

## ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ НА ДИНАМІКУ, ПРОДУКТИВНІСТЬ І ФУНКЦІОНАЛЬНУ СТАБІЛЬНІСТЬ МОБІЛЬНИХ МАШИН

Артёмов М.П. к.т.н., доц.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*В роботі розглядаються тягово-енергетичні показники в роботі мобільних енергетичних агрегатів та вплив динаміки сільськогосподарських машин на продуктивність і функціональну стабільність.*

**Вступ.** Забезпечення високої економічної ефективності сільськогосподарського виробництва на базі постійного вдосконалення використання виробничих можливостей і значне підвищення продуктивності землеробської праці є однією з основних задач у галузі механізації сільського господарства. Із розвитком ринкових відносин ще більше зросла її вагомість на фоні зниження кількісного і якісного складу машинно-тракторного парку, постійного подорожчання палива, мастил, запасних частин, зростання виробничих витрат змушують сільгосптоваровиробника шукати раціональні шляхи значного покращення роботоздатності, надійності машин і підвищення ефективності їх використання.

**Проблема.** Сільськогосподарські агрегати - складні динамічні системи. Вони працюють в умовах на які впливають багаточисельні найрізноманітніші зовнішні фактори, що постійно змінюються. Для мобільних агрегатів такими факторами є фізико-механічні властивості ґрунту (вологість, щільність, механічний склад та ін.), нерівності поверхні поля, витрати які необхідно вкласти на їх обробку і переміщення агрегата; властивості рослин (врожайність, забрудненість та ін.), зміна маси агрегата у процесі виконання технологічного процесу та ін.

У мобільних сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів(МТА) змінність зовнішніх факторів при взаємодії робочих органів машин із оброблюваним середовищем (ґрунтом, рослинами) і рушіїв з поверхнею поля визначає складний характер руху окремих точок, що характеризує в значній мірі якість багатьох операцій з обробітку ґрунту (оранка, міжрядна культивування та ін.).

У зв'язку з цим під час розрахунку і конструювання, а також випробуваннях і дослідженнях сільськогосподарські агрегати повинні розглядатись як керовані динамічні системи, що складаються із цілого ряду взаємозамінних підсистем. Модель агрегату можна розглядати у вигляді розрахункової схеми, яка б найбільш повно відображала реальні умови функціонування агрегата.

**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 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., Анілович В.Я., Кутьков Г.М., Рославцев А.В., Надикто В.Т., Булгаков В.М., Гячев Л.В., Гуков С.Я., Подригало М.А. 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 і роботи[1,2,3,4].

Аналіз публікацій довів, що в питаннях впливу зовнішніх збурень, зміни швидкості руху на динаміку і функціональну стабільність сільськогосподарських агрегатів під час виконання технологічних операцій висновки різняться.

**Мета.** Окремо усі складові сільськогосподарського агрегату вивчені на достатньому рівні. Але рух системи машин в цілому, як сукупності усіх її частин потребує більш досконалого вивчення. Тому у роботі запропоновано звернути особливу увагу на енергетичні витрати і взаємодію складових МТА, зважаючи на те, що зв'язок між ними здійснюється через ґрунт.

Вирішення проблеми використання мобільних сільськогосподарських агрегатів у процесі їх експлуатації необхідно розглядати через:

- аналіз закономірностей зміни вхідних впливів на МТА, які призводять до втрати його енергетичних можливостей;
- розвитку методів аналітичного розрахунку і прогнозування закономірностей формування оціночних показників ефективності функціонування, як в цілому МТА, так і його складових елементів;
- розробка простих і доступних методів, що дозволяють в процесі експлуатації підвищити реалізацію експлуатаційних властивостей МТА, вести контроль за ефективністю витрат палива та енергії безпосередньо під час виконання МТА технологічних операцій.

**Вирішення задачі.** Для забезпечення необхідної працездатності та якісного виконання агротехнічних операцій мобільний енергетичний засіб повинен мати належну експлуатаційну потужність та масу. Ці параметри визначають енергонасиченість, тягово-зчіпні, паливно-економічні та інші показники, що формують основні важливі експлуатаційні якості сільськогосподарського енергетичного засобу [2].

Без оптимізації параметрів МТА на виконанні агротехнічних операцій неможливо вирішити питання ефективного використання комплексу машин у

виробничому процесі. Припустимо кількість агрегатів, одночасно зайнятих на операції, визначає строк виконання цієї операції, з яким пов'язані втрати врожаю. Строк виконання операції також визначається індивідуальною продуктивністю кожного агрегата, що використовується, а значить і його параметрами і режимами роботи, тобто якісні і кількісні зміни комплексу машин у виробничому процесі впливає на склад агрегату в окремій операції.

