

## ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ І ПРИЧЕПІВ- ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ

**С.Г. Фришев, доктор технічних наук**  
**М.В. Сєнчев, інженер**

*Встановлено аналітичні залежності для визначення раціональних параметрів взаємодії зернозбиральних комбайнів і причепів-перевантажувачів при груповій їх роботі.*

**Зернозбиральні комбайни, причепи-перевантажувачі, продуктивність, аналітична залежність, раціональні параметри.**

**Постановка проблеми.** Відомі загальні підходи формування складу комплексів машин під час застосування перевантажувальної збирально-транспортної технології (ЗТТ) з використанням причепів-перевантажувачів (ПП). Зміни умов роботи комплексів, а також організація групової форми їх роботи потребують коректування їх параметрів.

Тому дослідження впливу зміни цих умов на формування раціональних параметрів комплексу є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень.** Розроблена раніше методика визначення кількісного та якісного складу збирально-транспортних комплексів не відображає повної картини взаємодії комбайнів з перевантажувачами, оскільки не урахує зміну умов роботи на різних зернових масивах (урожайність, площу поля, різну кількість одиниць техніки комплексу, їх технічну характеристику) і не дає можливість всебічної оцінки роботи зернозбиральних комбайнів (ЗК) [1]. Вказані фактори суттєво впливають на використання потенціальної можливості ланцюга «ЗК – ПП».

**Мета досліджень.** Підвищити продуктивність транспортування зерна від комбайнів шляхом обґрунтування раціональних параметрів взаємодії ЗК і ПП.

**Результати досліджень.** Ефективність роботи ПП, як центральної ланці у ланцюзі «ЗК – ПП – великовантажні автотранспортні засоби (АТЗ)», визначається раціональною кількістю ЗК ( $m_{кп}$ ), які обслуговуються кожним із ПП, що входять до складу збирально-транспортного комплексу (ЗТК). В свою чергу кількість ЗК, які обслуговуються кожним із ПП, є кількість бункерів зерна комбайнів, що завантажуються в кузов кожного причепа.

Для визначення кількості ЗК, які обслуговуються причепом-перевантажувачем, розглянемо технологічний ланцюг взаємодії ЗК і ПП. Після завантаження першого бункера зерна від ЗК ПП рухається до наступних комбайнів, які ним обслуговуються, завантажуються зерном, їде до краю поля, розвантажуються в кузов АТЗ та повертається до першого розвантаженого ЗК для чергового завантаження.

Для цієї технологічної послідовності складемо баланс часу, який має наступний вигляд:

$$t_{\Pi} - t_{3AB} + t_{PO3} = t_B + t_X, \quad (1)$$

де  $t_{\Pi}$  – сума наступних складових часу роботи ПП: тривалість переїздів по полю, тривалість очікування завантаження бункерів зерна від групи ЗК та час завантаження. Згідно досліджень [2,3] встановлена така емпірична залежність:

$$t_{\Pi} = 0,08 + 0,12\rho_{\Pi}, \text{ год.}, \quad (2)$$

де  $\rho_{\Pi}$  – кількість бункерів зерна, що завантажуються в ПП за одну його їздку, яка дорівнює кількості одиниць ЗК ( $m_{\text{КП}}$ ), які обслуговуються одним ПП:

$$\rho_{\Pi} = m_{\text{КП}}, \text{ од.}, \quad (3)$$

$t_{3AB}$  – тривалість завантаження в ПП зерна з бункера ЗК:

$$t_{3AB} = \frac{\omega_K d_B}{W_{\text{ШК}}}, \text{ год.} \quad (4)$$

$\omega_K$  – об'єм бункера комбайна,  $\text{м}^3$ ;

$d_B$  – об'ємна маса зерна,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$W_{\text{ШК}}$  – продуктивність вивантажувального шнека ЗК,  $\text{т}/\text{год.}$ ;

$$t_{PO3} = \frac{K_p \omega_K d_B \rho_{\Pi}}{W_{\text{ШП}}}, \text{ год.} \quad (5)$$

$K_p$  – коефіцієнт, що враховує додатковий час на маневрування ПП при розвантаженні ПП;

$W_{\text{ШП}}$  – продуктивність вивантажувального шнека ПП,  $\text{т}/\text{год.}$ ;

