахівці Південно-Української філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого в умовах, коли не було можливості використання спеціального стендового обладнання, а саме в умовах аграрних господарств, машинобудівних підприємств та митних складів.

Висновки.

1. Розроблено спосіб визначення граничного кута поперечної статичної стійкості машин з небалансирною підвіскою коліс ходової частини із застосуванням аналітичного моделювання.

2. Апробація та практика застосування способу дають підставу визнати його придатним для випробувань цього типу машин.

Список літератури

1. ГОСТ 12.2.002-91. ССБТ. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. – Введ. 1992-07-01.– М.: Изд-во стандартов, 1991. – 60 с.

2. СОУ 74.3-37-133:2004. Випробування сільськогосподарської техніки. Трактори, машини і обладнання для рослинництва, тваринництва, кормовиробництва та стаціонарні сільськогосподарські. Методи оцінки безпечності та ергономічності. – Чин. 2006-08-01.- К.: Мінагрополітики України, 2004. – 80 с.

3. Лілевман, І., Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості мобільних сільськогосподарських машин методом фізичного моделювання / І. Й. Лілевман, О. Й. Лілевман, З. М. Терещук // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 5. – С. 37-39.

4. Лілевман, І., Визначення граничного кута поперечної статичної стійкості колісних машин з балансирною підвіскою одного з мостів ходової частини та напівпричіпних машин із застосуванням аналітичного моделювання / І. Й. Лілевман, О. Й. Лілевман, М. І. Подольський // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 1. – С. 32-35.

5. ДСТУ ISO 789-6:2005. Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 6. Центр ваги (ISO 789/6-1982, IDT). – Чин. 2006-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с.

6. ГОСТ 27248-87 (ИСО 5005-77). Машины землеройные. Метод определения положения центра тяжести. – Введ. 1988-01-01.-М.: Изд-во стандартов, 1987. – 9 с.

7. ДСТУ 2189-93. ССБП. Машины сельскохозяйственной навесной та причіпні. Загальні вимоги безпеки. – Чин. 1994-01-01.– К.: Держстандарт України, 1993.–28 с.

8. ДСТУ 3158-95. Засоби малої механізації для сільськогосподарського виробництва. Загальні вимоги безпеки. – Чин. 1996-07-01.– К.: Держстандарт України, 1995. – 31 с.

9. ГОСТ 12.2.019-86. ССБТ. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – Введ. 1987-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.

10. ГОСТ 10000-75. Прицепы и полуприцепы тракторные. Общие технические требования. – Введ. 1977-01-01 – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.

11. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз [и др.]; под общ. ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.

Аннотація. В статтю описується розроблений авторами спосіб определения предельного угла поперечной статической устойчивости мобильных сельхозмашин с небалансирной подвеской колес ходовой части. Спосіб заключається в определении координат вершин опорного контура и центра тяжести машины с последующим расчетом углов устойчивости по предложенной формуле. Апробація и практика применения способа подтверждают его пригодность для испытаний названного типа машин.

Summare. The article describes the developed method of determination of the maximum angle of transverse static stability mobile machinery unbalanced wheel suspension. The method consists of determining the coordinates of the vertices of the basic contour and the centre of gravity of the machine with the subsequent calculation of the corners of stability on the proposed formula. Testing and practical way to confirm its suitability for tests of this type of machines.

Стаття надійшла до редакції 17 липня 2014 р.