Перший шаг до вирішення загальної задачі підвищення ефективності використання машинно-тракторного агрегату - складання математичної моделі агрегата на визначеній технологічній операції, на підґрунті методології і методів системного аналізу (багаторівневої, визначення зв'язків із зовнішнім середовищем, стратифікації та ін.).

З переходом до ринкової економіки і появою невеликих фермерських господарств вирішення цієї задачі носить не тільки проміжний, етапний характер, а здобуває самостійність і важке практичне значення.

Для досягнення поставленої мети необхідно використовувати системний підхід, який враховує різноманітність факторів, що впливають на ефективність роботи МТА. Крім того, МТА має всі ознаки складної системи [6], він складається з більш простих елементів - двигуна, трактора, сільськогосподарської машини. У системі можливе регулювання незначних параметрів: частоти обертання колінчастого валу двигуна і обрана передача в трансмісії трактора – визначають швидкість МТА; ширина захвату, конструктивні параметри робочих органів, глибина обробки ґрунту - визначають тяговий опір знаряддя.

Необхідність підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів поставила завдання переходу на високі робочі швидкості, що призвело до зростання енергонасиченості тракторів. Поступово з'явилась ідея створення замість трактора тягової машини відносно легкого мобільного енергетичного засобу, здатного до 80 % потужності двигуна передавати для приводу активних робочих органів і ходових систем робочих машин [7].

Проте можна погодитись із думкою, що у найближчі 10-15 років трактор збереже за собою функцію тягової машини [8]. У зв'язку з цим розрахунок тягового зусилля на кріюку в залежності від ширини захвату агрегату запишемо

$$P_{кр} = kV_p, \quad (1)$$

де:  $P_{кр}$  – тягове зусилля на кріюку кН;  
 $k$  – питомий опір ґрунту обробці знаряддям за певної швидкості, кН/м;  
 $V_p$  – ширина захвату сільськогосподарської машини, м.

При дослідженні енергетичних можливостей МТА в експлуатації одним з оцінюючих параметрів обирається показник заради якого проводяться усі випробування і створюється машина – продуктивність  $W$  [9].

Миттєва (секундна)  $W$ , м<sup>2</sup>/с

$$W_a^M = B_p V_p, \quad (2)$$

де:  $B_p$  – ширина захвату сільськогосподарської машини, м;

$V_P$  – швидкість руху мобільної сільськогосподарської машини, м/с.

Змінна продуктивність, га/зм

$$W_{3M} = 0,36 W_a^M T \tau, \quad (3)$$

де:  $T$  – тривалість робочої зміни, год;  
 $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни.

Після підстановки до (3) складових від (1) і (2) можна записати залежність змінної продуктивності від ширини захвату сільськогосподарської машини і швидкості руху, як пропонується в роботі[10].

$$W_{\Gamma} = 0,36 \frac{P_{kp}}{k} V_P \tau \quad (4)$$

Для визначення необхідної потужності енергетичного засобу за певної ширини захвату знаряддя, крюкової потужності і швидкості руху:

$$W_{\Gamma} = 0,36 N_{KP} \tau \frac{1}{k}, \quad (5)$$

де:  $N_{KP}$  – тягова потужність трактора, кВт.

Тягова потужність і питомий опір є характеристики, що впливають на продуктивність МТА за певного фізико-механічного стану ґрунту, через це пропонується співвідношення  $\frac{N_{KP}}{k}$  вважати за потенційну продуктивність

$$W_{\Pi} = \frac{N_{KP}}{k} \quad (6)$$

Після проведення аналізу рівнянь(5) і (6) можна зробити висновок, що для керування продуктивністю сільськогосподарського агрегату нам необхідно збільшити тягову потужність, коефіцієнт використання робочого часу, або зменшити питомий опір знаряддя, чи робити це одночасно. Для мобільного сільськогосподарського агрегату тягова потужність визначається залежністю[5].

$$N_{KP} = N_e \xi_N \eta_T \quad (7)$$

де:  $N_e$  – номінальна потужність двигуна;  
 $\xi_N$  – коефіцієнт, що вказує яка частина номінальної потужності перетворюється в тягову потужність;  
 $\eta_T$  – тяговий ККД трактора.

