

**Артюмов М.П.**  
Харківський національний  
технічний університет  
сільського господарства  
імені П.Василенка,  
м. Харків, Україна,  
E-mail: artimovprof@ukr.net

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
ПОКАЗНИКІВ МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПО-  
ДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ДИНАМІЧНИХ  
ВИПРОБУВАННЯХ**

УДК. 631.3-182

*В роботі розглядаються теоретичні засади визначення тягово-енергетичних показників в процесі роботи мобільних енергетичних агрегатів при виконанні агротехнічних операцій та вплив динаміки сільськогосподарських машин на продуктивність і зниження енергетичних витрат з використанням інноваційного методу, який забезпечує контроль характеристик сільськогосподарських агрегатів при експлуатації*

**Ключові слова:** динаміка, тягово-енергетичні показники, продуктивність, мобільні машини, парціальні прискорення, потужність

**Вступ.** Все різноманіття технологічних вимог, що пред'являються до машинно-тракторних агрегатів(МТА) можна виразити наступними узагальненими показниками: продуктивністю і агротехнічною якістю виконуваної операції при низькій питомій собівартості робіт. Система машин і механізмів є матеріально-технічною базою комплексної механізації виробничого циклу. Вона являє собою сукупність окремих(МТА), машин і механізмів, взаємно доповнюючи друг друга.[1,2] Перспектива щодо розширення застосування сільськогосподарських тракторів як мобільного джерела енергії і еволюційного переходу від тягової до тягово-енергетичної концепції трактора вимагає більш ретельного підходу при комплектуванні МТА.

**Актуальність 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 [3,4]. 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 останніх 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.

Поведінку агрегату, його функціонування під час виконання технологічних операцій в нормальних умовах експлуатації, дозволили описати за допомогою розроблених раніше теоретичних методів і засобів експериментальних досліджень руху МТА і отримати інформацію щодо їх функціональної стабільності. Вивченню 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 – 6].

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

Окремо усі складові нашого 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 взаємодію складових МТА, зважаючи на те, що зв'язок між ними здійснюється через ґрунт.

**Основні результати дослідження.** Для вирішення задач статистичної та загальної динаміки мобільних сільськогосподарських агрегатів виникає необхідність в побудові моделей їх руху. В загальному випадку рівняння руху мобільних агрегатів будуть нелінійними і це значно ускладнює завдання контролю тягово-енергетичних показників в процесі роботи мобільних енергетичних агрегатів при виконанні агротехнічних операцій, на забезпечення якості виконання агротехнічних операцій. Для проведення теоретичних досліджень необхідно провести аналіз агрегату і скласти рівняння руху, яке відобразить основні впливи на його роботу. Для отримання оптимальних характеристик роботи МТА і складання диференційного рівняння руху необхідно прийняти деякі обмеження [7,8], з урахуванням обмежень рівняння динаміки поступального руху трактора має вигляд:

$$m_T \cdot \dot{V}_T(V) = P_{ТЯГ} - P_{кр}(V) - m_T g [f(V) + f_{TP}(V)], \quad (1)$$

де  $m_T$  – загальна маса трактора, кг;  $\dot{V}_T$  – прискорення трактора, м/с<sup>2</sup>;  $P_{тяг}$  – тягове зусилля на ведучих колесах, умовно визначене для випадку відсутності втрат енергії в трансмісії, Н;  $P_{кр}(V)$  – функція зміни зусилля на кріюку від швидкості руху;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $f(V)$  – 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.

Розглянемо метод визначення тягових і енергетичних показників мобільних машин [9,10] на прикладі МСА при динамічних випробуваннях

Скористаємось рівнянням динаміки поступального руху (1) та в подальшому звернемося до визначення сил, що діють на трактор і агрегат.

