

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМИХ ЗАТРАТ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА**

*М. Пилипець, д. т. н., В. Паньків, здобувач  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

**Постановка проблеми.** Транспортні машини застосовують як транспортувальні механізми в галузі важкої промисловості, будівництві, сільськогосподарському виробництві тощо для переміщення насипних (вугілля, цемент, пісок, ґрунт, зерно, коренеплоди тощо) і штучних (цегла, пиломатеріали, труби тощо) вантажів [1; 3].

Машини безперервного транспорту є основою комплексної механізації вантажно-розвантажувальних і виробничих процесів, що значно підвищує продуктивність праці та ефективність виробництва. Вони дозволяють доцільно організувати потокові механізовані та автоматизовані виробничі процеси [9].

В аграрному секторі виробництва сільськогосподарських культур, переробній та харчовій галузях промисловості переважно використовують механічні конвеєри, специфіка застосування яких зумовлена наявністю широкої гами технологічних процесів збирання та переробки продукції. При цьому механічні конвеєри за ознакою своїх конструктивних особливостей можуть одночасно виконувати суміжні функції – змішування продуктів, дроблення матеріалів, їх дозування, сепарацію домішок тощо [2].

Удосконалення існуючих конструкцій гвинтових конвеєрів дозволяє істотно підвищити продуктивність та розширити функціональні можливості роботи транспортних механізмів, що сприяє подальшому розвитку виробництва.

Підвищення функціональних можливостей гвинтових механізмів або вдосконалення технологічного процесу транспортування досягають завдяки розробці комбінованих гвинтових конвеєрів (КГК), які забезпечують одночасне переміщення та подрібнення матеріалів.

Поставлені завдання вирішують на основі вдосконалення методології оптимізації технологічних показників процесу транспортування коренеплодів, параметрів і режимів роботи транспортних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз стану функціонування гвинтових транспортних механізмів [6; 8; 10] показав, що існують певні передумови для проведення подальших наукових робіт, які спрямовані на розробку та дослідження енергоощадних, багатофункціональних КГК, які забезпечують ефективне виконання суміжних операцій транспортування і одночасного подрібнення сировини з продуктів сільськогосподарського виробництва в процесі її переробки.

**Постановка завдання.** У загальному аспекті об'єктом дослідження макетного зразка КГК є технологічний процес одночасного переміщення та

подрібнення коренеплодів, а складовими компонентами – дослідження зміни затрат споживаної енергії залежно від конструктивно-технологічних параметрів структурних елементів КГК або основного робочого органа – шнекового конвеєра.

Для визначення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  КГК провели експериментальні дослідження макетного зразка лабораторної установки, конструктивну схему та загальний вигляд якої наведено на рис. 1. Будову та принцип роботи лабораторної установки наведено в праці [7].

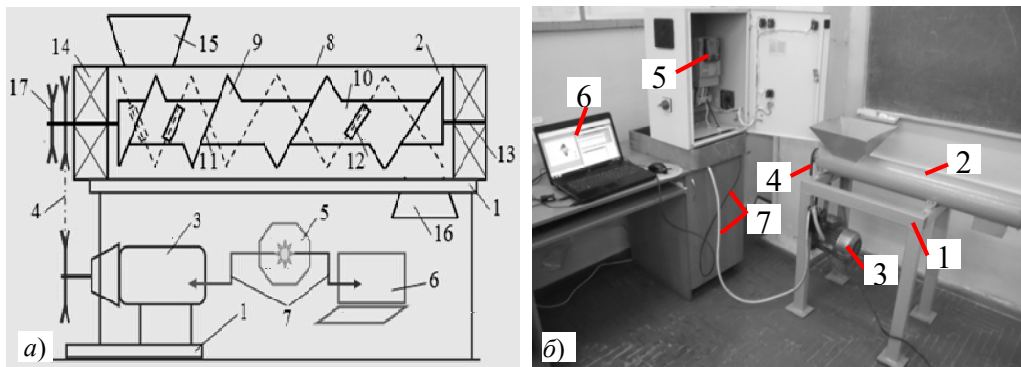


Рис. 1. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки: 1 – рама; 2 – комбінований ГК; 3 – електродвигун; 4 – клинопасова передача; 5 – керуючий пристрій Altivar 71; 6 – комп’ютер; 7 – комутаційне з’єднання; 8 – напрямна труба; 9 – шнековий конвеєр; 10 – барабан; 11 – спіральний виток; 12 – ніж; 13 – вал; 14 – підшипникова опора; 15, 16 – завантажувальна та вивантажувальна горловини; 17 – шків.

Експериментальні дослідження питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  провели на основі реалізації чотирифакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або планованого експерименту типу ПФЕ  $3^4$ , структурну схему моделі якого наведено на рис. 2.

При цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнека  $100 \leq n_k \leq 300$  об./хв; діаметр шнека  $0,12 \leq D_k \leq 0,2$  м; крок шнека  $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$  м, кут установлення ножа  $15 \leq \alpha_y \leq 45$  град.

Порядок побудови і реалізації експериментальних досліджень з визначення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$ , або функціональної залежності  $P_{ke} = f_p(x_1; x_2; x_3; x_4)$ , був таким: проводили кодування вхідних факторів ( $n_k \rightarrow x_1$ ,  $D_k \rightarrow x_2$ ,  $T_1 \rightarrow x_3$ ,  $\alpha_y \rightarrow x_4$ ) та визначали інтервал варіювання фактору; складали план-матрицю порядку проведення планованого чотирифакторного експерименту типу ПФЕ  $3^4$ , при цьому для зменшення кількості експериментів застосували схему некомпозиційного плану другого порядку Бокса-Бенкіна [9].



