

УДК. 629.017

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ І КЕРОВАНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ ІЗ ЗМІННОЮ МАСОЮ

Лебедєв Анатолій Тихонович д.т.н., професор
Артюмов Микола Прокопович д.т.н., професор
Шуляк Михайло Леонідович к.т.н., доцент

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра
Василенка*

Лебедєва Ірина Анатоліївна старший науковий співробітник
Харківська філія УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого

Lebedev A.
Artiomov N.
Shuljak M.

Kharkiv National Technical University of Agriculture named Petro Vasilenko

Lebedeva I.

Kharkiv branch of UkrNIPIT named Leonid Pogorely

Анотація: підвищення енергонасиченості тракторів і розвинення технологій виробництва сільськогосподарських культур призвело до випередження зростання маси технологічної частини МТА стосовно зростання маси трактора.

Виявлено, що зміни сили опору пересуванню агрегату, виникають внаслідок змінних властивостей оброблюваного матеріалу і неоднорідності властивостей робочих органів машин та їх регулювань. Для оцінки ефективності функціонування подібних технічних систем, зокрема рухомих об'єктів і технологічних процесів, проведена оцінка стійкості і керованості. У статті запропоновано алгоритм дослідження роботи мобільних сільськогосподарських агрегатів з перемінною масою для забезпечення необхідної стійкості і керованості при виконанні агротехнічних операцій.

Ключові слова: стійкість, керованість, мобільний агрегат, механічна система, моделювання, прискорення.

Вступ

Ефективне використання сільськогосподарських агрегатів є основою забезпечення якісного виконання технологічних процесів і дотримання агротехнічних термінів. Існуючі сучасні мобільні сільськогосподарські агрегати (МСА) є динамічно нестабільними механічними системами, внаслідок змінності параметрів стану, коливань зовнішніх навантажень, нелінійності збурень. Підвищення ефективності експлуатації МСА за рахунок зменшення часу і витрат на комплектування, зниження динамічних навантажень на агрегат, покращення керованості, стійкості руху і роботоздатності дозволять покращити експлуатаційні показники та зменшити собівартість продукції рослинництва.

Важливою для теорії та практики є проблема наукового обґрунтування теоретичних і експериментальних результатів дослідження динаміки ґрунтообробних агрегатів та ефективності їх експлуатації.

Аналіз досліджень і публікацій

Основні питання стійкості матеріальних об'єктів були розглянуті вперше А.М. Ляпуновим [1]. Його роботи з теорії стійкості стали відправним пунктом усіх подальших досліджень теорії стійкості руху. Науково-технічне підґрунтя вивчення механіко-технологічних процесів та засобів їх вирішення, підвищення ефективності експлуатації МСА, що відповідають агротехнічним, економічним і екологічним вимогам сільськогосподарського виробництва були В.П. Горячкін і П.М. Василенко [2, 3]. Твердження про стійкість руху є безпосереднім узагальненням розуміння стійкості рівноваги, яке,

як відомо, досягається тільки після перехідних процесів в динамічних системах. Динамічні процеси характеризуються наявністю прискорень і сил інерції.

Вирішення проблем динаміки та ефективного комплектування агрегатів був розвинений в роботах В.Я. Аніловича, І.Б. Барського, В.М. Булгакова, Я.С. Гукова, М.Л. Гусяцького, П.М. Заїки, Г.М. Кутькова, А.С. Кушнар'ова, А.Т. Лебедева, М.Н. Летошнева, А.Б. Лур'є, В.Т. Надикти, Л.В. Погорілого, Г.Н. Синєокова, Е.А. Фінна та ін. [4, 5, 6, 7, 8]. Були розроблені й запропоновані динамічні моделі МСА як механічних та динамічних систем, щоб забезпечити розв'язок багатьох задач, пов'язаних з впливом окремих елементів агрегатів на показники їх руху і роботи.

Слід зазначити, що більшість авторів розглядають визначення керованості вузько, стосовно до повороту автомобіля (трактора). У той же час теорія автоматичного управління визначає керованість як здатність динамічної системи із заданою точністю і швидкістю виконати керуючі дії, що задаються механізатором або автоматичним керуючим пристроєм. Тому поняття керованості автомобіля або трактора необхідно трактувати значно ширше, ніж керованість при повороті.

Механічні та динамічні системи функціонують у відповідності до законів механіки і тому в теоретичних дослідженнях необхідно використовувати закони і принципи механіки.

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є визначення умов стійкості і керованості мобільних машин.

Для досягнення заданої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити передатну функцію керування з урахуванням збуджень і зміни маси агрегатованої ємності;
- визначити умови стійкості і керованості мобільного агрегату.

