

УДК 631.354:631.115.1/1.6

ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗИ

*С.Г. Фришев, доктор технічних наук,
С.В. Моруга, студент НАТІ МА-181*

Пропонується розробка методики визначення раціональних параметрів перевантажувальної технології із застосуванням обігових напівпричепів під час збирання кукурудзи

Кукурудза, збирання, транспортування, ефективність.

Актуальність теми. Серед усіх культурних рослин, що вирощуються у світі, кукурудза поряд із іншими зерновими займає одну з провідних позицій. До того ж слід зауважити, що за останні роки врожайність кукурудзи порівняно з іншими культурами в Україні сягнула найвищої позначки, а порівняно з початком 90-х вона зросла майже в два рази. Провідна роль у цьому належить селекційному прогресу у розвитку та врожайності кукурудзи, який неухильно просуває цю культуру дедалі вище у рейтингу найуспішніших культур для вирощування.

В Європі площі під кукурудзою на зерно постійно збільшуються, оскільки в нових країнах союзу почали вирощуватися швидкостиглі гібридні сорти кукурудзи на зерно. Зростання площ під кукурудзою на зерно в основному затримують в жовтні місяці складні метеорологічні умови під час дозрівання зерна в качанах. Кращим строком збирання кукурузе на зерно вважається період, коли вологість зерна знаходиться в межах 25-30%. В цей термін забезпечуються мінімальні втрати врожаю, так як в цей час зерна качана міцно пов'язані зі стрижнем і полеглість рослин (при нормальному їх розвитку) відсутній [1]. Збирання кукурудзи повинна проводитися в можливо короткий термін з настанням стиглості зерна, тому що зі збільшенням тривалості

стояння стиглої кукурудзи на корені збільшуються обвисання качанів і вилягання стебел рослин.

Мета дослідження. Метою досліджень є підвищення ефективності транспортно-виробничих процесів (ТВП) шляхом застосування в якості міжопераційного компенсатора напівпричепа-самоскида з трактором.

Об'єкт дослідження – технологічний процес та технічні засоби перевезення зерна кукурудзи від комбайнів.

Предмет дослідження – закономірності транспортного процесу перевезення зерна.

Введення в технологічну лінію між зернозбиральними комбайнами (ЗК) і автотранспортними засобами (АТЗ) під час збирання урожаю проміжної перевантажувальної ланки – міжопераційного компенсатора дозволяє, порівняно з прямими автомобільними перевезеннями зерна, скоротити час збирально-транспортних операцій і в цілому підвищити ефективність збирально-транспортного комплексу (ЗТК) головним чином за рахунок зменшення простоїв ЗК під час очікування розвантаження зерна з бункера.

Роль таких мобільних компенсаторів виконують спеціалізовані тракторні причепи-перевантажувачі (ПП) (інша назва – перевантажувальні бункери-накопичувачі – ПБН, ПНБ) зі шнековими пристроями для розвантаження, а також автомобільні та тракторні універсальні причепи і напівпричепи [1-3] (Рисунок1). Застосування ПП з шинами низького тиску зменшує ущільнення ґрунту і виключає в'їзд великовантажних АТЗ в поле. Аналіз технологічної схеми перевезення зерна від комбайнів з використанням ПП дозволяє виявити також ряд недоліків, перешкоджаючих досягненню максимального ефекту, до числа яких можна віднести наступні:

- необхідність своєчасного під'їзду АТЗ до ПП обумовлює простої АТЗ (до 36% від часу зміни [1,4,5]);
- необхідність виконання додаткової операції (в порівнянні з технологією прямих перевезень) - перевантаження зерна із одного транспортного засобу (причепа-перевантажувача) в інший (великовантажний АТЗ), яка потребує додаткових енерговитрат, витрат часу та не виключає механічне пошкодження зерна.

