

УДК 631.372

ПОВОРОТКІСТЬ МТА НА ОСНОВІ ОРНО-ПРОСАПНОГО ТРАКТОРА

В.Т. Кюрчев, канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

Запропоновано методику оцінки повороткості машинно-тракторних агрегатів на основі орно-просапного трактора серії ХТЗ-160.

Ключові слова: *машинно-тракторний агрегат, радіус повороту, кривизна.*

Суть проблеми. Мінімальний радіус повороту трактора — дуже важливий кінематичний параметр. Проте, прагнення до його зменшення повинно бути всебічно обґрунтоване. І виходити при цьому слід із того, що будь-який енергетичний засіб використовується не самостійно, а у складі того чи іншого машинно-тракторного агрегату.

Як відомо, орно-просапні трактори серії ХТЗ-160 мають керовані колеса відносно великого типорозміру (16,9R38). За наявності суцільної рами це обумовлює відносно великий мінімальний радіус повороту цих енергетичних засобів і досить часто розглядається як суттєвий недолік їх конструкції.

Питанню вивчення повороткості МТА на основі орно-просапних тракторів типу ХТЗ-120 свого часу приділяли увагу Надикто В.Т., Шаповалов Ю.К. ті ін. [1, 2]. Водночас, у своїх дослідженнях вони, як і багато інших, припускалися помилки щодо вибору напрямку рушійних сил передніх та задніх коліс цього енергетичного засобу під час його руху на поворотній смузі. В кінцевому рахунку це призводило до неточного визначення радіус повороту трактора. Особливо у складі причіпного МТА, вплив технологічної частини якого на динаміку повороту Надикто В.Т. розглядав на прикладі агрегування модульних енергетичних засобів [3, 4].

В даній статті здійснюється спроба виправити ті методичні прорахунки, які були допущені попередниками при вивченні повороткості МТА на основі орно-просапних тракторів.

Методика. З метою спрощення складання рівнянь динаміки повороту МТА на основі орно-просапного трактора приймаємо наступні припущення:

- 1) бокова взаємодія шин трактора з опорною поверхнею описується гіпотезою «бокового уводу». При цьому, рух причіпної частини агрегату на поворотній смузі розглядається без урахування уводу шин її опорних коліс;
- 2) тангенціальні сили інерції трактора та причіпної технологічної частини агрегату в силу їх малозначності не враховуються;
- 3) різниця кутів уводу шин однієї геометричної осі є досить малою і нею можна знехтувати;
- 4) коефіцієнти опору уводу шин однієї геометричної осі є рівними.

Підчас здійснення повороту на той чи інший машинно-тракторний агрегат діє низка відповідних сил. В першу чергу, це рушійна сила передніх (F_B) і задніх (F_A) коліс трактора (рис. 1). Прикладені вони в точках B і A , які представляють

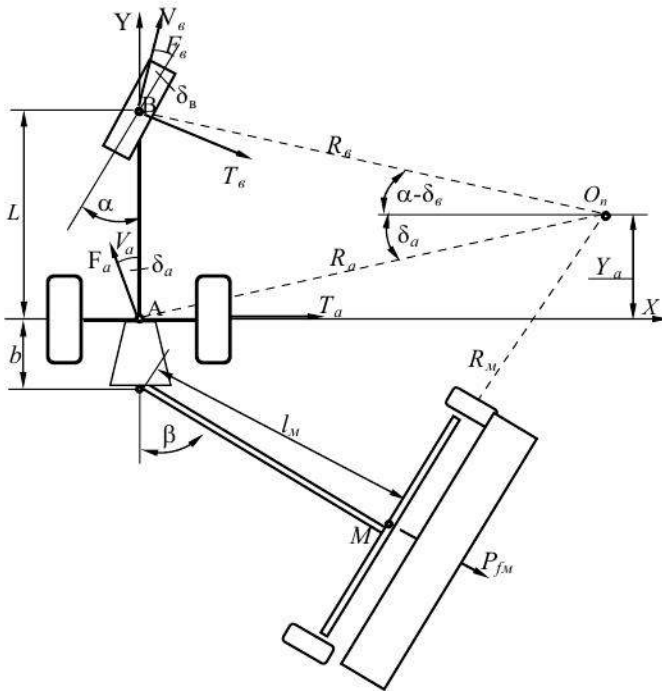


Рис. 1. Схема сил, які діють на МТА під час його повороту

середини відповідних мостів. Для подальших розрахунків в першій із цих точок зосередимо вагу (N_B), яку знаходимо із виразу:

$$N_B = N_{III} + N_{фм},$$

де N_{III} — сила експлуатаційної ваги трактора, яка припадає на передній його міст без урахування агрегування машин/знарядь; $N_{фм}$ — сила ваги фронтальних навісних машин/знарядь.