Рис. 2. Структурна схема моделі планованого експерименту типу ПФЕ 3<sup>4</sup>.

Загальний вигляд лабораторної установки в роботі наведено на рис. 3.

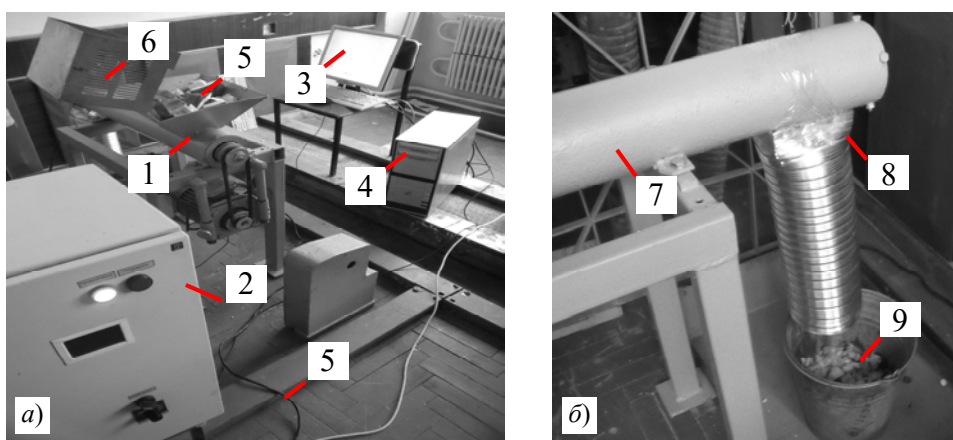


Рис. 3. Загальний вигляд: *a* – макетного зразка лабораторної установки в роботі; *б* – вивантажувальної горловини з подрібненими коренеплодами; 1 – КГК; 2 – керуючий пристрій Altivar 71; 3 – монітор; 4 – комп'ютер; 5 – комутаційне з'єднання; 6 – цілі коренеплоди; 7 – завантажувальна горловина; 8 – вивантажувальна горловина; 9 – подрібнені коренеплоди.

Методику проведення експериментальних досліджень наведено в [7], при цьому питомі затрати потужності  $P_{ke}$  КГК визначали за формулою

$$P_{ke} = K_z \cdot N_{ne} / 100 Q_{ke} L_k, \quad (1)$$

де  $K_z$  – коефіцієнт використання номінальної потужності електродвигуна під час проведення експерименту, %;

$N_{ne}$  – номінальна потужність електродвигуна макетного зразка лабораторної установки, кВт;

$Q_{ke}$  – продуктивність роботи КГК, кг/с;

$L_k$  – довжина робочої частини шнекового конвеєра, м.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення функціонального характеру зміни питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  КГК на першому етапі проведення експериментальних досліджень було встановлено закон функціонального розподілу значень випадкових величин  $P_{ke}$ .

Реалізацію даних досліджень здійснено за допомогою статистичної обробки отриманого масиву експериментальних даних генеральної вибірки, яку проведено згідно зі стандартною методикою [5].

Після статистичної обробки генеральної вибірки питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  КГК отримано числові значення середнього квадратичного відхилення  $\sigma_i$  та математичного сподівання  $\mu_i$ . Числові значення  $\sigma$  і  $\mu$  для питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Числові значення  $\sigma$  і  $\mu$

$P_{ke} = f(x_p)$	$\sigma$	$\mu$
	2,7	0,52

Перевірку адекватності характеру зміни випадкової величини емпіричному логнормальному закону розподілу питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  провели за критерієм відповідності  $K(\lambda)$  Колмогорова-Смирнова [4].

Після обробки генеральної вибірки та перевірки адекватності емпіричної моделі отримано функціональну залежність, яка описує диференціальний закон вірогідності щільності розподілу питомих затрат  $P_{ke}$ :

$$P_{ke} = f(x_p) = \frac{1}{2,7\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x_p - 0,52}{1,21}\right)^2}. \quad (2)$$

Графічна побудова, яку наведено на рис. 4, характеризує функціональну залежність зміни розподілу випадкових величин, або диференціальний закон розподілу питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  КГК на основі обробки генеральної вибірки.

