

УДК 631.171.001

АВТОВОДІННЯ ШИРОКОЗАХВАТНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ З ДВОМА GPS АНТЕНАМИ

Р.В. Мельник, канд. техн. наук
ННЦ «ІМЕСГ»

Подано систему автоводіння широкозахватних машинно-тракторних агрегатів з двома GPS антенами під час реалізації агротехнологічної електронної карти завдань у польових умовах.

Ключові слова: автоводіння, широкозахватний машинно-тракторний агрегат, GPS антени, агротехнологічна електронна карта.

Глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС-GNSS) все більше застосовують для розв'язку актуальних задач високоточної навігації [1].

На території України обмежуючими чинниками виробництва продукції рослинництва на базі високоточної навігації та бортових програмно-апаратних комплексів (ПАК) є такі: неможливість надання високоточних цілодобових навігаційних послуг користувачам, що мають одночастотне обладнання; алгоритми та технології функціонування закордонних фірм, які у разі відмови пропонують замовляти послуги фірм; точність та надійність безпосередньо у динаміці руху машинно-тракторних агрегатів (МТА) не відповідає обіцянкам реклами; у випадках попадання зони роботи користувача в розріджену частку навігаційної мережі або за межі цієї мережі; контрольно-корегувальні станції (ККС) майбутньої мультитиреференсної мережі для диференційних корекцій у системі космічного навігаційного застосування України [3,4] поки що розгортаються та проходять стадії експериментального відпрацювання; вітчизняні високі технології у сфері точного визначення місцеположення високошвидкісних рухомих об'єктів завдяки обробці сигналів ГНСС та мережі ККС поки що не впроваджені, але активно розвиваються у напрямі розповсюдження диференційних DGPS/RTK корекцій у реальному часі роботи навігаційної апаратури користувачів (НАК) рухомих об'єктів.

Мета дослідження – підвищення точності руху за заданим напрям-

© Р.В. Мельник.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

ком широкозахватних машинно-тракторних агрегатів (МТА) за допомогою двох GPS антен та агротехнологічної електронної карти (АТЕК) завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Режими роботи індикатора згідно із заздалегідь заданою траєкторією руху відомі з таких джерел [5–9].

Також відомим є спосіб автоматичного водіння ШМТА за заданим напрямком, в якому вимірюють кутову швидкість повороту керованих коліс і швидкість поступального руху трактора та формування керуючого сигналу на керовані колеса пропорційно відношення:

$$\frac{\omega}{V_y} = \frac{L \cdot \sin^2 \gamma}{2 \cdot \varepsilon_{\max} \cdot b^2 (1 + \cos \gamma)^2}, \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість повороту керованих коліс трактора, рад/с; V_y – швидкість поступального руху трактора, м/с; L – база трактора, м; γ – кут у горизонтальній площині між повздовжніми осями трактора і одноосного причепа, рад; ε_{\max} – максимальний кут повороту машинно-тракторного агрегату з постійним радіусом кривої у фазі руху, рад; b – відстань від осі шарніра причепа до задніх коліс трактора, м [10].

Недоліком цього автоматичного водіння за заданим напрямком руху транспортного засобу є складність використання кількох датчиків з високою точністю вимірювання у польових умовах під час руху.

Більш ефективним способом автоматичного водіння транспортного засобу [11] є спосіб, при якому датчик відхилення напрямку руху від заданого використовують прийомоіндикатор однієї із супутникових радіонавігаційних систем, наприклад: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, який разом з датчиком кута повороту колеса відносно поздовжньої кривої осі через блок управління, що підключений до відстежуючого приводу руху за заданим напрямком та засобів зміни положення керованих коліс.

Недоліком у ньому є складність технологічної реалізації та недостатня точність стабілізації керування під час руху за заданим напрямком.

