

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА МІЖ ОСЬОВИМИ ЛІНІЯМИ ЗАДНЬОЇ СЕКЦІЇ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОГО ТРАКТОРА ТА ПРИЧІПНОЇ МАШИНИ ПІД ЧАС ПОВОРОТУ

Калінін Є., д-р техн. наук, доц.,

e-mail: kalininhtusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,

Коробко А., канд. техн. наук, доц.,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://0000-0002-6618-7790>

Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Мета дослідження – проаналізувати зміни у часі кута між секціями трактора за бічного відведення коліс та за різних режимів руху агрегата в повороті. Для досягнення поставленої мети необхідно:

– проаналізувати кінематику повороту шарнірно-зчленованого трактора з причепом або причіпною машиною та визначити наявність сталого та неусталеного руху;

– аналітично дослідити формування значень кута між секціями шарнірно-зчленованого трактора у часі.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів щодо кінематики повороту колісного трактора з шарнірно-зчленованою рамою, раціональне поєднання теоретичних і експериментальних досліджень та використання системного підходу.

Результати дослідження. Кінематику і тягову динаміку шарнірно-зчленованого трактора розглянуто з урахуванням кутів бічного відведення коліс мостів. Одним з факторів, які впливають на бічне відведення коліс трактора, є сила тяги на гаку. Напрямок цієї сили під час повороту визначається кінематикою причіпного агрегата й іншими параметрами. Положення причіпного агрегата залежить від кута між ним і осью ліній задньої секції шарнірно-зчленованого трактора. У процесі дослідження кута між осьовими лініями задньої секції шарнірно-зчленованого трактора і причіпного агрегата на повороті виділено три періоди: період входу в поворот, який можна розділити на дві фази; період усталеного повороту, коли трактор і причіпний агрегат рухаються навколо єдиного центра повороту та період виходу з повороту, який поділяється на дві фази.

Висновки. Під час проведення теоретичних досліджень встановлені залежності кута повороту трактора (кута між задньою секцією трактора та причіпною машиною або причепом). Отриманими залежностями можна визначити напрямок сили тяги на гаку під час повороту, що є дуже важливим показником для врахування впливу кутів бічного відведення шин коліс трактора на кінематику і тягову динаміку.

Ключові слова: шарнірно-зчленований трактор, причіпна машина, кінематика повороту.

Вступ. Поворот машин із шарнірно з'єднаною рамою, що вивчається в теорії автомобіля, трактора і т. п., як правило, не розглядається окремо, хоча багато режимів руху цих машин мають ряд таких особливостей, що їх вивчення представляє собою самостійну задачу. Справа в тому, що у зчленованих машин, коли її осі не

паралельні, навіть на горизонтальній поверхні на місці і в русі спостерігається перерозподіл навантажень на колеса [Вершинський Л. В. і др., 2006], [Лебедев А. Т., Калінін Є. І., 2010]. Найбільш яскраво це проявляється у машин, які працюють з вертикальними консольно прикладеними навантаженнями [Гоберман Л. А., 1988].

Типовим представником такого роду машин є трактор з причепом або причіпною машиною, в технологічному циклі яких ці навантаження досить значні і суттєво змінюються. Для таких машин нормальні реакції на колесах можуть відрізнятись у кілька разів [Калінін Є. І. та ін., 2017].

Дослідження цього явища проводилися різними авторами під час вирішення задачі статичної стійкості машини до перекидання [Переплетчик О. А. и др., 2005], [Корчан Н. С. и др., 2010]. Однак чималий інтерес представляє його вплив на різні характеристики криволінійного руху такі як радіус повороту [Лебедев А. Т. та ін. 2016], сили зчеплення, буксування та ковзання коліс опорною поверхнею [Ovsyannikov S. and others, 2018], втрати потужності на тертя і т. п., оскільки різниця навантажень на колеса призводить до зміни радіальної деформації шин і, як наслідок, до різних динамічних радіусів, розмірів опорної поверхні, а іноді і до зміни режиму руху колеса [Позин Б. М., Трояновская И. П., 2005], [Вершинский Л. В., 2006].

