

## **ТРАЄКТОРІЯ ПОВОРОТУ МАШИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

**Сіренко Ю. В.**

*(Сумський національний аграрний університет)*

Останнім часом з'явилися пропозиції користуватися інформацією супутникових навігаційних систем. Але при цьому виникає потреба в дорогому наземному обладнанні. Це так званий метод копіювання сліду типу борозни або якогось штучно створеного сліду. Дорого – ось причина, за якої автоматизація управління трактором поки що залишається тільки в умах вчених та мріях землеробів. І саме за цих причин задача автоматичного керування тракторами поки що не відноситься до першочергових, хоча, без сумніву, вона залишиться однією з найважливіших задач у недалекому майбутньому, тому що «достеменно встановлено, що автоматизація водіння сільськогосподарських МТА забезпечує цілком вагомі ефекти», і це – поліпшення умов праці, якості роботи, підвищення продуктивності, скорочення витрат насіння і засобів хімізації. Нарешті, автоматизація управління – це база для роботизації тракторів [1]. За цих причин вчені продовжують пошуки напрямів розвитку цієї важливої сфери. Ведуться роботи з автоматизації управління навісним та причіпним обладнанням, механізмами самого трактора, тобто наступив час вирішувати проблему комплексної автоматизації МТА.

Дослідженню траєкторій повороту або розвороту МТА, під час виконання польових робіт, або довільного транспортного засобу, присвячено також багато праць і світових науковців. Зокрема у праці Мінчжан Сонг [2] висвітлена спроба оптимізувати шляхові точки і продемонструвати створення запланованого шляху для автономних тракторів-косарок з урахуванням поворотів. На основі схем роботи був запропонований алгоритм планування шляху для автономної косарки-трактора. Дані польових випробувань показали деяке збіг, особливо в точках повороту. У роботі Аль-Хайята [3] пропонується для отримання траєкторії криволінійного руху використовувати змінену траєкторію LSPB з оптимізацією рою частинок (PSO) для створення наскрізних точок на траєкторії. Швидкості отримані PSO, щоб змусити траєкторію LSPB проходити точно через зазначені точки шляху. Результати моделювання показують, що взаємодія зміненої траєкторії LSPB з PSO добре працює на перевірених випадках. Цей запропонований метод дуже простий, і його можна використовувати для оперативного планування шляху.

В роботі Булгакова [4] теоретично проаналізовано поворотну здатність асиметричного агрегатно-тракторного агрегату з урахуванням його швидкості руху і конструктивних параметрів. З урахуванням причіпного асиметричного косарки і тракторного агрегату отримані рівняння для чисельного моделювання оцінки швидкості повороту на поворотній смузі.

У статті [5] для машинно-тракторних агрегатів з колісно-гусеничним рушієм з напівзчіпним ходом отримані теоретичні формули визначення

фактичного радіуса повороту, моменту опору повороту і моменту обертання. Теоретичні передумови підтверджуються експериментальними дослідженнями маневреності машинно-тракторного агрегату з трактором на напівзчипним ходом, виконаним в якості експериментального зразка.

Для підвищення характеристик маневреності, а також керованості та стійкості колісного трактора способи його криволінійного руху на поворотній смузі вибираються з врахуванням конкретних умов роботи. Існують різні варіанти вирішення цього завдання. Одним з варіантів вирішення цієї задачі є виведення параметричних рівнянь для визначення поточних координат теоретичної кривої траєкторії для руху трактора «Крабом» на несталому етапі повороту [6].

В результаті проведеного аналізу виявлено, що відомі розрахункові формули, що застосовуються для дослідження кінематики повороту трактора і автомобіля, мають суттєві недоліки при їх виведенні, в них також не встановлений взаємозв'язок між початково-вихідними даними.

Криволінійний рух на поворотній смузі, є найбільш складним елементом кінематики агрегату, так як окремі його точки рухаються з різною швидкістю і описують різні траєкторії. Колісний МТА не може миттєво перейти від прямолінійного руху до руху по дузі кола (зокрема, не може здійснювати поворот на деформованому ґрунті з мінімально допустимим радіусом) і від руху по дузі окружності до прямолінійного руху. Він проходить ділянки зі змінними радіусами кривизни від  $R = \infty$  до  $R = R_d$  - при вході в поворот і від  $R = R_d$  до  $R = \infty$  - при виході з повороту [7].

В роботі [8] отримані рівняння в параметричній формі для траєкторії неусталеного руху чотирьохколісної машини з передніми керованими колесами у функції кута повороту корпусу машини, які описують вхід в поворот і вихід з повороту лівого і правого напрямків.

Основними параметрами, що визначають траєкторію, є швидкість руху і коефіцієнт інтенсивності зміни курсового кута. При плануванні теоретичних траєкторій ці параметри приймалися довільно, виходячи з реальних умов полігону і можливостей машини. Для отримання експериментальних кривих ці параметри відтворювалися водієм через акселератор і кермо.