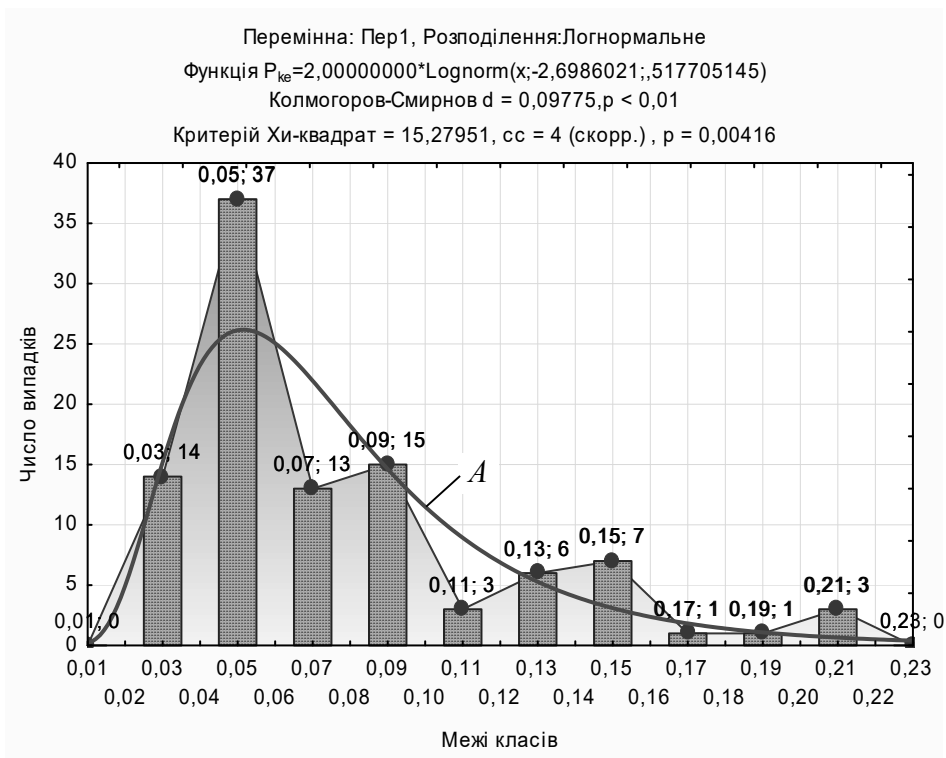


Рис. 4. Гістограма та полігон щільності розподілу питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$

Аналіз побудованих гістограм і полігону щільності розподілу випадковості процесу питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  КГК показує, що диференціальний закон щільності розподілу  $P_{ke}$  близький до нормального та описується кривою  $A$  (див. рис. 4).

Встановлено, що домінуючі значення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  лежать у діапазоні від 0,03 до 0,09 кВт с/кг м, при цьому частота спостережень є такою: для  $P_{ke}=0,03$  кВт с/кг м – 14 випадків; для  $P_{ke}=0,05$  кВт с/кг м – 25 випадків; для  $P_{ke}=0,07$  кВт с/кг м – 13 випадків; для  $P_{ke}=0,09$  кВт с/кг м – 15 випадків.

Апроксимуючу функцію в натуральних величинах, яка функціонально описує затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  залежно від змінних вхідних факторів, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі повного полінома другого степеня:

$$P_{ke} = b_0 + b_1 n_k + b_2 D_k + b_3 T_1 + b_4 \alpha_y + b_{12} n_k D_k + b_{13} n_k T_1 + b_{14} n_k \alpha_y + b_{23} D_k T_1 + b_{24} D_k \alpha_y + b_{34} T_1 \alpha_y + b_{11} n_k^2 + b_{22} D_k^2 + b_{33} T_1^2 + b_{44} \alpha_y^2, \quad (3)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}$  – коефіцієнти відповідних значень змінних вхідних факторів.

Розраховані натуральні числові значення коефіцієнтів рівняння регресії (3) наведено у табл. 2. Було встановлено, що коефіцієнти рівняння регресії  $b_{12} = 0,22 \cdot 10^{-2}$ ,  $b_{14} = 0,48 \cdot 10^{-5}$ ,  $b_{24} = 0,82 \cdot 10^{-2}$ ,  $b_{11} = 0,77 \cdot 10^{-6}$  є незначущими, тобто ними можна знехтувати.

Таблиця 2

Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії зміни затрат споживаної потужності  $P_{ke}$

$P_{ke} = f_P(n_k; D_k; T_1; \alpha_y)$	Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії			
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
	1,26	-0,11 $10^{-2}$	-7,59	-5,04
	$b_4$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$
	-0,88 $10^{-2}$	0,22 $10^{-2}$	0,66 $10^{-3}$	0,48 $10^{-5}$
	$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{34}$	$b_{11}$
	22,92	0,82 $10^{-2}$	0,33 $10^{-2}$	0,77 $10^{-6}$
	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_{44}$	
12,25	3,05	0,97 $10^{-4}$		

Після перевірки адекватності апроксимуючої моделі і оцінки значущості коефіцієнтів рівняння регресії (2) та переходу від кодованих факторів до натуральних величин отримано рівняння регресії зміни  $P_{ke}$ :

$$P_{ke} = 1,26 - 0,11 \cdot 10^2 n_k - 7,59 D_k - 5,04 T_1 - 0,88 \cdot 10^{-2} \alpha_y + 0,66 \cdot 10^{-3} n_k T_1 + 22,92 D_k T_1 + 12,25 D_k^2 + 3,05 T_1^2 + 97 \cdot 10^{-4} \alpha_y^2. \quad (4)$$

Аналіз рівняння регресії (4) і побудованої згідно з ним поверхні відгуку (рис. 5, а, 7, а) та її двомірного перерізу (рис. 5, б, 7, б) у вигляді функціонала  $P_{ke} = f_P(n_k; D_k)$ ,  $P_{ke} = f_P(D_k; T_1)$ ,  $P_{ke} = f_P(T_1; \alpha_y)$  показує, що основний масив апроксимованих експериментальних значень питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  лежить у межах: відносно характеру зміни частоти обертання  $n_k$  та діаметра  $D_k$  шнекового конвеєра – у межах 0,03...0,16 кВт с/кг м, або 108...576 кВт год/кг м; відносно характеру зміни  $D_k$  та кроку першого спірального витка  $T_1$  шнекового конвеєра – у межах 0,03...0,17 кВт с/кг м, або

108...612 кВт год/кг м; відносно характеру зміни  $T_1$  та кута установлення ножа  $\alpha_y$ ,  
 – у межах 0,025...0,11 кВт с/кг м, або 90...396 кВт год/кг м.