У роботах [Artemov N. P., Shulyak M.L., 2015], [Shulyak M.L., 2015], [Shulyak M.L., Lebedev A.T., 2016] досліджено стійкість трактора у складі з агрегатом перемінної маси і запропоновано напрямки підвищення ефективності керування роботою тракторів в агрегаті з такими машинами.

Постановка завдань. Вагомим показником повороту машини є зміна у часі кута повороту однієї секції шарнірно-зчленованого трактора відносно іншого.

Метою дослідження, з огляду на це, є аналіз зміни у часі цього кута за наявності бічного відведення коліс та за різних режимів руху агрегата в повороті. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- проаналізувати кінематику повороту шарнірно-зчленованого трактора з причепом або причіпною машиною та визначити наявність сталого та неусталеного руху;
- провести аналітичне дослідження формування значень кута між секціями шарнірно-зчленованого трактора у часі.

Методи і матеріали. Кінематику і тягову динаміку шарнірно-зчленованого трактора

необхідно розглядати з урахуванням кутів бічного відведення коліс мостів. Одним із факторів, які впливають на бічне відведення коліс трактора, є сила тяги на гаку. Напрямок цієї сили під час повороту визначається кінематикою причіпного агрегата та іншими параметрами. Положення причіпного агрегата залежить від кута між ним і осью лінією задньої секції шарнірно-зчленованого трактора.

У процесі дослідження кута між осьовими лініями задньої секції шарнірно-зчленованого трактора і причіпного агрегата під час повороту слід розрізняти три періоди.

1. Період входу в поворот, який можна розділити на дві фази:

- а) трактор і причіпний агрегат рухаються зі змінними радіусами;
- б) трактор рухається з постійним радіусом повороту, а причіпний агрегат ще зі змінним

2. Період усталеного повороту, коли трактор і причіпний агрегат рухаються навколо єдиного центра повороту.

3. Період виходу з повороту. Він поділяється на дві фази:

- а) трактор і причіпний агрегат рухаються зі змінними радіусами повороту;
- б) трактор рухається прямолінійно, а причіпний агрегат ще по кривій змінної кривизни.

Нехай трактор входить в поворот зі змінним кутом θ (рис. 1), тоді відносна кутова швидкість між задньою секцією трактора та причепа, або причіпної машини, визначається із залежності:

$$\omega_2 - \omega_{np} = \frac{d\alpha}{dt}, \quad (1)$$

де ω_2 – кутова швидкість задньої секції трактора;

ω_{np} – кутова швидкість причіпного агрегата;

α – кут між поздовжньою віссю задньої секції трактора і поздовжньою віссю причіпного агрегата;

t – час.

Кутова швидкість задньої секції трактора дорівнює:

$$\omega_2 = \frac{v_{n2}}{R_{n2}} = \frac{l_2(l_1 \cos \theta + l_2)}{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \theta} \dot{\theta}, \quad (2)$$

де v_{n2} – швидкість руху задньої секції трактора в повороті;

R_{n2} – радіус повороту задньої секції трактора;

l_1 та l_2 – довжина передньої та задньої секцій трактора відповідно.

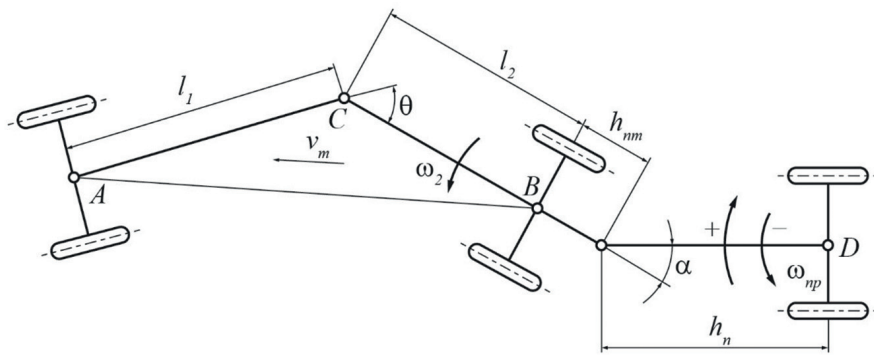


Рисунок 1 – Схема неусталеного повороту шарнірно-зчленованого трактора з причепом

Поворот причіпного агрегата можна представити як переміщення внаслідок поступального і обертального руху задньої секції трактора. Поступальний рух викличе кутову швидкість причепа навколо точки D (рис. 1):

$$\omega'_{np} = \frac{v_2 \sin \alpha}{h_n}, \quad (3)$$

де α – кут між віссю задньої секції трактора та віссю причепа або причіпної машини;

h_n – довжина дишла причепа або зчіпки.