Аналогічно, в точці A зосередимо вагу N_a , яка є такою:

$$N_a = N_{ТЗ} + N_{ЗМ},$$

де $N_{ТЗ}$ — сила експлуатаційної ваги трактора, яка припадає на його задній міст без урахування агрегування машин/знарядь; $N_{ЗМ}$ — сила ваги задньонавісних машин/знарядь.

Крім того, в точках A і B зосереджені бокові сили T_a і T_B , направлені перпендикулярно площинам коліс відповідних мостів трактора.

При здійсненні руху на поворотній смузі вплив причіпної технологічної частини агрегату на трактор представлений силою опору кочення агрегованих машин/знарядь $P_{фм}$ (див. рис. 1). Під впливом зовнішніх сил колеса трактора перекочуються з уводом шин, кути яких для передньої осі — δ_B , а для задньої — δ_a . Саме за напрямками цих кутів і направлені вищезгадані рушійні сили F_B і F_a .

Із-за прояву явища уводу шин миттєвий центр повороту машинно-тракторного агрегату зміщується у поздовжньому напрямку на величину Y_a (див. рис. 1), що призводить до збільшення радіуса його повороту.

З викладеного вище виходить, що для розглядуваного агрегату невідомими є два параметри: радіус повороту R_a або кривизна $K = 1/R_a$ і зміщення центра миттєвого повороту Y_a . Для їх визначення достатньо мати систему із двох незалежних рівнянь. Ними можуть бути сума проєкцій всіх сил на вісь AU та сума створюваних цими силами моментів відносно т. O_{II} . Тобто:

$$\left. \begin{aligned} \sum AY &= 0; \\ \sum M(O_{II}) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В кінцевому вигляді система рівнянь (1) є такою:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad F_B \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \delta_B) - T_B \cdot \sin\alpha + F_a - P_{фм} \cdot \cos\beta &= 0; \\ 2) \quad F_B \cdot R_B - T_B \cdot \delta_B \cdot R_B - T_a \cdot Y_a + F_a / K - P_{фм} \cdot R_M &= 0; \\ \dots \end{aligned} \right\}$$

$$\dots$$

$$\left. \begin{aligned} 3) T_a &= k_a \cdot Y_a \cdot K; \\ 4) T_B &= k_B \cdot [tg\alpha - (L - Y_a) \cdot K] / [1 + tg\alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K]; \\ 5) \delta_a &= Y_a \cdot K; \\ 6) \delta_B &= [tg\alpha - (L - Y_a) \cdot K] / [1 + tg\alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K]; \\ 7) R_B &= 1 / [K \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha \cdot d_B)]; \\ 8) R_M &= (Y_a + b + l_M \cdot \cos\beta) / \sin\beta; \\ 9) l_M &= R_a \times (\sin\beta - \cos\beta \cdot \delta_a) - b \cdot \cos\beta. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де α — кут повороту керованих коліс трактора; β — кут повороту причіпної частини МТА відносно поздовжньої осі симетрії трактора; k_a і k_B — коефіцієнти опору уводу шин задніх і передніх рушіїв орно-просапного трактора; L, R_B, R_M, b, l_M — конструктивні параметри, природа яких зрозуміла із рис. 1.

Результати і обговорення. Як уже наголошувалось, у системі рівнянь (2) невідомими виступають два таких параметри:

- 1) кривизна траєкторії руху $K=1/R_a$;
- 2) координата зміщення центра повороту Y_a .

Вхідним параметром, який задає характер руху дослідного МТА, виступає кут повороту керованих коліс трактора α .

У якості перемінних параметрів математичної моделі, вибір яких потребує обґрунтування, виступають: тиск в шинах передніх і задніх коліс трактора, виражений через значини коефіцієнтів k_a і k_B ; відстань від осі задніх коліс трактора b до точки приєднання причіпного зняряддя; довжина сниця причіпної машини l_M .

Силу опору коченню причіпної машини/зняряддя P_{fM} знаходимо із наступного загальновідомого виразу:

$$P_{fM} = M_M \cdot g \cdot f_k,$$

де M_M — маса агрегатованої машини/зняряддя; f_k — коефіцієнт опору кочення; g — прискорення вільного падіння.