$t_B$  – час заповнення бункера комбайна:

$$t_B = \frac{\omega_K \cdot d_B}{W_{\text{КР}}}, \text{ год.}; \quad (6)$$

$W_{\text{КР}}$  – продуктивність ЗК за годину робочого (основного) часу,  $\text{т}/\text{год.}$ ;

$t_X$  – тривалість холостих ходів на поворотах, яка припадає на 1 цикл роботи комбайна (заповнення бункера зерном), визначається як

$$t_X = \frac{t_B(1-\varphi)}{\varphi}, \quad (7)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт робочих ходів, величина якого за даними досліджень прийнята як  $\varphi = 0,85$  для середньої довжини гонів 1000 м.

З урахуванням складових рівняння (1) та (2-7) одержимо наступний вираз:

$$0,08 + 0,12\rho_{\Pi} - \frac{\omega_K d_B}{W_{\text{ПП}}} + \frac{K_P \omega_K d_B \rho_{\Pi}}{W_{\text{ПП}}} = \frac{\omega_K d_B}{W_{\text{КР}\varphi}}. \quad (8)$$

Звідси отримаємо:

$$\rho_{\Pi} = m_{\text{КП}} = \text{INT} \frac{\omega_K d_B \left( \frac{1}{W_{\text{КР}\varphi}} + \frac{1}{W_{\text{ПП}}} \right) - 0,08}{0,12 + \frac{K_P \omega_K d_B}{W_{\text{ПП}}}}, \text{ од.} \quad (9)$$

де INT – функція, яка повертає найближче менше ціле значення.

На підставі даного рівняння та застосування даних інформаційного базису для ланцюга «ЗК – ПП» ЗТК (табл. 1), у якому класифіковано по групах основні параметри машин, нами побудовано графічну залежність  $\rho_{\Pi}$  та  $m_{\text{КП}}$  від  $W_{\text{КР}}$  (рис. 1).

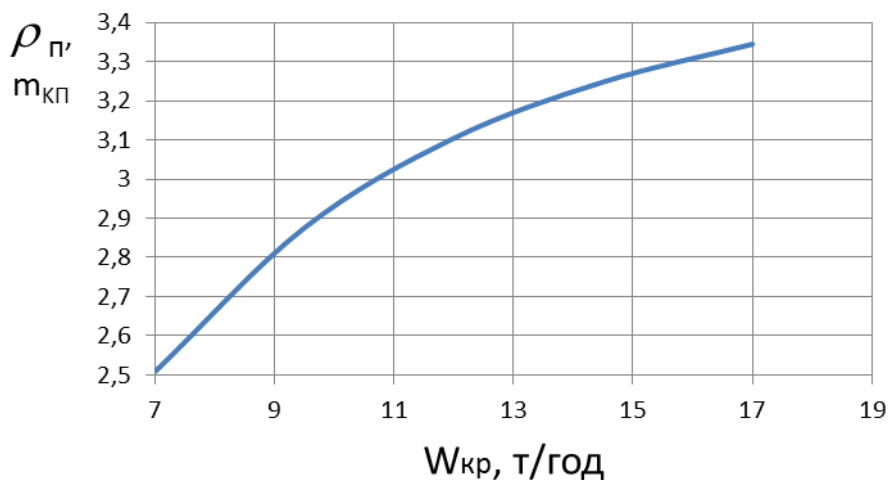


Рис. 1 Залежність кількості бункерів зерна  $\rho_{\Pi}$ , од., що завантажується в ПП за одну його їзду, а також кількості ЗК  $m_{\text{КП}}$ , які обслуговуються одним ПП, від продуктивності ЗК  $W_{\text{КР}}$ .

З графіку видно, що кількість бункерів зерна  $\rho_{\Pi}$ , що завантажується в ПП за одну його їзду, також як і кількість ЗК  $m_{\text{КП}}$ , які обслуговуються одним ПП, збільшується з 2 (2,5) до 3 (3,35) із зростанням продуктивності ЗК  $W_{\text{КР}}$  з 7 до 17 т/год. Це обумовлено одночасним збільшенням місткості бункерів ЗК з 3,0 до 10,5 м<sup>3</sup>, що дозволяє мати додатковий час для обслуговування причепом ще одного ЗК. Таким чином загальна кількість обслуговування причепом певного числа ЗК збільшується із зростанням продуктивності ЗК і місткості бункера ЗК.

