

in mobile three-edge of a curve given by the natural equations is considered. The portable driving of three-edge is determined by differential performances of a curve. Competence of usage of the Frenet's formulas for determination of absolute velocity of a point in projections to basis vectors of mobile three-edge is proved. The absolute trajectories of driving are retrieved visualization of the obtained outcomes is realized.

Key words: *complex motion, a material point, relative movement of mobile trihedron Frene.*

УДК 631.33

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНОГО БАГАТОКАНАЛЬНОГО ТУКОРОЗПОДІЛЬНИКА

Ю.Г. Вожик, канд.техн.наук
ННЦ «ІМЕСГ»

Обгрунтовано експлуатаційні параметри багатоканального тукорозподільника.

Ключові слова: *пневматичний багатоканальний тукорозподільник, потужність, робоча ширина захвату, доза внесення, інтервал між розпилювачами, масова місткість бункера, продуктивність, прямі експлуатаційні витрати.*

Проблема. При обґрунтуванні експлуатаційних параметрів пневматичного багатоканального тукорозподільника (далі ПБТ) головним його чинником є робоча ширина захвату через те, що занижені її значення можуть призвести до зменшення економічних показників, а значне її підвищення – до невиправданого ускладнення машини і зменшення її надійності.

На експлуатаційні параметри впливають з одного боку як енергетичні показники агрегату, так і економічні, що треба розглядати в комплексі, враховуючи при цьому і фактори конструкційного характеру – масову місткість бункера й інтервал між розпилювачами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оптимізації технологічних параметрів машини для внесення мінеральних до-

брив шляхом аналізу її експлуатаційних показників було розглянуто в роботі [1], де аналітично з допомогою вивчення складових змінного часу машинно-тракторного агрегату отримано вираз для змінної продуктивності останнього і впливу на неї конструкційних і режимних параметрів машини.

Проте залишається невизначеним енергетичний бік питання, пов'язаний із можливістю енергетичного засобу, з яким агрегується ПБТ.

Мета досліджень. Підвищити продуктивність праці ПБТ шляхом оптимізації його техніко-економічних показників.

Результати досліджень. Для урахування енергетичного аспекту роботи ПБТ розглянемо баланс споживаної агрегатом із трактора і ПБТ потужності:

$$N_e = N_{nep} + N_{mp} + N_{бук} + N_{нід} + N_{ВВП}, \quad (1)$$

де N_e – ефективна потужність двигуна трактора, Вт; $N_{nep} = f_{\kappa} v_p (G_m + G_M)$ – витрати на перекочування агрегату, Вт; $N_{mp} = N_e (1 - \eta_m)$ – витрати в трансмісії трактора, Вт; $N_{бук} = \delta (N_e - N_m)$ – витрати на буксування трактора, Вт; $N_{нід}$ – витрати на подолання підйому (у випадку схилів), Вт; $N_{ВВП}$ – витрати на виконання корисної роботи, яка в нашому випадку складається з приводу в рух конвеєра-живильника і газодувного пристрою (з урахуванням того, що споживана конвеєром-живильником тукорозподільовачем РУМ-8 згідно з ТУ 23.2.1322.78 при дозі внесення 10000 кг/га складає лише 4,34 кВт, а при внесенні в нашому випадку до 1000 кг/га вона буде значно меншою, тому цією складовою для спрощення подальших розрахунків нехтуємо); f_{κ} – коефіцієнт опору перекочування агрегату; G_m, G_M – вага відповідно трактора і машини, Н; η_m – ККД трансмісії трактора; δ – коефіцієнт буксування трактора.

Нехтуючи для спрощення подальших розрахунків витратами потужності на підйом, з урахуванням коефіцієнта використання потужності трактора, після спрощення виразу (1) отримаємо:

$$\Delta N_e (\eta_m - \delta \eta_m) = f_{\kappa} v_p (G_m + G_M) + N_{ВВП}, \quad (2)$$

де Δ – коефіцієнт використання потужності трактора.