Для розрахунку сил тяги переднього (F_B) і заднього (F_a) мостів з достатньою для практики точністю можна використати наступні залежності:

$$F_B = N_B \cdot f_k + 0,5 \cdot P_{fM};$$

$$F_a = N_a \cdot f_k + 0,5 \cdot P_{fM}.$$

При цьому врахуємо той факт, що сумарна сила ваги на кожен міст трактора не може перевищувати допустиме вертикальне навантаження двох шин. Енергетичний засіб ХТЗ-160 обладнаний шинами 16,9R38, які мають наступні характеристики (при тиску повітря $\rho_{ш} = 0,2$ мПа):

допустиме вертикальне навантаження — 27 кН; діаметр шини — $D = 1,68$ м; ширина шини — $b = 0,43$ м. У зв'язку з цим при розрахунках будемо враховувати, що сили N_B і N_a не повинні перевищувати кожна 54 кН.

Далі визначимося з діапазонами зміни коефіцієнтів опору ведення шин трактора. Як показують розрахунки, для кожної із них згідно з формулою Р.Сміля і В.Горна [5] відношення h/D менше за 0,0885. В цьому випадку коефіцієнт опору уводу визначається і виразу:

$$k = 60 \cdot [1,75 \cdot (h/D) - 12,7 \cdot (h/D)^2] \cdot \rho_{ш} \cdot b^2.$$

В нашому випадку коефіцієнт опору уводу k_a репрезентує передній міст, k_a — задній міст в цілому, тому формула для їх визначення є такою:

$$K_B(k_a) = 120 \cdot [1,75 \cdot (h/D) - 12,7 \cdot (h/D)^2] \cdot \rho_{ш} \cdot b^2.$$

Звідси знаходимо, що при зміні тиску повітря в шинах коліс трактора типу ХТЗ-160 від 0,10 до 0,13 мПа коефіцієнти опору уводу k_B і k_a змінюються в межах 130...170 кН/рад.

Параметр b будемо змінювати в інтервалі 1,0...2,0 м, довжину снічі причіпної машини/знаряддя l_M — в межах 3...5 м, а кут повороту керованих коліс — в діапазоні 0,26...0,44 рад. (тобто від 15 до 25°).

Розрахунки системи рівнянь (2) показали більш інтенсивне зменшення радіуса повороту машинно-тракторного агрегату (R_a) відбувається при повороті керованих коліс трактора до кута приблизно 20°. При подальшому збільшенні керуючого впливу до 25° цей процес відбувається значно повільніше (рис. 2а).

Такий характер поведінки параметра R_a пояснюється тим, що зі збільшенням кута α від 15° до 20° досить інтенсивно зростають координата поздовжнього зміщення центра повороту МТА Y_a (рис. 2б), а також кут уводу задніх шин трактора δ_a (рис. 3). Кут δ_B поводить себе навпаки: будучи максимальним (0,3 рад.) при $\alpha = 15^\circ$, поступово зменшується до 0,2 рад. при $\alpha = 20^\circ$ (див. рис. 3).

В цілому саме такі процеси зміни параметрів Y_a та кутів уводу шин орнопросапного трактора і обумовлюють інтенсивне зменшення радіуса повороту МТА (R_a) в діапазоні керуючого впливу 15...20°.

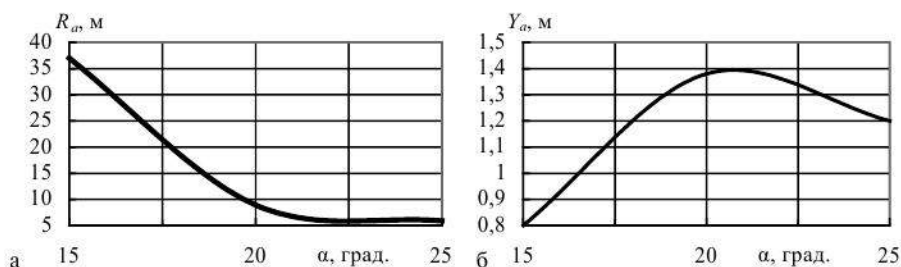


Рис. 2. Залежність радіуса R_a (а) та поздовжньої координати Y_a (б) від кута повороту керованих коліс трактора α

При подальшій зміні α від 20 до 25° параметр Y_a зменшується, хоча всього лише на 0,2 м (з 1,4 до 1,2 м). Кут уводу передніх шин трактора продовжує повільно зменшуватися (крива 1, рис. 3), а кут уводу шин задніх рушіїв — повільно зростати (крива 2, рис. 3). В результаті радіус повороту машинно-тракторного агрегату продовжує хоча і повільно, але зменшуватися (див. рис. 2а). В принципі такий результат є цілком логічним.