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

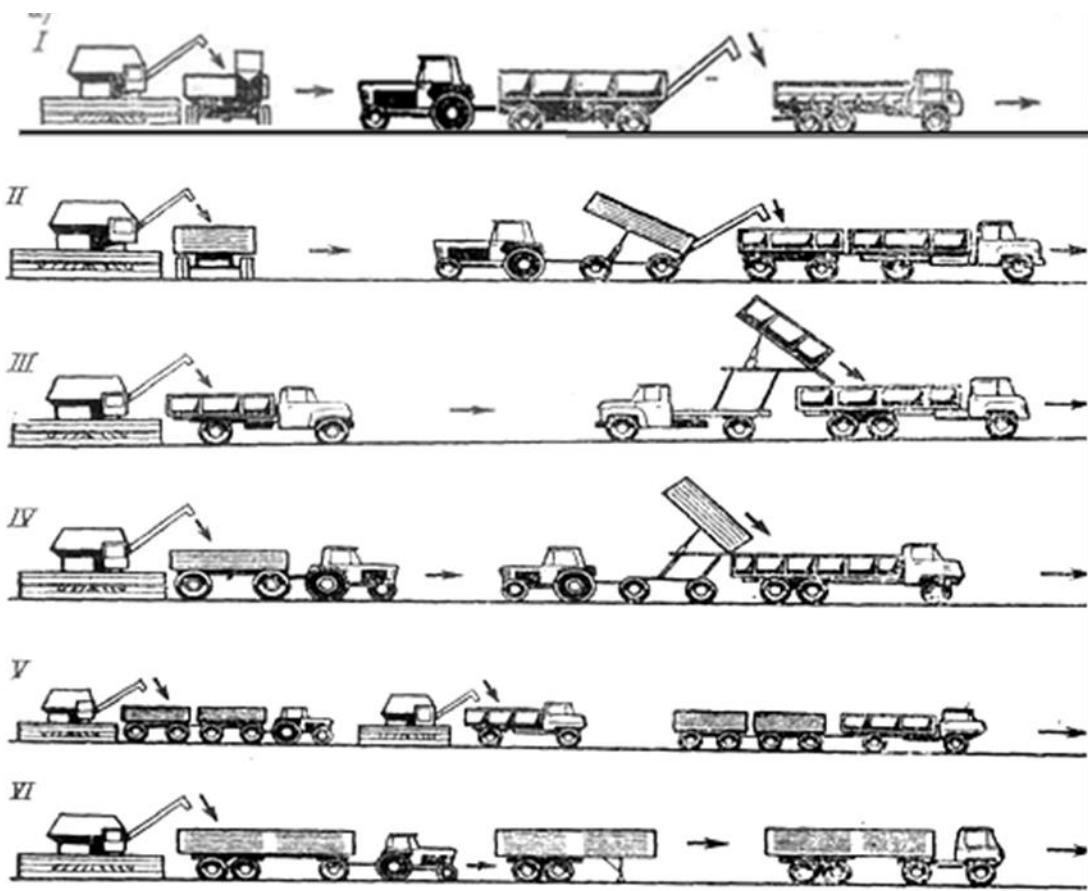


Рисунок 1 - Схеми перевезення зерна від комбайнів з використанням мобільних міжопераційних компенсаторів:

I-II – спеціалізованих тракторних причепів-перевантажувачів;

III - IV – автомобілів самоскидів та тракторних причепів з попереднім підйомом кузова;

V – VI – автотракторних причепів та напівпричепів з підкатними візками.

Аналіз останніх досліджень. З метою пошуку раціональних схем транспортування продукції урожаю від комбайнів нами застосовані дані аналізу роботи компенсаторів, які виконано Каплановичем М.С. [2,5]. Оскільки на перевезенні зерна можливо використання ТЗ різних вантажностей, то для порівняльної їх оцінки доцільно визначати питому тривалість збирально-транспортних операцій (ЗТО), яка віднесена до 1т перевезеного зерна:

На Рисунок2 представлено отримані залежності питомої тривалості ЗТО від вантажності ТЗ [2]. Введення в технологічну лінію між

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

комбайнами і транспортними засобами проміжної ланки дозволяє значно (в 2-5 рази) скоротити час збирально-транспортних операцій (ЗТО) порівняно з прямими автомобільними перевезеннями.

