DOI https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-11
УДК 631.371

В. Т. Надикто, д-р техн. наук ORCID: 0000-0002-1770-8297
І. О. Жокін, аспірант ORCID: 0009-0007-4711-1540
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua

ВПЛИВ КУТА ПОВОРОТУ КЕРОВАНИХ КОЛІС ТРАКТОРА НА КОЕФІЦІЄНТ КІНЕМАТИЧНОЇ НЕВІДПОВІДНОСТІ ПРИВОДУ ЙОГО МОСТІВ

Анотація. У статті розглянуто процес повороту тримашинного посівного агрегату в складі повнопривідного трактора ХТЗ-16131, напівнавісної зчіпки і трьох причіпних зернових сівалок типу СЗ-3,6. Вказаний трактор налаштований на реверсивний хід. До його переднього навісного механізму приєднана зчіпка з двома боковими сівалками. Центральна посівна машина приєднана до заднього навісного механізму трактора. Мета дослідження полягала у вивченні закономірності впливу кута повороту керованих коліс трактора на величину коефіцієнта кінематичної невідповідності у приводі його мостів під час руху тримашинного посівного МТА на поворотній смузі. У результаті встановлено, що зі збільшенням кута повороту (параметр α) керованих коліс реверсивного трактора значення коефіцієнта кінематичної невідповідності (k) приводу коліс енергетичного засобу зростає. Причому, тим інтенсивніше, чим більше значення параметра α. Інтенсивність функції $k = f(\alpha)$ найбільш відчутна за значень кута повороту керованих коліс енергетичного засобу, більших за 15°. У цьому разі збільшення параметра α з 15 до 25° значення коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі мостів енергетичного засобу зростає з 1,033 до 1,100, тобто на 6,5 %. Це майже вдвічі більше, ніж за кута повороту керованих коліс трактора від 0 до 15°.

Ключові слова: повнопривідний трактор, блокований привід коліс, тримодульний посівний агрегат, поворотна смуга.

Постановка проблеми. Нині майже всі посівні машини (і навіть посівні машинно-тракторні комплекси) за схемою агрегатування можна поділити на три групи: 1) одномашинні (одномодульні); 2) двомашинні (двомодульні); 3) тримашинні (тримодульні).

Посівні комплекси із числом машин (модулів) більше трьох трапляються вкрай рідко. Нині більшість із них перебуває на етапі теоретичних та/або експериментальних досліджень. З огляду на це, перспектива їх появи в практичній експлуатації ще не визначена.

З погляду продуктивності роботи найбільш перспективними й ефективними є тримашинні (тримодульні) машинно-тракторні агрегати (далі – МТА). Основою їх комплектування, як правило, є причіпні зчіпки, здатні об'єднувати три сівалки в один комплекс (рис. 1). Водночас МТА такої комплектації має дуже суттєвий недолік. А саме – дуже велику кінематичну довжину. А це зумовлює [1–3]: значну ширину поворотної смуги; великий радіус повороту МТА; суттєві непродуктивні витрату часу роботи агрегата в полі; значну трудоємність складання МТА і переведення його з транспортного положення в робоче та навпаки.

Однією з найсуттєвіших проблем таких агрегатів є їх маневрування на поворотній смузі. Особливо тоді, коли використовується трактор з блокованим приводом мостів. Адже його рух по криволінійній траєкторії найбільш негативно впливає на зміну коефіцієнта кінематичної невідповідності в його трансмісії.

© В. Т. Надикто, І. О. Жокін, 2025

Рис. 1. Тримодульний посівний агрегат

Аналіз останніх досліджень. Відмітимо, що результатів досліджень стосовно тримашинних посівних комплексів досить мало. Відомі приклади демонструють техніко-економічну ефективність таких МТА, сформованих на базі напівнавісних безколісних зчіпок [4]. Причому, як за заднього шеренгового, так і бокового розміщення сівалок по відношенню до трактора. Водночас здійснено спробу оцінити мостову схему з'єднання трьох сівалок з двома тракторами. Водночас якість дослідження стосовно кінематики, а тим паче динаміки повороту таких машинно-тракторних агрегатів, майже відсутні. А це зумовлює суттєві проблеми в напрямі вирішення питання щодо обґрунтованого вибору їх конструктивно-технологічних параметрів.

