

STUDY OF THE POSITIONING ACCURACY OF MACHINE-TRACTOR UNITS FOR WORKING ON SLOPES

V. Satsiuk*, R. Kirchuk, S. Khomych

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

In Ukraine, a precision farming system based on geo-information technologies is used. The quality of technological operations depends on the accuracy of the positioning of the machine-tractor unit. In Ukraine, a large part of agricultural land is located on slopes. When using machine-tractor units equipped with navigation devices without gyroscopes on slopes, the accuracy of positioning depends on the errors caused by both correction signals and the angle of inclination of the working area. In the article, theoretical studies are carried out on the influence of the height of the antenna of the navigation equipment and the angle of transversal inclination of the working area of the field on the positioning error of the unit. It has been found that the positioning error of the unit caused by the transverse inclination of the site increases significantly with the increase in the angle of inclination of the site and the height of the antenna location. To confirm the theoretical data, a multivariate experiment was carried out using the non-composite Box-Behnken plan. The ASN-Agro parallel drive system with ASN-Agro VI.03 software was used to investigate the positioning accuracy of the machine-tractor unit. For the experimental studies, a machine-tractor unit was used, consisting of MTZ1221 tractor, OGN 800/16 sprayer and ASN-Agro parallel drive system. The research was carried out taking into account the following factors: the height of the antenna of the navigation equipment, the angle of the transverse inclination of the working area, the speed of the machine-tractor unit. The height of the antenna of the navigation equipment above the surface of the working area was 1–2.8 m. The transverse tilt angle of the work area was 0–3 degrees. Based on the results of the research, regression equations were obtained and response surfaces were constructed. The analysis of the experimental data shows that the angle of transversal inclination of the field surface and the height of the antenna of the navigation equipment have a significant influence on the accuracy of the positioning of the unit.

Key words:

positioning accuracy of the machine-tractor unit, navigation system, work on slopes, parallel driving system, precision farming

Article history:

Received 16.05.2023

Accepted 19.06.2023

***Corresponding author:**

satsyukvasyl@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi49.1062

To cite this article:

Satsiuk, V., Kirchuk, R., & Khomych, S. (2023). Study of the positioning accuracy of machine-tractor units for working on slopes. *Agricultural Machines*, 49, 111-116. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1062>

УДК 629.783:631.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ РОБОТІ НА СХИЛАХ**В.В. Сацюк*, Р.В. Кірчук, С.М. Хомич***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

В Україні використовується система точного землеробства, що базується на геоінформаційних технологіях. Якість виконання технологічних операцій залежить від точності позиціонування машино-тракторного агрегата. В Україні значна частина сільськогосподарських угідь розташована на схилах. У випадку використання на схилах агрегатів, що оснащені навігаційним обладнанням без гіроскопа, точність позиціонування буде залежати від похибок, які зумовлені як сигналами корекції, так і кутом нахилу робочої ділянки. У статті проведено теоретичні дослідження впливу висоти розташування антени навігаційного обладнання та кута поперечного нахилу робочої ділянки поля на похибку позиціонування агрегата на полі. Встановлено, що похибка позиціонування агрегата, яка зумовлена поперечним схилом ділянки, суттєво зростає із збільшенням кута нахилу ділянки та висоти розташування антени. Для підтвердження отриманих теоретичним шляхом даних було проведено експеримент із використання некомпозиційного плану Бокса-Бенкена. Використовуючи систему паралельного водіння ASN-Agro із програмним забезпеченням ASN-Agro V1.03 досліджено точність позиціонування машино-тракторного агрегата. Для досліджень використовували машино-тракторний агрегат у складі: трактор МТЗ1221, оприскувач ОГН 800/16, система паралельного водіння ASN-Agro. Дослідження проводили з урахуванням факторів: висота розташування антени навігаційного обладнання, кут поперечного нахилу робочої ділянки, швидкість руху машино-тракторного агрегата. Висота розташування антени навігаційного обладнання над поверхнею робочої ділянки становила 1–2,8 м. Кут поперечного нахилу робочої ділянки становив 0–3 град. Аналіз експериментальних даних показує, що суттєвий вплив на точність позиціонування агрегата на полі мають кут поперечного нахилу поверхні поля та висота розташування антени навігаційного обладнання.