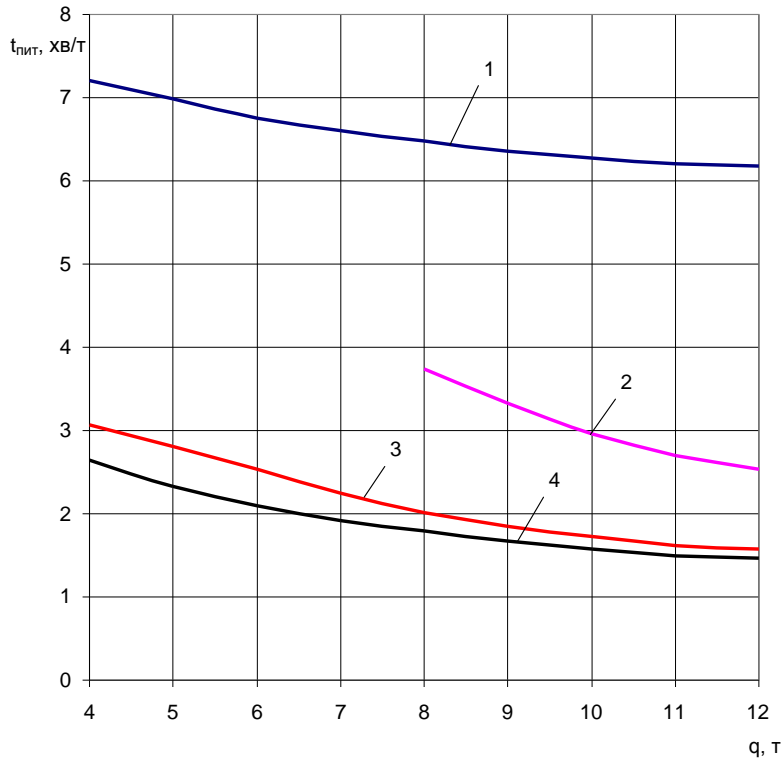


Рисунок 2 Залежність питомої тривалості збирально-транспортних операцій: 1 – прямі автомобільні перевезення; 2 – перевезення по схемі V; 3 – перевезення по схемам I, II, III, IV; 4 – перевезення по схемі VI.

Виробниче впровадження схеми V, VI ускладнено реалізацією переформування багатоланкового автотракторного поїзда. Схеми I-IV, VI, мають практично однакові результати за питомою тривалістю ЗТО. Реалізація схеми VI може бути ефективною за умовою досягнення раціональних витрат часу на відчіплення-причеплення напівпричепа. Напівпричіп (НП) в поєднанні з трактором може виконувати функцію компенсатора - спеціалізованого транспортного засобу замість, наприклад причепів ПБН-30, ПБН-40, що дозволить знизити витрати на застосування спеціалізованої техніки. Одночасно такі транспортні засоби слід використовувати як обігові НП, що дозволяє організувати

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

безперервну роботу ТЗ на ділянці «край поля – ХПП, де можливі простоя ТЗ замінюються на простоя тільки НП.

Нами прийнято до наступних досліджень схема VI з певним її удосконаленням. Одним із варіантів такого удосконалення є транспортування в полі НП трактором із стандартним автоматичним сидельним зчіпним пристроєм (СЗП). Пропонуємою нами технологічний комплекс для збирання та транспортування зернових культур із застосуванням обігових НП містить комбайни та напівпричепа з тягачами (тракторами в полі та на дорозі). Останні застосовуються послідовно в двох технологічних ланках: для роботи в полі «ЗК – НП - трактор» і для транспортування по дорозі від поля до ХПП - «НП – трактор», якщо відстань від поля до ХПП не велика . У першій ланці НП функціонує як міжопераційний компенсатор, який завантажується зерном з бункерів не менш чим від двох комбайнів. Після заповнення зерном НП перевозиться на край поля, відчіпляється і замінюється на пустий для подальшої роботи, а завантажений НП перевозиться трактором на ХПП, де розвантажується і повертається пустим на край поля (Рисунок 3)

Трактори та НП обладнуються аналогічними за конструкцією автоматичними сидельними зчіпними пристроями, які мінімізують витрати часу на відчеплення-причеплення НП для ефективної роботи комплексу (Рисунок4). Застосування агрегату «НП – трактор з сидельним зчіпним пристроєм» також підвищує його маневреність (забезпечує задній хід) в порівнянні із звичайним причіпним агрегатом – «трактор та причіп».

Аналіз розподілу навантаження між осями автотракторного поїзда в складі трактора і напівпричепа показав, що найбільш завантаженою є друга вісь, де досить часто спостерігаються навантаження понад 100 кН [5].