Розглянемо більш детально вплив цих параметрів в широкому діапазоні їх зміни. На рис. 2 показана графічна залежність (9) кількості бункерів зерна  $\rho_{\Pi}$ , од., що завантажується в ПП за одну

його їздки, а також кількості ЗК  $m_K$ , які обслуговуються одним ПП, від місткості бункера ЗК в діапазоні від 3 до 13  $m^3$  для ЗК з певною продуктивністю  $W_{кр} = 9,5; 12,0; 14,5$  та 17 т/год.

### 1. Інформаційний базис ланцюга «ЗК – ПП» ЗТК.

| Група (№, назва)            | № параметру в групі | Умовне позн.       | Назва параметра й одиниця виміру                           | Значення параметрів певних рівнів |         |         |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|--|-----------------------------------|---------|---------|
|                             |                     |                    |  | 1                                 | 2       | 3       |
| I. Зерно-збиральний комбайн | 1                   | $W_{кр}$           | номінальна продуктивність, т/год.                          | 7                                 | 12      | 17      |
|                             | 2                   | $\omega_K/q_K$     | місткість, $m^3$ / вантажопідйомність зернового бункера, т | 3/2,25                            | 7/5,25  | 11/8,25 |
|                             | 3                   | $W_{шк}$           | продукт. вивантажув. шнека, т/год.                         | 45                                | 194     | 325     |
| II. Причеп-перевантажувач   | 1                   | $\omega_{П}/q_{П}$ | місткість, $m^3$ / вантажопідйомність ПП, т                | 20/15                             | 30/22,5 | 40/30   |
|                             | 2                   | $W_{шп}$           | продукт. вивантажув. шнека, т/год                          | 180                               | 270     | 360     |

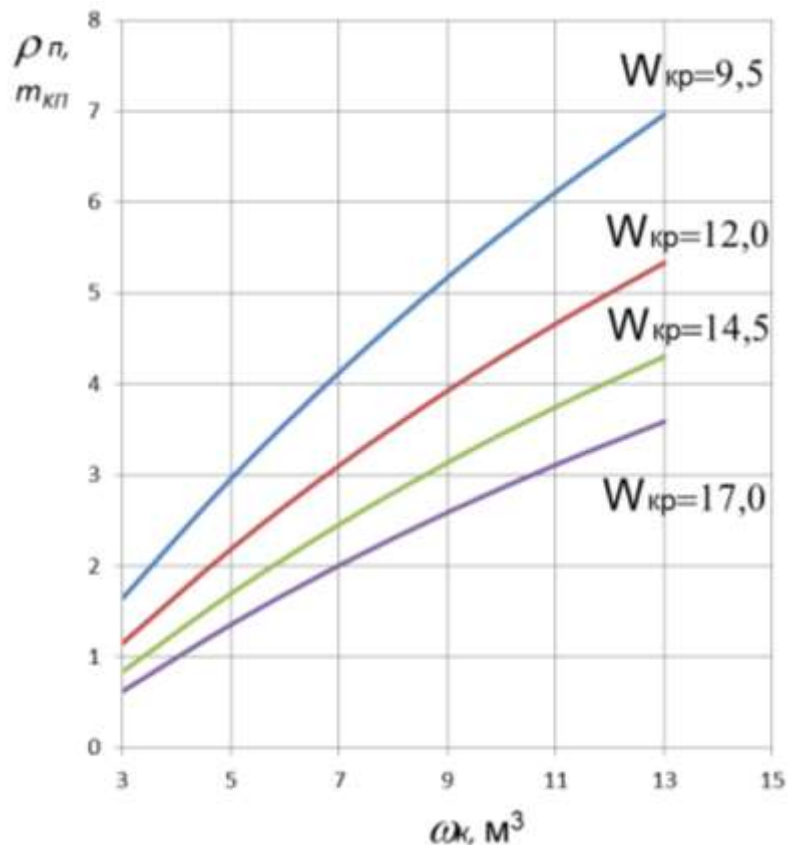


Рис. 2. Залежність кількості бункерів зерна  $\rho_{П, m_{кп}}$ , од., що завантажуються в ПП за одну його їздки, а також кількості ЗК  $m_K$ , які обслуговуються одним ПП, від місткості бункера ЗК для певної продуктивності  $W_{кр} = 9,5; 12,0; 14,5$  та 17 т/год.