Зусилля на гаку визначаємо як суму статичних і динамічних сил функції від швидкості на протязі певного часу:

$$P_{кр}(V) = P_{кр}^{СТАТ}(V) + P_{кр}^{ДИН}(V), \quad (2)$$

де  $P_{кр}^{ДИН}(V)$  – динамічна компонента зусилля на гаку;  $P_{кр}^{СТАТ}(V)$  – статична компонента зусилля на гаку.

$$P_{кр}^{ДИН}(V) = m_{ПР} \cdot \dot{V}_{ПР}(V), \quad (3)$$

де  $m_{ПР}$ ;  $\dot{V}_{ПР}$  – маса і прискорення причіпної ланки ( $\dot{V}_{ПР} = \dot{V}_T$ );

З урахуванням виразів (2) і (3) рівняння динаміки поступального руху (1) прийме вигляд

$$m_T \cdot \dot{V}_T(V) \left(1 + \frac{m_{PP}}{m_T}\right) = P_{ТЯГ}(V) - P_{кр}^{СТАТ}(V) - m_T g[f(V) + f_{TP}(V)]. \quad (4)$$

Поділимо ліву і праву частини рівняння (4) на  $m_T$ , тоді, з урахуванням виразів (3) і (4) рівняння динаміки поступального руху (1) прийме вигляд

$$m_T \cdot \dot{V}_T(V) \left(1 + \frac{m_{PP}}{m_T}\right) = P_{ТЯГ}(V) - P_{кр}^{СТАТ}(V) - m_T g[f(V) + f_{TP}(V)]. \quad (5)$$

Поділимо ліву і праву частини рівняння (5) на  $m_T$ , та отримаємо

$$\left(1 + \frac{m_{PP}}{m_T}\right) \dot{V}_T(V) = \frac{P_{ТЯГ}(V)}{m_T} - \frac{P_{кр}^{СТАТ}(V)}{m_T} - g[f(V) + f_{TP}(V)]. \quad (6)$$

Проаналізуємо праву частину рівняння (6).

Отримана величина

$$\dot{V}_T^{CB.P}(V) = \frac{P_{ТЯГ}(V)}{m_T}, \quad (7)$$

є парціальним прискоренням, що виникає при розгоні мобільного сільськогосподарського агрегату за відсутності будь яких сил окрім сили  $P_{ТЯГ}(V)$ .

Парціальне прискорення

$$\dot{V}_T^{KP}(V) = -\frac{P_{кр}^{СТАТ}(V)}{m_T}, \quad (8)$$

характеризує прискорення трактора за відсутності тягової сили на ведучих колесах і опору кочення на всіх колесах трактора та дії тільки сили  $P_{кр}^{СТАТ}(V)$ .

Парціальне прискорення

$$\dot{V}_T^f(V) = -g[f(V) + f_{TP}(V)], \quad (9)$$

представляє собою прискорення трактора під дією тільки сили опору кочення на колесах трактора.

Таким чином, рівняння (9) можна записати у вигляді суми парціальних прискорень:

$$\left(1 + \frac{m_{PP}}{m_T}\right) \dot{V}_T(V) = \dot{V}_T^{CB.P}(V) + \dot{V}_T^{KP}(V) + \dot{V}_T^f(V). \quad (10)$$

При проведенні експериментальних досліджень та наявності вимірювального комплексу, що забезпечує реєстрацію і обробку поздовжніх лінійних прискорень та швидкостей трактора, визначення парціальних прискорень можна здійснити при вільному вибігу мобільного сільськогосподарського агрегату і вільному вибігові одиничного трактора.

При вільному вибігові одиничного трактора справедливе співвідношення

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

У процесі вибігу одиничного трактора від початкової швидкості до повної зупинки фіксуються параметри  $\dot{V}_T(V)$  і розраховується (або вимірюється) швидкість  $V_T$  з кроком часу  $\Delta t$ . Результати заносяться в пам'ять комп'ютера.