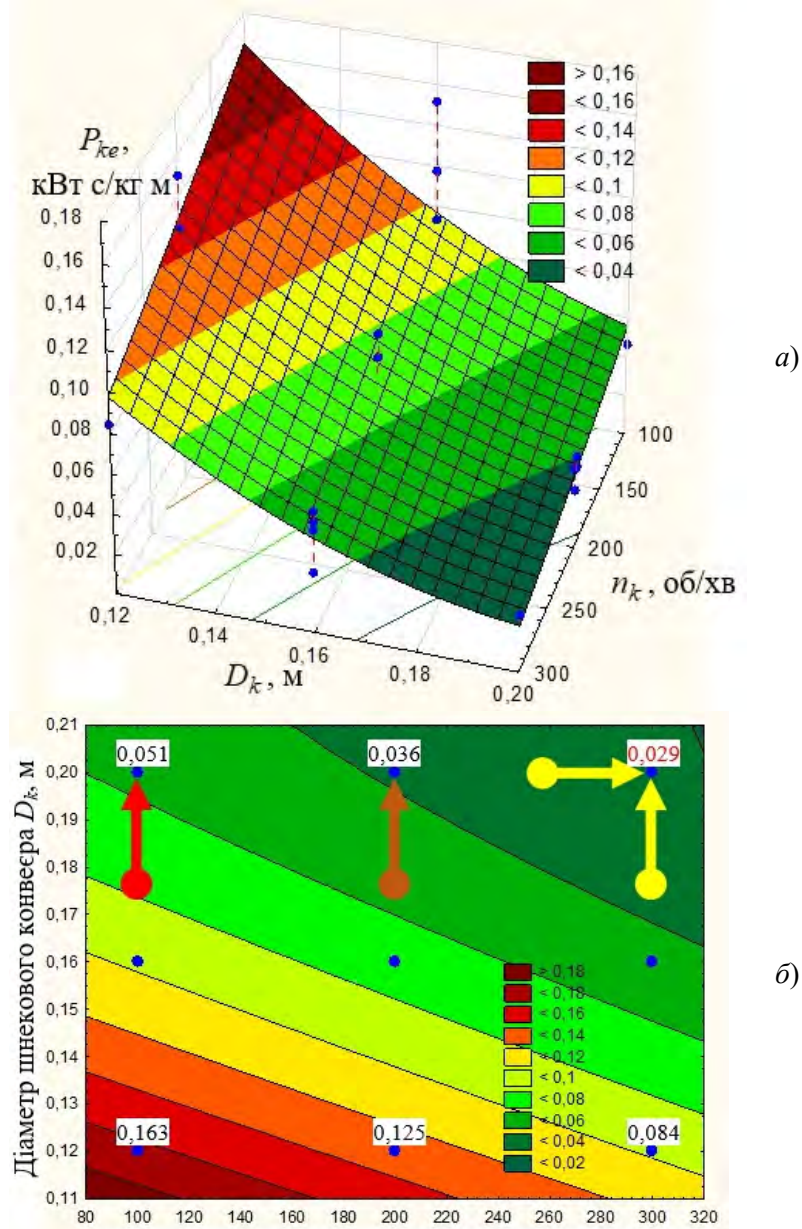
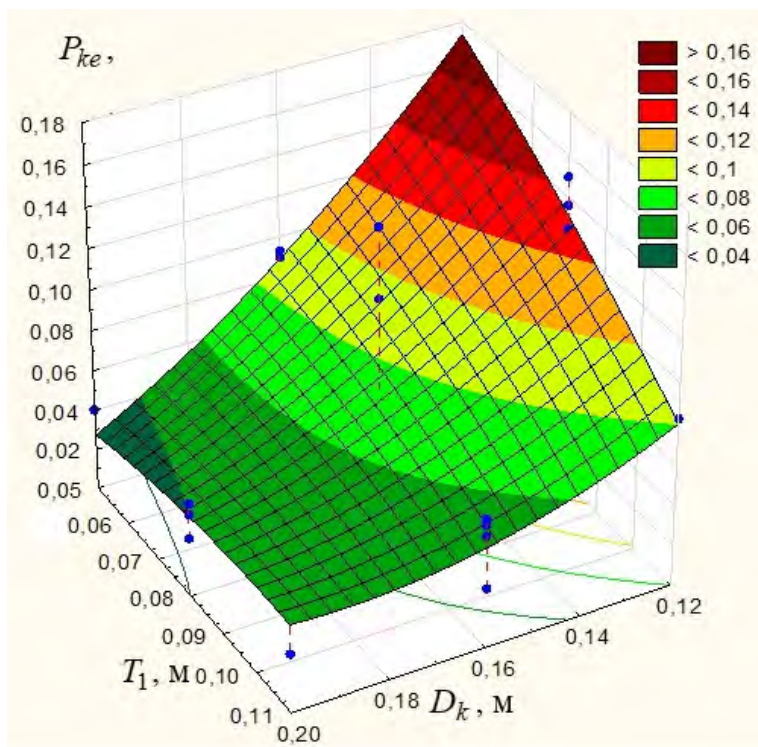
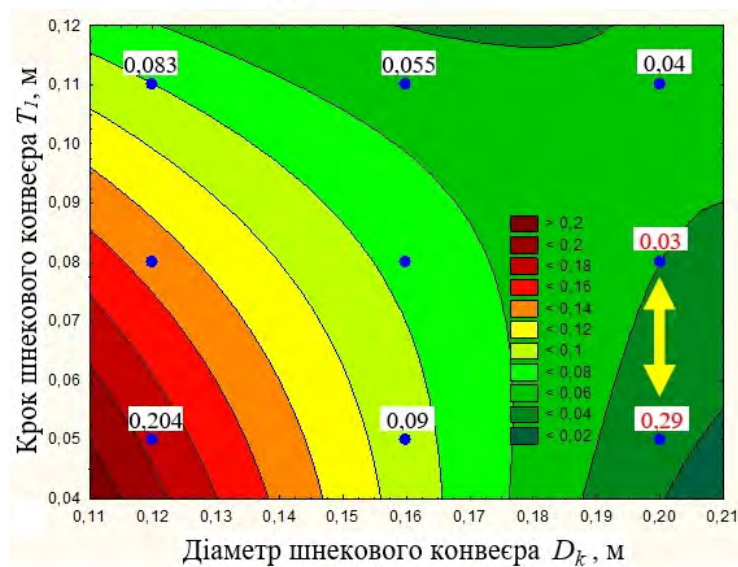