Приймаючи $\Delta = 0,8$; $\eta_m = 0,9$; $\delta = 0,1$, з виразу (2) отримаємо:

$$0,65 N_e = f_{\kappa} v_p (G_m + G_M) + N_{ВВП}. \quad (3)$$

Потужність, що витрачається на привод газодувного пристрою дорівнює [2]:

$$N_{\text{ВПП}} = \frac{P_{\text{П}} Q_{\text{П}}}{\eta} \quad (4)$$

де $P_{\text{П}}$ - втрати тиску повітря при пневмотранспортуванні добрив по каналу, Па; $Q_{\text{П}}$ - витрати повітря, м³/с; η - коефіцієнт корисної дії газодувного пристрою.

Втрати тиску повітря при переміщенні добрив по каналу складаються з [2]:

$$P_{\text{П}} = \left(\frac{\lambda l}{d} + \xi + \frac{\lambda k \mu}{d} + \xi k \mu + \beta \mu \right) \frac{\rho_{\text{П}} v_{\text{П}}^2}{2}, \quad (5)$$

де λ - коефіцієнт опору руху повітря по каналу; d - діаметр пневмоканалу, м; l - довжина найбільш протяжного пневмоканалу, м; ξ - сумарний коефіцієнт місцевих опорів руху повітря; k - коефіцієнт Гастерштадта; $\mu = g_{\text{М}}/g_{\text{П}}$ - коефіцієнт масової концентрації добрив в аеросуміші; β - коефіцієнт розгону матеріалу; $\rho_{\text{П}}$ - щільність повітря, кг/м³; $v_{\text{П}}$ - швидкість повітря в каналі, м/с.

Зважаючи на те, що:

$$\begin{aligned} g_{\text{М}_1} = g_{\text{М}_2} = g_{\text{М}_i} &= \frac{\sum_{i=1}^{2k} g_{\text{М}_i}}{2k} = \frac{W}{2k}; \\ g_{\text{П}_1} = g_{\text{П}_2} = g_{\text{П}_i} &= \frac{\sum_{i=1}^{2k} g_{\text{П}_i}}{2k} = \frac{Q_{\text{П}} \rho_{\text{П}}}{2k}; \\ \mu_1 = \mu_2 = \mu_i &= \frac{W}{\rho_{\text{П}} Q_{\text{П}}} = \frac{W_3}{\tau \rho_{\text{П}} Q_{\text{П}}}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $g_{\text{М}}$, $g_{\text{П}}$ - масові витрати відповідно матеріалу і повітря в каналі, кг/с; W - продуктивність за годину чистої роботи кг/с; W_3 - продуктивність за годину змінної роботи, кг/с; τ - коефіцієнт змінного часу; k - кількість рядів каналів.

Довжина каналу приблизно дорівнює $l = B_p / 2$ (рис. 1), а витрати повітря становлять:

$$Q_{\text{П}} = v_{\text{П}} S_k \cdot 2k = \frac{v_{\text{П}} \pi d^2 2k}{4} = \frac{v_{\text{П}} \pi d^2 k}{2}, \quad (7)$$

де S_k - площа поперечного перерізу каналу, м².

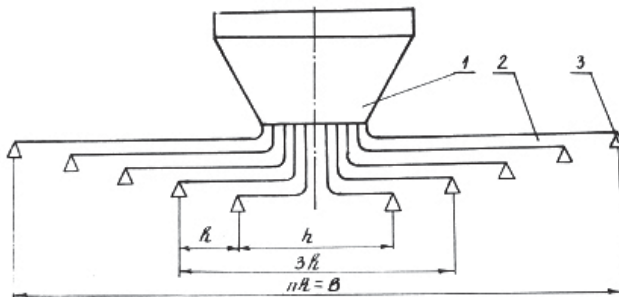


Рис. 1. Схема ПБТ: 1- бункер; 2 – пневмоканал; 3 - розпилювач
З рис. 1 видно, що:

$$k = \frac{n+1}{2}; \quad n = \frac{B_p}{h}; \quad k = \frac{B_p + h}{2h}, \quad (8)$$

де n - кількість інтервалів між розпилювачами на ширині захвату ПБТ;
 h - інтервал між суміжними розпилювачами, м.