Результати дослідження

Як завдання забезпечення керованості, так і завдання забезпечення стійкості зводяться до забезпечення рівноваги. Тільки в першому випадку ми маємо дві рівноважні точки (з першої по керуючому сигналу система переходить у другу точку), а в другому - одну, задану механізатором. Стійкість характеризує як протікання перехідного процесу при управлінні, так і перебіг усталеного процесу.

Поняття стійкості і керованості колісних машин пов'язані між собою діалектично. Чим краще керованість машини, тим гірше її стійкість і навпаки. Використання систем автоматичного управління, в тому числі систем змінної структури, дозволяє одночасно поліпшити показники як керованості, так і стійкості.

При зміні керуючих дій стійкість процесу дозволяє перейти з одного стану рівноваги системи в інше за мінімальний час з мінімальним відхиленням параметрів від оптимальних величин, що поліпшує керованість цієї системи.

Динамічні властивості виявляються в реакції мобільного агрегату на керуючий вплив [9]. У зазначеній роботі запропоновано в якості критерію керованості використовувати величину прискорення (лінійного або кутового) мобільного агрегату, що виникає при створенні керуючого впливу.

Запишемо рівняння руху для мобільного сільськогосподарського агрегату ХТЗ-170+ ВНЦ-10, яке характеризує процес керування для механічної системи

$$\frac{d(mV)}{dt} = P_{кер} - \Sigma P_c \quad (1)$$

з цього виразу отримано передатну функцію керування

$$W_{пер} = 1 - \frac{1}{K_{кер}} - \frac{V}{m} \cdot \frac{dm/dt}{V_{кер}^{парц}} \quad (2)$$

де m - маса машини у конкретний момент часу; V - швидкість руху машини в даний момент часу; dm/dt - швидкість зміни маси машини (рух машини змінної маси); t - час; $P_{кер}$ - керуюче (тягове)

зусилля; $\sum P_c$ - сума сил опору керуючим діям(впливам); $K_{кер}$ - коефіцієнт керованості, $K_{кер} = P_{кер} / \sum P_c$ [10].

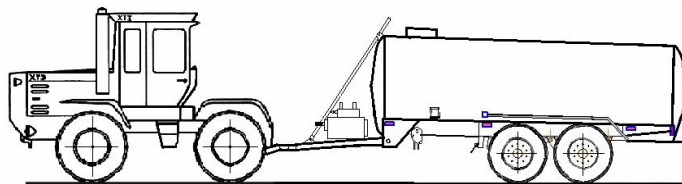


Рис. 1. Загальний вигляд мобільного агрегату ХТЗ-170+ВНЦ-10

Зміна суми сил, що характеризує технічний стан і функціональну стабільність машини відбувається в процесі виконання МСА технологічної операції.

Рівняння (1) з урахуванням можливих зовнішніх збурень прийме вигляд

$$\frac{d(mV)}{dt} = P_{кер} - \sum P_c \pm P_{збур}^{зовн} \quad (3)$$

де $P_{збур}^{зовн}$ - зовнішня збурююча сила.

Перетворивши рівняння (3) у рівняння парціальних прискорень[3], отримаємо

$$\frac{dV}{dt} = \dot{V}_{кер}^{парц} + \dot{V}_c^{парц} + \dot{V}_{збур}^{парц} - \frac{V}{m} \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (4)$$

де $\dot{V}_c^{парц}$ - парціальне прискорення сил опору,

$$\dot{V}_c^{парц} = -\frac{\sum P_c}{m}; \quad (5)$$

$\dot{V}_{збур}^{парц}$ - парціальне прискорення зовнішніх збурюючих сил,

$$\dot{V}_{збур}^{парц} = \frac{P_{збур}^{зовн}}{m}. \quad (6)$$

Передатна функція керування у цьому випадку визначається як

$$W_{пер} = \frac{dV/dt}{\dot{V}_{кер}^{парц}} = 1 + \frac{\dot{V}_c^{парц}}{\dot{V}_{кер}^{парц}} + \frac{\dot{V}_{збур}^{парц}}{\dot{V}_{кер}^{парц}} - \frac{V}{m} \cdot \frac{dm/dt}{\dot{V}_{кер}^{парц}} \quad (7)$$

При виконанні технологічної операції відбувається випорожнення машини для внесення рідких органічних добрив ВНЦ-10, тобто проходить поступова зміна маси агрегату, що відображено у виразах (1) і (3).

Ці зміни можна вважати внутрішніми збуреннями в системі, які впливають на коефіцієнт керованості $K_{кер}$.