Практиці відомі тримодульні агрегати для косіння трав у валки. Кожен такий агрегат містить самохідний енергетичний засіб, фронтальну та дві бокові машини [5]. Однак результати досліджень кінематики або динаміки їх руху як на робочому гоні, так і на поворотній смузі в літературних джерелах не виявлені.

У роботі [6] описано конструкцію тримодульного посівного комплексу з боковим розташуванням двох навісних сівалок. Причому положення останніх досить наближене до фронтального. Проте автори описують лише конструкцію агрегата. Ні кінематику, ні динаміку його плоско-паралельного руху на поворотній смузі вони не розглядають.

Досліджуючи повороткість посівних МТА, значна частина науковців приймають спрощення, суть якого полягає в представленні сівалки / сівалок силою їх тягового опору, відхиленою на певний кут від поздовжньої осі симетрії трактора [7; 8]. Такий методичний підхід не дає змоги предметно розглянути вплив параметрів технологічної частини посівного МТА на показники його повороткості, а тому широко застосовуватися не може.

Що стосується досліджень динаміки зміни коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі коліс повнопривідного трактора за його руху в складі широкозахватного посівного (або іншого) МТА на поворотній смузі, то вони майже відсутні.

Фізичним об'єктом наших досліджень є тримашинний посівний МТА на базі повнопривідного трактора з колісною формулою 4К4б (ХТЗ-16131 (рис. 2). Для здійснення безаварійного повороту цей трактор 1 налаштовано на реверсний режим руху.

До заднього навісного механізму енергетичного засобу (який у цьому випадку є переднім) приєднано напівнавісну зчіпку 2 (типу СН-75). Дві бокові причіпні зернові сівалки СЗ-3,6 (позиція 3) приєднано до навісних механізмів указаної зчіпки, а центральну – до переднього (у цьому випадку – заднього) навісного механізму трактора.

Мета дослідження – вивчити закономірність впливу кута повороту керованих коліс трактора на величину коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі його мостів під час руху тримашинного посівного МТА на поворотній смузі.

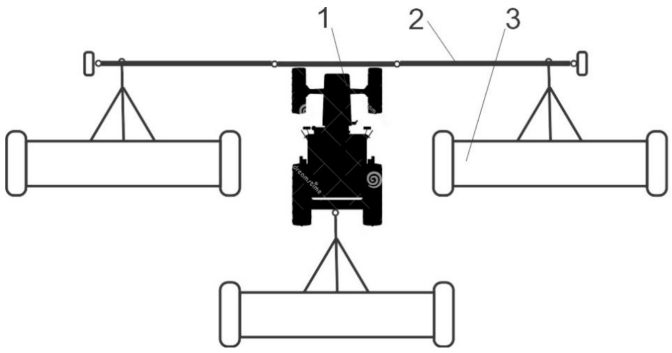

Рис. 2. Дослідний посівний агрегат:

1 – трактор ХТЗ-16131; 2 – зчіпка; 3 – сівалка СЗ-3,6

Основна частина. Зазначимо, що тягова динаміка повнопривідного колісного енергетичного засобу цілком залежить від типу його міжосьового приводу. У дослідженні в розглядуваному тракторі застосовується блокований привід. За такого конструктивного рішення передня й задня осі енергетичного засобу жорстко з'єднані між собою за допомогою спеціального механізму – роздавальної коробки.

У тракторів з блокованим приводом осей між ними завжди є певна кінематична невідповідність. Пов'язано це з тим, що в процесі функціонування трактора в складі того чи іншого МТА через вплив технологічної частини останнього, дії вертикальних нерівностей профілю шляху тощо колові швидкості коліс заднього й переднього мостів енергетичного засобу відрізняються між собою.