Аналіз приведених залежностей показує, що найбільш суттєвим фактором, який впливає на кількість зерна, що завантажується за один робочий цикл в ПП, є місткість бункера ЗК. При цьому обслуговується більша кількість ЗК, які мають меншу продуктивність і відповідно ПП повинні мати більшу місткість для зерна по кількості бункерів  $\rho_{П}$ . Так кількість ЗК з  $W_{КР} = 9,5$  т/год., які можуть обслуговуватися одним ПП зростає з 1 (1,7) до 6 (6,1) одиниць при збільшенні місткості бункера з 3-х до 11 м<sup>3</sup>. Відповідно потрібно збільшити місткість ПП з 1 (1,7) до 6 (6,1) одиниць бункерів  $\rho_{П}$ . Це зростання природно зменшується, коли продуктивність ЗК збільшується. Для ЗК з  $W_{КР} = 17$  т/год. вказані параметри зростають лише з 0 (0,7) до 3 (3,5) од. при зміні  $\omega_{К}$  в даному діапазоні.

Оскільки мінімальною допустимою кількістю бункерів зерна, які вміщуються в ПП, є 2 од. (при цьому ПП ще виконує функції накопичувача), то з графіків видно, що існує допустимий раціональний мінімум для ланцюга «ЗК – ПП». Цей мінімум визначається для ЗК з продуктивністю 9,5; 12,0; 14,5 та 17,0 т/год. відповідною місткістю бункерів ЗК: від 3,5 до 12 м<sup>3</sup> і є одночасно раціональним, так як ПП повністю завантажуються певною кількістю ЗК. При менших місткостях  $\omega_{К}$  для вказаних робочих режимів за продуктивністю ПП не виконує необхідну технологічну функцію і його застосування недоцільно. Мінімальна місткість бункера  $\omega_{К}$ , м<sup>3</sup> ЗК, які обслуговуються одним ПП (з місткістю  $\omega_{П}$ , м<sup>3</sup>) в групі за кількістю  $m_{КП}$  визначена за даними графічної залежності рис. 2 і представлена в табл. 2.

## **2. Раціональна місткість ПП (для відповідної місткості бункера ЗК $\omega_{К}$ , м<sup>3</sup>), який обслуговує групу ЗК.**

| Продуктивність ЗК<br>$W_{КР}$ , т/год. | Раціональна місткість ПП, м <sup>3</sup> (для відповідної місткості бункера ЗК $\omega_{К}$ , м <sup>3</sup> ), який обслуговує групу ЗК з кількістю $m_{КП}$ , од.: |             |            |           |             |
|--|--|-------------|------------|-----------|-------------|
|  | 2  | 3           | 4          | 5         | 6           |
| 9,5                                    | 7,0 (3,5)  | 15,3 (5,1)  | 27,2 (6,8) | 44 (8,8)  | 64,8 (10,8) |
| 12                                     | 9,0 (4,5)  | 20,4 (6,8)  | 37,2 (9,3) | 60 (12,0) | -           |
| 14,5                                   | 11,6 (5,8)   | 26,1 (8,7)  | 48 (12,0)  | -         | -           |
| 17                                     | 14,0 (7,0)   | 31,8 (10,6) | -          | -         | -           |

Представлені дані свідчать, що високопродуктивні ЗК з  $W_{КР} = 14,5 - 17$  т/год. потребують для обслуговування ПП з місткістю від 11,6 до 48 м<sup>3</sup>. Зменшення продуктивності до  $W_{КР} = 9,5-12$  т/год. дозволяє збільшити кількість обслуговуємих ЗК до 5-6 од. шляхом використання ПП з місткістю до 44-65 м<sup>3</sup>.

Вибір марки ПП виконується за показниками його вантажопідйомності та місткості виходячи з умови кратності цих показників для бункера ПП і бункера ЗК відповідно таких виразів:

$$1) q_{\Pi} \geq \omega_K d_B \rho_{\Pi}, \quad (10)$$

де  $q_{\Pi}$  – номінальна вантажопідйомність бункера обраного ПП;

$$2) \omega_{\Pi} \geq \omega_K \rho_{\Pi}, \quad (11)$$

$\omega_{\Pi}$  – місткість бункера обраного ПП.