Теоретично та експериментально доведено залежність тягового ККД трактора від зміни навантаження на крюку. З урахуванням виразу (7) рівняння (5) буде мати вигляд;

$$W_T = 0,36 N_e \xi_N \eta_T \tau \frac{1}{k} \quad (8)$$

Аналіз рівняння (8) дозволяє зробити висновок про те, що продуктивність мобільного сільськогосподарського агрегату знаходиться в прямо пропорційній залежності від потужності, яку розвиває двигун, коефіцієнту використання встановленої потужності, тягового ККД трактора, використання часу зміни і має зворотну пропорцію до питомого опору сільськогосподарського знаряддя.

Усі складові рівняння (8) у тій чи іншій мірі впливають на швидкість руху мобільного сільськогосподарського агрегату в момент перехідного процесу і є залежними від швидкості руху, тобто можуть бути функцією від неї  $f(V)$ .

Коли розглядається рух машинно-тракторного агрегату і ми починаємо враховувати дію сил, а також, як ці сили впливають на зміну динаміки машини. У цьому випадку необхідно використовувати для опису руху закони динаміки.

Між тим слід відзначити, що перехід мобільної машини із одного режиму руху до другого відбувається за рахунок рушіїв, тобто через рушії реалізується потужність двигуна, через них сприймається опір пересуванню і опір сільськогосподарського знаряддя.

У роботі [11] було запропоновано у якості критерію, що характеризує керованість використовувати лінійне або кутове прискорення. Цей критерій можливо використовувати для оцінки керованості мобільної машини на перехідних режимах руху. Вибір вказаного критерію обумовлений тим, що прискорення виникає у результаті появи силового керуючого фактора(сили або моменту). Залежність прискорення від силового впливу, яке його викликає – прямолінійна. Через таку залежність впливає висновок, чим більше сила, тим більше прискорення з яким починає рухатись мобільний сільськогосподарський агрегат під час перехідного процесу(розгін, або гальмування).

Рівняння динаміки поступального руху мобільної машини має вигляд[12]

$$m_T \cdot \dot{V}_T(V) = P_{мяг} - P_{кр}(V) - m_T g [f(V) + f_{mp}(V)], \quad (9)$$

де:  $m_T$  – загальна маса трактора;

$\dot{V}_T$  – прискорення трактора;

$P_{мяг}$  – тягове зусилля на ведучих колесах, умовно визначене для випадку відсутності втрат енергії в трансмісії;

$P_{кр}(V)$  – функція зміни зусилля на крюку від швидкості руху;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$  ;

$f(V)$  – функція зміни коефіцієнта опору коченню коліс трактора від швидкості;

$f_{mp}(V)$  – умовне збільшення коефіцієнта опору кочення коліс трактора за рахунок приведення до коліс опору в трансмісії і порушення геометрії ходової частини машини.

Після проведення перетворень і представлення складових рівняння у вигляді парціальних прискорень. По тому рівняння (9) можна записати у вигляді суми парціальних прискорень

$$\dot{V}_T(V) = \dot{V}_T^{cb.p}(V) + \dot{V}_T^{kp}(V) + \dot{V}_T^f(V) \quad (10)$$

При проведенні експериментальних досліджень і наявності вимірювального комплексу, який забезпечує реєстрацію і обробку поздовжніх лінійних прискорень і швидкостей трактора, визначення парціальних прискорень можна здійснити при вільному вибігу МТА і вільному вибігу одиничного трактора.

При вільному вибігу одиничного трактора. Справедливе співвідношення

$$\dot{V}_T^{ВИБ}(V) = \dot{V}_{МТА}^f < 0. \quad (11)$$

При вибігу машино-тракторного агрегата рівняння (10) перетвориться до вигляду

$$\dot{V}_T(V) = \dot{V}_T^{ВИБ} = \dot{V}_T^{KP}(V) + \dot{V}_T^f(V) < 0. \quad (12)$$

Звідси визначимо

$$\dot{V}_T^{KP}(V) = \dot{V}_T^{ВИБ}(V) - \dot{V}_T^f(V) = \dot{V}_T^{ВИБ}(V) + g[f(V) + f_{mp}(V)]. \quad (13)$$

З урахуванням перетворень визначимо залежність зусилля на крюку від швидкості.

$$\frac{P_{кр}(V)}{m_T} = -\dot{V}_T^{ВИБ}(V) + \dot{V}_T^f(V). \quad (14)$$

Потужність на крюку також може бути визначено із (14)

$$N_{кр}(V) = P_{кр} V_T = m_T V_T [\dot{V}_T^f(V) - \dot{V}_T^{ВИБ}(V)]. \quad (15)$$

Якщо маємо значення тягової сили на ведучих колесах без урахування витрат на тертя у трансмісії, то з'являється можливість визначити ефективну потужність двигуна

$$Ne(V) = P_{мяз} V_T = m_T V_T [\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{ВИБ}(V)], \quad (16)$$

де:  $V_T$  і  $\dot{V}_T(V)$  – поточні значення лінійних швидкостей і прискорень мобільної машини, що вимірюються в процесі випробувань із шагом часу  $\Delta t$ .

