



# Механізація, електрифікація

УДК 631.633

© 2015

*Ю.Г. Вожик,*

*доктор  
технічних наук*

*Національний  
науковий центр  
«Інститут механізації  
та електрифікації  
сільського господарства»*

## **ОБГРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИН, ЩО ФУНКЦІОНУЮТЬ ІЗ ВИТРАТАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Мета.** Дослідити взаємозв'язок між експлуатаційними особливостями роботи машин, що функціонують із витратами технологічних матеріалів, з їх параметрами та режимами. **Методи.** Аналітичні. **Результати.** Розроблено математичну модель техніко-експлуатаційних показників машин, що функціонують з витратами технологічних матеріалів. **Висновки.** Для забезпечення максимальної продуктивності польових машин слід застосовувати перевантажувальну схему їх роботи з використанням контейнерного способу перевезення матеріалів. Раціональною місткістю контейнера залежно від умов є 750–1250 кг, що відповідає продуктивності завантажувача цих машин 20–30 т/год.

**Ключові слова:** польові машини, технологічний матеріал, змінна продуктивність, прями експлуатаційні витрати, експлуатаційні параметри.

За аналізу роботи польових машин, що функціонують з витратами технологічних матеріалів (добрив, насіння, отрутохімікатів тощо), виникає потреба у розрахунку змінної продуктивності цих машин і визначенні їх раціональних параметрів та організаційних форм роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологічні особливості роботи польових машин досліджували В. Адамчук, С. Бойко, М. Догановський, А. Зангів, В. Якубаускас та ін. Однак є потреба узагальнити ці дослідження і розробити конкретні рекомендації щодо застосування їх результатів.

**Мета досліджень** — установити взаємозв'язок між технологічними та експлуатаційними особливостями роботи машин, що

функціонують з витратами технологічних матеріалів (далі — матеріали), з їх параметрами та режимами роботи і дати рекомендації щодо визначення раціональних значень останніх.

**Методи досліджень.** Аналітичний метод.

**Результати досліджень.** Використовуючи загальновідому залежність для змінної продуктивності агрегату ( $W_3 = \tau W = \tau V_p v_p$ ,  $\tau = T / T_3$ ) і розкриваючи складові змінного часу, отримуємо:

$$T_3 = T + t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (1)$$

де  $W_3$ ,  $W$  — продуктивність за одиницю відповідно змінного та основного часу,  $m^2/c$ ;  $\tau$  — коефіцієнт використання змінного часу,  $V_p$  — робоча ширина захвату машини,  $m$ ;  $v_p$  — робоча швидкість агрегату,  $m/c$ ;  $T_3$ ,

$T$  — тривалість відповідно змінної та основної роботи, с;  $t_1$  — витрати, що не залежать від параметрів агрегату (час на щозмінне технічне обслуговування, підготовку агрегату до роботи, усунення технологічних несправностей тощо згідно з нормативними даними [7] з деяким припущенням  $t_1=0,1T_3$ );  $t_2$  — час переїзду від машинного двору до поля і назад ( $t_2 = (L_1 + L_2 + L_3) / v_T$ ), де  $L_1, L_2, L_3$  — відстань відповідно від машинного двору до складу витратних матеріалів, від складу до поля і від поля до машинного двору, м;  $v_T$  — транспортна швидкість агрегату, м/с;  $t_3$  — час, що витрачається на завантаження машин матеріалом, с, приймаючи, що перше завантаження машини матеріалом за прямої схеми здійснюватиметься на складі під час її руху від машинного двору до поля  $t_3 = (n_1 - 1)(t_5 + t_6 + t_7)$ , де  $n_1$  — кількість завантажувачів машини матеріалом під час зміни;  $t_5$  — час, що витрачається на підготовчо-завершальні операції за одного завантаження машини, с;  $t_6$  — тривалість одного завантаження, с;  $t_7$  — тривалість однієї поїздки по матеріал від поля до складу і назад, с ( $t_7 = 2L_2/v_T$ );  $t_4$  — час, що витрачається на повороти агрегату на краю поля, с.