Результати досліджень. Розроблена система автоводіння ШМТА працює за розробленим алгоритмом так:

Крок 1. ШМТА, що обладнаний системою автоводіння, яка керує виконавчим механізмом здійснення повороту напрямних коліс за заданим напрямком, а також бортовий обчислювальний пристрій, що

приймає сигнали від навігаційного прийомоіндикатора глобальної навігаційної супутникової системи, вхід якого поєднано з приймальною антеною, попередньо створюють агротехнологічну електронну карту завдання та базовий файл. За допомогою електронного формувача накопичуються значення параметрів місцеположення на полі опорних та еталонних точок, а після отримання команди на вибір конкретного завдання параметрів обмежень згідно з технологічною смугою здійснюється рух точно вздовж чергового гону. Кожну траєкторію розвороту згідно з кривою переходу від кінця попереднього гону на наступний черговий гін, а також кожну планову траєкторію руху МТА визначають у робочій пам'яті обчислювача (рис. 1).

Крок 2. За допомогою формувача координатної сітки поля записують накопичені у цьому файлі параметри разом з базовим значенням відстані антен у робочу пам'ять обчислювального пристрою, де параметри цих точок визначені у двох системах координат, а геодезичну систему використовує навігаційний прийомоіндикатор.

Крок 3. Фіксують рухому спрямовуючу лінію, яка визначає у просторі вісь орієнтації транспортного засобу та поєднує дві рознесені таким чином точки жорсткого закріплення центрів двох приймальних антен, відстань між якими точно вимірюють та запам'ятовують у базовому файлі і пам'яті обчислювача за фіксування цієї базової рухомої лінії.

Крок 4. На оброблюваному полі оцінюють вплив похибок послідовного вимірювання значень параметрів координатно-часового місцеположення антен на точність оцінки межі габаритної смуги даних МТА, що в цьому часовому інтервалі не рухається, а перебуває у точці.

Крок 5. Використовуєть блок адаптивної синхронізації у часі паралельних інтервальних процесів, значення тривалості яких залежить від планової швидкості руху МТА по полю, а також від покрокового введення даних, які отримують від антен, що приймають навігаційні сигнали GPS.

Крок 6. Обчислювачем зчитують значення параметрів місцеположення наступних опорних та еталонних точок електронної карти, яка у єдиній місцевій відносній системі відліку XOY згідно з параметрами поточного гону та значенням швидкості руху МТА відповідно до нових навігаційних визначень за прийомоіндикатором і дає можливість за допомогою перетворювача перерахувати вхідні значення у геодезичній системі координат у вихідні значення у місцевій відносній системі координат XOY .