Тоді з урахуванням виразів (7) і (8) отримаємо:

$$Q_{\Pi} = \frac{v_{\Pi} \pi d^2 (B + h)}{4h}. \quad (9)$$

З урахуванням виразу (9) рівняння (6) набуде вигляду:

$$\mu = \frac{4W_3 h}{\tau \rho_{\Pi} v_{\Pi} \pi d^2 (B + h)}. \quad (10)$$

Підставивши значення (10) в рівняння (5), а потім – у вираз (4), і враховуючи, що $B \gg h$, після спрощення отримаємо:

$$N_{\text{ВП}} = \frac{\lambda \rho_{\Pi} \pi d v_{\Pi}^3 B_p^2}{16h\eta} + \frac{\xi \rho_{\Pi} \pi d^2 v_{\Pi}^3 B_p}{8h\eta} + \frac{\lambda k W_3 v_{\Pi}^2 B_p}{4d\eta\tau} + \frac{\xi k W_3 v_{\Pi}^2}{2\eta\tau} + \frac{\beta W_3 v_{\Pi}^2}{2\eta\tau}. \quad (11)$$

Після підстановки значення (11) в (3) отримаємо:

$$0,65 N_e = f_k v_a (G_m + G_m) + \frac{\lambda \rho_{\Pi} \pi d v_{\Pi}^3 B_p^2}{16h\eta} + \frac{\xi \rho_{\Pi} \pi d^2 v_{\Pi}^3 B_p}{8h\eta} + \frac{\lambda k W_3 v_{\Pi}^2 B_p}{4d\eta\tau} + \frac{\xi k W_3 v_{\Pi}^2}{2\eta\tau} + \frac{\beta W_3 v_{\Pi}^2}{2\eta\tau}. \quad (12)$$

В той же час із відомого виразу для продуктивності за одиницю часу зміни:

$$W_3 = \frac{\tau B_p v_p H}{10^4}, \quad (13)$$

де H – доза внесення добрив, кг/га, отримаємо:

$$v_p = \frac{10^4 W_3}{\tau B_p H}, \quad (14)$$

і після підстановки останнього виразу в рівняння (12) отримаємо:

$$0,65N_e = \frac{10^4 f_\kappa W_3 (G_m + G_m)}{\tau B_p H} + \frac{\lambda \rho_\Pi \pi d v_\Pi^3 B_p^2}{16h\eta} + \frac{\xi \rho_\Pi \pi d^2 v_\Pi^3 B_p}{8h\eta} + \frac{\lambda k W_3 v_\Pi^2 B_p}{4d\eta\tau} + \frac{\xi k W_3 v_\Pi^2}{2\eta\tau} + \frac{\beta W_3 v_\Pi^2}{2\eta\tau}. \quad (15)$$

Позначивши у виразі (15) сталі величини:

$$\frac{10^4 f_\kappa (G_m + G_m)}{\tau H} = C_1; \quad \frac{\lambda \rho_\Pi \pi d v_\Pi^3}{16h\eta} = C_2; \quad \frac{\xi \rho_\Pi \pi d^2 v_\Pi^3}{8h\eta} = C_3;$$

$$\frac{\lambda k v_\Pi^2}{4d\eta\tau} = C_4; \quad \frac{\xi k v_\Pi^2}{2\eta\tau} = C_5; \quad \frac{\beta v_\Pi^2}{2\eta\tau} = C_6;$$

$$C_7 = C_5 + C_6 = \frac{\xi k v_\Pi^2}{2\eta\tau} + \frac{\beta v_\Pi^2}{2\eta\tau} = \frac{v_\Pi^2}{2\eta\tau} (\xi k + \beta),$$