Обертальний рух викличе кутову швидкість причепа, величина якої визначається із залежності:

$$\omega''_{np} = \frac{\omega_2 h_{nm} \cos \alpha}{h_n}, \quad (4)$$

де h_{nm} – відстань по горизонталі від центру заднього моста до точки кріплення причепа.

У процесі першої фази входу в поворот трактора зі швидкістю $v_m > 3$ км/год швидкість відносного руху задньої секції становить менше 3 % від v_m і $\alpha < 20^\circ$. Нехтуючи відносною швидкістю задньої

секції трактора і приймаючи $\sin \alpha \approx \alpha$, а $\cos \alpha \approx 1$, отримаємо:

$$\frac{d\alpha}{dt} - \frac{v_{n2}}{h_n} \alpha - \frac{v_{n2}}{R_{n2}} \left(1 + \frac{h_{nm}}{h_n}\right) + \frac{l_2(l_1 \cos \theta + l_2)}{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \theta} \left(1 + \frac{h_{nm}}{h_n}\right) = 0, \quad (5)$$

де, без урахування кутів бічного відведення коліс,

$$R_{n2} = \frac{l_1 + l_2 \cos \theta}{\sin \theta}. \quad (6)$$

Замінивши $\cos \theta \approx 1$ у вільному члені рівняння (5), похибка якого 1,5...2 % зі зміною $\theta = 0...40^\circ$ і

$\frac{l_1}{l_2} = 0,85...1,17$, отримаємо:

$$\frac{d\alpha}{dt} - \frac{v_{n2}}{h_n} \alpha - \frac{v_{n2} \sin \theta}{l_2 + l_1 \cos \theta} \left(1 + \frac{h_{nm}}{h_n}\right) + \frac{l_2 \dot{\theta}}{L} \left(1 + \frac{h_{nm}}{h_n}\right) = 0. \quad (7)$$

У такому вигляді рівняння не розв'язується. Необхідно величину $\frac{1}{l_2 + l_1 \cos \theta}$

розкласти в ряд Тейлора. З огляду на, що за $\frac{l_1}{l_2} = 0,85...1,17$ і $\theta = 0...40^\circ$ $R_{n2} = \frac{L}{\theta}$

(де L – база трактора, а похибка становить менше 5%), отримаємо:

$$\frac{d\alpha}{dt} + \frac{v_{n2}}{h_n} \alpha + \left(\frac{v_{n2} \dot{\theta} t}{L} - \frac{l_2 \ddot{\theta}}{L}\right) \left(1 + \frac{h_{nm}}{h_n}\right) = 0. \quad (8)$$

Розв'язок рівняння:

$$\alpha = \frac{h_n \dot{\theta}}{L} \left(1 + \frac{h_{nm}}{h_n}\right) \left[\frac{h_n + l_2}{v_{n2}} \left(1 - e^{-\frac{v_{n2} t}{h_n}}\right) - t \right]. \quad (9)$$

Для трактора з сидельним причепом використовується рівняння (9), якщо $h_{nm} = 0$.

Під час входу тракторного агрегата в поворот у другій фазі кут визначається з диференціального рівняння:

$$\frac{d\alpha}{dt} + \frac{v_{n2}}{h_n} \sin \alpha - \frac{v_{n2} h_{nm}}{R_{n2} h_n} \cos \alpha - \frac{v_{n2}}{R_{n2}} = 0. \quad (10)$$

Це ж рівняння можна записати так:

$$\frac{d\alpha}{\frac{h_n}{R_{n2}} \cos(\alpha + \psi) + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_{nm}}{R_{n2}}\right)^2}}} = \frac{v_{n2}}{h_n} \sqrt{1 + \left(\frac{h_{nm}}{R_{n2}}\right)^2} dt, \quad (11)$$

