

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА  
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (за інженерно-технічними критеріями)**

**Саржанов Олександр Анатолійович**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-3973-0185  
e-mail: alexsar@i.ua

**Барабаш Григорій Іванович**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-1075-479X  
e-mail: grinya45@ukr.net

**Саржанов Богдан Олександрович**

асистент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID ID: 0000-0001-9796-9499  
e-mail: arhimag0@gmail.com

*Традиційно техніко-експлуатаційні показники використання машинних агрегатів в рослинництві визначаються, виходячи з того, що за довідковими даними по питомому опору робочих органів машин які експлуатуються в певних ґрунтово-кліматичних умовах, та відомими тяговими зусиллями тракторів вибирають необхідну передачу, завантажуючи таким чином двигун трактора до оптимального значення, але в межах певного діапазону агротехнічно допустимих швидкостей [1,2,4]. Але на даний момент ситуація помінялась. Інформація що до згаданих показників відсутня через те, що офіційно лабораторно-польові дослідження або не проводяться або інформація про це відсутня.*

*В запропонованій статті наведені методичні підходи по визначенню основних техніко-експлуатаційних показників використання нових посівних комплексів вітчизняного виробництва, по яких ще відсутня в літературних джерелах інформація що до ефективності їх роботи в певних виробничих умовах; наведені конкретні значення режимів роботи, продуктивності, витратах палива цих машин.*

**Ключові слова:** сівба, посівні комплекси, методика, потужність, швидкість руху, продуктивність, витрата палива, рівень використання.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.5>

### **Постановка проблеми.**

Технологічні процеси по обробітці ґрунту та сівбі є основними складовими частинами зональних науково обґрунтованих систем землеробства. Особливо важливе значення це набуває в сучасних умовах, коли істотно ускладнилось ресурсне забезпечення аграрних підприємств [3].

Щоб вийти з такого положення пропонується дещо інший шлях: довіритись виробникам машин, які стверджують, що для ефективного використання сільськогосподарської машини потрібен трактор певної потужності, як це наприклад: для використання посівного комплексу Сіріус – 10 необхідно мати трактор з потужністю двигуна 300 к.с. (220 кВт). Найбільше для цієї ролі підходить трактор Беларусь МТЗ – 3022 ДЦ-1. Потужність його двигуна – 222 кВт. Умовно його можна віднести до 5 класу тяги. Він може агрегатувати посівний комплекс в діапазоні швидкостей 8 – 10 км/год., при якій забезпечується найбільш якісна робота посівного комплексу. Але для визначення показників використання машини потрібно знати конкретну передачу, на якій забезпечується робоча швидкість в межах зазначеного діапазону.

Маючи це на увазі можна аналітичним шляхом визначити питомий та загальний опір робочих органів посівного комплексу, а в подальшому і завантаженість двигуна.

**Аналіз результатів останніх досліджень.** Аналітичні дослідження стосовно оцінки ефективності роботи посівних комплексів і їх порівняльної оцінки в умовах Лісостепу Сумської області не проводились.

### **Формулювання цілей статті та мета досліджень.**

Вони полягають в тому, щоб надати методичні підходи по визначенню техніко-експлуатаційних та енергетичних показників використання посівних комплексів, що дасть можливість в подальшому обґрунтувати вибір одного із альтернативних агрегатів по необхідних критеріях.

*Обґрунтування робочої швидкості*

Загальний опір посівного комплексу в складі машинного агрегату,  $R_M$  (кН):

$$R_M = k \cdot B_K + G_M \left( f + \frac{i}{100} \right), \quad (1)$$

де  $k$  – фактичний питомий опір робочих органів, кН/м;

$B_K$  – конструкційна ширина захвату, м;

$G_M$  – експлуатаційна вага посівного комплексу, кН;

$f$  – коефіцієнт опору коченню;

$i$  – схил місцевості в умовах використання, %.

