

УДК 631.3.004

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПОЛЬОВИХ АГРЕГАТИВ

Oleksandr Borysenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
 Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, 03041, Ukraine

Анотація. Розглянуто методичні основи імітаційного моделювання роботи польових агрегатів та методологія визначення продуктивності і витрат палива на механізованих польових роботах.

Ключові слова: агрегат, імітація, моделювання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Методика імітаційного моделювання роботи польових агрегатів при виконанні технологічного процесу з врахуванням зміни умов роботи [1] і параметрів агрегату [2] повинна розкрити особливість застосування агрегатів, маса яких постійно змінюється в залежності від умов і режимів роботи, та є значна кількість чинників, що суттєво впливають на величину норми.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Продуктивність польового агрегату в значній мірі залежить від повноти використання часу зміни на виконання робочого процесу [3, 4]. До балансу часу зміни протягом якої виконується технологічна операція на механізованих польових роботах у рослинництві входять загальновідомі складові [5]:

$$T_{\Sigma} = T_{\dot{i}} + T_{\dot{\alpha}A} + T_{i\text{CD}} + T_{iD} + T_{\dot{o}i} + T_A + T_{iD} + T_{\dot{\alpha}i}, \quad (1)$$

де: $T_{\dot{i}}$ – оперативний час зміни; $T_{\dot{\alpha}A}$ – час на щозмінне технічне обслуговування енергозасобу, що включає також заправку паливом; $T_{i\text{CD}}$ – час на підготовку та закінчення робіт: переведення в робоче і транспортне положення, агрегування сільськогосподарської машини з енергозасобом, одержання наряду і здавання роботи; T_{iD} – час на проведення наладки та регулювання; $T_{\dot{o}i}$ – час на усунення технологічних (функціональних) несправностей; T_A – час на відпочинок (норматив в залежності від тяжкості робіт); T_{iD} – час на холості переїзди: переїзди на початку та наприкінці зміни, з ділянки на ділянку, на початкову позицію для виконання технологічного процесу; $T_{\dot{\alpha}i}$ – час на щозмінне технічне обслуговування машини.

Оперативний час містить елементи часу [6]:

$$T_{\dot{i}} = T_{iD} + T_{\dot{i}} + T_{iC} + T_{i\dot{A}} + T_C + T_{\dot{A}i}, \quad (2)$$

де: T_{iD} – час основної роботи; $T_{\dot{i}}$ – час на виконання поворотів агрегату; T_{iC} – переїзд до місця завантаження та в зворотному напрямку; $T_{i\dot{A}}$ – проїзд гону в холосту (при роботі агрегату в напрямку однієї сторони поля); T_C – час на завантаження та розвантаження (час технологічного обслуговування); $T_{\dot{A}i}$ – час на інші допоміжні операції.

Час на виконання основної роботи агрегатом на елементарній ділянці розраховується за відомою формулою через швидкість переміщення [7]:

$$T_{\dot{a}} = 0,06 \cdot \frac{L_{\dot{a}}}{V_p}, \text{ хв.} \quad (3)$$

де: $L_{\dot{a}}$ – довжина елементарної ділянки, м; V_p – робоча швидкість агрегату, км/год.

Мета досліджень. Сформуємо методику визначення основних техніко-експлуатаційних показників в створюваній імітаційній моделі.

РЕЗУЛЬТАТИ І ДИСКУСІЯ

Витрати пального під час роботи агрегату на елементарній ділянці, або будь-якого проміжку часу роботи двигуна під час робочої зміни визначатимемо, використовуючи величину годинних витрат палива:

$$Q_{\dot{a}} = \frac{G_{\dot{a}} \cdot T_{\dot{a}}}{0,825 \cdot 60} = \frac{G_{\dot{a}} \cdot T_{\dot{a}}}{49,5}, \text{ л} \quad (4)$$

де: $G_{\dot{a}}$ – годинні витрати палива з регуляторної характеристики двигуна в залежності від його ефективної потужності на елементарній ділянці, кг/год.; 0,825 – коефіцієнт переведу кг/год. в л/год.; 60 – коефіцієнт переведу хв в год.

Вважаємо, що двигун енергозасобу не працює тільки на протязі виконання технічного обслуговування сільгоспмашини. Найбільш точно годинні витрати палива визначаються за регуляторною характеристикою, відповідно до використаної ефективної потужності двигуна на виконання елементів технологічної операції. Аналізуючи графічні залежності годинних витрат палива двигуна від його ефективної потужності, годинні витрати палива в аналітичних розрахунках для досягнення найбільшої точності, прийнято знаходити за залежністю:

$$G_{\dot{a}} = a \cdot N_{\dot{a}} + b, \text{ кг/год.} \quad (5)$$

де: $N_{\dot{a}}$ – ефективна потужність двигуна на елементарній ділянці, кВт; a, b – коефіцієнти рівняння регресії залежності годинних витрат палива від ефективної потужності $N_{\dot{a}}$.