де

$$\sin \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_{nm}}{R_{n2}}\right)^2}}, \quad \cos \psi = \frac{\frac{h_{nm}}{R_{n2}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_{nm}}{R_{n2}}\right)^2}}. \quad (12)$$

Позначимо

$$k = \frac{\frac{h_n}{R_{n2}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_{nm}}{R_{n2}}\right)^2}}, \quad m = \frac{v_{n2}}{h_n} \sqrt{1 + \left(\frac{h_{nm}}{R_{n2}}\right)^2}. \quad (13)$$

$$\text{За } k^2 < 1 \text{ та } (1-k)tg \frac{\alpha + \psi}{2} < \sqrt{1+k^2},$$

розв'язок рівняння (11) виглядає так:

$$\alpha = 2 \arctg \frac{\sqrt{1+k^2}}{1-k} th \left(\frac{\sqrt{1-k^2}}{2} mt + \operatorname{arth} \frac{(1-k)tg \frac{\alpha_0 + \psi}{2}}{\sqrt{1+k^2}} \right) - \psi. \quad (14)$$

Під час входу в поворот у другій фазі агрегата із сідельним причепом, шарнір якого збігається з центром заднього моста, кут α визначається з диференціального рівняння (10), якщо $h_{nm} = 0$.

Результати. Під час усталеного повороту тракторний агрегат рухається навколо єдиного центра повороту. З рис. 2 можемо записати:

$$h_{nm} \cos \alpha + h_n = R_{n2} \sin(\alpha + \delta_2). \quad (15)$$

Після перетворень:

$$\alpha = \arcsin \frac{h_n R_{n2} \pm \sqrt{h_n^2 R_{n2}^2 - (R_{n2}^2 + R_{n2} \delta_2 - h_{nm})(h_n^2 + R_{n2} \delta_2 - h_{nm})}}{R_{n2}^2 + h_{nm}^2}. \quad (16)$$

Під час роботи із сідельним причепом:

$$\alpha = \arcsin \frac{h_n}{R_{n2}} - \delta_2. \quad (17)$$

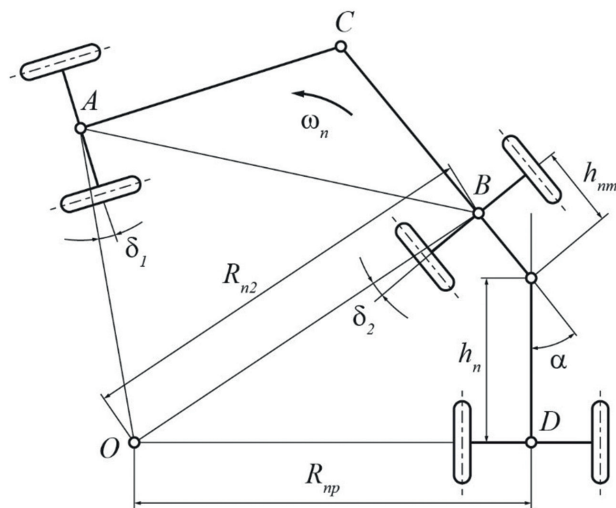


Рисунок 2 – Схема усталеного повороту шарнірно-зчленованого трактора з причепом або причіпною машиною

Під час виходу тракторного агрегата з повороту в першій фазі кут α визначається з рівняння (7) із заміною θt через $\theta_{\max} - \theta t$.

$$\alpha = \left(1 - \frac{h_{nm}}{h_n} \right) \frac{h_n}{l} \left\{ \dot{\theta} t - \theta_{\max} - \dot{\theta} \frac{h_n + l_2}{v_{n2}} + \left[\theta + \frac{\dot{\theta}(h_n + l_2)}{v_{n2}} \right] e^{-\frac{v_{n2} t}{h_n}} \right\} - \alpha_0 \frac{v_{n2}}{h_n}. \quad (18)$$

Під час виходу тракторного агрегата з повороту в другій фазі кут α визначається з диференціального рівняння (згідно з рис. 1):

$$\frac{d\alpha}{\sin \alpha} + \frac{v_{n2}}{h_n} dt = 0. \quad (19)$$

Його розв'язок за малих α :

$$\alpha = 2 \arctg \left(e^{-\frac{v_{n2} t + \ln \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}}{h_n}} \right), \quad (20)$$

де α_0 – початковий кут α , який визначається з рівнянь (18).