Фактичний питомий опір робочих органів  $k$  залежить від швидкості руху машинного агрегату  $V_p$ :

$$k = k_0 \left[ 1 + \frac{\Delta k}{100} (V_p - V_0) \right]. \quad (2)$$

де  $k_0$  – початковий питомий опір робочих органів при швидкості руху агрегата до  $V_0 = 5$  км/год. ;

$\Delta k$  – темп приростання питомого опору при збільшенні швидкості руху агрегата на 1 км/год, % ( $\Delta k = 1 \dots 3$ ).

У посівних комплексах початковий питомий опір слід розглядати як суму питомих опорів різних робочих органів, що входять до складу комплексу. (таблиця 1).

Таблиця 1. Питомий опір робочих органів

Технологічні операції	Питомий опір, кН/м
Луцнення дисковими знаряддями	2,0
Борони дискові	
- дискування парів і зябу	1,4...1,6
- луцнення стерні	3...6
Суцільна культивация парові при глибині обробітку	
- 6...8 см	1,2...2,6
- 10...12 см	1,6...3,0
Дискові сошники сівалки	1,0...1,8
Коткування кільчато - шпоровими котками	0,5...1,0

Конструкційна ширина захвата посівного комплексу наведена в його технічній характеристиці.

Вага комплексу  $G_M$  (кН) визначається за формулою:

$$G_M = \frac{(m_m + m_d + m_n) \cdot g}{1000}, \quad (3)$$

де  $m_m$  – конструкційна маса комплексу, кг;

$m_d$  – маса добрив у бункері, кг;

$m_n$  – маса насіння у бункері, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Конструкційна маса комплексу наведена в його технічній характеристиці.

Маса зерна та добрив визначається за формулою:

$$m = V_b \cdot \gamma, \quad (4)$$

де  $V_b$  – об'єм бункера, м<sup>3</sup>;

$\gamma_n$  – об'ємна маса матеріалу (насіння, добрив), кг/м<sup>3</sup>.

Розміри бункерів наведені в технічній характеристиці.

Питома об'ємна маса, кг/м<sup>3</sup>:

-пшениця _____ 850;	-жито _____ 800;
-ячмінь _____ 750;	-овес _____ 550;
-просо _____ 900;	-гречка _____ 700;
-горох _____ 900;	-кукурудза _____ 900;
-соняшник _____ 400;	-сечовина _____ 1140;
-суперфосфат _____ 1000.	

$$V_p = V_T \left( 1 - \frac{\delta}{100} \right), \quad (5)$$

де  $V_T$  – теоретична швидкість руху агрегата на вибраній передачі, км/год.

$\delta$  – буксування рушіїв трактора: гусеничного 2...5%; колісного: 4×4 – 10...12%; 4×2 – 14...16%.

Передача трактора вибирається з такого розрахунку, щоб робоча швидкість вписувалась в діапазон швидкості, наведений в технічній характеристиці комплексу (здебільшого  $V_p = 10 \dots 12$  км/год).

Втрати потужності двигуна трактора (енергетичного засобу) на виконання технологічного процесу,  $N_e$ , (кВт):

$$N_e = N_{mp} + N_f + N_\delta + N_\alpha + N_M + N_{ВВП}, \quad (6)$$

де  $N_{mp}$  – втрата потужності в трансмісії, кВт;

$N_f$  – втрата потужності на перекочування трактора, кВт;

$N_\delta$  – втрата потужності на буксування рушіїв трактора, кВт;

$N_\alpha$  – втрата потужності на подолання підйому, кВт;

$N_M$  – втрата потужності на подолання опору робочої машини, кВт;

$N_{ВВП}$  – втрата потужності на привід робочих органів машини від валу відбору потужності (ВВП), кВт.

Втрата потужності в трансмісії, кВт:

$$N_{mp} = N_{en} \cdot (1 - \eta_{mp}), \quad (7)$$

де  $N_{en}$  – номінальна ефективна потужність двигуна трактора, кВт (наводиться в технічній характеристиці трактора, прийнятого до розрахунків);

$\eta_{mp}$  – ККД трансмісії трактора:

Для колісного трактора  $\eta_{mp} = 0,89 \dots 0,92$ .