Проведемо перетворення, підставляючи (5) і (6) до (7), а також враховуючи що

$$\frac{\dot{V}_c^{парц}}{\dot{V}_{кер}^{парц}} = \frac{\sum P_c / m}{P_{кер} / m} = -\frac{1}{K_{кер}}, \quad (8)$$

отримаємо кінцевий вигляд передатної функції

$$W_{пер} = 1 - \frac{1}{K_{кер}} \left(1 + \frac{V}{\sum P_c} \cdot \frac{dm}{dt} - K_{збур} \right) \quad (9)$$

де $K_{збур}$ - коефіцієнт збурення,

$$K_{збур} = \frac{P_{збур}^{зовн}}{\sum P_c} = -\frac{\dot{V}_{збур}^{парц}}{\dot{V}_c^{парц}}. \quad (10)$$

якщо $\frac{dm}{dt} = 0$ і $K_{збур} = 0$ рівняння (9) спроститься і прийме вигляд

$$W_{пер} = 1 - \frac{1}{K_{кер}}. \quad (11)$$

Графік залежності (11) наведено на рис.2. Із збільшенням коефіцієнта керованості $K_{кер}$

здійснюється збільшення передатної функції керування $W_{пер}$ зазвичай що

$$\lim_{K_{кер} \rightarrow \infty} W_{пер} = \lim_{K_{кер} \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{K_{кер}}\right) = 1 \quad (12)$$

Отримання значень $W_{пер}$, близьких до одиниці, забезпечує отримання ідеальної керованості при якій

Аналізуючи вираз (9) можна зробити висновок про те, що із збільшенням $\sum P_c$ відбувається зменшення $K_{кер}$ і $W_{пер}$. Погіршення технічного стану машини призводить до збільшення $\sum P_c$.

Виконуючи внесення рідких добрив МСА рухався по стерні, при цьому розрахункові показники для енергетичного засобу склали: дотична сила тяги $P_d = 25,93$ кН; сила тяги на гаку $P_{кр} = 22,6$ кН; ефективна потужність двигуна $N_u = 185$ кВт; крутний момент двигуна $M_o = 844,4$ Нм, сила опору коченню $P_f = 3,33$ кН.

Проведені аналітичні розрахунки $W_{пер}$ дали змогу зробити висновок щодо зміни керованості і стійкості руху мобільного сільськогосподарського агрегату ХТЗ-170 + ВНЦ-10. При максимальній масі агрегату (крива – 1, рис.2) передатна функція керованості має найнижче значення. Із зменшенням маси технологічної ємності (графіки – 2, 3, 4, 5) передатна функція збільшується і наближається до зони нестійкості.

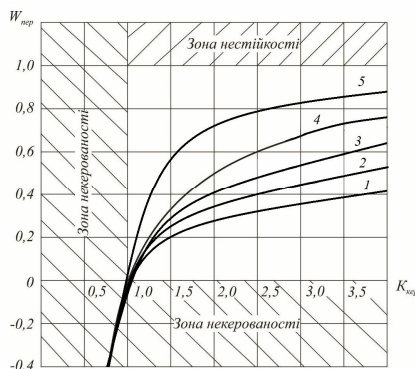


Рис. 2. Графік динаміки передатної функції мобільного агрегату ХТЗ-170+ВНЦ-10: маса ВНЦ-10; 1 - $m_e = 14200$ кг; 2 - $m_e = 12200$ кг; 3 - $m_e = 10200$ кг; 4 - $m_e = 7200$ кг; 5 - $m_e = 5200$ кг

Керованість і стійкість в процесі руху мобільного сільськогосподарського агрегату є взаємопов'язаними властивостями. При збільшенні стійкості зменшується керованість і навпаки, це доведено попередніми дослідниками [9].

Висновки

За результатами аналітичних та експериментальних досліджень визначено, що стійкість і керованість мобільного сільськогосподарського агрегату для внесення рідких добрив змінюються в часі при зменшенні маси технологічної частини агрегату збільшується керованість і зменшується стійкість.

Список літератури

1. Ляпунов А.М. Лекции по теоретической механике / А.М. Ляпунов. – К.: - Наукова думка, 1982. – 632с.
2. Горячкин В.П. Теория массы и скоростей сельскохозяйственных прицепов / В.П. Горячкин. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
3. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и оборудования. Сборник трудов по земледельческой механике, т.2 / П.М.Василенко – М.: Сельхозгиз, 1954. – 64с.
4. Анилович В.Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В.Я.Анилович, Ю.Т.Водолажченко // Справочное пособие. Изд. 2-е переработ. и доп. М.:Машиностроение, 1976. – 456с.
5. Погорельый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорельый, В.Я. Анилович – К.: Феникс,

2004. – 208 с.