Обговорення. Формула (20) є дійсною для причіпних агрегатів, включаючи сідельний причіп.

За формулами (9), (16), (18) і (20) обчислені кути α для трактора ХТЗ-248К.20 під час входу; в поворот і виходу з нього ($l_1 = 1,38$ м; $l_2 = 1,34$ м; $\dot{\theta} = 0,29$ рад/сек; $v = 2,17$ м/сек; $h_{nm} = 0,82$ м; $h_n = 1,75$ м).

Теоретичні залежності перевірені експериментально. Для цього на тракторі ХТЗ-248К.20 були встановлені датчики кутів θ і α , сили тяги на гаку, динамометричні кардани виміру крутних моментів і лічильник обертів коліс. У процесі входу в поворот і виходу з нього записувалися вище перелічені величини і час.

Наведені розрахункові та експериментальні дані зміни α залежно від часу (рис. 3) практично збігаються. Зі зменшенням переносної швидкості трактора зі збільшенням кутової швидкості θ межі зміни кута α під час входу в поворот і виходу з нього збільшуються.

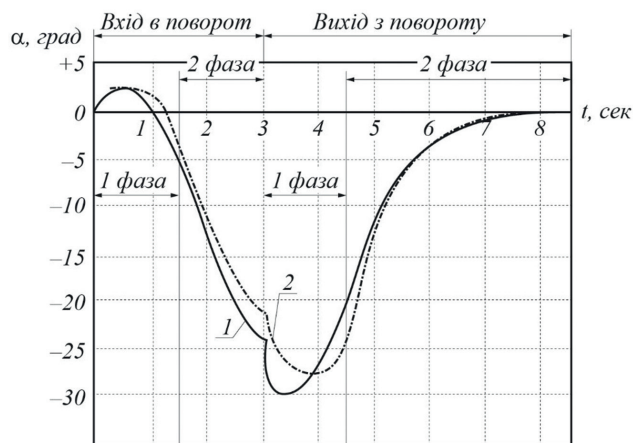


Рисунок 3 – Теоретичні (1) та експериментальні (2) залежності кута θ від часу під час входу в поворот трактора ХТЗ-248К.20 з одновісним причепом та під час виходу з нього

Висновки. Під час проведення теоретичних досліджень встановлені залежності кута повороту трактора (кута між задньою секцією трактора та причіпною машиною або причепом). Отриманими залежностями можна визначити напрямок сили тяги на гаку під час повороту, що є дуже важливим для врахування впливу кутів бічного відведення шин коліс трактора на кінематику і тягову динаміку.

Наукова цінність дослідження полягає в обґрунтування методології аналізу кінематики колісного трактора, з урахуванням формування гакового навантаження, під час неусталеного режиму повороту.

Практична цінність дослідження полягає у можливості розробки методики оцінки кінематики повороту шарнір-

но-зчленованого трактора для аналізу силових факторів, які діють на колісну машину, для покращення її показників у майбутньому проектуванні.

Перелік літератури

Вершинский Л. В. (2006). Экспериментальные исследования стационарного поворота колесного погрузчика с шарнирно-сочлененной рамой. Вестник Южно-уральского государственного аграрного университета. 47. 22–29.

Вершинский Л. В., Позин Б. М., Трояновская И. П. (2006). Модель стационарного поворота колесной машины с шарнирно-сочлененной рамой. Вестник Южно-уральского государственного аграрного университета. 47. 17–21.

Гоберман Л. А. (1988). Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. М.: Машиностроение, 464 с.

Калінін Є. І., Шуляк М. Л., Мальцев В. П. (2017). Вплив нестационарності гакового навантаження на буксування рушіїв колісного трактора. Системи обробки інформації. 5. 27–30.

Корчан Н. С., Подригало М. А., Полянський А. С., Задорожня В. В. (2010). Особенности исследования поперечной устойчивости колёсных машин с шарнирно-сочлененной рамой при опрокидывании. Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. 10. 449–455.

Лебедев А. Т., Калінін Є. І. (2010). Теоретичне дослідження тягово-зчіпних властивостей тракторів, обладнаних здвоєними шинами, під час виконання ґрунтообробних робіт на агрофоні підвищеної вологості. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. Вип. 14 (28). 216–224.

