

SECTION 4. AGRICULTURAL ENGINEERINGDOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-476-4-7>**MAIN DIRECTIONS OF WIDE-CAPACITY SOWING
MACHINE-TRACTOR UNITS MANOEUVRABILITY RESEARCH****ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВОРОТКОСТІ
ШИРОКОЗАХВАТНИХ ПОСІВНИХ
МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ****Nadykto V. T.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of
Operation and Technical Service of
Machines
Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnical University
Zaporizhzhya, Ukraine*

Надикто В. Т.

*доктор технічних наук, професор
професор кафедри експлуатації та
технічного сервісу машин
Таврійський державний
агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного
м. Запоріжжя, Україна*

Zhokin I. O.

*Postgraduate Student at the Department
of Operation and Technical Service of
Machines
Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnical University
Zaporizhzhya, Ukraine*

Жокін І. О.

*аспірант кафедри експлуатації та
технічного сервісу машин
Таврійський державний
агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного
м. Запоріжжя, Україна*

Трактор, використовуваний у складі посівного МТА, може мати різну ходову систему. Найбільш розповсюдженим є енергетичний засіб класичної чи інтегральної компоновки із передніми керованими колесами. Трактори класичної компоновки мають колісні формули 4К2а і 4К2б.

Іншим варіантом трактора у складі посівного МТА може бути такий, за якого керованими є його як передні, так і задні колеса. Причому, за однією конструктивною схемою рушії обох мостів енергетичного засобу можуть повертатися у або різні боки, або у один.

В 60-х і 70-х років минулого століття в Україні з'явилися трактори інтегральної компоновки із шарнірно-зчленованою рамою і колесами однакового типорозміру (типу Т-150К і К-700). Натомість, світове виробництво широко опанувало випуск таких енергетичних засобів із задніми і передніми рушіями різних типорозмірів. Водночас, на

дивлячись на певне розмаїття, трактори з усіма керованими рушіями із шарнірно-зчленованою рамою для використання у складі посівних машинно-тракторних агрегатів науковцями не рекомендується. Причина полягає у їх надмірній реакції на керувальний вплив.

З огляду на це для створюваного нами посівного машинно-тракторного агрегату бажаним є колісний трактор класичної або інтегральної компоновки з передніми керованими колесами.

За даними наукових досліджень непродуктивні витрати часу тим чи іншим агрегатом на здійснення поворотів можуть займати до 20% часу його роботи. Слід підкреслити, що теорія повороту одномодульних МТА досліджена найбільш повно. Тим більше, що закони їх руху на поворотній смузі багато в чому аналогічні законом маневрувального (поворотного) руху агрегатів різного технологічного призначення.

Дослідженнями доведено, що для проектування оптимального шляху руху агрегату на поворотній смузі теоретично найкраще підходять криві, відомі під назвою «клотоїди» [1]. Їх особливістю є наявність ділянок, які репрезентують перехід від входу у поворот до його подальшого здійснення з постійним радіусом. Водночас, розрахунки із їх використанням є досить складними, а тому застосування їх проблематичне. Замість них використовуються криві з постійним радіусом кривизни [2].

Низка науковців при оцінюванні якості роботи різних одномодульних посівних комплексів розглядають їх поворотність з урахуванням ширини захвату (B_p). Рами посівних частин цих комплексів із суттєвим значенням параметра B_p мають шарнірну конструкцію. Таке конструктивне рішення дозволяє посівним машинам краще копіювати нерівності коливачь поля у поперечно-вертикальному напрямку, що важливо під час їх маневрування на поворотній смузі.

Поворотність двомодульних посівних агрегатів досліджена менше. Досить часто модулі таких МТА розташовані не в шеренгу, а послідовно один за одним. У підсумку вони характеризуються досить значною кінематичною довжиною, а тому відносно низькою маневреністю. Із-за цього для них є неможливими повороти реверсивного типу.

Перша напівнавісна зчіпка для агрегування двох причіпних сівалок типу СЗ-3,6 створена в Україні [3]. Параметри зчіпки вибиралися у процесі аналізу як правостороннього, так і лівостороннього поворотів посівного двомодульного МТА. При здійсненні першого повороту вирішувалася задача запобігання зіткнення правого колеса лівої причіпної сівалки з лівим колесом правої причіпної машини.

При здійсненні таким агрегатом лівостороннього повороту умова безаварійного маневрування МТА є іншою. Суть її полягає у запобіганні контакту лівого колеса правої сівалки з рамою зчіпки. Аналітичний вираз такої умови має наступний вид [4]:

$$\varphi_3 < 90 - \arccos \frac{l_{\text{сн}} - r_{\text{к}}}{R_1}; \quad tg\varphi_3 = l_{\text{т}} + \frac{l_{\text{сн}}}{\cos\varphi_3} / L \cdot \text{ctg}\alpha + \frac{l_{\text{сн}}}{2},$$

де φ_3 – кут повороту правої сівалки; $r_{\text{к}}$ – радіус колеса сівалки; $l_{\text{сн}}$ – довжина причіпної сніци сівалки; R_1 – найменша відстань від точки приєднання сівалки до її колеса; $l_{\text{т}}$ – відстань від осі задніх коліс трактора до рами зчіпки; $l_{\text{сч}}$ – фронт зчіпки; L – поздовжня база трактора.