Беручи до уваги, що  $n_1 = T/t_3$ , а  $t_8 = t_1 + Q/B_p v_p n_1$ ,  $n_1 = TB_p v_p H / Q$ , де  $t_8$  — час спорожнення бункера машини, с;  $Q$  — масова місткість (далі місткість) бункера, кг;  $H$  — доза внесення матеріалу, кг/м<sup>2</sup>;  $t_6 = Q/W_{зв}$ , де  $W_{зв}$  — продуктивність завантажувача за одиницю основного часу, кг/с;  $t_4 = n_2 t_9 = 1,5 B_p v_p T / L_4 v_{пв}$ , де  $n_2$  — кількість поворотів агрегату на краю поля під час зміни  $n_2 = T/t_{10}$ ;  $t_{10}$  — час проходження одного гону, с —  $t_{10} = L_4 / v_p$ ;  $L_4$  — довжина гону, м;  $t_9$  — час одного повороту, с —  $t_9 = L_5 / v_{пв}$ , де  $L_5$  — довжина одного повороту, м (за човникового способу руху і грушоподібного повороту [6], що при великих значеннях  $B_p$  наближається до повороту за колом), з деяким наближенням можна прийняти  $L_5 \approx 3R = 1,5 B_p$ , де  $R$  — радіус повороту, м;  $v_{пв}$  — швидкість агрегату при повороті, м/с, і, підставляючи складові залежності (1), отримаємо:

$$0,9T_3 = T + \frac{L_1 + L_2 + L_3}{v_T} + \left( \frac{TB_p v_p H}{Q} - 1 \right) \left( t_5 + \frac{Q}{W_{зв}} + \frac{2L_2}{v_T} \right) + \frac{1,5 B_p v_p T}{L_4 v_{пв}}; \quad (2)$$

звідки після спрощення і, приймаючи  $L_3 = L_1 + L_2$ ,

$$T = \frac{0,9T_3 - \frac{2L_1}{v_T} + t_5 + \frac{Q}{W_{зв}}}{1 + \frac{B_p v_p H t_5}{Q} + \frac{B_p v_p H}{W_{зв}} + \frac{2B_p v_p H L_2}{Q v_T} + \frac{1,5 B_p v_p}{L_4 v_{пв}}}. \quad (3)$$

Враховуючи, що  $W_3 = \tau W = TB_p v_p / T_3$ , отримаємо в перерахунку з м<sup>2</sup>/с на га/год:

$$W_3 = \frac{\left( 0,9T_3 - \frac{2L_1}{v_T} + t_5 + \frac{Q}{W_{зв}} \right) 0,36}{\left( \frac{1}{B_p v_p} + \frac{H t_5}{Q} + \frac{H}{W_{зв}} + \frac{2HL_2}{Q v_T} + \frac{1,5}{L_4 v_{пв}} \right) T_3}. \quad (4)$$

За перевантажувальної схеми, коли роботу машину завантажують матеріалом у полі, складові змінного часу ті ж самі, за винятком того, що  $t_7=0$ . При  $L_3 = L_1 + L_2$  отримаємо:

$$W_3 = \frac{\left( 0,9T_3 - \frac{2(L_1 + L_2)}{v_T} + t_5 + \frac{Q}{W_{зв}} \right) 0,36}{\left( \frac{1}{B_p v_p} + \frac{H t_5}{Q} + \frac{H}{W_{зв}} + \frac{1,5}{L_4 v_{пв}} \right) T_3}. \quad (5)$$