У результаті визначається залежність

$$\dot{V}_T^f(V) = -g[f(V) + f_{TP}(V)] < 0. \quad (12)$$

При вибігу МСА рівняння (9) перетворюється до вигляду

$$(1 + \frac{m_{PP}}{m_T})\dot{V}_T(V) = (1 + \frac{m_{PP}}{m_T})\dot{V}_T^{BIB}(V) = \dot{V}_T^{KP}(V) + \dot{V}_T^f(V) < 0. \quad (13)$$

З рівняння (13) отримуємо

$$\dot{V}_T^{KP}(V) = (1 + \frac{m_{PP}}{m_T})\dot{V}_T^{BIB}(V) - \dot{V}_T^f(V) = \dot{V}_T^{BIB}(V) + g[f(V) + f_{TP}(V)]. \quad (14)$$

З урахуванням (8) із виразу (14) визначимо залежність зусилля на гаку від швидкості МСА

$$\frac{P_{кр}^{СТАТ}}{m_T} = -(1 + \frac{m_{PP}}{m_T})\dot{V}_T^{BIB}(V) + \dot{V}_T^f(V). \quad (15)$$

Залежність  $P_{кр}^{СТАТ}(V)$  також утворюється із сукупності точок, отриманих з тимчасовим кроком  $\Delta t$ .

Тягову силу визначимо з рівняння (10) для руху МСА в тяговому режимі при виконанні технологічної операції:

$$\frac{P_{ТЯГ}(V)}{m_T} = \dot{V}_T^{CB.P}(V) = (1 + \frac{m_{PP}}{m_T})\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{KP}(V) - V_T^f(V). \quad (16)$$

Підставляємо (14) в (16) та отримуємо:

$$\frac{P_{ТЯГ}(V)}{m_T} = (1 + \frac{m_{PP}}{m_T})[\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{BIB}(V)]. \quad (17)$$

Оскільки величина  $P_{ТЯГ}(V)$  відповідає тяговій силі на ведучих колесах без урахування втрат на тертя в трансмісії, то з'являється можливість визначення ефективної потужності на вихідному валу двигуна

$$N_e(V) = P_{ТЯГ}(V) \cdot V_T = (m_T + m_{PP})V_T[\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^{BIB}(V)], \quad (18)$$

де  $V_T$  і  $\dot{V}_T(V)$  - поточні значення лінійних швидкості і прискорення, що вимірюються під час випробувань з кроком часу  $\Delta t$ .

Потужність на гаку трактора також може бути визначена з (16)

$$N_{кр}(V) = P_{кр}(V) \cdot V_T = m_T \cdot V_T[V_T^f(V) - (1 + \frac{m_{PP}}{m_T})\dot{V}_T^{BIB}(V)]. \quad (19)$$

Теоретично доведено, що викладена методика надає можливість оцінки, за результатами вимірювань компонент прискорень проводити визначення експлуатаційних, тягово-енергетичних параметрів агрегатів, які раніше не було змоги вимірювати через відсутність необхідних приладів.

**Висновки.** Теоретичними дослідженнями встановлено, що показник зміни прискорення характеризує динамічні параметри МСА при перехідних процесах із зміною швидкості руху  $V_0 \rightarrow V_p$ , умов роботи двигуна, зміни потужності  $N_e \rightarrow N_T$ . На основі динаміки показника зміни прискорень робиться висновок стосовно зміни динамічних показників МСА, його працездатності, можливості подальшого використання агрегату. Та-

кож розроблено алгоритм, за допомогою якого аналітично визначаються силові характеристики агрегату, що допомагає надати рекомендації з оптимізації комплектування МТА. Отримані результати для перехідного процесу роботи агрегату можуть бути використані при моделюванні навантажень ґрунтообробних агрегатів різного призначення. Визначені в процесі розрахунків параметри можливо використовувати для діагностування, якщо відслідкувати динаміку їх зміни при довгостроковому напрацюванні.

### Література:

1. Подригало М.А. Оценка дополнительных энергетических потерь при установившемся режиме движения транспортно-тяговых машин / М.А. Подригало, Н.П. Артемов, Д.В. Абрамов, М.Л. Шуляк // Механіка та машинобудування «ХПІ». – Харків: ХПІ, 2015. - Вип. № 9 (1118). – С. 98 – 107.
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., Надькто 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. Надькто // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1990, № 3 С. 21 – 23.
5. Електронні джерела [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://tractortestlab.ukr.edu/NebraskaTractorTestLaboratory/>, <http://www.dig.ord/CDLGe.V> – Німецьке сільськогосподарське сообщество.
6. 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. М. А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.
7. Артёмов М.П. Математична модель машинно-тракторного агрегату з використанням метода парціальних прискорень / М.П. Артёмов // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. Випуск 11 т.1(65) – С.34 – 40
8. Самсонов В.А. Расчет показателей трактора с учетом влияния природно-производственных факторов / В.А. Самсонов// Трактора и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 4. – С. 21-25.
9. Шуляк М.Л. Зависимость силы сопротивления движению тракторного агрегата от переменной массы сельскохозяйственной машины. / М.Л. Шуляк, Н.П. Артемов // Agricultural machinery.Varna., 2015. Issue 4, С. 10 – 13.
10. Тарасик В.П. Расчет тяговых характеристик неуставившегося движения тракторного агрегата В.П. Тарасик // Тракторы и сельхозмашины № 11, – 2003, С.17 – 19.

