

I. МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

УДК 631.3-182

Артёмов М.П.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

ВПЛИВ ДИНАМІКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНУ СТАБІЛЬНІСТЬ

В статье, рассмотрены тягово-энергетические показатели работы мобильных энергетических агрегатов и влияние перераспределения крутящих моментов по колесам на функциональную стабильность машинно-тракторных агрегатов (МТА).

In article traction-power indicators of work of mobile power units and influence of redistribution of the twisting moments on wheels on functional stability of machine tractor power unit are considered.

Вступ

Все різноманіття технологічних вимог, що пред'являються до МТА можна виразити наступними узагальненими показниками: продуктивністю і агротехнічною якістю операції, яка виконується, при низькій питомій собівартості робіт. Система машин і механізмів є матеріально-технічною базою комплексної механізації виробничого циклу. Вона являє собою сукупність окремих машино-тракторних агрегатів(МТА), машин і механізмів, взаємно доповнюючи друг друга.[1] Перспектива щодо розширення застосування сільськогосподарських тракторів як мобільного джерела енергії і еволюційного переходу від тягової до тяглово-енергетичної концепції трактора вимагає більш ретельного підходу при комплектуванні МТА.

Стан проблеми

По мірі розвитку машинних технологій обробки сільськогосподарських культур зростання маси технологічної частини МТА випереджало зростання маси трактора. Із застосуванням комбінованих агрегатів маса технологічної частини, що навішується на трактор, зрівнялася з масою енергетичної частини. Екстраполюючи цю залежність, можна припустити, що в майбутньому маса технологічної частини агрегату буде перевершувати масу енергетичної.

Скомплектовані сільськогосподарські агрегати в роботі повинні забезпечувати функціональну стабільність під час виконання агротехнічних операцій та відповідати класифікації оцінюючих показників: агротехнічним, експлуатаційним, промисловим, економічним, загальнотехнічним і естетико-ергономічним [2]. Умови та принципи комплектації МТА, що входять в ту чи іншу систему машин, залежать від конструктивних параметрів та динамічних властивостей машин, які входять до агрегату.

Аналіз досліджень і публікацій. Від зовнішніх збурюючих чинників і технічного стану сільськогосподарських агрегатів та енергетичного засобу у більшості випадків відбувається зміна динамічних навантажень.

Збільшення вимог до екологічної безпеки, якості виконання робіт, підвищення врожайності, вимагає створення нових технологічних процесів, розробки прогресивних форм організації праці, вдосконалення трактора, як основного енергетичного засобу та технологічної частини МТА.

Представлені раніше дослідниками засоби експериментальних досліджень руху МТА і теоретичні методи дозволили отримати інформацію щодо поведінки агрегату, його

функціонування під час виконання технологічних операцій в нормальних умовах експлуатації. Вирішенню задач динаміки сільськогосподарських агрегатів приділили багато уваги Василенко П.М., Погорілий Л.В., Кутьков Г.М., Рославцев А.В., Надикто В.Т.[2,3] та ін. Кожен з них вирішував окрему задачу динаміки, а в цілому було зроблено великий вклад в теоретичне обґрунтування комплектації та ефективної роботи агрегатів. Було розроблено і запропоновано для розгляду динамічні моделі МТА, що забезпечили вирішення багатьох задач, пов'язаних з впливом окремих елементів агрегату на показники його руху.

Мета досліджень

У зв'язку з цим необхідно ставити та вирішувати задачі структурної та параметричної оптимізації МТА з метою підвищення надійності, довговічності, покращення плавності ходу, експлуатаційних характеристик. Встановлення взаємозв'язку факторів, які пов'язують особливості динамічних процесів, що відбуваються з параметрами агрегату, його конструктивними властивостями і експлуатаційними режимами.

Вирішення задачі

Для вирішення поставленої мети необхідно провести аналіз траєкторій руху центрів мас елементів агрегату, який дасть змогу розкрити внутрішню структуру процесів, що відбуваються під час роботи.