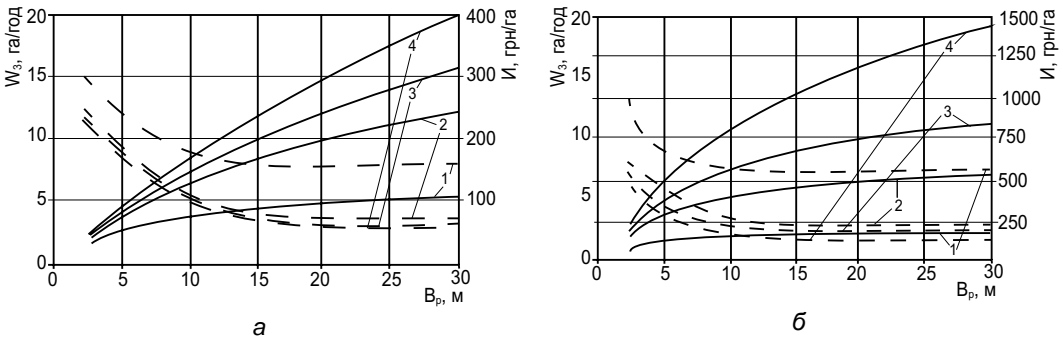
При подальших підрахунках було прийнято  $T_3 = 7$  год (25200 с) — повний час зміни без урахування перерви на обід;  $L_1 = 1500$  м;  $v_T = 4,16$  м/с;  $t_5 = 300$  с [9];  $v_{пв} = 0,75$  м/с.

Для більш повного вирішення проблеми визначення технологічних параметрів таких машин було враховано також прямі експлуатаційні витрати, які мають місце в кожному конкретному випадку [8].

Для розрахунку кількості поїздок завантажувача з добривами від складу до поля і назад при перевантажувальній схемі використовували рівняння для визначення  $T$ , звідки при  $L_3 = L_1 + L_2$  і  $t_7=0$  отримали:

$$n_1 = \frac{\left( 0,9T_3 - \frac{2(L_1 + L_2)}{v_T} + t_5 + \frac{Q}{W_{зв}} \right) H}{\left( \frac{1}{B_p v_p} + \frac{H t_5}{Q} + \frac{H}{W_{зв}} + \frac{1,5}{L_4 v_{пв}} \right) Q}. \quad (6)$$

Вихідними даними для розрахунку прямих експлуатаційних витрат для умов внесення мінеральних добрив були такі: машини на складі завантажувалися тракторним завантажувачем Борекс 3101; як мобільний завантажувач було використано автозавантажувач КАМАЗ-65117-03-62, обладнаний краном-маніпулятором;  $L_1=1$ ;  $t_1=7$  год;  $r_1=7,95$  грн/люд.-год;  $k_d=1,17$ ;  $n_1=1,375$ ;  $C_{пв}=11,56$  грн/кг;  $C'_{пв}=9,25$  грн/л;  $\Pi=7 \cdot 10^{-8}$  кг/Вт·с;  $N_{емТЗ-80}=58900$  Вт;  $N_{ем-150}=110000$  Вт;



**Рис. 1.** Залежність змінної продуктивності агрегату  $W_z$  і прямих експлуатаційних витрат  $I$  від його робочої ширини захвату при прямоточній схемі: а, б — доза внесення добрив відповідно 100 і 500 кг/га; 1–4 — місткість бункера відповідно 500; 2000; 4000; 16000 кг;  $v_p = 3$  м/с;  $W_{зв} = 32,4$  т/год;  $L_2 = 4000$  м;  $L_4 = 1000$  м; — — змінна продуктивність; - - - — прями експлуатаційні витрати