Рис. 5. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз (б) поверхні відгуку зміни затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  як функціонал  $P_{ke} = f_p(n_k; D_k)$ .



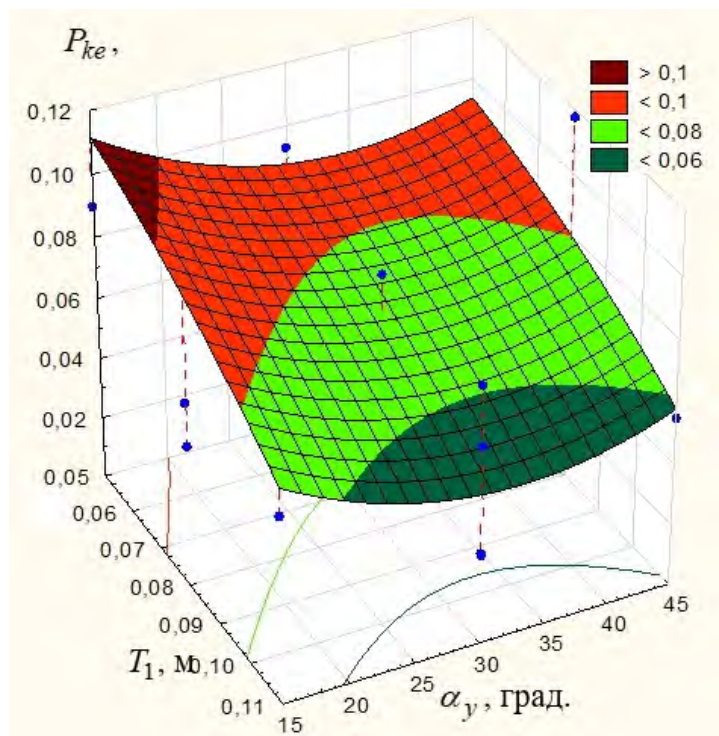
a)



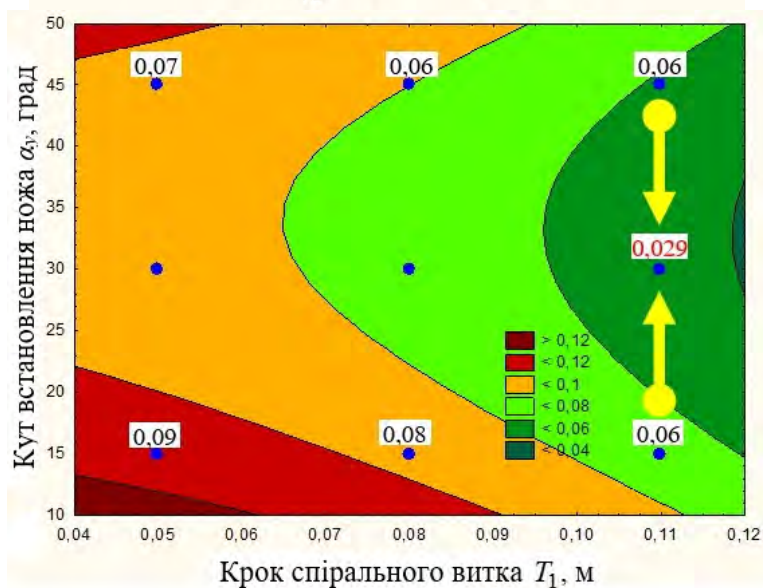
b)

Рис. 6. Поверхня відгуку (a) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку зміни затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  як функціонал  $P_{ke} = f_p(D_k; T_1)$ .





a)



б)

Рис. 7. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз (б) поверхні відгуку зміни затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  як функціонал  $P_{ke} = f_p(T_1; \alpha_y)$ .

Функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  залежно від зміни частоти обертання  $n_k$  і діаметра  $D_k$  шнекового конвеєра має пропорційний зворотний характер – за збільшення частоти обертання  $n_k$  та діаметра  $D_k$  шнекового конвеєра питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  зменшуються пропорційно збільшенню  $n_k$  і  $D_k$  (рис. 8, а).