Функціонування сільськогосподарського агрегата як динамічної системи зручно розглядати як реакцію на вхідні зовнішні збурення і керуючі впливи. Тому загальною розрахунковою схемою (або моделлю) будь-якого сільськогосподарського агрегату незалежно від його призначення є схема за принципом вхід - вихід. У такій схемі аналіз, синтез і оптимізація робочого процесу агрегата здійснюється на основі зв'язків між вхідними і вихідними змінними, а також за динамікою проходження і перетворення змінних. В якості вхідних приймаються усі зовнішні збурення (умови функціонування) і керуючі впливи (з боку механізатора, або керуючих пристроїв), а вихідні - сукупність параметрів, які визначають якість роботи агрегату, енергетичні і техніко-економічні його показники.

За результатами проведених досліджень, через вплив особливостей агрегування, комплектації, регулювань, а також режимів роботи, величина середньоквадратичних відхилень центрів мас частин агрегату дає змогу побачити наступне:

асиметричність приєднання плуга і нерівномірність опору коченню коліс на орних роботах призводить до нерівномірного розподілу реакцій між колесами орного агрегату. Для енергоустановки на базі ХТЗ-17221 під час виконання орних робіт з плугом ПЛН-5-35 перевищення складає 50-60%.[4] Найменше середньоквадратичне відхилення робочих органів разом з відхиленням задньої напіврамі від краю попереднього проходу плуга підкоряється нормальному закону розподілу, точність руху визначається за критерієм 3σ :

$$3\sigma = \Delta y \text{ (мм)} \quad (1)$$

величина, що дорівнює трьом дисперсіям відповідає максимальному відхиленню в один бік, з тяговим зусиллям $P_{кр} \geq 30$ кН;

Для визначення необхідної ефективної потужності енергозасобу при роботі на рівній ділянці поля:

$$N_e = \frac{P_T V_P + P_f V_P + P_{\text{пш}}(V_T - V_P)}{3,6} + N(1 - \eta_{TP}) \quad (2)$$

Використання ефективної потужності на рівній ділянці не викриває динамічні можливості сільськогосподарського колісного агрегата. Тому спробуємо записати ефективну потужність двигуна, що реалізується під час розгону агрегату і може бути визначена як:

$$N_e = \frac{(m_T + m_s)gV_T(f_T + f_s) + (m_T + m_s)gV_T K_{\text{ш}} \frac{S_x}{1 - S_x} + (m_T + m_s)V_T \delta \frac{dV}{dt}}{\eta_{TP}(1 - S_x)} \quad (3)$$

де m_T - маса енергетичної установки(трактора);

m_3 - маса сільськогосподарського знаряддя;
 V_T - лінійна швидкість трактора;
 f_T - коефіцієнт опору коченню коліс енергоустановки;
 f_3 - коефіцієнт опору сільськогосподарського знаряддя;
 $K_{зч}$ - коефіцієнт використання зчпної ваги енергоустановки під час рушання, що враховує схему приводу ведучих коліс та ступінь реалізації можливої тягової сили;
 φ - коефіцієнт зчеплення коліс з поверхнею поля;
 P_T - сила тяги енергетичного засобу;
 S_x - відносне буксування ведучих коліс;

Таблиця 1

Показники руху мобільного енергетичного засобу на оранці стерні пшениці

Показники	Досліди			
	1	2	3	4
Швидкість руху м/с	2,52	2,21	2,1	1,77
Середньоквадратичне відхилення кута центру мас передньої напіврами рад.	0,0132	0,0174	0,0137	0,0185
Середньоквадратичне відхилення кута повороту рульового колеса рад	0,4528	0,6462	0,5783	0,5574

В залежності від режимів роботи (обидва ведучі мости, один передній, або задній) відбувається значна зміна стійкості руху МТА (Табл.1). На це вказує характер кореляційної функції, що дуже швидко зменшується (рис. 1) у тому випадку якщо включено передній міст, а також зсув у бік високих частот якщо включено задній міст(2).

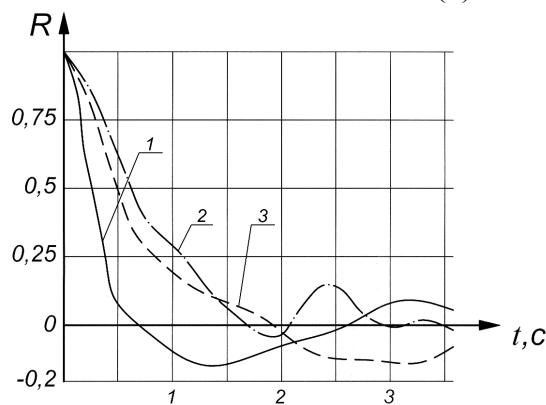


Рис. 1. Кореляційна функція R зміни кута повороту керма для різних режимів роботи мостів трактора