$B_{ТМТЗ-80} = 165000$  грн;  $B_{Т-150} = 500\,000$  грн;  
 $B_{БОРЕКС} = 280\,000$  грн;  $B_{КАМАЗ} = 550\,000$  грн;  $B_M$  =  
 при  $Q=500$  кг — 7500 грн;  $Q=2000$  кг — 20000 грн;  
 $Q=4000$  кг — 50000 грн;  $Q=6000$  кг — 70000 грн;  
 $Q=8000$  кг — 90000 грн;  $Q=10000$  кг — 110000 грн;  
 $Q=12000$  кг — 130000 грн;  $r_T = 0,11$ ;  $r_M = 0,115$ ;  
 $T_T = 1350$  год;  $T_M = 450$  год;  $T_{БОРЕКС} = 210$  год;  
 $T_{КАМАЗ} = 1840$  год;  $K_6 = 1,1$ ;  $a_T = 0,1$ ;  $a_M = 0,125$ ;  
 при  $Q$  від 500 до 6000 кг використовувався трактор МТЗ–80;  $Q$  від 8000 до 12000 кг — Т–150К.

Як видно з рис. 1, за прямоточної схеми і дози внесення добрив до 100 кг/га змінна продуктивність агрегату зі збільшенням робочої ширини захвату до 30 м зростає досить інтенсивно, а прями експлуатаційні витрати знижуються при місткості бункера понад 500 кг. При меншій місткості, що характерно для навісних машин, підвищувати робочу ширину захвату понад 12–15 м недоцільно. За дози внесення понад 500 кг/га доцільність збільшення робочої ширини захвату з перевищенням цієї межі настає при місткості бункера понад 4000 кг.

За перевантажувальної схеми (рис. 2) і дозах внесення добрив до 500 кг/га верхня межа доцільності збільшення робочої ширини захвату в діапазоні 0–35 м практично необмежена.

Порівнюючи рис. 1 і 2, можна побачити, що при дозі внесення до 100 кг/га і відстані від поля до складу до 4000 м перевантажувальна схема має значні переваги порівняно з прямоточною при місткості бункера до 4000 кг. При дозі внесення 500 кг/га ця межа місткості бункера збільшується вже до 12000–14000 кг.

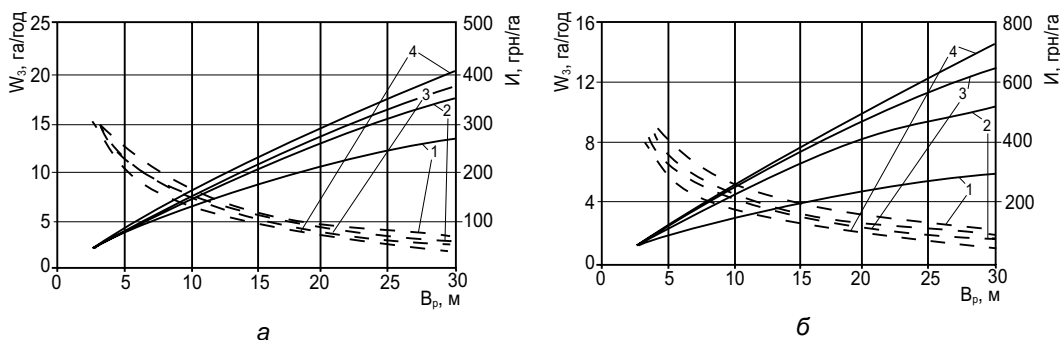
Зі зростанням робочої швидкості агрегату в її реальному діапазоні (до 5 м/с) при місткості бункера до 4000 кг і дозі внесення до 500 кг/га змінна продуктивність істотно збільшується, а прями експлуатаційні витрати зменшуються, причому при перевантажувальній схемі це відбувається інтенсивніше, ніж при прямоточній, тому цей критерій має визначатися переважно безпечним рівнем швидкості пересування по полю, що, як відомо, для тракторних агрегатів становить 3–4 м/с.

На всьому діапазоні доз внесення добрив та хімеліорантів, що застосовуються (від 100 до 10000 кг/га), і при ширині захвату до 30 м продуктивність завантажувача недоцільно піднімати вище 20 т/год при прямоточній схемі і 30 т/год — при перевантажувальній через неістотне зниження при цьому прямих експлуатаційних витрат.