### Summary

**Artiomov N.** Determination of type and power indicators of mobile agricultural aggregates at dynamic tests

*The theoretical bases of determination of traction energy indices in the process of work of mobile power aggregates during the performance of agrotechnical operations and influence of agricultural machinery dynamics on productivity and reduction of energy costs with the use*

*of an innovative method, which provides control of the characteristics of agricultural aggregates during operation*

**Keywords:** *dynamics, traction-energy indices, productivity, mobile machinery, partial acceleration, power*

### References

1. Podrigalo M.A. Otsenka dopolnitelnyih energeticheskikh poter pri ustanovivshemsya rezhime dvizheniya transportno-tyagovyih mashin / M.A. Podrigalo, N.P. Artiymov, D.V. Abramov, M.L. Shulyak // *Mehanika ta mashinobuduvannya «HPI»*. – Harkiv: HPI, 2015. – Vip. # 9 (1118). – S. 98 – 107.
2. Vasilenko P.M. Vvedenie v zemledelcheskuyu mehaniku / P.M. Vasilenko – Kiev.: SIlgosposvIta, 1996. – 251 s.
3. PogorIliy L.V. Mobilna sllskogospodarska energetika: IstorIya, tendentsIYi rozvitku, prognoz / L.V. PogorIliy, V.G. Evtenko. – K.: FenIks. 2005. – 184 s.
4. Kutkov G.M., Gabay E.V., Kalinovskiy V.I., Kandrushev I.I., Nadyikto V.T. Vyibor ratsionalnoy shemyi agregatirovaniya mobilnogo energeticheskogo sredstva s plugom / G.M. Kutkov, E.V. Gabay, V.I. Kalinovskiy, I.I. Kandrushev, V.T. Nadyikto // *Traktoryi i selskohozyaystvennyie mashiny*, 1990, # 3 S. 21 – 23.
5. Elektronni dzherela [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu do resursu: <http://tractortestlab.ukr.edu/NebraskaTractorTestLaboratory/>, <http://www.dig.ord/CDLGe.V> -Nemetskoe selskohozyaystvennoe soobschestvo.
6. 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. M. A. Podrigalo. – Harkov: Izd-vo HNADU, 2008. – 424 s.
7. Artiymov M.P. Matematichna model mashinno-traktornogo agregatu z vikoristannyam metoda partsIalnih priskoren / M.P. Artiymov // *ZbIrnik naukovih prats VInnitskogo natsIonalnogo agrarnogo unIversitetu. SerIya: TehnIchnI nauki*. – VInnitsya, 2012. Vipusk 11 t.1(65) – S.34 – 40
8. Samsonov V.A. Raschet pokazateley traktora s uchetom vliyaniya prirodno-proizvodstvennyih faktorov / V.A. Samsonov// *Traktora i selskohozyaystvennyie mashiny*. – 2007. – # 4. – S. 21-25.
9. Shulyak M.L. Zavisimost silyi soprotivleniya dvizheniyu traktornogo agregata ot peremennoy massyi selskohozyaystvennoy mashiny. / M.L. Shulyak, N.P. Artiymov // *Agricultural machinery*. Varna., 2015. Issue 4, S. 10 – 13.
10. Tarasik V.P. Raschet tyagovyih harakteristik neustanovivshegosya dvizheniya traktornogo agregata V.P. Tarasik // *Traktoryi i selhozmashiny* # 11, - 2003, S.17 – 19.