Для отримання експериментальних траєкторій входу в лівий (правий) поворот і виходу з лівого (правого) повороту чотирьохколісної машини з передніми керованими колесами була використана супутникова навігаційна система.

Для цього в салоні водія на місці центра ваги чотирьохколісної машини був нерухомо закріплений прилад (планшет). Вибиралася рівна горизонтальна ділянка необхідних розмірів в залежності від форми і довжини очікуваної траєкторії, розмічалася координатна сітка з прямолінійною ділянкою для набору необхідної швидкості і чітким визначенням початку входу в поворот. За допомогою додатку на планшет A-GPS Tracker, записувалася траєкторія (трек) входу і виходу з повороту та були отримані дані про місцезонашування машини від супутникових сигналів: швидкість, час руху, довжина треку,

широта та довгота кожної точки траєкторії. Час входу в поворот та виходу з повороту фіксувався за допомогою секундоміру.

Далі наведені дві траєкторії (рис. 1) передані супутниковою навігаційною системою разом з теоретичною траєкторією і результати визначення їх параметрів. Для проведення експериментів з супутниковою навігаційною системою був використаний автомобіль Renault Logan з передніми керованими колесами.

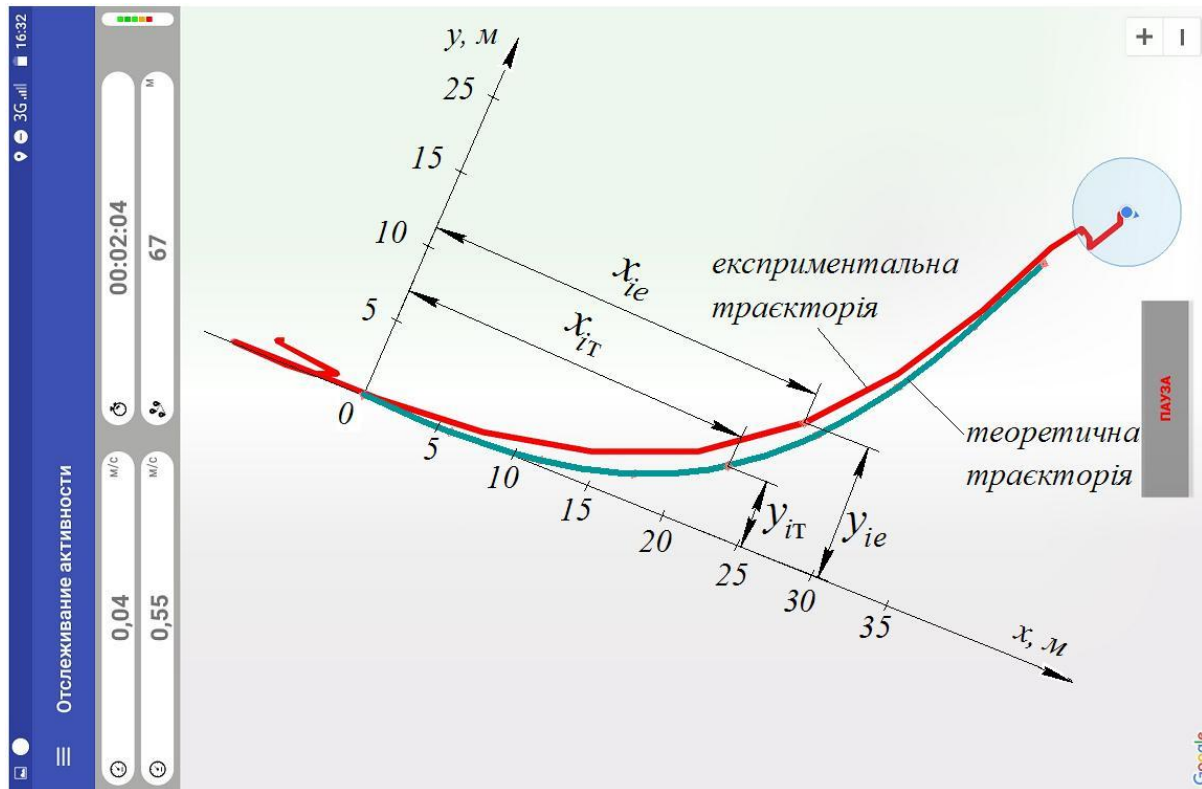


Рисунок 1 – Сумісний перебіг експериментальної та теоретичної траєкторії входу в лівий поворот і виходу з лівого повороту

Таблиця 1. Результати відповідності координат експериментальної траєкторії до теоретичної.