Ключові слова:

точність позиціонування машино-тракторного агрегата, навігаційна система, робота на схилах, система паралельного водіння, точне землеробство

Історія публікації:

Отримано 16.05.2023

Затверджено 19.06.2023

***Автор для листування:**

satsyukvasyl@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi49.1062

Цитувати цю статтю:

Сацюк, В. В., Кірчук, Р. В., & Хомич, С. М. (2023). Дослідження точності позиціонування машино-тракторних агрегатів при роботі на схилах. *Сільськогосподарські машини*, 49, 111-116. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1062>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В Україні глобальними навігаційними супутниковими системами (Global Navigation Satellite System – GNSS) є GPS, Galileo, ГЛОНАСС та Beidou (*Вечера та ін., 2018*). Система точного землеробства дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій під час вирощування різних сільськогосподарських культур. Точність позиціонування машино-тракторних агрегатів (МТА) скорочує до мінімуму пропуски та перекриття за суміжних проходів агрегатів полем. Використання системи глобального позиціонування дозволяє працювати агрегату в умовах поганої видимості, зокрема, у темний час доби. Використання системи глобального позиціонування підвищує продуктивність МТА (*Shibusawa, 2001; Finger et al., 2019*).

Точність позиціонування МТА особливо важлива за дистанційного зондування поверхні ґрунту, диференційованого внесення засобів захисту рослин, добрив та відбирання зразків ґрунту. Для реалізації технологій точного землеробства точність позиціонування МТА є недостатньою. Це спричинено цілою низкою факторів (*Neményi et al., 2003; Холодюк, 2020*): багатопроменевість розповсюдження сигналу; точність годинника супутника; атмосферні явища; орбіта супутника; похибка обчислення місця розташування рухомого об'єкта; GPS-приймачі.

Практика застосування навігаційного обладнання на мобільних МТА свідчить про те, що досить часто виникає ситуація із втратою сигналів із супутників GNSS. Основними факторами, що спричиняють ці втрати, є викривлення сигналів GNSS за умови прийому антеною відбитих променів та попадання антени МТА в зону «радіо тіней», що спричинені ЛЕП та лісосмугами (*Raj et al., 2021; Сацюк та ін., 2022*).

Мета дослідження – дослідити точність позиціонування МТА, що не обладнанні гіроскопом із навігаційним обладнанням, під час роботи на схилах.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для дослідження точності позиціонування МТА при роботі на схилах використовували: систему паралельного водіння ASN-Agro із програмним забезпеченням ASN-Agro V1.03;

МТА (трактор МТЗ 1221 та оприскувач ОГН 800/16); електронний магнітний кутомір; вимірювальну рулетку Stanley OPP Tylon. Експериментальні дослідження проводили за симетричним некомпозиційним планом Бокса-Бенкіна другого порядку.

Для досліджень вибирали робочі ділянки з кутом поперечного нахилу $\alpha = 0\text{--}3$ град. Кут нахилу робочої ділянки поля визначали за допомогою електронного кутоміра, який встановлювали за допомогою магніту на капоті трактора.