Коефіцієнти a, b визначаємо з регуляторної характеристики двигуна енергозасобу.

Для цього з регуляторної характеристики беремо значення годинних витрат палива $G_{\dot{a}i\hat{i}}$

для номінальної потужності $N_{\dot{a}i\hat{i}}$ та значення $G_{\dot{a}}$ для будь-якої точки $N_{\dot{a}}$ з початку

залежності. Використовуючи ці значення коефіцієнти a, b розраховуємо за наступними формулами:

$$a = \frac{G_{\dot{a}i\hat{i}} - G_{\dot{a}}}{N_{\dot{a}i\hat{i}} - N_{\dot{a}}} \quad (6)$$

$$b = \frac{G_{\dot{a}i\hat{i}} + G_{\dot{a}} - a \cdot (N_{\dot{a}i\hat{i}} + N_{\dot{a}})}{2} \quad (7)$$

При відсутності регуляторної характеристики двигуна значення годинних витрат палива (кг/год.) $G_{T_{ном}}$ і $G_{\dot{a}}$ визначаємо для відповідних значень номінальної потужності та

потужності близькій до нуля (при холостому ході двигуна) за відомими, відповідно, формулами [9, 10]:

$$G_{\dot{a}i\hat{i}} = g_{\dot{a}i\hat{i}} \cdot N_{\dot{a}i\hat{i}} / 1000, \quad (8)$$

$$G_{\dot{O}} \approx (0,27 \dots 0,30) G_{\dot{O}_{i\dot{i}i}} \quad (9)$$

де: $g_{\dot{a}i}$ – питома ефективна витрата палива при номінальному режимі з технічної характеристики енергозасобу, г/кВт·год.

Ефективна потужність двигуна розраховується за формулою, яку можна представити при узагальненні для механізованих польових робіт так:

$$N_{\dot{a}} = \left(\frac{(\dot{I}_{\delta\delta} + \dot{I}_i + \dot{I}_{\delta i}) \cdot g \cdot (f_{\dot{e}} \pm \sin \alpha)}{\eta_{\delta\delta} \cdot \eta_{\dot{a}} \cdot 10^3} + R_{\dot{c}i} \right) \cdot \frac{V_{\delta}}{3,6} + N_{\delta i} \quad (10)$$

де: $\dot{I}_{\delta\delta}$, \dot{I}_i , $\dot{I}_{\delta i}$ – маса відповідно енергозасобу, сільгоспмашини, робочого матеріалу у технологічній місткості машини, кг; g – прискорення вільного падіння м/с²; $f_{\dot{e}}$ – коефіцієнт опору перекошування коліс агрегату; α – кут схилу, град.; $\eta_{\delta\delta}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора; $\eta_{\dot{a}}$ – коефіцієнт буксування коліс; V_{δ} – робоча швидкість агрегату, км/год; $R_{\dot{c}i}$ – сила опору ґрунту зняряддю машини, кН; $N_{\delta i}$ – потужність для приводу робочих органів машини, кВт.

Сила опору ґрунту зняряддю машини $R_{\dot{c}i}$ та потужність для приводу робочих органів машини $N_{\delta i}$ визначаються відповідно до виконуваної технологічної операції. Ступінь використання номінальної потужності двигуна оцінюють коефіцієнтом завантаження за відомою формулою:

$$\varepsilon_{N_e} = \frac{N_{e\delta}}{N_{\dot{a}i}} \quad (11)$$

де: $N_{e\delta}$ – ефективна потужність двигуна на робочому режимі, кВт.

При надто малому ε_{N_e} переходять на підвищену швидкість, при якій завантаження двигуна буде не більше за номінальне. Економічній роботі трактора відповідає ступінь завантаження $\varepsilon_{N_e} \geq 0,70 \dots 0,80$, але його значення не повинно перевищувати номінальне.

Маса робочого матеріалу в технологічній місткості сільгоспмашини після завантаження вираховується по залежності:

$$\dot{I}_{\delta i} = V_i \cdot \Psi \cdot \rho_i \quad (12)$$

де: V_i – об'єм місткості машини, м³; Ψ – коефіцієнт використання місткості машини (наприклад, для міндобрив приймається $\Psi = 0,95$); ρ_i – об'ємна маса робочого матеріалу, т/м³.