отримаємо:

$$0,65N_e = \frac{C_1 W_3}{B_p} + C_2 B_p^2 + C_3 B_p + C_4 W_3 B_p + C_7 W_3, \quad (16)$$

звідки

$$W_3 = \frac{0,65N_e B_p - C_3 B_p^2 - C_2 B_p^3}{C_1 + C_7 B_p + C_4 B_p^2}. \quad (17)$$

Для більш повного аналізу поставленого завдання оптимізації робочої ширини захвату розглянемо вираз для прямих експлуатаційних витрат, які будуть мати місце при роботі агрегату для внесення добрив [3]:

$$I = Z + \Gamma + P + A + \Phi + M, \quad (18)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати, грн/кг; Z – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/кг; Γ – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн/кг; P – затрати на технічне обслуговування, поточне та капітальне ремонтування, грн/кг; A – затрати на амортизацію, грн/кг; Φ – затрати на допоміжні матеріали, грн/кг; M – затрати на зберігання, страхування та монтування, грн/кг.

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу визначаються з виразу:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n L_i t_i r_i k_D n_i}{W_3}, \quad (19)$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машин, люд, $L_i = 1$; t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год; r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці, грн/люд-год; k_D – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію; n_i – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату.

Затрати на паливно-мастильні матеріали:

$$\Gamma = \frac{\Pi \cdot \Pi_{\Pi} \cdot \Delta N_e}{W_3}, \quad (20)$$

де Π – питомі витрати пального трактором, кг/Вт·с; Π_{Π} – ціна одного кілограма пального, грн/кг; Δ – коефіцієнт використання потужності трактора; N_e – ефективна потужність двигуна трактора, Вт.

Затрати на капітальне, поточне ремонтування та технічне обслуговування:

$$P = \frac{K_{\sigma} B_T r_T}{W_3 T_T} + \frac{K_{\sigma} B_M r_M}{W_3 T_M}, \quad (21)$$

де B_T, B_M – балансова вартість відповідно трактора і машини, грн; r_T, r_M – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування відповідно трактора і машини; T_T, T_M – нормативне річне завантаження відповідно трактора і машини, год; K_{σ} – коефіцієнт.

Затрати на амортизацію становлять:

$$A = \frac{K_6 B_T a_T}{W_3 T_T} + \frac{K_6 B_M a_M}{W_3 T_M}, \quad (22)$$

де a_T, a_M – коефіцієнт відрахувань на амортизацію відповідно трактора і машини.

Затратами на допоміжні матеріали, зберігання, страхування та монтаж для спрощення подальших розрахунків нехтуємо через їх відносну незначимість.

Спрощуючи вираз (18) шляхом поєднання сталих величин, запишемо:

$$I = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{W_3} = \frac{K}{W_3}, \quad (23)$$

$$\text{де } K_1 = \sum_{i=1}^n L_i t_i r_i k_D n_i; \quad K_2 = ПЦ_{II} \cdot \Delta N_e; \quad K_3 = \frac{K_6 B_T r_T}{T_T} + \frac{K_6 B_M r_M}{T_M};$$

$$K_4 = \frac{K_6 B_T a_T}{T_T} + \frac{K_6 B_M a_M}{T_M}; \quad K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4.$$

Підставляючи вираз (17) в рівняння (23), отримаємо:

$$I = \frac{K(C_1 + C_7 B_p + C_4 B_p^2)}{0,65 N_e B_p - C_3 B_p^2 - C_2 B_p^3}. \quad (24)$$