Точність позиціонування МТА на полі оцінювали за абсолютною похибкою згідно з методикою (*Сацюк, 2022*). Для цього у меню налаштування техніки вибирали ширину захвату штанги $B = 16$ м. На випробувальному майданчику наносили базову лінію (пряму лінію довжиною 100 м.) Після цього скеровували МТА так, щоб центр антени розташовувався напроти нанесеної базової лінії. У програмному забезпеченні ASN-Agro V1.03 вводили точку A – початок гону, а через 100 метрів вводили точку B – кінець гону. Відповідно, отримали базову лінію, від якої програмне забезпечення ASN-Agro V1.03 побудувало паралельні прямі. У режимі руху паралельними прямими скеровували рух МТА вздовж побудованих ліній, використовуючи підказки на планшеті. У момент, коли відхилення положення МТА у програмному забезпеченні ASN-Agro V1.03 від побудованої лінії паралельного руху відповідало нулю, МТА зупиняли та вимірювали рулеткою фактичну відстань від базової лінії до центра антени. Абсолютну похибку позиціонування агрегата Δ визначали за виразом:

$$\Delta = |L - B|, \quad (1)$$

де Δ – абсолютна похибка позиціонування агрегата, м; L – фактична відстань від базової лінії до центра антени, м; B – ширина захвату агрегата, м.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Антену навігаційного обладнання МТА встановлюється на кабіні або капоті трактора. Під час руху МТА з навігаційним обладнанням на рівнинній ділянці поля проєкція точки розташування антени на горизонтальну площину співпадає з поздовжньою віссю МТА.

У цьому випадку точність позиціонування МТА на робочій ділянці буде залежати від точності навігаційного обладнання та параметрів сигналів корекції. Якщо МТА виконує технологічні операції на схилах без гіроскопа, то на точність позиціонування МТА на полі, окрім точності навігаційного обладнання, буде впливати похибка, що викликана зміною положення розташування антени навігаційного обладнання відносно поздовжньої осі МТА.

Розглянемо рух МТА на ділянці поля з поперечним схилом, що характеризується кутом нахилу α (рис. 1). Антена навігаційного обладнання встановлена на кабіні трактора (на рис. 1 – це точка M). Введемо Декартову систему координат, вісь x якої паралельна горизонту. У випадку руху МТА на рівнинній ділянці ($\alpha = 0$) проекція точки M розташування антени на горизонтальну площину буде знаходитись у точці O . Якщо МТА рухається ділянкою із кутом поперечного нахилу $\alpha \neq 0$, то проекція точки M на горизонтальну площину буде відхилена від поздовжньої осі МТА на величину OK (рис. 1). Величина OK буде додатковою похибкою позиціонування МТА у горизонтальній площині, а величина KN – у вертикальній площині (Сацюк, 2022).

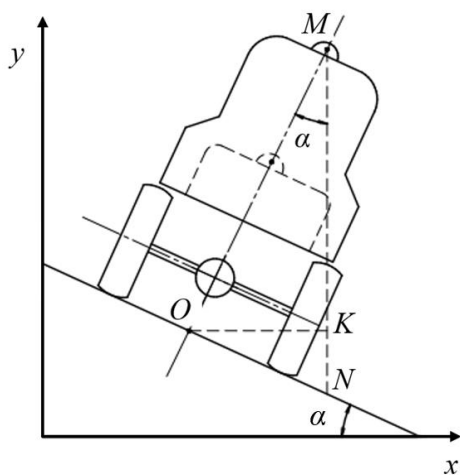


Рис. 1 – Схема до визначення похибки позиціонування МТА на ділянці поля з поперечним схилом

Для визначення величини відрізків OK та KN розглянемо прямокутний трикутник ΔOKM (кут $\angle OKM = 90^\circ$). Із трикутника ΔOKM матимемо:

$$\Delta x = OK = MO \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

де Δx – похибка позиціонування МТА на полі в горизонтальній площині, см; MO – висота розташування антени на кабіні трактора МТА, см.