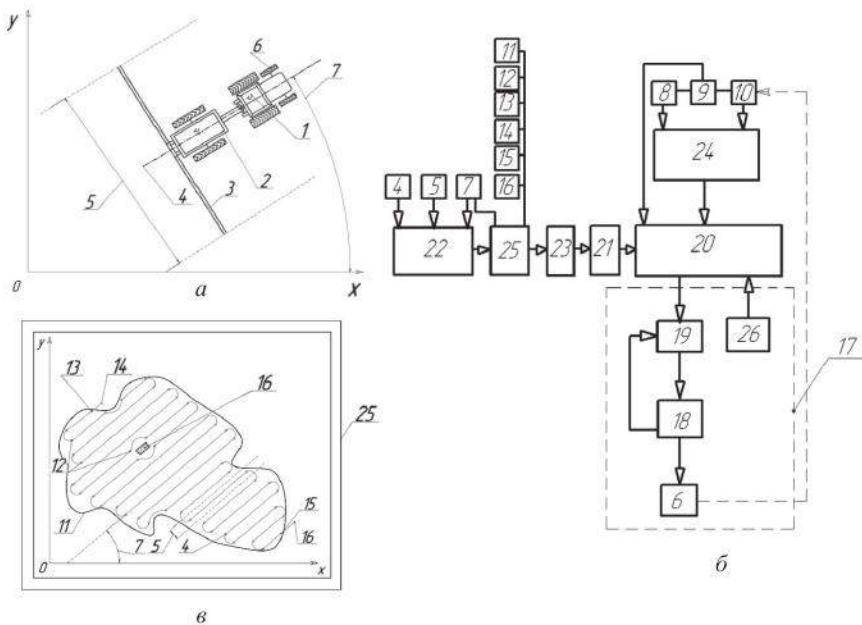


Рис. 1. Модернізована система автоводіння ШМТА: а - схема осі напрямку руху машинно-тракторного агрегату в системі координат; б - блок-схема системи автоматичного водіння широкозахватного машинно-тракторного агрегату; в - карта поля з будь-яким контуром ділянки, що обробляється: 1 - колісний тягач; 2 - причіпна машина; 3 - робочі органи машини; 4 - гін; 5 - смуга руху; 6 - керовані колеса; 7 - базовий кут орієнтації гонів; 8 - приймальна антена; 9 - рухома спрямовуюча лінія; 10 - приймальна антена; 11 - контурна лінія; 12 - опорна точка на полі; 13, 14, 15, 16 - еталонні точки; 17 - система автоматичного водіння; 18 - направляючі колеса; 19 - регулятор; 20 - бортовий обчислювальний пристрій; 21 - робоча пам'ять; 22 - електронний формувач; 23 - базовий файл; 24 - прийоміндикатор; 25 - електронна карта завдання; 26 - пульт керування

Крок 7. Виконують поточне покрокове порівняння точності збігання місцеположення точок закріплення центрів двох приймальних антен, що рухаються зі значенням відповідних їм програмних розрахункових точок, для чого формують сигнал якості руху безрейкового транспортного засобу, значення якого дорівнює значенню фактичного

тангенса кута спрямовуючої лінії осі OX , і за необхідності коригують роботу регулятора разом з виконавчим механізмом здійснення повороту напрямних коліс МТА.

Крок 8. Ухвалюють рішення на контрольованому часовому інтервалі щодо належності сформованого сигналу якості руху МТА одному з можливих двох класів. Якщо цей сигнал належить до першого класу, тоді обчислювач вводять до наступного кроку функціонування, згідно з блоком синхронізації обчислювача, у протилежному випадку, коли сигнал якості руху належить другому класу, формують додатковий сигнал неузгодженості.

Крок 9. Ініціалізують процес формування адаптивного коригуючого сигналу управління за формулою:

$$U_k = \frac{\gamma_k - \beta}{1 + \beta \cdot \gamma_k}, \quad (2)$$

де γ_k – характеристика поточного кута орієнтації під час руху, рад;

$$\gamma_k = \sqrt{\left(\frac{l_a}{\Delta x_k}\right)^2} - 1, \quad (3)$$

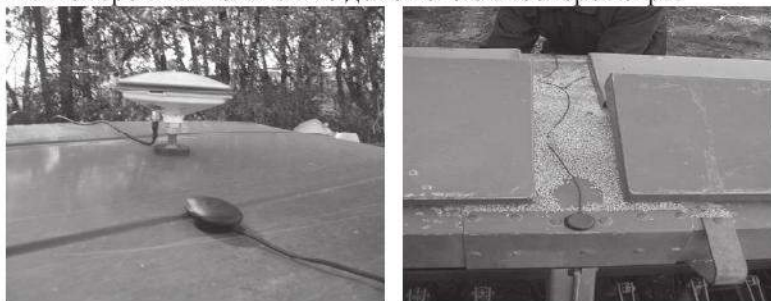
де $\forall k = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ – максимальна кількість кроків заміни коригуючого сигналу управління, щоб асептично повернутись у перший клас стабільного прямолінійного руху у межах на заданому гоні поля; $l_a = const = x_{A2}(0) - x_{A1}(0)$ – проекція на горизонтальну вісь OX відстані між антенами при їх виставленні в базовій точці; $\Delta x_k = x_{A2}(k) - x_{A1}(k)$ – проекція на горизонтальну вісь OX відстані між антенами під час руху по гонам; Δx_k – різниця у k -тому кроці роботи обчислювача за результатами перерахунку визначень прийомоіндикатора у місцеву систему координат XOY стосовно значення $x_{Ai}(k)$ поточних проекцій місцеположення відповідно антен (A_1) та (A_2) на поздовжню або поперечну вісь поля;

$$\beta = const = \frac{Y_{gf} - Y_{gs}}{X_{gf} - X_{gs}}, \quad \forall g \in G; \quad (4)$$

де β – характеристика базового кута орієнтації та відповідно курсу руху ШМТА на кожному гоні, яку визначає агроном під час створення агротехнологічної електронної карти завдання, рад.