Виходячи цих виразів вибираємо відповідну  $q_{\Pi}$  марку ПП і рекомендований для нього трактор.

Кількість ПП, які обслуговують групу ЗК при заданій їх кількості, визначаємо як

$$n_{\Pi} = CEILING \frac{m_K}{\rho_{\Pi}} = CEILING \frac{m_K (0,12 + \frac{K_P \omega_K d_B}{W_{III}})}{\omega_K d_B (\frac{1}{W_{KPO}} + \frac{1}{W_{III}}) - 0,08}, \text{ од.} \quad (12)$$

де *CEILING* – функція, яка повертає найближче більше ціле значення.

Взаємодія кожного ПП із групою ЗК передбачає технологічну відповідність роботи, коли кожний ПП обслуговує певну групу ЗК, які послідовно (по черзі) розвантажуються в ПП, що закріплений за ними.

Загальна раціональна кількість ЗК, яка працює у певному ЗТК визначається як

$$m_K = m_{K\Pi} \cdot n_{\Pi}, \text{ од.}, \quad (13)$$

### Висновки

1. На підставі аналізу балансу часу робочого циклу ПП отримана аналітична залежність, яка дозволяє виконати раціональний підбір кількості ПП для ЗТК під час застосування перевантажувальної технології перевезення зерна від ЗК. Загальна кількість обслуговування причепом певного числа ЗК збільшується із зростанням місткості бункера ЗК та зменшенням його продуктивності.

2. Встановлено раціональну (мінімальну допустиму) місткість бункерів ЗК для ланцюга «ЗК – ПП». Цей мінімум визначається для ЗК з продуктивністю 9,5; 12,0; 14,5 та 17,0 т/год. відповідною місткістю бункерів ЗК від 3,5 до 12 м<sup>3</sup>. При менших місткостях  $\omega_K$  для вказаних робочих режимів за продуктивністю ПП не виконує необхідну технологічну функцію і його застосування недоцільно.

3. Взаємодія кожного ПП із групою ЗК передбачає таку технологічну відповідність роботи, коли кожний ПП обслуговує певну групу ЗК, які послідовно (по черзі) розвантажуються в ПП, що закріплений за ними.

4. Для перевантажувальної технології найбільш ефективні є ПП з підвищеною місткістю до 40-60 м<sup>3</sup>, які дозволяють збільшити кількість ЗК, що обслуговуються, та зменшити кількісний склад ЗТК.

5. Встановлено, що ПП з місткістю від 26 до 48 м<sup>3</sup> обслуговує 3–4 високопродуктивні ЗК з  $W_{кр} = 14,5-17$  т/год. Зменшення продуктивності до  $W_{кр} = 9,5-12$  т/год. дозволяє збільшити кількість ЗК, які обслуговуються, до 5-6 од. шляхом використання ПП з місткістю до 44-65 м<sup>3</sup>.

### Список літератури

1. *Фришев С.Г.* Визначення раціональних параметрів технологічного ланцюга “зернові комбайни – причепи-перевантажувачі – автомобільні транспортні засоби” / *С.Г. Фришев, С.І. Козулиця* // Вісник НУБіП України. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 3. – С. 203–211.
2. *Измайлов А.Ю.* Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК / *А.Ю. Измайлов.* – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 200 с.
3. *Зязев В.А.* Перевозки сельскохозяйственных грузов автомобильным транспортом / *В.А. Зязев, М.С. Капланович, В.И. Петров* // Перевозки сельскохозяйственных грузов автомобильным транспортом. – М.: Транспорт, 1979. – 253 с.
4. *Гоberman В.А.* Автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве / *В.А. Гоberman.* – М.:Транспорт, 1986. – 287 с.

*Установлены аналитические зависимости для определения рациональных параметров взаимодействия зерноуборочных комбайнов и прицепов-перегрузжателей при групповой их работе.*

***Зерноуборочные комбайны, прицепы-перегрузжатели, производительность, аналитическая зависимость, рациональные параметры.***

*It is found out the analytical dependences for the determination of rational interaction parameters of combine harvesters and trailers, cranes for their group work.*

***Combine harvesters, trailers, cranes, performance, analytical dependence, rational parameters.***