Втрата потужності на перекочування трактора, кВт

$$N_f = \frac{G_{mp} \cdot f \cdot V_p}{3,6}, \quad (8)$$

де  $G_{mp}$  – вага трактора, кН;

$$G_{mp} = \frac{m_{mp} \cdot g}{1000}, \quad (9)$$

де  $m_{mp}$  – маса трактора, кг (наводиться в технічній характеристиці трактора).

Втрата потужності на буксування рушіїв трактора, кВт

$$N_\delta = \frac{R_M \cdot (V_T - V_p)}{3,6}, \quad (10)$$

Втрата потужності на подолання підйому трактора, кВт

$$N_\alpha = \frac{G_{mp} \cdot i \cdot V_p}{360}, \quad (11)$$

Втрата потужності на подолання опору посівного комплексу, кВт

$$N_M = \frac{R_M \cdot V_p}{3,6}, \quad (12)$$

Втрата потужності на привід робочих органів машин від ВВП, кВт

Потужність  $N_{ВВП}$ , яка витрачається на привід активних робочих органів машин в дію:

$$N_{ВВП} = N_{пит} \times V_k \quad (13)$$

де  $N_{\text{пит}}$  – питома потужність приводу ВВП, кВт/м.  
 $N_{\text{пит}}=1,5...1,8$  кВт/м.

Коефіцієнт завантаження двигуна по потужності при виконанні технологічного процесу,  $\zeta_p$ :

$$\zeta_p = N_e / N_{\text{ен}} \quad (14)$$

Оптимальна величина завантаження дизельних двигунів в залежності від енергомічткості процесу знаходиться в межах  $\zeta_p = 0,70...0,85$ .

Визначення техніко-експлуатаційних показників використан ня посівних комплексів.

Продуктивність за 1 год. змінного часу,  $\omega_{\text{зм}}$ , га/год.:

$$\omega_{\text{зм}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (15)$$

де  $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни:

Робоча ширина захвату  $B_p$  для посівних комплексів  $B_p=B_k$ .

$$\tau = \frac{T_p}{T_{\text{зм}}}, \quad (16)$$

де  $T_p$  – час чистої (основної) роботи за зміну, год.;

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год. При виконанні сівби  $T_{\text{зм}}=7$  год.

Кількість циклів за зміну,  $n_{\text{ц}}$ :

$$n_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{зм}} - \sum T_{\text{нц}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (17)$$

де  $\sum T_{\text{нц}}=0,42$  год. – сума позациклових простоїв за зміну, що включає підготовчо – заключний час, час на виконання технічного і технологічного обслуговування агрегатів, час на власні потреби (задається нормативно);

$t_{\text{ц}}$  – тривалість циклу, год.;

Тривалість циклу дорівнює:

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_x + t_{\text{оч}} + t_{\text{зав}}, \quad (18)$$

де  $t_p$  – тривалість чистої роботи за один цикл, год.;

$t_x$  – тривалість холостого повороту, год.;

$t_{\text{оч}}$  – тривалість очікування, год.;

$t_{\text{зав}}$  – тривалість завантаження насінням та добривами, год.

$$t_p = \frac{L_p}{V_p} \quad (19)$$

де  $L_p$  – довжина поля, км.

$$t_x = \frac{L_x}{V_x}, \quad (20)$$

де  $L_x$  – довжина холостого повороту, км.

$V_x$  - швидкість руху на поворотах, км/год.  $V_x=5...7$  км/год.

Чистий час роботи агрегату за зміну,  $T_p$  (год.):

$$T_p = t_p \cdot n_{\text{ц}}, \quad (21)$$

Час поворотів за зміну,  $T_x$  (год.):

$$T_x = t_x \cdot n_{\text{ц}}, \quad (22)$$

$$L_x = 7,8B_k, \quad (23)$$

Тривалість очікування дорівнює тривалості під'їзду та від'їзду завантажувача і можна прийняти  $t_{\text{оч}}=3...4$ хв. =  $=0,05...0,07$  год.