Величину буксування визначаємо за рівнянням:

$$\delta_{\dot{e}} = 2,75 + 12,5 \cdot \rho_{\delta} + 100(\rho_{\delta} - 0,10)^6 \quad (13)$$

де: ρ_{δ} – показник відносної сили тяги, розраховується за відомою формулою:

$$\rho_{\delta} = \frac{R_{\dot{a}\delta\delta}}{F_{\max}} \quad (14)$$

де: $R_{\dot{a}\delta\delta}$ – сила опору руху агрегату, кН; F_{\max} – максимальна сила зчеплення ведучого апарату з ґрунтом, кН.

Значення $R_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}}$, F_{\max} розраховуються за формулами, які при узагальненні для механізованих польових робіт можна представити таким чином:

$$R_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\delta}} = R_{\dot{\varphi}_i} + (M_{\dot{\delta}} \dot{\delta} + \dot{I}_{\dot{i}} + \dot{I}_{\dot{\delta}i}) \cdot g \cdot (f_{\dot{e}} \pm \sin \alpha); \quad (15)$$

$$F_{\max} = (\dot{I}_{\dot{\delta}} \dot{\delta} \cdot \varphi_{\dot{\delta}} + (\dot{I}_{\dot{i}} + \dot{I}_{\dot{\delta}i}) \cdot \varphi_i) \cdot g \cdot \mu, \quad (16)$$

де: $\varphi_{\dot{\delta}}$, φ_i – коефіцієнти, які враховують розподіл маси енергозасобу та сільгоспмашини на ведучий апарат (для напівпрічпної машини $\varphi_i = 0,3$, для трактора $\varphi_{\dot{\delta}} = 0,65$ [20]); μ – коефіцієнт зчеплення ведучого апарату з ґрунтом.

Робочий опір агрегату, створюваний при виконанні робочого процесу, змінюється, що в свою чергу зумовлює зміну величини буксування рушіїв. Тому коефіцієнт буксування коліс слід визначати для кожного випадку розрахунку потужності. Значення коефіцієнтів опору перекошування коліс агрегату $f_{\dot{e}}$ та зчеплення ведучого апарату з ґрунтом μ приймаються відповідно до агрофону ґрунту, на якому працює агрегат. Коефіцієнт корисної дії механічної трансмісії трактора $\eta_{\dot{\delta}}$ розраховуємо для кожної елементарної ділянки роботи по залежності:

$$\eta_{\dot{\delta}} = 0,978 - \frac{0,0324 \cdot N_{\dot{a}i}}{N_{\dot{a}}}, \quad (17)$$

Наведене рівняння регресії отримане з використанням методів моделювання поверхнями відгуку на основі регресійного аналізу за значеннями залежності $\eta_{\dot{\delta}}$ від коефіцієнта використання потужності двигуна. Коефіцієнт детермінації при цьому дорівнює 0,996. В програмних розрахунках приймаються початкові значення η_{mp} відповідно до режиму роботи: при виконанні процесу – 0,94; транспортуванні робочого матеріалу – 0,9; переїздах – 0,85. Для початкових значень η_{mp} та умов роботи визначається ефективна потужність двигуна N_e , уточнюються значення η_{mp} відповідно до $N_{\dot{a}}$, після чого остаточно розраховується $N_{\dot{a}}$. При мінімальному використанні потужності двигуна (наприклад, переїзд під уклін), приймається значення $\eta_{mp} = 0,7$. При закінченні робочого руху МТА по довжині поля виконується поворот для продовження обробки наступного гону. Загальна відстань повороту агрегату складається з криволінійної й прямолінійної ділянок. Час на виконання повороту агрегату розраховується за формулою:

$$T_{\dot{i}\dot{a}} = 0,03 \cdot \left(\frac{L_{\dot{i}\dot{a}\dot{e}\dot{\delta}}}{V_{\dot{i}\dot{a}\dot{e}\dot{\delta}}} + \frac{L_{\dot{i}\dot{a}\dot{i}\dot{\delta}}}{V_{\dot{i}\dot{a}\dot{i}\dot{\delta}}} \right), \text{ хв} \quad (18)$$

де: $L_{\text{пов.кр}}$ – довжина криволінійної ділянки повороту,

$L_{\text{пов.пр}}$ – довжина прямолінійної ділянки повороту,

$V_{\text{пов.пр}}$ – швидкість агрегату на прямолінійній ділянці повороту, км/год.,

$V_{\dot{i}\dot{a}\dot{e}\dot{\delta}}$ – швидкість агрегату на криволінійній ділянці повороту, км/год.