Збільшення відстані від поля до складу знижує змінну продуктивність і підвищує прями експлуатаційні витрати при прямоточній схемі тим інтенсивніше, чим менша місткість бункера. Причому за дози внесення до 500 кг/га і місткості бункера до 500 кг найпомітніше змінна продуктивність падає при відстані до 5 км, а при місткості до 4000 кг — до 8 км.

Аналіз інших графічних залежностей показав, що при середній дозі внесення добрив (500 кг/га) і місткості бункера 4000 кг довжина гону впливає на змінну продуктивність і прями експлуатаційні витрати доволі у вузькому діапазоні: до 500 м — при прямоточній схемі і до 1000 м — при перевантажувальній.

Отже, з метою досягнення високопродуктивної роботи машин для внесення добрив,



**Рис. 2.** Залежність змінної продуктивності агрегату  $W_{зв}$  і прямих експлуатаційних витрат  $I$  від його робочої ширини захвату при перевантажувальній схемі: а, б — доза внесення добрив відповідно 100 і 500 кг/га; 1–4 — місткість бункера відповідно 500; 2000; 4000; 16000 кг;  $v_p = 3$  м/с;  $W_{зв} = 32,4$  т/год;  $L_2 = 4000$  м;  $L_4 = 1000$  м; — — змінна продуктивність; --- — прями експлуатаційні витрати

особливо при стислих агротехнічних строках під час сівби, підживлення озимини та ін., слід застосовувати перевантажувальну схему, яка при найпоширеніших місткостях бункера від 500 до 4000 кг порівняно з прямою схемою може підвищити продуктивність у 3–4 рази. На навісних машинах з місткістю бункера до 500 кг доцільно встановлювати РО з робочою шириною захвату до 15 м, а на напівпричіпних, обладнаних місткішими бункерами, — до 30 м.

Широке застосування перевантажувальної схеми в Україні нині стримується нестачею, а часто і відсутністю засобів для завантаження мінеральних добрив у польові машини [2]. Немає засобів механізації для завантаження добривами навісних машин із місткістю бункера до 1 т і пневматичних зерно-тукових сівалок із загальною місткістю бункера до 15 т та завантажувальною висотою до 3,5 м. Останні завантажуються власними шнековими конвеєрами, яким потрібні для цього спеціальні мобільні перевантажувачі, і руйнують під час роботи насіння і гранули мінеральних добрив.

Останнім часом за кордоном набувають поширення конструкції завантажувального пристрою для добрив і насіння, що перевозяться в контейнерах, які встановлюють безпосередньо на рамі польової машини. Одним з яскравих прикладів є гідравлічний кран-маніпулятор, який при власній масі 273 кг може піднімати штучні вантажі масою 1000 кг на висоту до 4 м. Його недоліком є те, що він встановлюється на польову машину і значний час не використовується. Тому доцільніше встановлювати такий пристрій

на транспортному засобі з кузовом, найкраще на всюдихідному багатотоннажному (10–15 т) автомобілі, який доставляв би контейнери з робочим матеріалом до поля і перевантажував його у польові машини.

Постає питання про раціональну масову місткість такого контейнера. Для цього проаналізуємо чинники, які впливають на продуктивність контейнерного завантажувача, і взаємозв'язок між цією продуктивністю і місткістю контейнера.

Продуктивність такого завантажувача становитиме:

$$W_{зв} = \frac{Q_1 n_3}{3600}, \quad (7)$$

де  $W_{зв}$  — продуктивність завантажувача, кг/с;  $Q_1$  — місткість контейнера, кг;  $n_3$  — кількість циклів завантаження за годину, год<sup>-1</sup>.

Кількість циклів завантаження за годину дорівнює:

$$n_3 = \frac{3600}{t'_1 + t'_2}, \quad (8)$$

де  $n$  — кількість циклів завантаження за годину;  $t'_1$  — цикл завантаження без урахування часу висипання матеріалу з контейнера (час на стропування контейнера, доставки його до місця розвантаження та зворотні дії), с;  $t'_2$  — час вивантаження матеріалу з контейнера в бункер польової машини, с.