Час завантаження (розвантаження) технологічних місткостей за зміну,  $t_{\text{зав}}$ , год.:

$$T_{\text{зав}} = t_{\text{зав}} \cdot n_{\text{ц}}, \quad (24)$$

Тривалість одного завантаження залежить від місткості бункера посівного комплексу та продуктивності завантажувача:

$$t_{\text{зав}} = V_6 / w_3. \quad (25)$$

де  $V_6$  – об'єм бункера, м<sup>3</sup>;

$w_3$ - продуктивність завантажувача, м<sup>3</sup>/год.

Значення  $V_6$ ,  $w_3$  наведені в технічній характеристиці відповідних машин.

Продуктивність завантажувача: для ЗС – 30  $w_3 = 30$  т/год. (8,3 кг/с.)

Змінна продуктивність МА,

$$W_{\text{зм}} = \omega_{\text{зм}} \cdot T_{\text{зм}}. \quad (26)$$

Витрата палива на одиницю площі,  $G_{\text{за}}$  (кг/га):

$$G_{\text{за}} = \frac{G_p T_p + G_X T_X + G_{\text{неп}} T_{\text{неп}}}{\omega_{\text{зм}} \cdot T_{\text{зм}}}, \quad (27)$$

де  $G_p, G_X, G_{\text{неп}}$  - годинна витрата палива, відповідно,

при виконанні технологічного процесу, на поворотах, переїздах, кг/год.;

$T_p, T_X, T_{\text{неп}}$  - тривалість, відповідно, чистого часу

зміни, поворотів, год.

$$G_p = \frac{g \cdot N_{\text{ен}} \cdot \xi_p}{1000}, \quad (28)$$

$$G_x = \frac{0,4 \cdot g \cdot N_{\text{ен}}}{1000}, \quad (29)$$

$$G_{\text{неп}} = \frac{0,3 \cdot g \cdot N_{\text{ен}}}{1000}, \quad (30)$$

$$T_{\text{неп}} = \frac{L}{V_{\text{неп}}}, \quad (31)$$

де  $L$  – довжина (ширина) поля, км.

$V_{\text{неп}}$  – швидкість руху на переїздах, км/год.

Необхідна кількість агрегатів.

Кількість сівальних агрегатів  $n_{\text{агр}}$ , необхідних для своєчасного виконання технологічних операцій, можна визначити за формулою:

$$n_{АГР} = \frac{F}{D_P \cdot W_{зм} \cdot T_{зм} \cdot k_{зм}} \quad (32)$$

де  $F$  – обсяги посівних робіт, га;  
 $D_P$  – кількість робочих днів (агрострок);  
 $k_{зм}$  – коефіцієнт змінності (кількість змін за робочий день).

**Результати математичного моделювання/**

**Вихідні дані**

Культура - озима пшениця.

Технологічна операція – сівба з одночасним внесенням добрив.

Розміри поля: площа  $F = 200$  га; довжина  $L = 2000$  м; ширина  $B = 1000$  м.

Схил місцевості  $i = 4\%$ .

Норма висіву насіння  $Q_H = 200$  кг/га;

Доза внесення добрив  $Q_D = 85$  кг/га.

Питомий опір  $k_D = 2,5$  кН/м.

Об'ємна маса: насіння  $\gamma_H = 800$  кг/м<sup>3</sup>; добрива  $\gamma_D = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Варіанти: Посівні комплекси:

I МТЗ -3022 ДЦ + Алкор – 7,5

II МТЗ -3022 ДЦ+ Алкор - 10

Загальний вигляд посівних комплексів наведений на рис.1; 2.

Порядок та результати розрахунків показників роботи посівних комплексів наведений в таблиці 2.