Експериментальні дослідження ШМТА з системою автоводіння на

дослідних полях ННЦ «ІМЕСГ» під час посівних робіт виконувалися з метою дослідження роботи навігаційної системи в польових умовах руху з двома GPS антенами (рис. 2) та вимірювання впливу повздовжніх та поперечних коливань з допомогою акселерометра.



a

б

Рис. 2. Розміщення антен на МТА: *a* – розміщення антени на кабіні трактора ПМЗ – 6АКМ40, *б* – розміщення антени на сівалці MF – 23

Велика кількість чинників має випадковий характер. Точність прямолінійного програмного руху ШМТА залежить значною мірою від систематичних чинників, а саме:

- швидкості руху \bar{V} ШМТА на полі;
- конструкційних і геометричних параметрів коліс та робочих органів, що мають контактну зону з ґрунтом поля.
- колії утворення, які забезпечують режим руху ШМТА в невідзначених умовах деформації, подрібнення та ущільнення фрагментів ґрунту у межах контактної взаємодії під час руху.
- Встановлено, що найбільш важливими параметрами, які впливають на економічну ефективність АВІР, є:
 - кут бічного нахилу локальної габаритної смуги руху відносно умовного горизонтального рівня, який характеризує особливість реального рельєфу поля;
 - кути в напрямку повздовжнього руху на локальній ділянці пагорба або у низину поля;
 - фізико-механічні характеристики неоднорідності ґрунту з особливостями нерівномірного розподілу фрагментів по площині поля.

Саме ці параметри істотно впливають на величину похибки поперечного відхилення коліс (колії) ШМТА від планового прямолінійного маршруту, особливо при паралельній (еквідистантній) схемі реалізації АТЕК завдань.

Комп'ютерна обробка даних для отримання результатів виконана в програмному середовищі GrafNav виробництва фірми Waypoint, яка здійснює функції постобробки даних з супутникових навігаційних приймачів. Це програмне забезпечення дало можливість отримати високоточні координати траєкторій руху. Визначення координат здійснюється за допомогою методу відносної навігації. У цьому методі для уточнення визначених координат використовуються дані навігаційного приймача з відомими координатами, який називається базовою станцією. Програмне забезпечення не тільки визначає координати, а й дає змогу оцінити точність їх визначення. Окрім цього отримано велику кількість інформації про якість навігаційних даних, зокрема даних про кількість супутників, їх видимість, геометричні фактори погіршення точності, рівень відношення сигнал/шум, висотний профіль вимірів.

Протягом всього руху ШМТА за заданим напрямком обчислювалось відхилення σ (у метричному вимірі) місцезнаходження за координатами, які виміряні «еталонним» приладом, за формулою:

$$\sigma = 111200 \cdot \sqrt{(G_{SE} - G_{SE}) + \cos^2(\pi \cdot G_{SE} / 180) \cdot (G_{Le} - G_{LE})^2} \quad (5)$$

Необхідною умовою тут є вимога як можна ближчого співпадання часу визначення координат, що беруться до обчислення величини відхилення від експериментального та «еталонного» приладів.

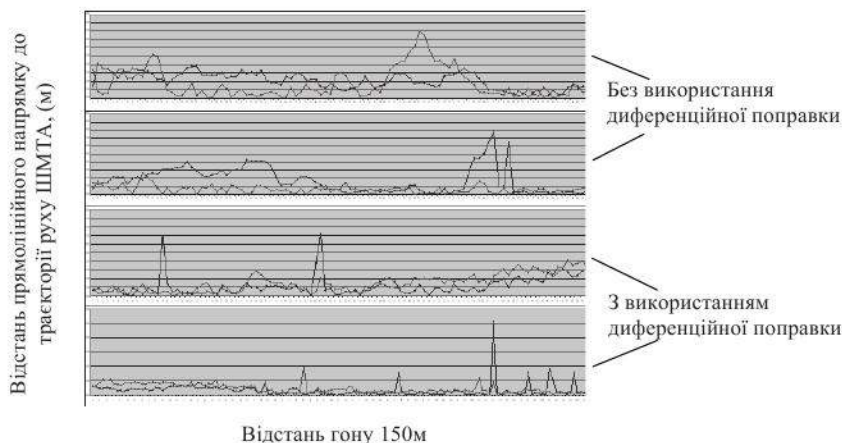


Рис. 3. Порівняльні графіки на двох гонах величин відхилення прямолінійності руху у часі від «еталонної» траєкторії з двома антенами та диференційною поправкою

Приведені графіки відхилень за абсолютною величиною від «еталонних» координат траєкторії руху ШМТА, визначених експериментальними навігаційними приладами (рис.3).