Вирівнювання цих швидкостей можливе лише за умови буксування або ковзання однієї з мостів. Ті колеса, колова швидкість яких більша, прийнято називати забігальними, а ті, у яких вона менша, – відсталими. Звідси випливає, що рушії, які забігають, завжди функціонують із відповідним буксуванням, а тому завжди формують тягову силу. Натомість колеса, які відстають, як правило, функціонують із меншим буксуванням, яке за певних умов може бути від'ємним. У теорії трактора таке явище відоме під виразом «паразитна циркуляція потужності» [9].

Для з'ясування впливу кута повороту керованих коліс трактора (α) на величину коефіцієнта кінематичної невідповідності розглянемо схему його руху на поворотній смузі із задніми забігальними колесами (рис. 3).

У цьому разі за абсолютним значенням швидкість V_B є дещо більшою за швидкість V_A. У загальному вигляді рівняння режиму руху досліджуваного тримодульного посівного машинно-тракторного агрегату є таким:

$$V_A = V_B \cdot \cos(\alpha + \delta_B), \quad (1)$$

де δ_B – кут уводу задніх коліс трактора, град.

Проведеними нами попередніми дослідженнями установлено, що залежність $\delta_B = f(\alpha)$ у цьому разі є лінійною і задовільно апроксимується рівнянням виду:

$$\delta_B = 0{,}014 \cdot \alpha - 0{,}014 \quad (2)$$

Ураховуючи залежність (2), рівняння (1) трансформується до такого виду:

$$V_A = V_B \cos(1{,}014 \cdot \alpha - 0{,}014). \quad (3)$$

У розглядуваному нами варіанті коефіцієнт кінематичної невідповідності (k) приводу досліджуваного трактора репрезентує відношення швидкості забігальних коліс (V_B) до швидкості відсталих (V_A)

$$k = \frac{V_B}{V_A}. \quad (4)$$

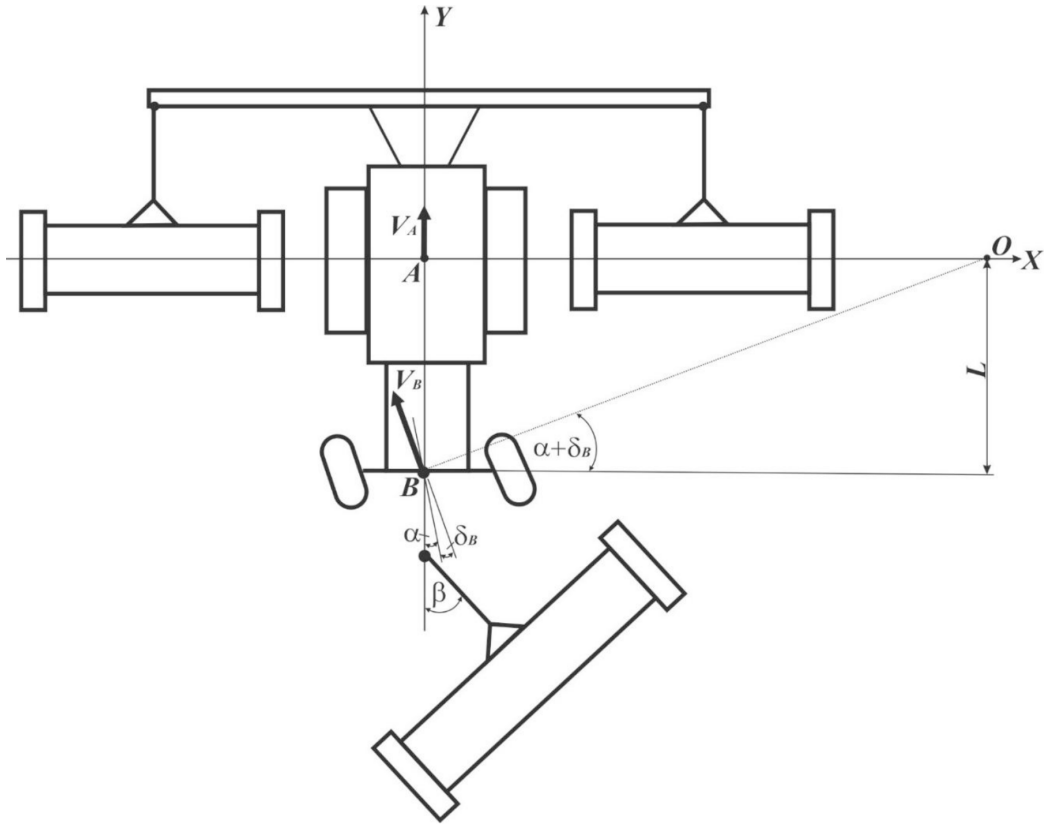

Рис. 3. Кінематична схема повороту МТА

Ураховуючи вираз (3), отримуємо залежність, яка відтворює вплив зміни кута повороту керованих коліс трактора (α) на величину параметра *k*:

