

УДК 629.114.2.001.4

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

Назаренко О.О., інж.

*Полтавська державна аграрна академія*

Тел. (0619) 42-04-42

**Анотація** – викладено результати теоретичних досліджень показників машинно-тракторного агрегату на базі колісного трактора тягового класу 30 кН. Обґрунтовано раціональний спосіб регулювання паливоподачі при виконанні транспортних робіт, основного та поверхневого обробітку ґрунту, який вперше враховує завантаження машинно-тракторного агрегату і положення важеля керування паливним насосом високого тиску.

**Ключові слова** – математична модель, показники, витрата палива, регулювання паливоподачі, машинно-тракторний агрегат.

*Постановка проблеми.* Сьогодні дослідження експлуатаційно-економічних показників машинно-тракторних агрегатів (МТА) – складне організаційно-технічне завдання через відсутність необхідної техніки, обладнання, приладів і паливно-мастильних матеріалів. Тому особливого значення набуває математичне моделювання технологічних процесів за участю тракториста, машинного агрегату і різних технологічних операцій.

*Аналіз останніх досліджень.* Функціональна залежність динамічної системи дизель – силові та ходові частини МТА – технологічна операція отримана шляхом удосконалення математичної моделі, приведеної в роботі [1].

Дослідження тягово-динамічних процесів машинно-тракторного агрегату базуються на швидкісних, навантажувальних та регуляторних характеристиках двигуна, однак за основу теоретичних досліджень береться швидкісна характеристика двигуна при різних варіантах характеристик паливоподачі паливного насоса високого тиску[2]. При цьому обертовий момент дизеля приймає значення в залежності від частоти обертання колінчастого вала двигуна.

Задача даних досліджень полягає у складанні диференціальних і алгебраїчних рівнянь, які відображали б механізм перетворення вхідних та вихідних координат по кожному блоці і ланці функціональної блок-схеми динамічної системи: дизель – силові та ходові частини МТА – технологічна операція[3,4]. Сукупність таких рівнянь і опис зовнішніх дій на систему, початкових умов, функціональних залежностей представлена в даній математичній моделі.

*Мета і завдання досліджень.* На основі функціональної схеми з її блоками і зв'язками розроблені математичні моделі для розрахунків на ПЕОМ статичних і динамічних характеристик ПНВТ з різними варіантами регуляторів і дизеля, паливно-економічних, динамічних і екологічних показників МТА.

Перед дослідженням динамічних та економічних показників дизеля і МТА в цілому необхідно перевірити достовірність вихідних даних. Для цього виконувались розрахунки зовнішньої та декількох часткових швидкісних характеристик за рівняннями, які описують статичні характеристики дизеля та його агрегатів.

Для розрахунків перехідних процесів інтегровано систему диференційних рівнянь, які входять в математичну модель. При цьому диференційне рівняння другого порядку за допомогою перетворень до виду Коші приводиться до двох диференційних рівнянь першого порядку і задача зводиться до рішення чисельним методом системи із шести лінійних диференційних рівнянь першого порядку. Для інтегрування використовується чисельний метод Рунге-Кутта-Фельдберга.

*Основна частина.* На базі нелінійної математичної моделі САРЧ дизеля нами розроблена функціональна залежність розрахункових параметрів з урахуванням реальних умов експлуатації машинно-тракторного агрегату.

Вплив параметрів механізмів і систем трактора на його тягово-динамічні характеристики описані в роботі [2]. Задача наших досліджень полягає в складанні диференційних і алгебраїчних рівнянь, які описували б механізм перетворення вхідних і вихідних координат по кожному блоку і ланці функціональної блок-схеми машинного агрегату при виконанні заданого технологічного процесу.

Особливістю розробленої математичної моделі є математичний опис процесу рушання і розгону тракторного агрегату з переключенням передач з моменту включення зчеплення до моменту досягнення необхідної швидкості МТА.

Машинно-тракторний агрегат являє собою багатоланкову систему, із якої можна виділити: паливний насос, двигун, трансмісія, ходова система, машини, що агрегуються із трактором. Двигун, як джерело рушійної сили трактора, передає обертовий момент через

агрегати трансмісії (зчеплення, коробку передач, головну і кінцеву передачі) ходовій частині.

При розробці алгоритмів і програм розрахунків процесів рушання, розгону, сповільнення і усталеного руху машинного агрегату за основу бралися математичні моделі, їх алгоритми і програми статичного і динамічного розрахунків тракторного двигуна [1, 3, 4].

Удосконалена функціональна залежність динамічної системи: дизель – силові та ходові частини МТА – технологічна операція відрізняється від відомих тим, що враховує режими роботи дизеля та зміну завантаження МТА при виконанні різних технологічних процесів.