Швидкість руху МТА на криволінійній ділянці тракторії повороту, що характеризується зниженням швидкості за рахунок нерівномірності швидкості обертання коліс (без урахування зниження частоти обертання вала двигуна) розраховується за відомою формулою:

$$V_{i\hat{a}\hat{e}\hat{\delta}} = \frac{R_{i\hat{a}}}{R_{i\hat{a}} + \frac{A_{\hat{e}\hat{e}^3\hat{e}}}{2}} \cdot V_{i\hat{a}\hat{i}\hat{\delta}}, \quad (19)$$

де: $R_{нов}$ – радіус повороту МТА, м;

$B_{колії}$ – ширина колії трактора, м.

За величину радіуса повороту МТА звичайно приймається допустимий за технічною характеристикою, який дорівнює конструктивному радіусу повороту трактора. Час завантаження робочого матеріалу визначається за формулою:

$$T_{\zeta\hat{a}\hat{a}} = \frac{M_{\hat{\delta}\hat{i}} \cdot 60}{W_{\hat{i}}}, \quad \text{хв}, \quad (20)$$

де: $W_{\hat{i}}$ – продуктивність навантажувального засобу, добрив, кг/год.

Затрати часу на переїзди МТА з ділянки на ділянку вираховуємо з використанням коефіцієнта переїздів:

$$T_{\hat{i}\hat{a}\hat{\delta}} = T_{\hat{i}} \cdot r_{\hat{i}\hat{a}\hat{\delta}}, \quad \text{хв}. \quad (21)$$

де: $T_{\hat{i}}$ – час основної роботи, хв.,

$r_{пер}$ – коефіцієнт переїздів.

Для визначення коефіцієнта переїздів використаємо формулу:

$$r_{\hat{i}\hat{a}\hat{\delta}} = \left(t_{\hat{i}\hat{i}} + \frac{0,0901 \times L_{\hat{a}\hat{i}}^{0,3959}}{V_{\hat{i}\hat{a}\hat{p}}} \right) \times \frac{W_{\hat{a}\hat{a}}}{9 \times 10^{-5} \times L_{\hat{a}\hat{i}}^{2,0156}}, \quad (22)$$

де: t_{nn} – час на підготовку агрегату до переїзду, хв.; $V_{пер}$ – швидкість транспортування добрив при переїздах агрегату, км/год.; $W_{год}$ – продуктивність агрегату за годину основної роботи, га/год.

Продуктивність агрегату за годину основної роботи знаходимо за відомою формулою $W_{\hat{a}\hat{a}} = 0,1 \cdot V_p \cdot B_a$.

Для пройденої агрегатом елементарної ділянки оброблену площу знаходимо відповідно до ширини захвату сільськогосподарської машини та коефіцієнта використання ширини захвату.

Нормативи продуктивності та витрат палива розраховують за формулами: $W_{\hat{q}} = \frac{S}{T}$,

га/год; $q = \frac{Q}{S}$, л/га, де S , Q , T – розраховані показники за зміну, відповідно оброблена площа (га), кількість витраченого палива (л), час на виконання операції (год.).

Вищенаведена методологія визначення основних техніко-експлуатаційних показників в створеній імітаційній моделі реалізоване програмно, робоче вікно представлено на рис. 1.

ВИСНОВОК

При використанні наведеної методики стосовно процесу конкретної технологічної операції необхідно доповнити, відповідно, алгоритм моделювання та формули розрахунків таких величин: ефективна потужність двигуна N_e , сила опору руху агрегату R_{agr} , максимальна сила зчеплення ведучого апарату з ґрунтом F_{max} , час на виконання поворотів, та іншими особливостями робочого процесу.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Найменування технологічної операції
 Перевезення і розкладання мінеральних добрив (суперфосфат)

Технологічна схема: **Перевезення**

Умови роботи: **Стерня**

АГРОФОН ПОЛЯ

Однр. ґрунту кв.кв.м: **500**
 Довжина гону, м: **0.65**
 Коеф.зчепл. з ґрунт поля: **0.1**
 Агрофон: **Грунтової шлях**
 Коеф.зчепл. з дорогою: **0.82**
 Відстань поле ходу: **0**
 Відст. поле-сховище, км: **150**
 Норма внесення добрив, кг/га: **150**
 Норма внесення зерна, кг/га: **420**
 Тривалість зміни, хв: **20**
 Норма вивантаження: **15**
 Нормативи часу неоперативні: **20**
 ТО трактора щозмінне, хв: **10**
 ТО машини щозмінне, хв: **15**
 Підгот., закінчен. робіт, хв: **15**
 Наладка, регулювання, хв: **25**
 Усунення несправност. хв: **10**
 Відпочинок особ. потреб. хв: **20**
 Перевезення і розкладання мінеральних добрив: **150** кг/га, МТЗ-892