$$k = \frac{1}{\cos\left(1{,}014 \cdot \alpha - 0{,}014\right)}. \tag{5}$$

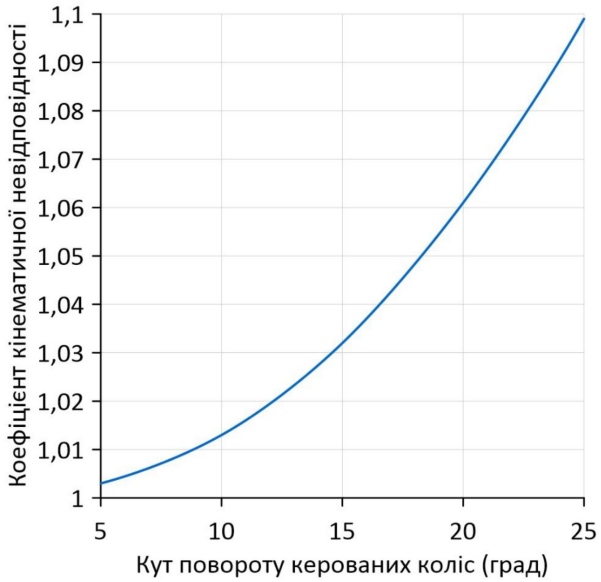

Рис. 4. Залежність коефіцієнта кінематичної невідповідності у приводі мостів трактора від кута повороту його керованих коліс

 ISSN 2220-8674

Графічна інтерпретація залежності (5) засвідчує (рис. 4), що зі збільшенням кута повороту керованих коліс енергетичного засобу значення коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі його переднього й заднього мостів зростає. Причому тим інтенсивніше, чим більше значення параметра α.

Функцію $k = f(\alpha)$ умовно можна розділити на дві зони. У першій зростання функції за зміни аргументу йде повільніше, ніж у другій. Згідно з методикою, викладеною в [10], точкою розділу цих двох зон є абсциса α = 15°.

Так, за значень α = 5–15° величина параметра k зростає з 1,003 до 1,033, тобто на 3 %. Натомість за збільшення значень кута повороту керованих коліс трактора з 15 до 25° значення коефіцієнта кінематичної невідповідності у приводі мостів енергетичного засобу зростає з 1,033 до 1,100, тобто на 6,5 %. А це майже вдвічі більше. З огляду на це, слід ураховувати, що за кута повороту керованих коліс трактора більших за 15° кінематична невідповідність зростає значно інтенсивніше, ніж за менших значень цього параметра.

Оптимальним значенням коефіцієнта кінематичної невідповідності є 1,0. Водночас, оскільки таке значення в процесі роботи того чи іншого машинно-тракторного агрегата може бути лише миттєвим, то на практиці зазвичай оперують раціональним діапазоном значень цього параметра, який становить 0,97–1,03 [11, 12]. За більших або менших його значень матимуть місце підвищені буксування рушіїв енергетичного засобу, зношеність його шин, питомі витрати пального тощо.

Висновки. 1. Аналіз отриманих даних засвідчує, що зі збільшенням кута повороту керованих коліс реверсивного трактора за його агрегатування з двома боковими й однією центральною причіпними зерновими сівалками значення коефіцієнта кінематичної невідповідності (k) приводу коліс енергетичного засобу зростає. Причому тим інтенсивніше, чим більше значення кута повороту керованих коліс трактора (параметр α).