В дану функціональну залежність введені наступні рівняння:

При виконанні транспортної роботи трактором з чотирма ведучими колесами сила тяги на гаку трактора визначалась за формулою

$$P_{ав} = \frac{G_T \cos \alpha (L - a + a_f) \pm G_T h_y \sin \alpha \pm G_f \dot{\alpha} h_y \frac{dv}{dt} \pm \left[ \frac{I_3 \frac{dv}{dt}}{r_3 (1 - \delta_3)} + \frac{I_f \frac{dv}{dt}}{r_f (1 - \delta_f)} \right]}{(L - a_3 + a_f) \left\{ \frac{l}{\lambda(\varphi_f - f_f) + \varphi_3 - f_3} - \frac{\cos mt [tg \beta (L + l + a_f) + h_{e\delta}]}{L + a_3 + a_f} \right\}}$$

де  $m$  – період зміни сили тяги на гаку;

$t$  – поточний час;

$\varphi_p, \varphi_3$  – коефіцієнти зчеплення передніх і задніх коліс;

$h_{кр}$  – висота точки причепа;

$\beta$  – кут нахилу лінії тяги до горизонту;

$l$  – відстань від осі задніх коліс до точки причепа;

$h_y$  – вертикальна координата центра ваги трактора;

$a$  – повздовжня координата центра ваги трактора;

$a_p, a_3$  – відстань точок прикладення нормальних навантажень на осі передніх і задніх коліс;

$\delta_p, \delta_3$  – коефіцієнт буксування передніх і задніх ведучих коліс трактора;

$L$  – повздовжня база трактора;

$\lambda$  – коефіцієнт розподілу навантаження.

Сила опору ґрунтообробних машин при виконанні основного обробітку ґрунту

$$P_{аіе} = \hat{e}_c \cdot b \cdot h \cdot \bar{i} \pm G_{I\bar{E}} \cdot c \frac{i}{100},$$

де  $\kappa_c$  – питомий опір робочого органу ґрунтообробної машини;

$b$  – ширина захвату робочого органу сільськогосподарської машини;

$h$  – глибина обробітку ґрунту;

$n$  – кількість робочих органів ґрунтообробної машини;  
 $G_{ПЛ}$  – вага ґрунтообробної машини;  
 $c$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вагу ґрунту на робочих органах ґрунтообробної машини;  
 $i$  – нахил місцевості.

Сила опору ґрунтообробних машин при виконанні поверхневого обробітку ґрунту

$$P_{\alpha i \epsilon} = \sqrt{k^2 \left[ \left( \frac{\alpha'}{180} \right) \pi r_K B_K \epsilon \right]^2 - G_M^2},$$

де  $k$  – робочий питомий опір сільськогосподарської машини;  
 $B_K$  – конструктивна ширина захвату сільськогосподарської машини;

$G_M$  – вага сільськогосподарської машини;  
 $\epsilon$  – коефіцієнт, що враховує особливості поверхні робочих органів;

$\alpha'$  – кут активного контакту поверхні робочого органу з ґрунтом.

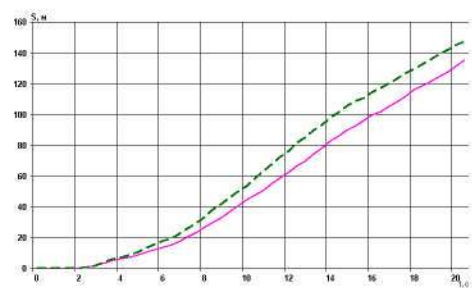
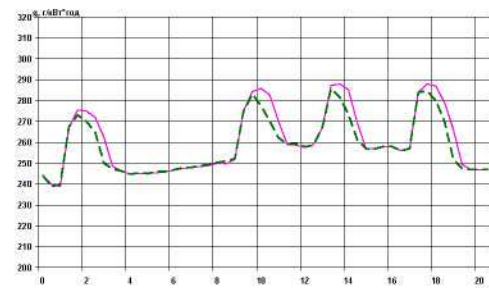
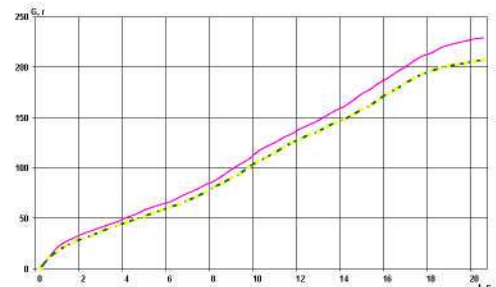
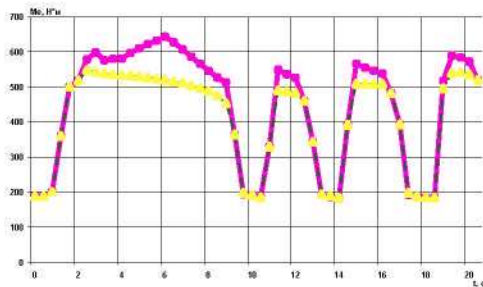
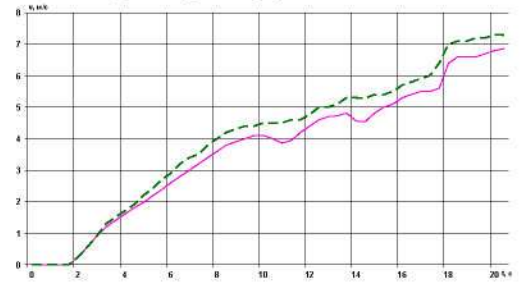
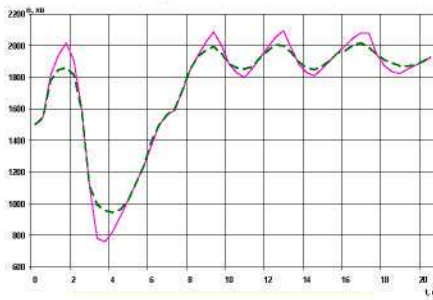