Кількість керуючих дій механізатора у першому випадку на 15 – 20% менше ніж у другому;

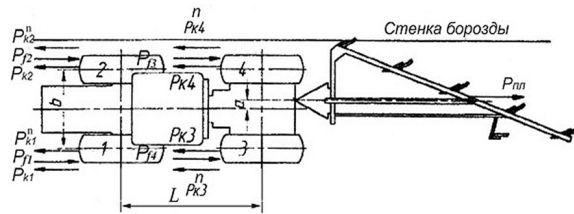
при використанні подвоєних коліс на 20...30% зростають показники стійкості руху МТА на швидкостях 1,5...2,2 м/с, а також зростають показники сили тяги.

У випадку коли $P_{кр} > 30$ кН у серійної енергетичної установки показники руху на 30...40% гірше ніж у такої ж моделі з подвоєними колесами, також із збільшенням сили тяги $P_{кр} > 40$ кН у серійного енергозасобу збільшується схильність до постійного відхилення від необхідної траєкторії руху. Енергетична установка обладнана подвоєними колесами має більшу інерційність і її траєкторія руху відображається більш плавною лінією. У цьому

випадку кількість керуючих дій механізатора у 1,3...1,5 разів менше ніж під час керування серійним енергозасобом.

Ми розглядаємо МТА як систему, що знаходиться під впливом зовнішніх сил та крутних моментів підведених до переднього і заднього мостів, від яких залежить функціональна стабільність його роботи під час виконання агротехнічних операцій. Розглядаючи мобільну енергетичну установку, як багатовимірну систему необхідно визначити режими і параметри, що впливають на функціональну стабільність і стійкість її руху (Рис.3)

Характери процесу розподілу крутних моментів, що реалізуються на колесах переднього $M_{КП}$ і заднього $M_{КЗ}$ мостів трактора схожі і залежать від складу орного МТА і це пояснюється тотожністю процесів перерозподілу навантажень по мостах[5]. При асиметричному прикладанні сили опору плуга $P_{пл}$, яка характеризується відстанню a від осі трактора до точки прикладання $P_{пл}$, та різним опором коченню P_{fi} коліс, що обумовлено різними умовами їх кочення, сила тяги P_{ki} , необхідна для подолання P_{fi} , буде різною для кожного з коліс ($P_{fi} + P_{ki} = 0$) (Рис. 2).



**Рис. 2. Схема дії сил на колесах трактора на орних роботах:
 b, L – колія, поздовжня база**

Для забезпечення рівномірного прямолінійного руху трактора необхідно виконати умову $P_{ki} = P_{fi} + P_{ki}^n$, де P_{ki}^n – сила тяги, що необхідна на подолання сили опору плуга.

Для цього випадку дотичні сили тяги коліс записують у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} P_{k1} &= P_{пл} \frac{(b/2 - a)}{b} + P_{к3} + \sum (P_{f1,3} + P_{к1,3}^n) \\ P_{к2} &= P_{пл} \frac{(b/2 + a)}{b} + P_{к4} + \sum (P_{f2,4} + P_{к2,4}^n) \\ P_{к3} &= P_{пл} \frac{(b/2 - a)}{b} + P_{к1} + \sum (P_{f1,3} + P_{к1,3}^n) \\ P_{к4} &= P_{пл} \frac{(b/2 + a)}{b} + P_{к2} + \sum (P_{f2,4} + P_{к2,4}^n) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Аналіз наведеної системи рівнянь показує, що при $P_{f1,3} \neq P_{f2,4}$, обумовлених різними умовами кочення коліс під час виконання трактором орних робіт ($P_{f2} > P_{f4}$, $P_{f1} > P_{f3}$, $P_{f2} > P_{f1}$, $P_{f4} > P_{f3}$) маємо $P_{к2} > P_{к4}$, $P_{к1} > P_{к3}$, $P_{к2} > P_{к1}$, $P_{к4} > P_{к3}$.

Результати експериментальних досліджень (табл. 2) підтверджують висновок про нерівномірність навантаження коліс, бортів трактора на орних роботах.

Таблиця. 2.