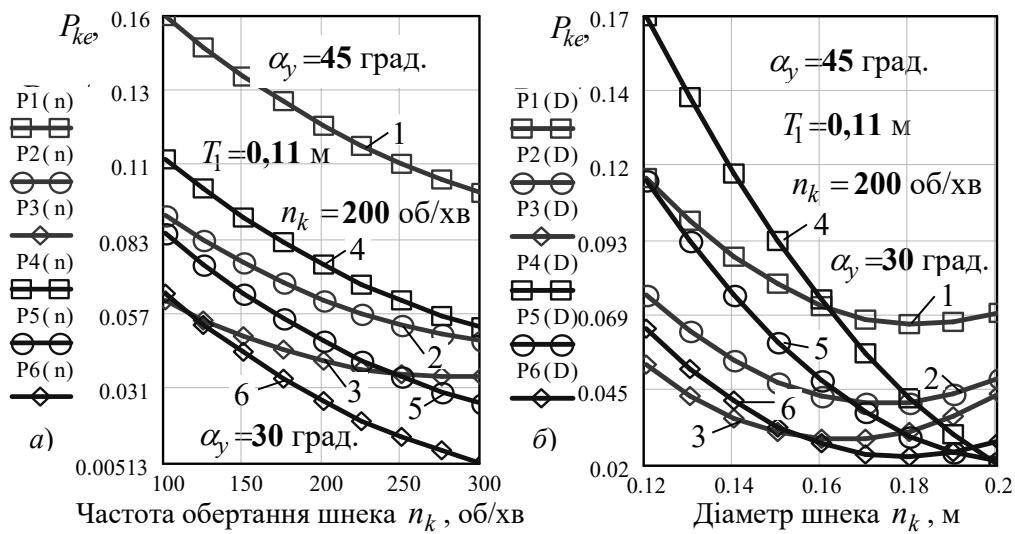


Рис. 8. Залежність зміни питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$

як функціонал: а –  $P_{ke} = f_p(n_k)$ , 1, 2, 3 –  $D_k = 0,12; 0,16; 0,2$  м; 4, 5,

6 –  $T_1 = 0,05; 0,08; 0,11$  м; б –  $P_{ke} = f_p(D_k)$ : 1, 2, 3 –  $n_k = 100; 200; 300$  об./хв; 4, 5, 6 –  $T_1 = 0,05; 0,08; 0,11$  м.

Зворотний характер функціональної залежності зменшення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  відносно збільшення частоти обертання  $n_k$  та діаметра  $D_k$  шнекового конвеєра є прямим наслідком збільшення продуктивності роботи  $Q_{ke}$  згідно з (1). При цьому в межах зростання частоти обертання  $n_k$  шнекового конвеєра  $100 \leq n_k \leq 300$  об./хв питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК зменшуються в середньому на  $0,03 \dots 0,06$  кВт с/кг м залежно від відповідного значення діаметра шнекового конвеєра  $D_k$  (див. рис. 8, а).

Домінуючим фактором, який має суттєвий вплив на параметр оптимізації  $P_{ke}$ , тобто збільшення якого призводить до значного зменшення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$ , є діаметр  $D_k$  шнекового конвеєра – за збільшення  $D_k$

від 0,12 до 0,2 м питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  зменшуються в середньому на 0,06...0,1 кВт с/кг м (216...360 кВт год/кг м). Найбільш вагоме зменшення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  відносно збільшення діаметра шнекового конвеєра  $D_k$  отримано за значення кроку першого спірального витка  $T_1 = 0,05$  м, при цьому питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  зменшуються у 8,5 раза – від 0,17 кВт с/кг м за  $D_k = 0,12$  м до 0,02 кВт с/кг м за  $D_k = 0,2$  м (крива 4 P4(D), рис. 8, б).

На основі аналізу двомірного перерізу (див. рис. 5, б) встановлено, що найменші значення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke} = 0,029$  кВт с/кг м (104 кВт год/кг м) макетного зразка КГК отримано за частоти обертання  $n_k = 300$  об./хв та діаметра  $D_k = 0,2$  м шнекового конвеєра.

Функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК залежно від кроку першого спірального витка  $T_1$  шнекового конвеєра має зворотний пропорційний характер – за збільшення  $T_1$  шнекового конвеєра в межах  $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$  м питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  зменшуються пропорційно збільшенню  $T_1$  за рахунок збільшення продуктивності роботи  $Q_{ke}$  комбінованого ГТ (див. рис. 6). Найбільш вагоме зменшення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  відносно збільшення кроку першого спірального витка  $T_1$  шнекового конвеєра отримано за значення діаметра шнекового конвеєра  $D_k = 0,12$  м, при цьому  $P_{ke}$  зменшуються в три рази – від 0,15 кВт с/кг м за  $D_k = 0,12$  м до 0,05 кВт с/кг м за діаметра шнекового конвеєра  $D_k = 0,2$  м і кута встановлення ножа  $\alpha_y = 45$  град. (крива 1 P1(T) рис. 8, б).

На основі аналізу двомірного перерізу (див. рис. 6, б) встановлено, що найменші значення  $P_{ke} = 0,029...0,03$  кВт с/кг м (104...108 кВт год/кг м) отримано за кроку першого спірального витка  $T_1$  шнекового конвеєра у межах  $0,05 \leq T_1 \leq 0,08$  м та діаметра шнекового конвеєра  $D_k = 0,2$  м.

Функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК залежно від кута встановлення ножа-подрібнювача  $\alpha_y$  має двоякий характер (рис. 9):

- за збільшення кута  $\alpha_y$  у межах від 15 до 30 град. питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  значно зменшуються – від  $P_{ke} = 0,08...0,086$  до значення

$P_{ke}=0,05\dots0,056$  кВт с/кг м, тобто питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  зменшуються в середньому в 1,5 раза;

- подальше збільшення кута встановлення ножа  $\alpha_y$  від 30 до 45 град. призводить до зростання питомих затрат споживаної потужності до значення  $P_{ke}=0,058\dots0,065$  кВт с/кг м, або питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  зростають у середньому в 1,15 раза.

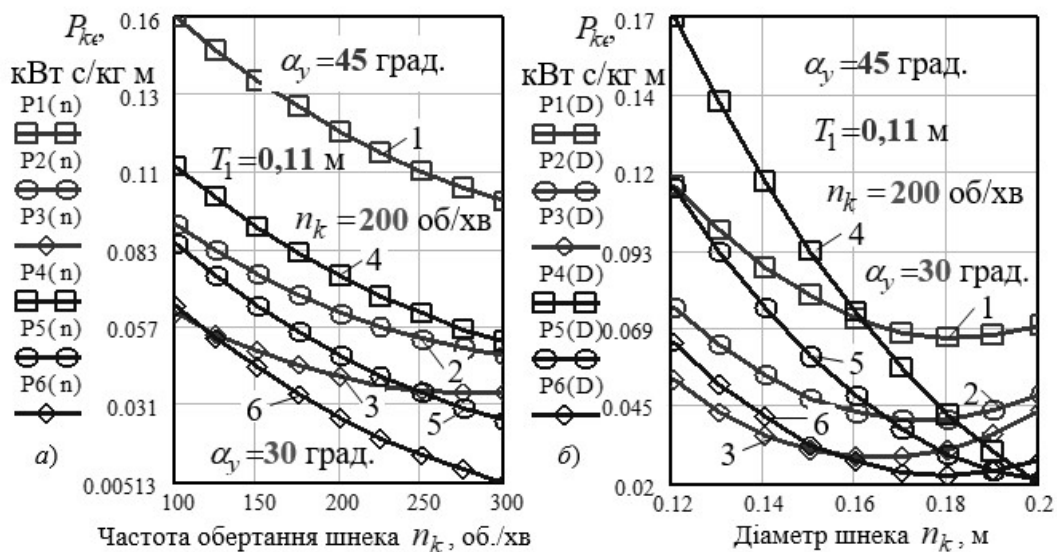


Рис. 9. Залежність зміни питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$

комбінованого ГТ як функціонал  $P_{ke} = f_p(\alpha_y)$ :

$a - 1, 2, 3 - T_1 = 0,05; 0,08; 0,11$  м;  $b - 1, 2, 3 - n_k = 100; 200; 300$  об./хв.

На основі аналізу двомірного перерізу (див. рис. 7) встановлено, що найменші значення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke} = 0,029$  кВт с/кг (104 кВт год/кг м) отримано за  $\alpha_y = 30$  град., кроку першого спірального витка  $T_1 = 0,11$  м та частоти обертання шнекового конвеєра  $n_k = 300$  об./хв, що також характерно для аналізу кривої 3 P6(a) (див. рис. 9, б).

**Висновки.** Аналіз графічних побудов (див. рис. 6–9) показує, що функціональна зміна питомих затрат споживаної потужності макетного зразка КГК залежно від дії вхідних змінних факторів має виражений оптимум: мінімальні значення функції відгуку  $P_{ke} = 0,029\dots0,04$  кВт с/кг, яку записано у вигляді функціонала  $P_{ke} = f_p(n_k; D_k; T_1; \alpha_y)$ , забезпечуються за значень діапазону зміни частоти обертання  $n_k = 200\dots300$  об./хв, діаметра  $D_k = 0,2$  м, кроку першого

спірального витка шнекового конвеєра  $T_1 = 0,08 \dots 0,11$  м та кута встановлення ножа  $\alpha_y = 30$  град.

Провівши оптимізаційний розрахунок рівняння регресії (4) за допомогою методу подвійного взяття похідної та згідно з графічними побудовами двовірних перерізів (див. рис. 5, б – 7, б) ми встановили, що для даних умов протікання технологічного процесу одночасного транспортування та подрібнення коренеплодів питомі затрати споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК набувають мінімального значення за  $n_k = 300$  об./хв,  $D_k = 0,2$  м,  $T_1 = 0,11$  м,  $\alpha_y = 30$  град.

Критерій оптимізації апроксимованого числового значення питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК, який розрахований за допомогою рівняння регресії (4) у цій точці, складає  $P_{ke_{min}} = 0,029$  кВт с/кг або 104 кВт год/кг м.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК можна констатувати, що його раціональне функціонування у аспекті забезпечення мінімальних питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke} \rightarrow \min$  досягається за таких параметрів: частота обертання шнекового конвеєра  $n_k = 300$  об./хв; діаметр шнекового конвеєра  $D_k = 0,2$  м; крок першого спірального витка шнекового конвеєра  $T_1 = 0,11$  м; кут встановлення ножа-подрібнювача  $\alpha_y = 30$  град.

Отримані результати експериментальних досліджень питомих затрат споживаної потужності  $P_{ke}$  макетного зразка КГК є подальшим кроком у розвитку методології та методики оптимізації параметрів і режимів роботи удосконалених комбінованих гвинтових транспортних механізмів. Вони можуть бути застосовані спеціалістами спеціалізованих конструкторських бюро під час розробки нових або удосконалення існуючих КГК.