Визначимо похибку позиціонування МТА у вертикальній площині KN :

$$\Delta y = KN = MN - MK. \quad (3)$$

Очевидно, що MN та MK обчислюються за виразами (рис. 1):

$$MN = \frac{MO}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

$$MK = MO \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Позначимо через H висоту розташування антени на кабіні трактора МТА, тобто $MO = H$. Ураховуючи заміну, підставимо вирази (4) та (5) у вираз (3), тоді матимемо:

$$\Delta y = H \left(\frac{1}{\cos \alpha} - \cos \alpha \right). \quad (6)$$

За виразами (2) та (6) побудовані графічні залежності похибок позиціонування МТА у горизонтальній Δx (рис. 2, а) та вертикальній Δy (рис. 2, б) площині від висоти розташування антени H та кута поперечного нахилу робочої ділянки поля α . Аналіз побудованих графіків показує, що похибка позиціонування МТА, яка викликана поперечним схилом ділянки зростає із збільшенням кута нахилу ділянки α та висоти розташування антени H .

Щоб перевірити точність позиціонування МТА із використанням системи паралельного водіння, було проведено трифакторний експеримент за методикою некомпозиційного плану Бокса-Бенкена. Дослідження проводили з урахуванням факторів: висота розташування антени навігаційного обладнання H , кут поперечного нахилу робочої ділянки поля α , швидкість руху МТА V . Антену навігаційного обладнання ASN AGRO встановлювали на: передніх противагах трактора МТЗ-1221 (висота над рівнем поля $H = 1$ м); капоті трактора МТЗ-1221 ($H = 1,9$ м); кабіні трактора МТЗ-1221 ($H = 2,8$ м).

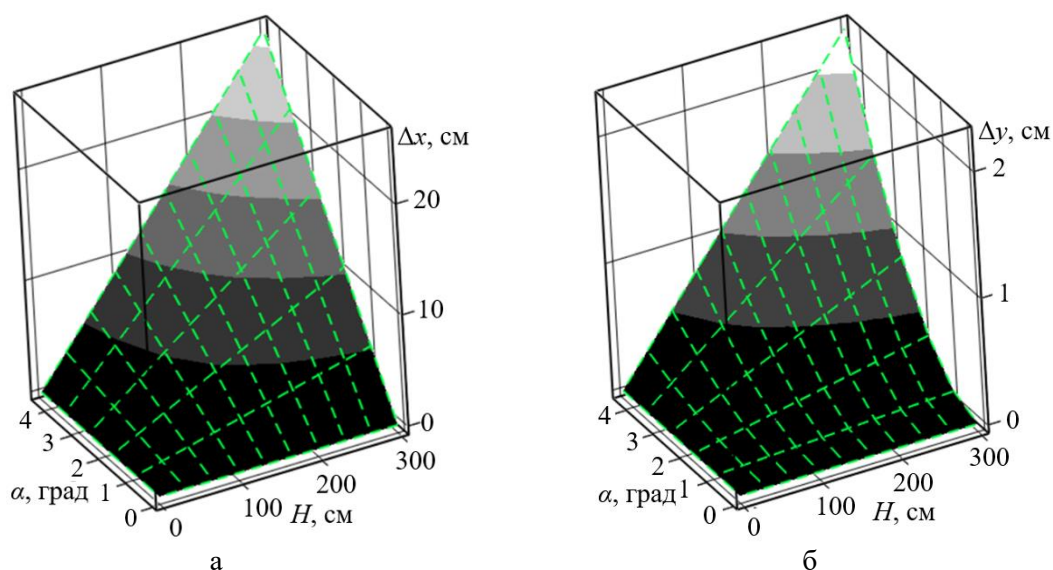


Рис. 2 – Графічні залежності похибок позиціонування МТА у горизонтальній Δx (а) та вертикальній Δy (б) площині від висоти розташування антени H та кута поперечного нахилу робочої ділянки α

За результатами проведеного експерименту та математичного оброблення даних отримали рівняння регресії з факторами в натуральному вигляді (рис. 3):

$$\Delta = 7,46 - 6,63\alpha + 12,29H + 2,74V + 3,36\alpha H - 1,44VH + 2,05\alpha^2, \quad (7)$$

де Δ – абсолютна похибка позиціонування МТА, см; α – кут поперечного нахилу ділянки, град; H – висота розташування антени, м; V – швидкість руху агрегата полем, км/год.