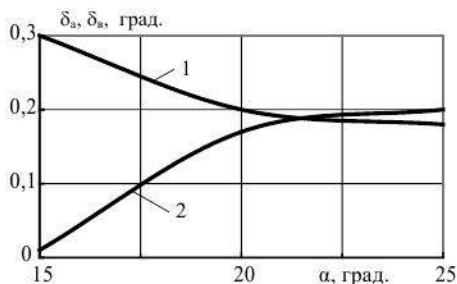


Рис. 3. Залежність кутів уводу передніх (1) і задніх (2) коліс трактора від кута повороту його керованих коліс

Слід підкреслити, що процес $R_a = f(\alpha)$ практично інваріантний по відношенню до збільшення відстані від осі задніх коліс трактора до точки приєднання причіпного знаряддя з 1 до 2 м. Різниця між значинами радіуса повороту МТА при різних варіантах b дорівнює не більше 0,2 м. На тракторах серії ХТЗ-160 параметр b становить 1,05 м. Встановлювати параметр b меншим за 1 м небезпечно, оскільки при повному повороті керованих коліс орно-просапного трактора не виключатиметься можливість контакту причіпної сніци агрегатованого знаряддя із одним із задніх коліс енергетичного засобу. Збільшення параметра b понад 1 м недоцільно із-за зростання кінематичної довжини МТА. В умовах практичної експлуатації це може вплинути на певне небажане підвищення агрегатом непродуктивних витрат часу зміни.

Математичним моделюванням встановлено, що довжина сніці причіпного агреатованого знаряддя, змінювана в межах 3...5 м теж мало впливає на процес зміни радіуса повороту агрегату від керуючого впливу. Більш менш відчутний цей вплив лише при куті повороту керуючих коліс $\alpha = 15^\circ$ (рис. 4). В цьому випадку збільшення параметра l_M обумовлює відповідне зростання радіуса R_a . Наприклад, при збільшенні довжини сніці причіпної машини/знаряддя з 3 до 5 м радіус повороту МТА зростає з 36 до 43 м, тобто майже на 20 %.

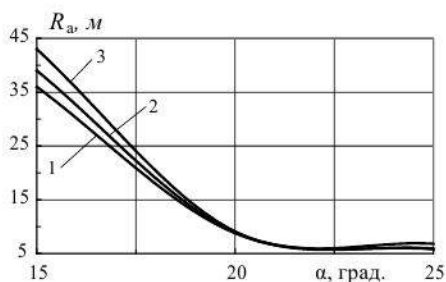


Рис. 4. Залежність радіуса повороту МТА від керуючого впливу при різних значеннях довжини сніці причіпної машини/знаряддя:

1 — $l_M = 3$ м; 2 — $l_M = 4$ м; 3 — $l_M = 5$ м

Висновок. З отриманих результатів випливає, що коли є можливість вибору, то його слід здійснювати на користь причіпного знаряддя із меншою довжиною причіпної сніці. В цьому випадку машинно-тракторний агрегат на основі орно-просапного трактора матиме як задовільну поворотність, так і меншу кінематичну довжину. Вплив останньої на питомі витрати часу зміни роботи того чи іншого МТА є відомим і відображеним у багатьох літературних джерелах з експлуатації сільськогосподарської техніки.

У порівнянні з довжиною причіпної сніці машини/знаряддя l_M коефіцієнти опору уводу коліс трактора k_a і k_b здійснюють ще менш (у кількісному вираженні) вплив на процес $R_a = f(\alpha)$. Їх значини, як уже підкреслювалося вище, змінювали від 130 до 170 кН/рад. Це відповідає зміні тиску повітря в шинах від 0,10 до 0,13 мПа.

Бібліографія

- Надыкто В.Т., Шаповалов Ю.К., Амелин Н.Г. Агрегаты на основе трактора ХТЗ-120 // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2000. — № 8. — С. 17-20.
- Надыкто В.Т., Лисиций С.И. Поворотливость МТА на основе трактора ХТЗ-120 // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2002 — № 11. — С. 33.

3. *Надыкто В.Т.* Анализ поворотливости машинно — тракторных агрегатов на основе модульных энергетических средств //Збірник наукових праць ТДА-ТА. — Мелітополь, 2005. — Вип. № 29. — С. 99-100.
4. *Надыкто В.Т.* Агрегатирование модульных энергетических средств. — Мелітополь: КП «ММД», 2003. — 240 с.
5. Тракторы: Теория: Учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы»/В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.

ПОВОРОТЛИВОСТЬ МТА НА ОСНОВЕ ПАХОТНО-ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА

Предложена методика оценки поворотливости прицепных машинно-тракторных агрегатов на основе пахотно-пропашного трактора серии ХТЗ-160.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, радиус поворота, кривизна.*

AGILITY OF MTU ON THE BASIS OF THE ARABLE-CULTIVATED TRACTOR

The method estimation of agility is offered towed machine - tractor aggregates on the basis of the arable-cultivated tractor series ХТЗ-160

Key words: *tractor units, turning radius of curvature.*