### Бібліографічний список

1. Вайсон А. А. Подъёмно-транспортные машины. Москва : Машиностроение, 1975. 431 с.
2. Гевко І., Любачівський Р., Дячун А. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2012. № 16. С. 237–246.
3. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 307 с.
4. Крутов В. И., Попов В. В. Основы научных исследований / под ред. В. И. Крутова. Москва : Высш. шк., 1989. 363 с.
5. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. Москва : Мир, 1972. 374 с.
6. Рогатинський Р., Гевко І. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями. *Вісник ТНТУ*. 2012. № 3 (67). С. 197–210.

7. Пилипець М. І., Паньків В. Р. Методологія проведення експериментальних досліджень комбінованого гвинтового транспортера. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2017. № 60. С. 187–192.
8. Рогатинський Р., Гевко І., Рогатинська Л. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. *Вісник ТНТУ*. 2013. № 1 (69). С. 123–230.
9. Hevko R. B., Klendiy O. M. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation. *INMATEH – Agricultural engineering*. 2014. Vol. 42, No.1. P. 55–60.
10. Hevko R. B., Dzyura V. O., Romanovsky R. M. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. *INMATEH – Agricultural engineering*. 2014. Vol. 44, No. 3. P. 103–110.

**Пилипець М., Паньків В. Експериментальні дослідження питомих затрат споживаної потужності комбінованого гвинтового конвеєра**

Гвинтові конвеєри як транспортні механізми застосовуються в аграрно-промисловому комплексі, переробній та харчовій галузях промисловості. Удосконалення існуючих конструкцій гвинтових конвеєрів та обґрунтування їх раціональних параметрів і режимів роботи дозволяє істотно розширити функціональні спроможності та можливості виконання технологічних операцій. Наведено результати експериментальних досліджень макетного зразка комбінованого гвинтового конвеєра, який виконано у вигляді напямної труби, усередині якої розміщено шнековий конвеєр, між витками якого встановлено ножи-подрібнювачі. За результатами експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну питомих затрат споживаної потужності комбінованого гвинтового конвеєра залежно від параметрів шнекового конвеєра. Встановлено, що в межах варіювання вхідних факторів (частоти обертання  $100 \leq n_k \leq 300$  об./хв; діаметра шнекового конвеєра  $0,12 \leq D_k \leq 0,2$  м; кроку шнека  $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$  м) питомі затрати споживаної потужності знаходяться в діапазоні від 108 до 612 кВт год/кг м. Результати досліджень є подальшим кроком з розробки методики обґрунтування параметрів транспортних машин.

**Ключові слова:** шнековий конвеєр, транспортування, подрібнення коренеплодів, планований експеримент, вхідні фактори, рівняння регресії, конструктивно-кінематичні параметри.

**Pylypets M., Pankiv V. Experimental researches of specific power unit costs of combined screw conveyor**

Screw conveyors as transport mechanisms are used in agro-industrial complex, processing and food industries. Improving the existing designs of screw conveyors and justifying their rational parameters and operating modes can significantly expand the functional and technological operations capabilities. Are shown the results of experimental research of the combined screw conveyor prototype. Which is executed in the form of a guide tube, in the middle of which placed screw conveyor, between which turns are installed knife-shredders. This equation characterizes the change of input power combined screw conveyor depending on the parameters of the screw conveyor. It is

established that within the variation of input factors (rotation frequency  $100 \leq n_k \leq 300$  rpm; diameter of the screw conveyor  $0,12 \leq D_k \leq 0,2$  m; screw step  $0,05 \leq T_1 \leq m$ ) specific costs of consumer power are in range from 108 to 612 kWh/kg m. The results of the research are further step on developing a methodology for justifying transport parameters conveyors.

**Key words:** screw conveyor, transportation, root crops shredding, planned experiment, input factors, regression equation, structural and kinematic parameters.

**Пилипец М., Панькив В. Экспериментальные исследования удельных затрат потребляемой мощности комбинированного винтового конвейера**

Винтовые конвейеры как транспортные механизмы применяются в аграрно-промышленном комплексе, перерабатывающей и пищевой отраслях промышленности. Совершенствование существующих конструкций винтовых конвейеров и обоснование их рациональных параметров и режимов работы позволяет существенно расширить функциональные возможности и возможности выполнения технологических операций. Приведены результаты экспериментальных исследований макетного образца комбинированного винтового конвейера, выполненный в виде направляющей трубы, внутри которой размещен шнековый конвейер, между витками которого установлены ножи-измельчители. По результатам экспериментальных исследований получено уравнение регрессии, характеризующее изменение удельных затрат потребляемой мощности комбинированного винтового конвейера в зависимости от параметров шнекового конвейера. Установлено, что в пределах варьирования входных факторов (частоты вращения  $100 \leq n_k \leq 300$  об./мин; диаметра шнекового конвейера  $0,12 \leq D_k \leq 0,2$  м; шага шнека  $0,05 \leq T_1 \leq 0,11$  м) удельные затраты потребляемой мощности находятся в диапазоне от 108 до 612 кВт ч/кг м. Результаты исследований являются дальнейшим шагом в разработке методики обоснования параметров транспортных машин.

**Ключевые слова:** шнековый конвейер, транспортировка, измельчение корнеплодов, планируемый эксперимент, входные факторы, уравнение регрессии, конструктивно-кинематические параметры.