2. Інтенсивність функції $k = f(\alpha)$ найбільш відчутна за значень кута повороту керованих коліс енергетичного засобу, більших за 15°. У цьому разі збільшення значень параметра α з 15 до 25° значення коефіцієнта кінематичної невідповідності у приводі мостів енергетичного засобу зростає з 1,033 до 1,100, тобто на 6,5 %. Це майже вдвічі більше, ніж за кута повороту керованих коліс трактора від 0 до 15°.

Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Надикто В. Т., Кюрчев В. М. Дослідження технологічної придатності тракторів для роботи у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 3. С. 63–70.

2. Надикто В., Самородов В. Перспективний напрямок створення комбінованих та широкозахватних МТА. *Техніка в АПК*, 2006. № 4. С. 6–9.

3. Ільченко В. Ю., Нагірний Ю. П., Джолос П. А. та ін. Машиновикористання в землеробстві. Київ : Урожай, 1996. 384 с.

4. Konstantinov M. M., Terpilovsky E. Y. Improving Methods for Constructing wide-width units. *News Orenburg State Agrarian University*. 2006. Vol. 3, № 11(1). P. 71–73.

5. Antille D.L. et al. Review: Soil compaction and controlled traffic farming in arable and grass cropping systems. *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17, № 3. P. 653–682.

6. Krasovskikh B.C. et al. Seeding combine as a means of increasing the efficiency of sowing grain crops. *Bull. Altai State Agrarian University*. 2012. Vol. 7, № 93. P. 74–79.

7. Li B., Wang K., Shao Z. Time-optimal trajectory planning for tractor-trailer vehicles via simultaneous dynamic optimization. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2015. P. 3844–3849.

8. Tu X., Tang L. Headland turning optimization for agricultural vehicles and those with towed implements. *Journal of Agriculture Food Research. Elsevier Ltd*. 2019. Vol. 1, № November. P. 100009.

9. Macmillan R. H. The Mechanics of Tractor-Implement Performance: Theory and Worked Examples. *University of Melbourne*. 2002. 166 p.

10. Bulgakov V., Nadykto V., Velichko I. et al. Investigation of draft coefficient of efficiency of wheeled tractor. *Engineering for rural Development*. 2016. Vol. 2016-January. P. 1036–1041.

11. Надикто В. Т. До питання кінематичної невідповідності в приводі коліс модульного енергетичного засобу. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2002. № 4(18). С. 190–195.

12. Надикто В. Т. Методика вибору коефіцієнта кінематичної невідповідності в приводі коліс МЕЗ тягового класу 1,4–3. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2011. Том. 1, № 1. С. 3–10.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2025
Стаття прийнята 01.11.2025
Статтю опубліковано 22.12.2025

V. Nadykto, I. Zhokin
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

INFLUENCE OF THE TRACTOR TURNING ANGLE STEERED WHEELS ON THE KINEMATIC DISCREPANCY COEFFICIENT OF ITS DRIVE AXLES

Summary

The article considers the process of turning a three-machine sowing unit consisting of an all-wheel drive tractor KhTZ-16131, a semi-mounted hitch, and three trailed grain seeders of the SZ-3.6 type. The specified tractor is set up for reverse travel. A hitch with two side seeders is attached to the front of the attachment. The central sowing machine is connected to the rear attachment of the tractor. The research aimed to investigate the regularity of the influence of the tractor's steered wheels' turning angle on the kinematic discrepancy coefficient value during the drive of its axles while moving the three-machine sowing MTA on the headland. As a result, it was found that with an increase in the turning angle (parameter α) of the reversible tractor's steered wheels, the value of the kinematic mismatch coefficient (k) of the drive wheels of the power tool increases. Moreover, the more intensively, the greater the α parameter value. The function $k = f(\alpha)$ intensity is most noticeable at values of the tractor's steered wheels' turning angle greater than 15°. In this case, an increase in the parameter α from 15 to 25° increases the value of the kinematic discrepancy coefficient in the drive of the tractor's axles from 1.033 to 1.100, i.e., by 6.5 %. This is almost twice as much as at the angle of rotation of the steered wheels of the tractor from 0 to 15°.

***Keywords*:** four-wheel drive tractor, locked wheel drive, three-module sowing unit, headland.