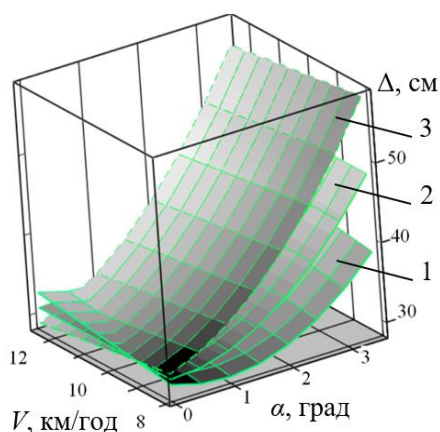


Рис. 3 – Поверхні відгуку $\Delta = f(\alpha, H, V)$:
1 – $H = 1$ м (розташування антени на передніх противагах трактора МТЗ-1221); 2 – $H = 1,9$ м (розташування антени на капоті трактора МТЗ-1221); 3 – $H = 2,8$ м (розташування антени на кабіні трактора МТЗ-1221)

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень встановлено, що суттєвий вплив на точність позиціонування МТА із використанням системи паралельного водіння без гіроскопа має кут поперечного нахилу ділянки поля та висота розташування антени навігаційного обладнання над рівнем поля. На поперечних схилах (до 3 град), у випадку розташування антени на кабіні трактора (висота розташування антени над поверхнею поля – 2,8 м), абсолютна похибка позиціонування МТА складає 50–55 см. Зміна швидкості руху МТА в межах 8–12 км/год не має суттєвого впливу на точність руху МТА із системою паралельного водіння ASN AGRO.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Finger, R., Swinton, S. M., Benni, N. E., & Walter, A. (2019). Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11(1). <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>
- Neményi, M., Mesterházi, P. Á., Pecze, Z., & Stépán, Z. (2003). The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 40(1-3), 45-55. [https://doi.org/10.1016/s0168-1699\(03\)00010-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1699(03)00010-3)
- Raj, E. F. I., Appadurai, M., & Athiappan, K. (2021). Precision farming in modern agriculture. In Choudhury, A., Biswas, A., Singh, T.P., Ghosh, S.K. (eds) *Smart Agriculture Automation Using Advanced Technologies. Transactions on Computer Systems and Networks*. Springer, Singapore.

- https://doi.org/10.1007/978-981-16-6124-2_4
- Shibusawa, S. (2001). Precision farming approaches for small scale farms. *IFAC Proceedings Volumes*, 34(11), 22-27. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)34099-5](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)34099-5)
- Вечера, О. М., Роговський, І. Л., & Пастушенко, С. І. (2018). Навігаційні системи в технологіях точного землеробства (*Navigation systems in precision farming*). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*, 296, 133-138. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2018.02.133-138>
- Сацюк, В. (2022). Дослідження точності руху машинно-тракторного агрегату із використанням глобальних навігаційних супутникових систем у технологічних операціях вирощування сої (*Study of the accuracy of the movement of machine-tractor units using Global Navigation Satellite Systems in technological operations of soybean cultivation*) [Кваліфікаційна робота магістра]. Луцький національний технічний університет, Луцьк.
- Сацюк, В. В., Дідух, В. Ф., & Федонюк, М. А. (2022). Дослідження якісних показників прийому сигналів GNSS навігаційним обладнанням машинно-тракторних агрегатів (*Research of quality indicators of GNSS signal receipt by navigation equipment of machine-tractor units*). *Сільськогосподарські машини*, 48, 94-99. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.880>
- Холоднок, О. В. (2020). Глобальні навігаційні супутникові системи та їх роль у технологіях точного землеробства (*Global navigation satellite systems and their role in precision agriculture technologies*). *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2(109), 71-87. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2020-2-8>