У виразі (24) всі величини в її правій частині, крім ширини захвату B_p , мають сталі значення, тому, прирівнявши першу похідну прямих експлуатаційних витрат dI/dB до нуля, визначимо оптимальну робочу ширину захвату, при якій прямі експлуатаційні витрати будуть мінімальними:

$$\frac{dI}{dB} = K \frac{d}{dB} \left(\frac{C_1 + C_7 B_p + C_4 B_p^2}{0,65 N_e B_p - C_3 B_p^2 - C_2 B_p^3} \right). \quad (25)$$

Виконавши необхідні перетворення у виразі (25), отримаємо:

$$aB_{p.onm.}^4 + bB_{p.onm.}^3 + c_8 B_{p.onm.}^2 + dB_{p.onm.} - e = 0, \quad (26)$$

$$\text{де } a = C_2 C_4; \quad b = 2C_2 C_7; \quad c_8 = 0,65 C_4 N_e + 3C_1 C_2 + C_3 C_7; \quad d' = 2C_1 C_3; \quad e = 0,65 N_e C_1.$$

Вирішуючи рівняння (26) і нехтуючи коефіцієнтами b і d' в межах практичних значень робочої ширини захвату, остаточно запишемо:

$$B_{opt.} = \sqrt{\sqrt{\frac{C_8^2}{4} + e} - \frac{C_8}{2}}. \quad (27)$$

Для повного аналізу впливу робочої ширини захвату на основні фактори, які впливають на роботу машини, проаналізуємо вирази для змінної продуктивності, прямих експлуатаційних витрат і потужності на пневмотранспортування в залежності від робочої ширини захвату згідно відповідно виразів (16, 17, 24,) при наступних умовах:

Трактор, який агрегується – МТЗ-80: $L_i = 1$; $t_i = 7$ год.; $r_i = 7,95$ грн/люд-год; $k_{II} = 1,17$; $n_i = 1,375$; $C_{II} = 11,56$ грн/кг; $\Delta = 0,8$; $\Pi = 7 \cdot 10^{-8}$ кг/Вт·с; $\dot{N} = 58900$ Вт; $B_T = 165000$ грн; $B_M = 85000$ грн; $r_T = 0,11$; $r_M = 0,115$; $T_e = 1350$ год; $T_M = 450$ год; $K_{\delta} = 1,1$; $a_T = 0,1$; $a_M = 0,125$; $\tau = 0,6$; $\lambda = 0,022$; $d = 4 \cdot 10^{-2}$ м; $v_{II} = 30$ м/с; $K_{\delta} = 0,3$; $\beta = 0,3$; $\xi = 4,75$; $f_k = 0,12$; $\rho_{II} = 1,2$ кг/м³; $\eta_a = 0,5$; $H = 1000$ кг/га; $h = 0,5$ м; $G_T = 31000$ Н; $G_M = 75400$ Н (з добривами).

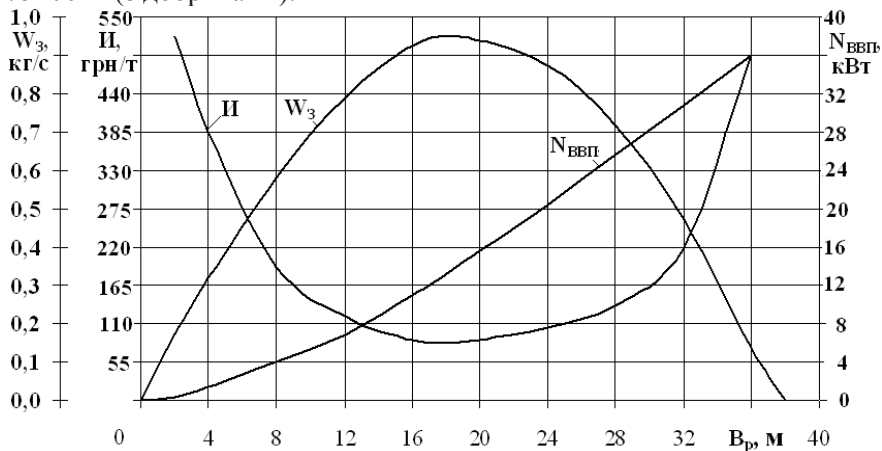


Рис. 2. Залежність змінної продуктивності W_3 , прямих експлуатаційних витрат II і споживаної вентилятором потужності $N_{ввп}$ від робочої ширини захвату ПБТ