Трактор: **Редугув. Базу. Трактор**

Марка: **MT3-892**
 Маса: **4150**
 Кількість вед.віс: **2**
 Потужність, кВт: **66**
 Палива, кг/год, номінал: **6**
 Мінім. потужність, кВт: **6**
 Палива, кг/год, мінім: **6**
 Питом. витр. палив. г/квт*г: **217**
 Швидк. переїзд. без вантаж: **25**
 Швидк. переїзд. з вантажем: **15**
 Площа соломотруса кв.м: **6**
 Радіус повороту, м: **6**
 Швидкість повороту, м/хв: **1.6**
 Коеф. маси на вед.апарат колі, м: **300**
 Довжина елементарної обробленої ділянки, м: **300**
 Економічні показники: **25**
 Перейти: **10**
 ТАБЛИЦЯ НОРМАТИВ: **СТВОРИТИ**

С.г. Машина: **Редугув. Базу. машини**

Марка: **МВД-900**
 Машина для внесення мінеральних добрив: **320**
 Тип навіша: **Маса машини, кг**
 Швидкість робота, км/год: **8**
 Шир. захв., м: **2.4**
 Глибина обробітку, см: **900**
 Місткість бака добрив: **900**
 Дзерна, кг (рідина), кг/л: **8**
 Насос, л/хв: **1**
 Тип бара: **1**
 ККД ВВП: **0.97**
 ВВП, кВт: **102**
 Продуктивність: **1**
 Коеф. маси на вед.апарат: **1**
 Марка автомобіля: **ПФ-0.75**
 Продуктивність завантаж., т/г: **30**
 Марка навантажувача: **1**
 Розраховані показники за зміну: **1**
 Оброблена площа, га: **82.05**
 Витрачено палива, л: **49.5**
 Фактично час зміни, хв: **49.5**
 Розрахунок: **РОЗРАХУВАТИ**
 ДОДАТИ
 ЗАМІНИТИ
 ВИДАЛИТИ
 МВД-900

Рис. 1. Вид робочого вікна програми імітаційного моделювання

ЛІТЕРАТУРА

1. Пастухов В.І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11 / В.І. Пастухов // Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2006. – 38 с.
2. Брагинец Н.В. Математическая модель функционирования рабочих органов мобильного разбрасывателя подстилки / Брагинец Н.В., Поляков А.Н., Брагинец А.Н. // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Луганськ, 2010. – Вип. 3. – С. 21–29.
3. Борисенко В.О. Методологія імітаційного моделювання роботи польових агрегатів для визначення техніко-експлуатаційних показників / В.О. Борисенко, М.А. Босий. – К.: Фенікс, 2010. – 87 с.
4. Борисенко В.О. Імітаційне моделювання роботи польових агрегатів / В.О. Борисенко, І.Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 1. – С. 187–196.
5. Босий М.А. Застосування методу імітаційного моделювання для визначення техніко-експлуатаційних показників посівних агрегатів / М.А. Босий, В.О. Борисенко // Продуктивність агропромислового виробництва. – 2009. – №14. – С. 18–23.
6. Cross T. Machinery cost calculation methods // Agricultural Extension ser-vice the University of Tennessee Institute of Agriculture, AE&RD, 1998. – No. 13. – P. 8.
7. Вітвіцький В.В. Економічні аспекти визначення витрат на експлуатацію сільськогосподарської техніки / В.В. Вітвіцький, М.А. Босий // Продуктивність агропромислового виробництва. – 2007. – №6. – С. 89–93.
8. Каталог-довідник машин і обладнання для агропромислового комплексу (видання друге) / [уклад. : Дмитрашко О.П. (керівник), Мурашко В.С., Шпак В.С. та ін.]. – К.: Асоціація «Прома», 2006. – 190 с.
9. Типові норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур // В.В. Вітвіцький, І.М. Демчак, В.С. Пивовар та ін. – К.: НДІ «Укragропромпродуктивність», 2005. – 544 с.
10. Методологія формування нормативних систем живої та уречовленої праці в рослинництві / В.В. Вітвіцький, М.А. Босий, М.Ф. Кисляченко, І.В. Лобастов, А.А. Нечипорук, В.О. Борисенко. – К.: НДІ «Укragропромпродуктивність», 2009. – 244 с.

IMITATING MODELING OF WORK OF FIELD AGGREGATES

Summary. It is considered methodical bases of imitating modeling of work of field aggregates and methodology of definition of productivity and expenses of fuel on the mechanized field works.

Key words: aggregates, imitation, modeling.