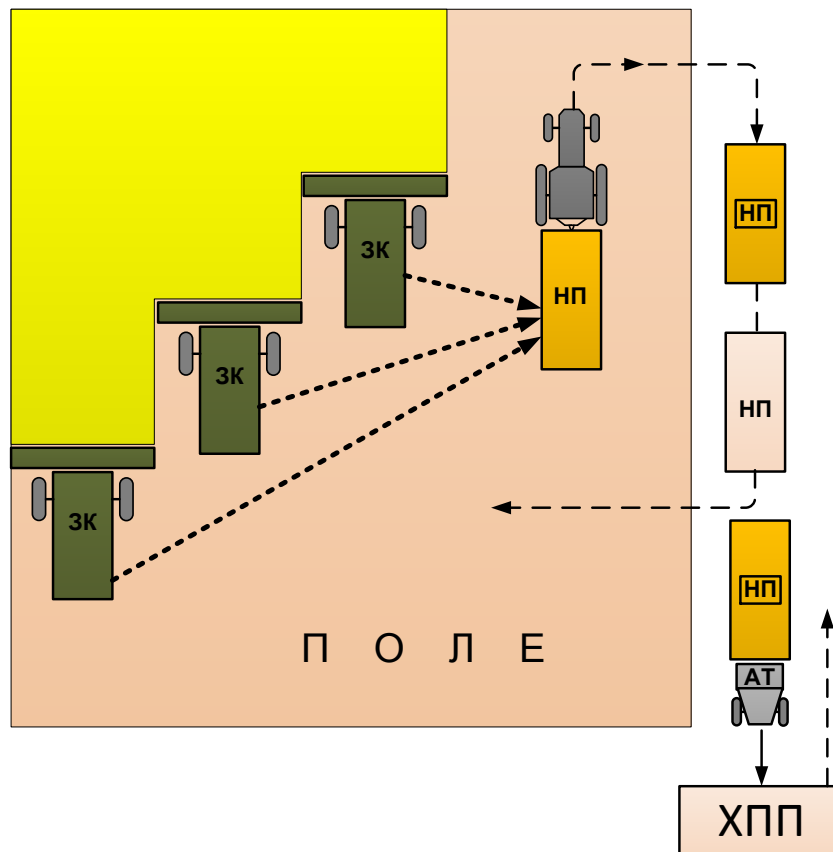


Рис 3 Технологічна схема завантаження зерна з комбайнів та перевезення з використанням напівпричепів: ЗК – зернозбиральний комбайн; НП – напівпричіп (порожній та завантажений); АТ – автотягач або трактор; ХПП – хлібоприймальний пункт.



Тобто основна проблема небезпечного застосування обігових НП полягає в необхідності зниження питомого тиску від їх коліс на ґрунт. Ця проблема може вирішуватися різними методами: встановленням на трактор задніх здвоєних коліс, тимчасовим перерозподілом маси зерна

в кузові НП під час його транспортування в полі [6]. Відмінність цього способу в тому, що зерно з бункерів ЗК завантажується головним чином в передню частину кузова НП, яка має бортову надбудову для збільшення об'єму завантаження, а після перевезення на край поля та перечіплення для перевезення по дорозі кузов НП за допомогою гідроциліндра нахиляється до горизонту для рівномірного розподілу зерна під дією гравітації по днищу кузова (Рисунок5).

Технічним результатом, який забезпечується наведеною сукупністю ознак є зменшення тиску на ґрунт задніх колес НП і передача основного тиску на задні широкопрофільні шини колес трактора, які за рахунок значній за величиною площі контакту з ґрунтом забезпечують такий питомий тиск на ґрунт, величина якого не перевищує допустимого агрономічними значення. Сила тиску задніх колес НП (3) зменшується на величину N_1 , яка в свою чергу збільшується з ростом відстані a , а задні колеса трактора сприймають додаткове навантаження від зерна в передньої частині кузова (1-2), збільшення якого пропорційно силі N_1 .