Після визначення необхідної потужності на крюку і ефективної потужності двигуна, розрахуємо тяговий ККД трактора

$$\eta_T = \frac{N_{кр}(V)}{Ne(V)} = \frac{\dot{V}_T^f(V) - \dot{V}_T^{ВИБ}(V)}{\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{ВИБ}(V)}. \quad (17)$$

Після підстановки (15),(16), (17) у рівняння (8) запишемо залежність продуктивності як

$$W_T = 0,36 m_T V_T [\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{BIB}(V)] \frac{\dot{V}_T^f(V) - \dot{V}_T^{BIB}(V)}{\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{BIB}(V)} \xi_N \tau \frac{1}{k}. \quad (18)$$

Продуктивність є одним з основних чинників за якими оцінюється ефективність функціонування мобільних сільськогосподарських агрегатів і тому запропонований метод розрахунку є спробою показати, як можна розрахувати продуктивність агрегату у даний момент часу через зміну швидкості руху в період перехідного процесу до усталеного режиму роботи.

**Висновок** Використання методу парціальних прискорень дозволяє відслідкувати через зміну прискорень, як впливатиме динаміка сільськогосподарського агрегату на його продуктивність. Визначені в процесі вимірювань параметри можуть бути також діагностичними, якщо відслідкувати динаміку їх зміни в процесі довгострокового напрацювання. Наведений приклад застосування вказаного метода, дозволяє спростити і прискорити проведення по крокових досліджень тракторів, а також – здійснювати діагностику його технічного стану.

### Список використаних джерел

1. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и оборудования / П.М.Василенко // Сборник трудов по земледельческой механике, т.2. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 64 с.
2. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику./П.М. Василенко – Киев.: Сільгоспосвіта, 1996. – 251 с.
3. Погорілий Л.В. Мобільна сільськогосподарська енергетика: історія, тенденції розвитку, прогноз / Л.В. Погорілий, В.Г. Євтенко. – К.: Фенікс. 2005. – 184 с.
4. Кутьков Г.М., Габай Е.В., Калиновский В.И., Кандрусев 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. Кандрусев, В.Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1990, № 3 С. 21 – 23.
5. Кутьков Г.М. Технологические основы и тяговая динамика мобильных энергетических средств. / Г.М. Кутьков Учеб. Пособие. – М.: Изд-во МИИСП, 1993. – 151 с.
6. Завалишин Ф.С., Мацнев М.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С.Завалишин, М.Г.Мацнев – М.: Колос, 1982. 231с.
7. Кацыгин В.В. Перспективные мобильные энергетические средства для сельскохозяйственного производства / В.В. Кацыгин – Минск: Наука и техника, 1982. – 197с.
8. Ксеневич И.П. Об экономических аспектах обоснования типажа

- сельскохозяйственных тракторов / И.П.Ксенович //Тракторы и сельхозмашины. – 1985. - №5. – С. 20 – 25.
9. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. / Л.Е. Агеев - Л.: Колос. Ленингр, отделение, 1978. - 296 с.
  10. Кычев В.Н. Проблемы и пути реализации потенциальных возможностей машинно-тракторных агрегатов при увеличении энергонасыщенности тракторов. / В.Н. Кычев – Челябинск, 1989. 83с.
  11. 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.
  12. Артёмов Н.П. Метод парциальных ускорений и его применение при исследовании динамики мобильных машин / Н.П.Артёмов, А.Т. Лебедев, О.П.Алексеев, В.П.Волков, М.А.Подригало, А.С.Полянский: // Тракторы и сельхозмашины. 2011, № 1. С

#### **Аннотация**

### **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ , ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

Артёмов Н.

*В работе рассмотрены тягово-энергетические показатели в работе мобильных энергетических агрегатов и влияние динамики сельскохозяйственных машин на производительность и функциональную стабильность.*

#### **Abstract**

### **INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON DYNAMICS, PRODUCTIVITY AND THE FUNCTIONAL STABILITY OF MOBILE MACHINES**

N. Artiomov

*In work traction-power indicators in work of mobile power units and dynamics influence agriculture machines on the productivity and functional stability are examined.*