6. Кутьков Г.М. Теория трактора и автомобиля / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 1996. – 287с.
7. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – М.: Колос, 1981. – 382с.
8. Заика П.М. Теория сельскохозяйственных машин / П.М. Заика. – Харьков. ОКО, 2001. Т.1, Ч.1 – 444с.
9. Подригало М.А. Управляемость и устойчивость автомобиля. Определение понятий / М.А. Подригало // Автомобильная промышленность. – 2008. – №11. – с. 22 – 23.
10. Подригало М.А. Динамика автомобиля /Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В./ под ред Подригало М.А.. – Харьков.: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424с.

References

1. Lyapunov A.M. Leksii po teoreticheskoy mehanike / A.M. Lyapunov. – K.: - Naukova dumka, 1982. – 632s.
2. Goryachkin V.P. Teoriya massy i skorostey sel'skohozyaystvennykh pritsepov / V.P. Goryachkin. – M.: Energiya, 1974. – 240 s.
3. Vasilenko P.M. Elementy teorii ustoychivosti dvizheniya pritsepnykh sel'skohozyaystvennykh mashin i oborudovaniya. Sbornik trudov po zemledelcheskoy mehanike, t.2 / P.M.Vasilenko – M.: Selhozgiz, 1954. – 64s.
4. Anilovich V.Ya. Konstruirovaniye i raschet sel'skohozyaystvennykh traktorov / V.Ya.Anilovich, Yu.T.Vodolazhchenko // Spravochnoe posobie. Izd. 2-e pererabot. i dop. M.: Mashinostroenie, 1976. – 456s.
5. Pogorelyiy L.V. Ispytaniya sel'skohozyaystvennoy tekhniki: nauchno-metodicheskie osnovy otsenki i prognozirovaniya nadezhnosti sel'skohozyaystvennykh mashin / L.V. Pogorelyiy, V.Ya. Anilovich – K.: Feniks, 2004. – 208 s.
6. Kutkov G.M. Teoriya traktora i avtomobilya / G.M. Kutkov. – M.: Kolos, 1996. – 287s.
7. Lure A.B. Statisticheskaya dinamika sel'skohozyaystvennykh agregatov / A.B. Lure. – M.: Kolos, 1981. – 382s.
8. Zaika P.M. Teoriya sel'skohozyaystvennykh mashin / P.M. Zaika. – Harkov. OKO, 2001. T.1, Ch.1 – 444s.
9. Podrigalo M.A. Upravlyaemost i ustoychivost avtomobilya. Opredelenie ponyatiy / M.A. Podrigalo // Avtomobilnaya promyshlennost. – 2008. – 11. – s. 22 – 23.
10. Podrigalo M.A. Dinamika avtomobilya /Podrigalo M.A., Volkov V.P., Boboshko A.A., Pavlenko V.A., Fayst V.L., Klets D.M., Redko V.V./ pod red Podrigalo M.A.. – Harkov.: Izd-vo HNADU, 2008. – 424s.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ

Аннотация: повышение энергонасыщенности тракторов и развитие технологий производства сельскохозяйственных культур привело к опережению роста массы технологической части МТА относительно роста массы трактора.

Определено, что изменения силы сопротивления передвижению агрегата, возникающие вследствие переменных свойств обрабатываемого материала и неоднородности свойств рабочих органов машин и их регулировок. Для оценки эффективности функционирования подобных технических систем, в том числе движущихся объектов и технологических процессов проведена оценка стойкости и управляемости. Предложен алгоритм исследования работы мобильных сельскохозяйственных агрегатов с переменной массой для обеспечения необходимой устойчивости и управляемости при выполнении агротехнических операций.

Ключевые слова: устойчивость, управляемость, мобильный агрегат, механическая система, моделирование, ускорение.

ENSURE THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY AND MANAGEABILITY WITH VARIABLE MASS

Summari: increasing power ratio tractors and technology in crop production has led to mass growth outpaced of the technological part of the MTU regarding the growth of the mass of the tractor.

Determined that the movement resistance force change unit arising from variable properties of the processed material and heterogeneity of the properties of the working machine and their adjustment. To evaluate the effectiveness of such technical systems, including moving objects and processes evaluation of stability and controllability is necessary. Proposed an algorithm research of mobile agricultural units with variable mass to provide the necessary stability and control when performing farming operations.

Keywords: stability, manageability, mobile unit, a mechanical system, simulation, acceleration.