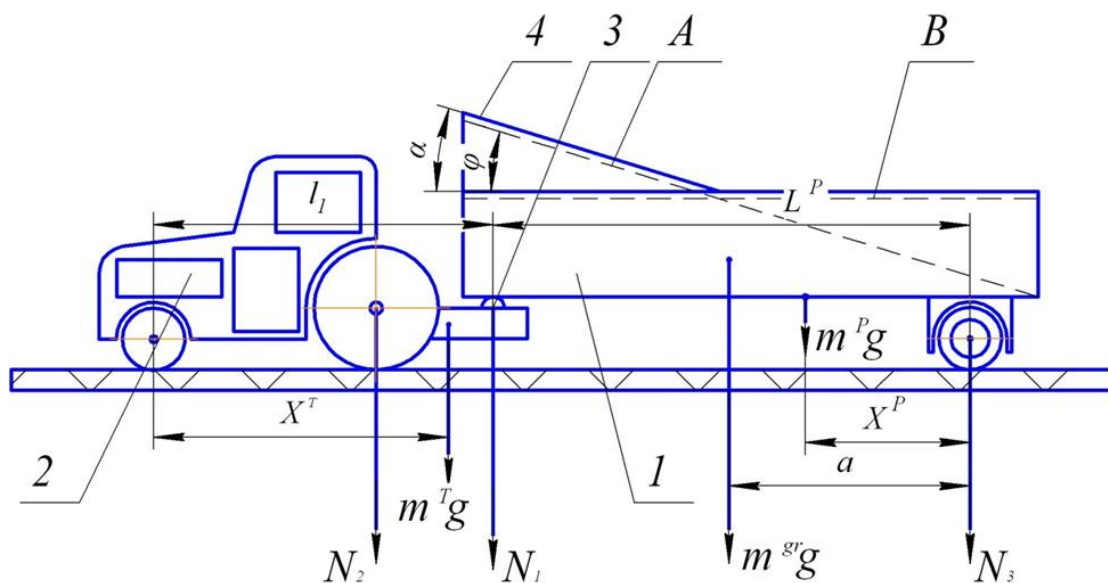


Рисунок 5 Розподіл навантаження на колеса транспортного агрегату

Але у зв'язку із збільшенням площі контакту шин трактора з ґрунтом, питома навантаження на ґрунт не перевищує допустимої величини. Для збільшення об'єму передньої частини кузова виконується підвищення висоти бортів зпереду кузова НП шляхом застосування

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

бортової надбудови у вигляді вставки, яка складається з поперечної і двох повздовжніх частин – боковин 4, при цьому кут нахилу верхнього обрізу боковин до горизонту дорівнює або менше природного укосу поверхні вільно насипаного зерна з горизонтальною площиною (рівень А), габаритна ширина поперечної вставки дорівнює ширині кузова, а максимальна висота надбудови зпереду кузова визначається з геометричних міркувань як

$$h = 0,5l \operatorname{tg} \alpha, \text{ при } \alpha \leq \varphi, \quad (1)$$

де l – довжина кузова НП;

α – кут утворений верхнім обрізом боковин до горизонту з горизонтальною площиною днища кузова;

φ – кут природного укосу поверхні вільно насипаної продукції з горизонтальною площиною.

Так для напівпричепа - самоскида ТСП 16, який має довжину кузова 8 м, при перевезенні зерна з параметрами $\alpha = \varphi = 22^\circ$ отримаємо $h = 0,5l \operatorname{tg} \alpha = 1,5 \text{ м}$.

Після перевезення на край поля і перечіплення до тягача кузов НП за допомогою гідроциліндра нахилиється до горизонту для рівномірного розподілу зерна по днищу кузова під дією гравітації (рівень В), а потім повертається в горизонтальне положення.

Відсутність операції перевантаження продукції дозволяє застосувати такий спосіб для транспортування цукрових буряків та картоплі. Робота двох не зв'язаних жорстко транспортних ланкових систем: польової та дорожньої дає можливість виключити простої тягачей.

Розрахунок параметрів ЗТК проведено на підставі оцінки ритмічності роботи окремих ланок: польової «ЗК – НП з трактором» та дорожньої «НП – трактор»

Кількість бункерів зерна ЗК, що завантажуються в НП, а також кількість ЗК, які обслуговуються одним НП, дорівнює [5]:

$$\rho = \operatorname{INT} \left(\omega_K \cdot d_B \left(\frac{9,25}{W_{KP}} + \frac{8,33}{W_{ШК}} \right) - 8,33 t_{B-П} - 0,667 \right) \text{ од.}, \quad (2)$$

де INT - функція, що повертає найближче менше ціле значення;

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

W_{KP} - продуктивність ЗК за 1 годину основного часу, т/год.;

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

ω_K — об'єм бункера комбайна, м³;

d_B — об'ємна маса зерна, т/м³;

$t_{B-П}$ - середня тривалість перерізки (відчіплення - причеплення) НП (0,07 год).