Результати аналізу наведені на рис. 2, звідки видно, що криві W_3 , $II = f(B_p)$ мають явно виражений екстремум, який визначає оптимальну ширину захвату ПБТ, крайні ж значення величин W_3 і II мають місце при $B_p = 0$ і B_{pmax} . З рис. 2 також видно, що із збільшенням робочої ширини захвату потужність, яка витрачається на пневмотранспортування, зростає досить інтенсивно, що при робочій ширині захвату $v_p =$

37,8 м не дасть можливості двигуну трактора забезпечити його рух із робочою машиною.

Як позитивний момент, що витікає з рис.2, слід відзначити достатньо широкий діапазон прийнятної робочої ширини захвату ПБТ ($B = 15 - 25$ м), при якій прямі експлуатаційні витрати відрізняються від мінімальних не більше ніж на 7 %.

Аналіз даних, отриманих при інших параметрах і режимах роботи ПБТ, дав можливість виявити ряд закономірностей, притаманних цьому ПБТ.

Зокрема, оптимальна робоча ширина захвату зростає із збільшенням інтервалу між суміжними розпилювачами на ширині захвату, що пояснюється зменшенням витрат повітря на пневмотранспортування добрив, збільшенням концентрації аеросуміші в пневмоканалі і більш повним використанням енергії повітряного потоку.

Збільшення дози внесення добрив від 100 до 1000 кг/га зменшує оптимальну робочу ширину захвату, проте вона залишається достатньо високою (13,5 – 22,0 м). Прямі експлуатаційні витрати в діапазоні доз внесення 100 – 250 кг/га доволі різко знижуються, подальше збільшення доз внесення змінює ці витрати незначною мірою.

Збільшення масової місткості бункера в три рази (від 4000 кг до 12000 кг) призводить до зменшення оптимальної робочої ширини захвату і прямих експлуатаційних витрат лише на 10 – 30 %, що робить ПБТ придатним для роботи в широких діапазонах його застосування.

Висновки. Залежності змінної продуктивності ПБТ і прямих експлуатаційних витрат від його робочої ширини захвату мають явно виражений екстремум, який визначає оптимальну робочу ширину захвату. Із збільшенням робочої ширини захвату потужність на пневмотранспортування добрив зростає доволі інтенсивно, що при агрегуванні з трактором МТЗ-80 обмежує робочу ширину захвату в 37,8 м.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Вожик Ю.Г.* Шляхи підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив [Текст] / Ю.Г.Вожик // Механізація та електрифікація сільського господарства : республіканський міжвідомчий тематичний науково-технічний збірник, УНДІМЕСГ.- К.: Урожай, 1991.- Вип. 73.- С.20-24.
2. *Калинушкин М.П.* Вентиляторные установки [Текст] /М.П.Калинушкин.- М.: Высшая школа, 1979.- 223 с.
3. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробуван-

ня. ДСТУ 4397:2005 [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005.- 15 с.

**ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО
ТУКОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ**

Обоснованно експлуатаційні параметри пневматического многоканального тукораспределителя.

Ключевые слова: *пневматический многоканальный тукораспределитель, мощность, рабочая ширина захвата, доза внесения, интервал между распылителями, массовая емкость бункера, производительность, прямые эксплуатационные затраты*

**SUBSTANTIATION OF OPERATING PARAMETERS OF MULTI-
CHANNEL FERTILIZER SPREADER**

Operating parameters of multi-channel fertilizer spreader are substantiated.

Key words: *pneumatic multi-channel fertilizer spreader; capacity, operating width, rate of application, space between distributors, mass content of hopper; productivity, t operating costs.*