Розподіл крутних моментів ($M_{кр}$) на сонячних шестернях колісних редукторів трактора ХТЗ-17021 з плугом ПЛН-5-35 (оранка стерні озимої пшениці на глибину 25-27 см)

у, м	а, м	$M_{кр}$, Н·м			
		$M_{кр1}$	$M_{кр2}$	$M_{кр3}$	$M_{кр4}$
0,150	0,36	947	2222	875	2150

Примітка. В таблиці позначено

u - відстань від краю борозни до зовнішнього краю колеса; a - асиметричність прикладання тягового навантаження; $M_{кр1}$, $M_{кр2}$, $M_{кр3}$, $M_{кр4}$ - крутні моменти на сонячних шестернях колісних редукторів переднього лівого і правого, заднього лівого і правого коліс.

Асиметричність приєднання плуга, що характеризується параметром a , призводить до більшого навантаження правого борту трактора у порівнянні з лівим.

Із збільшенням сили P_K на колесах кожного моста реалізуються більші за значенням крутні моменти. У випадку коли $P_{кр} = 0 \dots 30$ кН, тобто при вільному русі і оранці на малих глибинах ми спостерігаємо на колесах переднього моста більш інтенсивний приріст крутного моменту, ніж на колесах заднього мосту, із збереженням нерівності $M_{КП} > M_{КЗ}$ (при цьому навантаження, що діють на передній міст більші, ніж на його задньому мості).

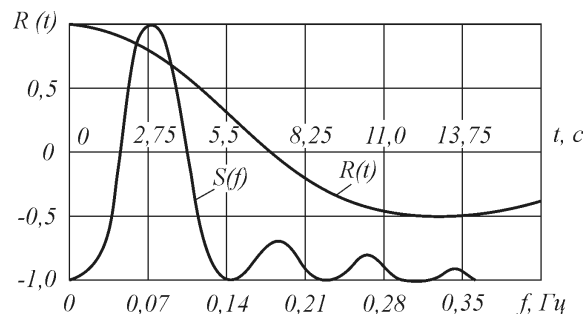


Рис.3. Нормована автокореляційна функція $R(t)$ і спектральна щільність $S(f)$ траєкторії руху центра мас навірами енергозасобу з $P_{кр} > 45$ кН та $V_{ср} \geq 1,7$ м/с.

З подальшим зростанням сили $P_{кр}$ і додатковим перерозподілом навантажень ми спостерігаємо значний приріст крутного моменту на колесах заднього мосту, між тим нерівність $M_{КП} > M_{КЗ}$ ще зберігається. При досягненні $P_{кр} = 43 \dots 47$ кН до коліс обох мостів підводяться однакові за значенням крутні моменти.

Таким чином імовірна залежність розподілу крутних моментів між ведучими мостами від характеру перерозподілу навантажень по мостах і складу МТА.

Висновок

Склад МТА і перерозподіл навантажень є основними факторами, що впливають на розподіл крутних моментів між ведучими мостами і колесами енергетичної установки і функціональну стабільність в роботі агрегату. Наразі енергетична установка (трактор), як елемент динамічної системи задовільно переробляє відмічені вхідні збурення і забезпечує функціональну стабільність роботи агрегату. Процеси розподілу крутних моментів між ведучими мостами і колесами МТА на оранці схожі незалежно від щільності ґрунту.

Література

1. Горячкин В.П. Теория массы и скоростей сельскохозяйственных прицепов. / В.П. Горячкин – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
2. 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. – 64 с.
3. Кутьков Г.М., Габай Е.В., Калиновский В.И., Кандрусов И.И., Надыкто В.Т. Выбор рациональной схемы агрегатирования мобильного энергетического средства с плугом. / Г.М. Кутьков, Е.В. Габай, В.И.Калиновский, И.И. Кандрусов, В.Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1990, № 3 С. 21 – 23.
4. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. / П.М. Василенко – Киев.: Сільгоспосвіта, 1996. – 251 с.



5. Лебедев А.Т., Артемов Н.П., Гриненко А.А. Тяговий КПД трактора при неравномерном распределении реакций между колесами/А.Т. Лебедев, Н.П. Артемов, А.А. Гриненко // Тракторна енергетика в рослинництві. Вісник ХДТУСГ. – Харків.: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 6. - С. 49 – 56.