Вибір вантажопідйомності НП виконується, виходячи з умови кратності вантажопідйомності кузова НП і бункера ЗК:

$$q_H \geq q_B \rho, \quad (3)$$

де q_H - номінальна вантажопідйомність кузова обраного НП;

q_B - маса зерна в бункері.

Друга умова вибору марки НП: місткість кузова ω_H обраного НП повинна бути кратною місткості бункера комбайна:

$$\omega_H \geq \omega_K \rho. \quad (4)$$

Виходячи з виразів (6, 7) вибираємо відповідну за вантажопідйомністю q_H марку НП. Кількість НП з тракторами, які одночасно з комбайнами працюють в полі, дорівнює:

$$n_{H1} = \text{CEILING} \frac{m_K}{\rho}, \quad (5)$$

де CEILING - функція, що повертає найближче більше ціле значення.

Кількість НП у дорожньої ланці [2]:

$$n_T = \text{CEILING} \frac{n_{H1} \left(t_{ВІВ} + \frac{2l}{v_T} + t_{B-П} \right)}{0,08 + 0,12\rho + t_{B-П}} \text{ од.}, \quad (6)$$

де l_{ij} - відстань перевезень, км;

v_T - швидкість перевезення, км/год;

$t_{ВІВ}$ - тривалість вивантаження зерна на приймальному пункті.

Загальна кількість НП, які потрібні для роботи ЗТК (рухаються, очікують причеплення та знаходяться під навантаженням) дорівнює

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

кількості НП, що працюють у обох ланках та визначається за формулою:

$$n = n_{НП} + n_{АТ} \left(1 + \frac{(0,08 + 0,12\rho + t_{ВНВ} + 2t_{В-П})v_T}{2(l_{ij} + v_T t_{В-П})} \right), \text{ од.}, \quad (7)$$

Таким чином на підставі теоретичного аналізу роботи збирально-транспортного комплексу із обіговими автомобільними напівпричепами самоскидами обґрунтована методика визначення складу ЗТК.

Як приклад, порівнюємо кількість машин ЗТК та їх виробіток під час збирання одного і того ж обсягу урожаю зерна кукурудзи в ННВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» за агротермін 5 днів роботи у двох варіантах:

- 1) для перевантажувальної технологічної схеми при роботі НП;
- 2) під час прямих перевезень.

У ЗТК входять ЗК марки Кейс 2388 з продуктивністю $W_{КР} = 12$ т/год.,

$$\omega_K = 7,5 \text{ м}^3$$

$W_{ШК} = 170$ т/год; умови роботи: об'ємна маса кукурудзи $d_B = 0,75$ т/м³, відстань від поля до ХПП $l_{ij} = 6$ км, швидкість НП в полі $v_{П} = 15$ км/год.; площа поля 160 га, урожайність 7 т/га; тип дороги – грейдерна.

1. При використанні НП коефіцієнт використання часу зміни визначається як [5]:

$$\tau_{П} = \tau_{ц} \delta_{ЗМ} = \varphi \delta_{ЗМ} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$$

Продуктивність ЗК за годину змінного часу при обслуговуванні ПП

$$W_{КП} = \tau_{П} \cdot W_{КР} = 12 \cdot 0,81 = 9,7 \text{ т/год}$$

Кількість одиниць комбайнів, що необхідні для збирання урожаю з площі S , га при урожайності зерна U , т/га, знаходиться за формулою:

$$m_K = \text{CEILING} \frac{S \cdot U}{W_K \cdot t_{ЗМ} \cdot D} = \text{CEILING} \frac{160 \cdot 7}{9,7 \cdot 12 \cdot 5} = 2 \text{ од.},$$

Кількість бункерів зерна ЗК, що завантажуються в НП, а також кількість ЗК, які можуть обслуговуватися НП за один робочий цикл,

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

$$\begin{aligned} \rho &= INT(\omega_K \cdot d_B (\frac{9,25}{W_{KP}} + \frac{8,33}{W_{ШК}}) - 8,33t_{B-П} - 0,667) = \\ \text{дорівнює} & \\ &= INT(7,4 \cdot 0,75 (\frac{9,25}{12} + \frac{8,33}{190}) - 8,33 \cdot 0,07 - 0,667) = 3 \text{ од.} \end{aligned}$$

З урахування того, що в полі працює 2 ЗК приймаємо $\rho = 2$ од.