Ще менше результатів досліджень стосовно тримашинних посівних комплексів. Відомі приклади демонструють техніко-економічну ефективність таких МТА, сформованих на базі напівнавісних безколісних зчіпок. Причому, як за заднього шеренгового, так і бокового розміщення сівалок по відношенню до трактора. Поряд з цим здійснена спроба оцінки мостової схеми з'єднання трьох сівалок з двома тракторами. Водночас, якісь дослідження стосовно кінематики, а тим більше динаміки повороту таких машинно-тракторних агрегатів практично відсутні. А це обумовлює суттєві проблеми у напрямку розв'язання питання щодо обґрунтованого вибору їх конструктивно-технологічних параметрів.

Практиці відомі трьохмодульні агрегати для косіння трав у валки. Кожен такий агрегат складається із самохідного енергетичного засобу, фронтальної та двох бокових машин [5]. Однак результати досліджень кінематики або динаміки їх руху як на робочому гоні, так і на поворотній смузі в літературних джерелах не виявлені.

На практиці розроблена конструкція трьохмодульного посівного комплексу з боковим розташуванням двох навісних сівалок. Причому, положення останніх досить наближене до фронтального. Проте, автори пропонують лише конструкцію агрегату. Ні кінематику, ні динаміку його плоско-паралельного руху на поворотній смузі вони не розглядають.

Визначальним моментом теоретичних і експериментальних досліджень перебігу процесу маневрування агрегату на поворотній смузі є правильний вибір показника його поворотності. Досить часто у такій якості приймається час повороту МТА (t). За свідченням одних науковців збільшення швидкості руху посівного МТА на поворотній смузі з незмінним радіусом повороту зменшує значення параметра t . За переконанням інших дослідників на певній стадії повороту зростання швидкості переміщення МТА обумовлює збільшення часу його повороту. Причину такого результату вони не пояснюють. На думку д.т.н. Надикти В.Т. таке можливе за умови зростання радіусу повороту МТА при збільшенні швидкості його руху на поворотній смузі.

При визначенні показника поворотності МТА науковцями були здійснені спроби встановлення функціонального зв'язку між швидкістю (V_{π}) його руху, тривалістю керуючого впливу (t) та середнім значенням кута повороту (α_{cp}) керованих коліс трактора. При цьому отримано наступні залежності [6]:

$$K_{\pi} = (1 + C \cdot V_{\pi}) \cdot L \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{cp} \cdot l; \quad K_{\pi} = V_{\pi}^2 \cdot t \cdot (2t_k - t) / \pi.$$

У цих рівняннях прийнято наступні позначення: C – коефіцієнт відносного збільшення радіусу повороту МТА на одиницю приросту швидкості його руху; L – база енергетичного засобу, м; l – довжина дуги повороту, м; t_k – тривалість повороту поздовжньої осі трактора на кут $\pi/2$ від напрямку його початкового прямолінійного руху.

Першою чергою звертає на себе увагу складність практичного застосування цих рівнянь. По-перше, незрозуміла прикладна суть (природа) коефіцієнта C . По-друге, залишається незрозумілим алгоритм визначення параметрів t , l і t_k . По-третє, яке значення показника K_{π} краще: більше чи менше, що невідомо.

Аналогічний показник, який здійснює зв'язок між параметрами V_{π} і α_{cp} , розробив д.т.н. Надикто [7]. Відміна полягає в тому, що він замість кута повороту керованих коліс (α_{cp}) розглядав їх кутову швидкість (ω):

$$K_{\pi} = \frac{V_{\pi}}{\omega} = \frac{2\varepsilon_{\max} \cdot (l + D \cdot \cos \gamma_{\max})^2}{L \cdot \sin^2 \gamma_{\max}},$$

де ε_{\max} – максимальний кут повороту агрегату при завершенні ним «входження в поворот»; l – довжина сніци валкової жниварки; D – відстань від осі задніх коліс трактора до точки приєднання причіпної валкової жниварки; γ_{\max} – максимальна значина кута між подовжньою віссю трактора і сницею причіпної валкової жниварки; L – база трактора.

Література:

1. Sabelhaus D. et al. Using continuous-curvature paths to generate feasible headland turn manoeuvres. *Biosystem Engineering*. 2013. Vol. 116. № 4. P. 399–409.
2. Khan A., Noreen I., Zulfiqar H. On Complete Coverage Path Planning Algorithms for Non-holonomic Mobile Robots: Survey and Challenges. *Journal of Information Science and Engineering*. 2017. Vol. 31, № 1. P. 101–121.
3. Масалабов В. М., Кюрчев В. М., Надикто В. Т. Двомашинна зчіпка: Патент України № 50421. В69D 1/00 USA. Бюлетень № 11, 2010.

4. Масалабов В. М., Надикто В. Т. Дослідження динамічної поворотності двомашинного МТА. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2012. Т. 3, № 2. С. 15–26.

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. Надикто В. Т. і ін. Збирання зернових культур роздільним способом. Запоріжжя : Inter-M, 2012. 312 с.

7. Надикто В. Т. Аналіз поворотності машинно-тракторних агрегатів на основі модульних енергетичних засобів. *Праці ТДАТА*, 2005. № 29. С. 3–13.