Рис. Розрахункові перехідні процеси МТА Т-150К+ РЖТ-8 з дослідною системою зміни характеристик паливоподачі

— Всережимне регулювання

— Двохрежимне регулювання

У свою чергу гакова потужність витрачається на виконання технологічної операції

$$N_{\text{заг}} = \frac{P_{\text{заг}} v_p}{0,75 \cdot 10^3},$$

де  $P_{\text{заг}}$  - тяговий опір, Н;

$v_p$  - робоча швидкість агрегату, м/с.

Тоді погектарна витрата палива агрегатом матиме вигляд

$$g_{\text{заг}} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{B_p} \left( \frac{45 \cdot 10^3 n_{\text{а}}^3 g_{\text{д}}}{v_p} + \frac{c P_{\text{заг}}}{\eta_T} \right).$$

За результатами теоретичних досліджень, отриманих при виконанні розрахунків розгону транспортного МТА побудовані залежності динамічних та економічних показників в залежності від часу розгону агрегату (рис.).

Під час проведення теоретичних досліджень було встановлено, що при дворезимному регулюванні пройдений шлях та час розгону з місця склав на 13,3 % і 11,4 % менше в порівнянні з всережимним регулюванням.

Різниця у витратах палива полягає в тому, що при всережимному регулюванні під час перехідних процесів дозатори ПНВТ виходять на зовнішню швидкісну характеристику, що призводить до подачі в циліндри двигуна надмірної кількості палива.

*Висновки.* Розрахунок та аналіз перехідних процесів МТА з дослідною системою регулювання паливоподачі під навантаженням  $H_{\text{НП}}=0,5$  показали зниження середньої питомої ефективної витрати палива з  $g_e=273$  г/(кВт·год) до  $g_e=262$  г/(кВт·год).

Під час проведення теоретичних та експериментальних досліджень було встановлено, що при дворезимному регулюванні пройдений шлях та час розгону з місця на 13,3 % і 11,4 % менше в порівнянні з всережимним регулюванням.

## Література

1. Головчук А.Ф. Улучшение топливной экономичности и снижение дымности тракторных дизелей путем совершенствования системы автоматического регулирования: дис. ... докт. техн. наук / А.Ф. Головчук // Киев, 1992. – 654 с.
2. Кутьков Г.М. Тяговая динамика тракторов / Г.М. Кутьков. – М. : Машиностроение, 1980. – 215 с.
3. Головчук А.Ф. Розробка та дослідження системи переключення режимності роботи двигуна колісних тракторів / А.Ф. Головчук, Р.М. Харак, О.О. Назаренко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Вип. 40. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – 240 с.

4. Назаренко О.О. Теоретичне дослідження системи переключення режимності роботи двигуна колісних тракторів / О.О. Назаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Випуск 59: “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – Том 2. – Харків, 2007. – С. 356–362.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

Назаренко А.А.

*Аннотация* – изложены результаты теоретических исследований машинно-тракторного агрегата на базе колесного трактора тягового класса 30 кН. Предложен рациональный способ регулировки топливоподачи при выполнении транспортных работ, основного и поверхностного возделывания почвы, который впервые учитывает загрузку МТА и положение рычага управления топливным насосом высокого давления.

## **MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC AND ECONOMIC PARAMETERS OF MACHINE – TRACTOR UNITS**

A. Nazarenko

### *Summary*

Results of theoretical research of the machine-tractor unit (MTU) on the base of the a wheeled tractor of the 30 кN traction class are considered. A rational way of the fuel supply adjustment at conduction of transportation, basic and superficial cultivation of land is offered. For the first time takes into account load of MTU and a position of the governing lever of the fuel injection pump.