Висновки

1. Розроблено модель руху ШМТА з двома GPS антенами для підвищення точності стабілізації руху на заданих траєкторіях широкозахватної агротехнологічної обробки поверхні по всьому полі з будь-яким контуром та наявними на ньому нерухомими об'єктами.

2. Порівняльними дослідженнями виконання агротехнологічних операцій встановлено, що з використанням системи GPS точність ведення в залежності від рельєфу поля складала 25-30 см, ширина перекриття порядку – 50 см, а без неї точність була 1,5 м, ширина перекриття – 1,5 м. Час стабілізації напрямку руху за умов відхилення при швидкості 5 км/год складає 8-10 с, при швидкості 10 км/год – вдвічі більша.

3. Система автоводіння внаслідок зменшення огріхів та перекриття суміжних проходів забезпечує зниження витрат технологічних матеріалів на 7 – 11%, отримано економічний ефект у середньому 50,26 грн./га.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Гофман-Велленгоф Б.* Навігація. Основні визначення місцеположення та скеровування / Б. Гофман – Велленгоф, К. Легат, М. Візер; пер. с англ. за ред. Я. С. Якціва. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. – 443 с.
2. *Баранов Г.Л., Міронова В.Л., Любченко С.Є.* Концепція побудови функціонально стійкого аграрного виробництва сільськогосподарської продукції // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технології для сільського господарства України: Зб. наук. пр.– УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого: Дослідницьке, 2009. – Вип. 13(27). – С.39–49.
3. *Деденок В.П., Дейнеко В.М., Поляков А.В.* Апостерорная оценка точности определения местоположения в локальном дифференциальном режиме спутникового позиционирования с использованием корректирующей информации СКНОУ // Системи управління, навігації та зв'язку – К: ЦНДІ навігації і управління, 2009 – Вип. 1(9). – С. 7–10.
4. *Катков К.А., Колезнев И.А., Маслоков В.В.* Анализ погрешности позиционирования в спутниковых радионавигационных системах

- при многократном повышении погрешностей измерения псевдодальности до одного из навигационных аппаратов // Системы управління, навігації та зв'язку – К: ЦНДІ навігації і управління, 2009. – Вип. 1(9). – С. 11–14.
5. Соловійов Ю.А. Системи супутникової навігації. – М.: Еко-Тренд, 2000. – 267с.
 6. GPS-12, GPS-XI. Руководство по эксплуатации. – GARMIN, 1997. – 62с.
 7. Agroscom, [електронний ресурс] / Режим доступу: www.agroit.com.ua;
 8. Trimble, [електронний ресурс] / Режим доступу: www.novo-farm.com.ua, www.agricon.de;
 9. Center Line 220, [електронний ресурс] / Режим доступу: www.tijjet.com.ua
 10. Патент № 28364 UA, МПК6 А01В69/00, 59/04
 11. Патент № 2192033, РФ, МПК6 G05D1/02
 12. Патент №46386 UA, МПК А01В 69/00, G05D 1/02. Спосіб автоматичного водіння колісного безрейкового транспортного засобу / Мельник Р. В., Баранов Г. Л., Цулая А. В. (Україна). № u200904487; Заявл. 06.05.2009; Опубл. 25.12.2009; Бюл. № 24.

СИСТЕМА АВТОВОЖДЕНИЯ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ С ДВУМЯ GPS АНТЕННАМИ

Представлена система автовождения широкозахватных машинно-тракторных агрегатов с двумя GPS антеннами во время реализации агротехнической электронной карты заданий в полевых условиях.

Ключевые слова: автовождение, широкозахватный машинно-тракторный агрегат, GPS антенны, агротехнологическая электронная карта.

SYSTEM OF AUTODRIVING OF BROAD-CUT MACHINE-TRACTOR UNITS WITH TWO GPS BY AERIALS

The system of autodriving of broad-cut machine-tractor units is presented with two GPS by aerials during realization of agrotechnical electronic map of tasks in the field terms.

Key words: avtovodinnyya, wide-machine-traktornyyy unit, GPS antenna, Agrotechnological electronic card.