| N<br>з/п                                                       | $x_{ie}$ , м | $t$ , с | $x_{it}$ , м | $x$ ,<br>м | $y_{ie}$ , м | $y_{it}$ , м | $y$ ,<br>м | $(x_{ne} - x)^2$ | $(y_{ne} - y)^2$ | $\sigma_x$ | $\sigma_y$ |
|----------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|------------------|------------------|------------|------------|
| <i>Трек 3. Вхід в лівий поворот і вихід з лівого повороту.</i> |              |         |              |            |              |              |            |                  |                  |            |            |
| 1.                                                             | 8,02         | 5,48    | 8,06         | 24,26      | 0,674        | 0,256        | 10,03      | 262,44           | 95,53            | 9,48       | 8,42       |
| 2.                                                             | 14,49        | 10,00   | 14,62        |            | 2,05         | 1,33         |            | 92,93            | 75,69            |            |            |
| 3.                                                             | 20,76        | 14,64   | 20,95        |            | 4,577        | 3,90         |            | 10,96            | 37,58            |            |            |
| 4.                                                             | 26,14        | 19,34   | 26,36        |            | 8,736        | 8,24         |            | 4,41             | 3,20             |            |            |
| 5.                                                             | 30,35        | 23,88   | 30,44        |            | 13,80        | 13,52        |            | 38,19            | 12,18            |            |            |
| 6.                                                             | 33,58        | 28,34   | 33,65        |            | 19,47        | 19,30        |            | 88,17            | 85,93            |            |            |
| 7.                                                             | 35,61        | 31,62   | 35,77        |            | 23,80        | 23,70        |            | 132,48           | 186,87           |            |            |

Результати дослідів показують, що відповідність експериментальних і теоретичних координат достатня, і що теоретичні рівняння траєкторій несталоного руху машин достатньо точно відображують рух.

### **Список літератури.**

1. Шипилевский Г. Б. Тракторная автоматика. Конспект лекций по дисциплине “Автоматические системы колёсных и гусеничных тракторно-тяговых машин”. Москва: МГТУ “МАМИ”, 2005. – 66 с.
2. Song MZ. Development of Path Planning Algorithm for an Autonomous Mower Tractor [Електронний ресурс] / MZ. Song, SW. Kang, SO. Chung та ін.] // 4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry August 27-30. Espoo, Finland. P.P. 154-158. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015349764/pdf?md5=dae b89814f591143eb706a359c377261&pid=1-s2.0-S1474667015349764-main.pdf>
3. Al-khayyt SZS. Creating Through Points in Linear Function with Parabolic Blends Path by Optimization Method [Електронний ресурс] / SZS. Al-khayyt // Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 14, No. 1, March., P.P. 77-89. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=141135>.
4. Bulgakov V. Theoretical Investigations of the Headland Turning Agility of a Trailed Asymmetric Implement-and-Tractor Aggregate / V. Bulgakov, S. Pascuzzi, H. Beloiev // Agriculture, MDPI, Open Access Journal, vol. 9(10), pages 1-11, October. – 2019.
5. Research of dynamics of turning of machine-tractor aggregate with tractor on wheeled-crawler mover [Електронний ресурс] / [M. Fashutdinov, M. Khafizov, I. Galiev та ін.] // BIO Web Conf. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). November 13-14, 2019. Kazan, Russia, Vol. 17. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2020/01/bioconf\\_fies2020\\_00056.pdf](https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2020/01/bioconf_fies2020_00056.pdf).
6. Беляев А. Н. Исследование кинематики поворота колесного трактора / А. Н. Беляев, Т. В. Тришина. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – №1(48). – С. 115–120.
7. Завражнов А. И. Повышаем устойчивость движения колесного трактора [Електронний ресурс] / А. И. Завражнов, Н. В. Михеев, А. Н. Беляев // Всероссийский фермер. Интернет-журнал. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: [http://vfermer.ru/rubrics/tehnika/tehnika\\_1850.html](http://vfermer.ru/rubrics/tehnika/tehnika_1850.html).
8. Melnik V. Analytical method of examining the curvilinear motion of a four-wheeled vehicle. / V. Melnik M. Dovzhyk, B. Tatyanchenko. O. Solarov. Yu. Sirenko // Eastern-European journal of enterprise technologies. Vol. 3, № 7 (87), (2017). P. 59-65.

### **ТРАЄКТОРІЯ ПОВОРОТУ МАШИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

**Сіренко Ю. В.**

*Сумський національний аграрний університет*

*Для траєкторії криволінійного руху в параметричній формі на прикладі автомобіля Renault Logan отримані експериментальна траєкторія з*

*урахуванням інтенсивності повороту передніх коліс для входу і вихід з лівого повороту з використанням супутникової навігаційної системи.*

**Ключові слова:** *машина, поворот, траєкторія руху, кут повороту корпусу машини.*

## **TRAJECTORY OF TURNING THE MACHINE USING THE SATELLITE NAVIGATION SYSTEM**

**Yu. Sirenko**

*Sumy National Agrarian University*

*For the trajectory of curvilinear motion in parametric form on the example of the Renault Logan car, an experimental trajectory was obtained taking into account the intensity of rotation of the front wheels for entering and exiting the left turn using a satellite navigation system.*

**Key words:** *car, trajectory of movement, turn, angle of turn of the car frame.*