Рис.1. Загальний вигляд посівного комплексу Алкор 7,5



Рис.2. Загальний вигляд посівного комплексу Алкор 10

Таблиця 2. Показники використання посівних комплексів

Показники	Один. ви- міру	Варіанти	
		МТЗ-3022 ДЦ + Алкор – 7,5	МТЗ-3022ДЦ+ Алкор-10
1	2	3	4
1. Діапазон оптимальних швидкостей машинного агрегату при сівбі зернових	км/год.	9-11	
2. Прийнятна робоча швидкість по передачах, $V_p$	км/год.	9,2	9,2
3. Загальний опір посівного комплексу на вибраній передачі, $R_m$ :	кН	41,8	48,9
4. Потужність, що витрачається на подолання опору комплексу при виконанні технологічного процесу, $N_m$	кВт	106,8	124,9
5. Коефіцієнт завантаженості двигуна при сівбі, $\zeta_p$		0,75	0,84
6. Продуктивність за 1 год. основного часу, $\omega_o$	га/год.	6,7	9,0
7. Коефіцієнт використання часу зміни,		0,69	0,66
8. Продуктивність за 1 год. змінного часу, $\omega_{зм}$ :	га/год.	4,6	5,9
9. Змінна продуктивність, $W_{зм}$ : – тривалість зміни	га год.	32,2 7	41,3 7
10. Необхідна кількість посівних комплексів, $n_a$	штук	1,0(1)	0,81(1)
19. Гектарна витрата палива, $G_{га}$	кг/га	8,2	7,2
20. Питомі затрати енергії, $z_e$ :	$\frac{кВт \cdot год}{га}$	36,3	31,7
21. Рівень використання агрегатів		0,52	0,55

**Висновок**

З точки зору техніко-експлуатаційних показників більш раціональним посівним агрегатом можна вважати агрегат в складі Беларусь 3022-ДЦ + Алкор - 10. У нього вища

продуктивність (5,9 га/год. проти 4,6 га/год.), погектарна витрата менша на 2 кг/га палива, завантаженість двигуна цього ближче до нормативного.

**Список використаної літератури.**

1. Методика розробки операційної технології механізованих польових робіт / Г. І. Барабаш, В. М. Зубко, О. Г. Барабаш, Т. В. Хворост. – Суми: ТОВ "Друкарський дім "Папірус", 2016. – 130 с.
2. Експлуатація машинно-тракторного парку / Діденко М.К. 5-е вид., перероб. і доп..- К.: Вища школа. Головне видавництво, 1983.- 447 арк.
3. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / [Мельник І.І., Гречко-сій В.Д., Марченко В.В., Михайлович Я.М., Мельник В.І., Надточій О.В.]; за ред. І. І. Мельника. – Київ: Видавничий центр НАУ, 2004. – 85 с.
4. Орманджи К.С., Барабаш Г.И. и другие. Правила производства механизированных работ в полеводстве. М., Россельхозиздат, 1983

**Sarzhanov O.A.**, Sumy National Agrarian University (Ukraine)

**Barabash G.I.**, Sumy National Agrarian University (Ukraine)

**Sarzhanov B.O.**, Sumy National Agrarian University (Ukraine)

**Justification of the choice of seed complexes of domestic production by the method of mathematical modeling (according to engineering and technical criteria)**

*Traditionally, technical and operational indicators of the use of machine units in crop production are determined based on the fact that according to reference data on the resistivity of the working bodies of machines operated in certain soil and climatic conditions, and known traction forces of tractors choose the required gear optimal value, but within a certain range of agronomically acceptable speeds [1,2,4]. But at the moment the situation has changed. There is no information on these indicators due to the fact that official laboratory field studies are either not conducted or there is no information about it.*

*The proposed article presents methodological approaches to determine the main technical and operational indicators of the use of new sowing complexes of domestic production, for which there is still no information in the literature on the effectiveness of their work in certain production conditions; specific values of operating modes, productivity, fuel consumption of these machines are given.*

**Key words:** sowing, sowing complexes, technique, power, speed, productivity, fuel consumption, level of use.

Дата надходження до редакції: 30.04.2021