Приймаючи розміри вивантажувального отвору контейнера на досліджуваному інтервалі його місткості (від 300 до 2000 кг) незмінними (500×500 мм) і зважаючи на те, що при цьому висота контейнера змінюватиметься неістотно, можна прийняти з певними

припущеннями залежність між часом вивантаження контейнера і його місткістю прямо пропорційною, тобто:  $t'_2 = cQ_1$ , де  $c$  — час, потрібний на вивантаження 1 кг матеріалу з контейнера в бункер польової машини, с/кг, за експериментальними даними для контейнера з наведеними вище параметрами  $c \approx 0,025$  с/кг.

З урахуванням залежності (8) рівняння (7) набуде вигляду:

$$W_{зв} = \frac{Q_1}{t'_1 + cQ_1}. \quad (9)$$

Приймаючи середнє з хронометражних даних значення  $t'_1 = 120$  с, із рівняння (9) і з урахуванням того, що підвищувати продуктивність завантажувача понад 5,5–8,3 кг/с (20–30 т/год) недоцільно, отримуємо раціональну місткість контейнера  $Q_1$  — 750–1250 кг, яка відповідає цій продуктивності завантажувача.

## Висновки

Розроблено математичну модель визначення техніко-експлуатаційних показників агрегатів для внесення добрив залежно від технологічних схем, параметрів і режимів роботи. Обґрунтовано раціональні технологічні схеми роботи агрегатів. Доведено переваги перевантажувальної схеми роботи агрегатів порівняно з традиційною прямою, за якої забезпечуються стислі агротехнічні строки при сівбі і підживленні озимини завдяки істотному (в 3–4 рази) підвищенню продуктивності роботи агрегатів порівняно з прямою схемою. Найбільш раціонально

й ефективно можна здійснити реалізацію перевантажувальної схеми за допомогою контейнерної системи виконання транспортних і перевантажувальних операцій під час роботи з добривами і насінням із застосуванням універсальних контейнерів багаторазового використання, за допомогою яких практично усувається руйнування гранул добрив та насіння під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій. Раціональною місткістю такого контейнера є 750–1250 кг, що відповідає продуктивності завантажування бункера польової машини 20–30 т/год.

## Бібліографія

1. Адамчук В.В. Теоретичне дослідження технологічних параметрів машин для внесення мінеральних добрив/В.В. Адамчук//Зб. наук. пр. НАУ. Механізація сільськогосподарського виробництва. — К.: НАУ, 2003. — Т. XV. — С. 203–224.
2. Бойко С. Навантажувач у господарстві/С. Бойко//Farmer. — 2013. — № 4. — С. 92–94.
3. Догановский М.Г. Механизация внесения удобрений/М.Г. Догановский, Е.В. Козловский. — Л.: Колос, 1976. — 320 с.
4. Догановский М.Г. Контейнерный способ доставки и хранения минеральных удобрений/М.Г. Догановский, Е.В. Козловский, Н.А. Колташов. — М.: Россельхозиздат, 1985. — 60 с.
5. Зангиев А.А. Расчет оптимальной скорости и ширины захвата МТА/А.А. Зангиев//Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1986. —

№ 7. — С. 43–49.

6. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка/С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. — М.: Колос, 1984. — 351 с.

7. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. — М.: ГОСНИТИ, 1985. — 143 с.

8. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. ДСТУ 4397–2005. — К.: Держспоживстандарт України, 2005. — 15 с.

9. Типовой технологический процесс применения минеральных удобрений в Зоне Полесья УССР. — К.: Урожай, 1973. — 30 с.

10. Якубаускас В.И. Технологические основы механизированного внесения удобрений/В.И. Якубаускас. — М.: Колос, 1973. — 231 с.

Надійшла 01.07.2015.