Лебедев А. Т., Калінін Є. І., Шуляк М. Л., Колеснік І. В. (2016). Аналітична модель повороту трактора з шарнірно-зчленованою рамою. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. 173. 161–167.

Переpletчик О. А., Позин Б. М., Трояновская И. П. (2005). Влияние схемы и параметров сочлененных тракторов и тракторных агрегатов на устойчивость по опрокидыванию. Вестник УрО РАН. 5. 60–62.

Позин Б. М., Трояновская И. П. (2005). Кинематические соотношения при взаимодействии движителя с грунтом при повороте. Вестник Южно-уральского государственного аграрного университета. 45. 93–96.

Artemov N. P., Shulyak M. L. (2015). Analysis and control of random vibration processes in the operation of mobile agricultural units as a mechanical systems. Scientific and educational journal the progressive researchers «Science & Genesis». April No. 1. 151–155.

Ovsyannikov S., Kalinin E., Koliesnik I. (2018). Oscillation process of multi-support machines when driving over irregularities. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 307–317.

Shulyak M. L. (2015). Oscillation of the speed of the MTA variable mass at a steady state of motion. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 17, 23–29.

Shulyak M. L., Lebedev A. T. (2016). Assessment of the sustainability of agricultural technologies in crop production to changes in the parameters and operating modes of tractor units. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 18 5. 53–58.

References

Artemov N. P., Shulyak M.L. (2015). Analysis and control of random vibration processes in the operation of mobile agricultural units as a mechanical systems. Scientific and educational journal the progressive researchers «Science & Genesis». April No. 1. 151–155.

Goberman L. A. (1988). Fundamentals of theory, calculation and design of construction and road machines. M. : Mechanical Engineering, 464 p.

Kalinin A. I., Shulyak M. L., & Maltsev V. P. (2017). Influence of non-stationary hook load on towing of wheeled tractor engines. Information processing systems. 5. 27–30.

Korchan N. S., Podrigalo M. A., Polyansky A. S., Zadorozhnyaya V. V. (2010). Features of the study of lateral stability of wheeled vehicles with an articulated frame during rollover. Theory and practice of forensic science and criminology. 10. 449–455.

Lebedov A. T., Kalinin E. I. (2010). Theoretical study of traction and coupling properties of tractors equipped with dual tires during tillage work on agro background of high humidity. Collection of scientific papers L. Pogorilyy UkrNDIPVT. 14 (28). 216–224.

Lebedov A. T., Kalinin A. I., Shulyak M. L., Kolusnik I. V. (2016). Analytical model of tractor rotation with articulated frame. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko. 173. 161–167.

Ovsyannikov S., Kalinin E., Koliesnik I. (2018). Oscillation process of multi-support machines when driving over irregularities. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 307–317.

Perepletchik O. A., Pozin B. M., Troyanovskaya I. P. (2005). Influence of the scheme and parameters of articulated tractors and tractor units on overturning stability. Bulletin of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 5. 60–62.

Pozin B. M., Troyanovskaya I. P. (2005). Kinematic relations for the interaction of the propeller with the ground when turning. Bulletin of the South Ural State Agrarian University. 45. 93–96.

Shulyak M. L. (2015). Oscillation of the speed of the MTA variable mass at a steady state of motion. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 17, 23–29.

Shulyak M. L., Lebedev A. T. (2016). Assessment of the sustainability of agricultural technologies in crop production to changes in the parameters and operating modes of tractor units. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture. 18 5. 53–58.

Vershinsky L.V. (2006). Experimental research of stationary turning of a wheel loader with an articulated frame. Bulletin of the South Ural State Agrarian University. 47. 22-29.

Vershinsky L. V., Pozin B. M.,

Troyanovskaya I. P. (2006). Model of a stationary turning of a wheeled vehicle with an articulated frame. Bulletin of the South Ural State Agrarian University. 47. 17-21.

UDC 629.113.073

DETERMINATION OF THE ANGLE FOR THE CENTER LINE WHEN ENTRING INTO A TURN BETWEEN THE REAR SECTION OF THE PIVOT-ARCHITECTED TRACTOR AND THE TRAILED MACHINE

Kalinin E., Dr. Tech. Sciences, Professor,

e-mail: kalininhtusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture,

Korobko A., Ph. D, Associate Professor,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>

Kharkiv branch L. Pogorilyy UkrNDIPVT,

Summary

Goal of the study is to analyze the change in time of the angle between tractor sections with lateral wheel slip and with different modes of movement of the unit in a turn. To achieve this goal, you must:

- analyze the kinematics of turning an articulated tractor with a trailer or a trailed machine and determine the presence of stable and unsteady motion;

- to conduct an analytical study of the formation of the values of the angle between the sections of the articulated tractor in time.

Research methods. The methodological basis of the work is the generalization and analysis of well-known scientific results on the kinematics of turning a wheeled tractor with an articulated frame, a rational combination of theoretical and experimental research and the use of a systematic approach.

The results of the study. The kinematics and traction dynamics of an articulated tractor are considered taking into account the axle wheel slip angles. One of the factors influencing the side slip of the tractor wheels is the pulling force on the hook. The direction of this force when turning is determined by the kinematics of the trailed unit and other parameters. The position of the towed implement depends on the angle between it and the center line of the rear section of the articulated tractor. In the process of studying the angle between the axial lines of the rear section of the articulated tractor and the trailed unit at the turn, three periods were distinguished: the period of entering the turn can be divided into two phases; the period of steady turn, when the tractor and the attached implement move around the center of the turn; and the period of exit from the turn, which is divided into two phases.

Conclusions. When carrying out theoretical studies, the dependences of the angle of rotation of the tractor (the angle between the rear section of the tractor and the trailed machine or trailer) were established. The obtained dependences make it possible to determine the direction of the traction force on the hook when turning, which is very important when taking into account the influence of the lateral slip angles of the tractor wheels on the kinematics and traction dynamics.

Keywords: articulated tractor, trailed machine, swing kinematics

УДК 629.113.073

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА МЕЖДУ ОСЕВЫМИ ЛИНИЯМИ ЗАДНЕЙ СЕКЦИИ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОГО ТРАКТОРА И ПРИЦЕПНОЙ МАШИНЫ ПРИ ВХОЖДЕНИИ В ПОВОРОТ

Калинин Е., д-р техн. наук, проф.,

e-mail: kalininhtusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка,

Коробко А., канд. техн. наук, доц.,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>

Харьковский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

Аннотация

Цель исследования. Целью исследования является анализ изменения во времени угла между секциями трактора при боковом уводе колес и при различных режимах движения агрегата в повороте. Для достижения поставленной цели необходимо:

- проанализировать кинематику поворота шарнирно-сочлененного трактора с прицепом или прицепной машиной и определено наличие устойчивого и неустановившегося движения;
- аналитически исследовать формирования значений угла между секциями шарнирно-сочлененного трактора во времени.

Методы исследования. Методологической основой работы является обобщение и анализ известных научных результатов по исследованию кинематики поворота колесного трактора с шарнирно-сочлененной рамой, рациональное сочетание теоретических и экспериментальных исследований и использования системного подхода.

Результаты исследования. Кинематику и тяговую динамику шарнирно-сочлененного трактора рассмотрено с учетом углов бокового увода колес мостов. Одним из факторов, влияющих на боковой увод колес трактора, является сила тяги на крюке. Направление этой силы при повороте определяется кинематикой прицепного агрегата и другими параметрами. Положение прицепного агрегата зависит от угла между ним и осевой линией задней секции шарнирно-сочлененного трактора. В процессе исследования угла между осевыми линиями задней секции шарнирно-сочлененного трактора и прицепного агрегата на повороте выделено три периода: период входа в поворот, который можно разделить на две фазы; период установившегося поворота, когда трактор и прицепной агрегат движутся вокруг единого центра поворота и период выхода из поворота, который делится на две фазы.

Выводы. При проведении теоретических исследований установлены зависимости угла поворота трактора (угла между задней секцией трактора и прицепной машиной или прицепом). Полученные зависимости позволяют определить направление силы тяги на крюке при повороте, что очень важно при учете влияния углов бокового увода шин колес трактора на кинематику и тяговую динамику.

Ключевые слова: шарнирно-сочлененный трактор, прицепная машина, кинематика поворота