Вибір марки НП виконується відповідно таких виразів

$$1) q_{П} \geq \omega_K d_B \rho_{П} = 11,2 \text{ т,}$$

$$2) \omega_{П} \geq \omega_K \rho_{П} = 14,8 \text{ м}^3.$$

Таким показникам відповідає НП марки ТСП 16 з місткістю 16 м³ і вантажопідйомністю 12 т, для роботи з яким рекомендований трактор Т 150К.

Кількість НП з тракторами, які одночасно з комбайнами працюють в полі, дорівнює:

$$n_{Н1} = CEILING \frac{m_K}{\rho} = \frac{2}{2} = 1 \text{ од.},$$

де CEILING - функція, що повертає найближче більше ціле значення.

Кількість агрегатів (НП з трактором) для перевезення зерна по дорозі визначаємо з рівняння

$$n_T = CEILING \frac{n_{Н1} (2t_{B-П} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{ВИБ})}{0,08 + 0,12\rho + t_{B-П}} = CEILING \frac{2(2 \cdot 0,07 + \frac{2 \cdot 6}{30} + 0,06)}{0,08 + 0,12 \cdot 2 + 0,07} = 3 \text{ од}$$

Загальна кількість НП

$$П = n_{Н1} + n_{AT} (1 + \frac{(0,08 + 0,12\rho + t_{ВИБ} + 2t_{B-П})v_T}{2(l_{ij} + v_T t_{B-П})}) = 5 \text{ од.},$$

2. При використанні прямих перевезень коефіцієнт використання часу зміни визначається як [5]

$$\tau_{П} = \tau_{ц} \delta_{ЗМ} = \varphi \delta_{ЗМ} = 0,62$$

Продуктивність ЗК за годину змінного часу при обслуговуванні ПП

$$W_{КП} = \tau_{П} \cdot W_{KP} = 12 \cdot 0,62 = 7,4 \text{ т/год}$$

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

Кількість одиниць комбайнів, що необхідні для збирання урожаю з площі S , га при урожайності зерна U , т/га, знаходиться за формулою:

$$m_k = CEILING \frac{S \cdot U}{W_k \cdot t_{3M} \cdot D} = CEILING \frac{160 \cdot 7}{7,4 \cdot 12 \cdot 5} = 3 \text{ од.}, .$$

Підбір марки АТЗ для прямих перевезень виконуємо, виходячи з вантажності, яка дорівнює:

$$\sum q_A \geq \rho_{\Pi} \omega_k d_B = \sum q_A \gamma = 2 \cdot 5,6 = 11,2 \text{ т}.$$

Вибираємо автомобіль самоскид КамАЗ 45143 з вантажністю 12 т.

Розрахунок собівартості збирання та транспортування зерна кукурудзи $S_{ЗКП}$ із застосуванням напівпричепів.

Оцінку роботи машинних агрегатів, що виконують транспортно-технологічний процес проводимо за показниками прямих експлуатаційних витрат коштів на 1 тону зерна - собівартості збирання та перевезень за даними попереднього підрозділу.

Собівартість ТПП при збиранні зерна $S_{ЗКП}$ із застосуванням напівпричепів визначається як сума прямих експлуатаційних затрат: на збирання зерна комбайнами $S_{ЗК}$ та на перевезення зерна тракторним напівпричепом з трактором - S_{Π} .

$$S_{ЗКП} = S_{ЗК} + S_{\Pi} = 337 \text{ грн/т} \quad (8)$$

Собівартість за прямим перевезенням зерна $S_{\PiР}$ від ЗК визначається як сума прямих експлуатаційних затрат на збирання зерна комбайнами $S_{К}$ та перевезення зерна автомобілями $S_{А}$

$$S_{\PiР} = S_{К} + S_{А} = 476 \text{ грн/т} \quad (9)$$

Основною часткою економічного ефекту застосування новітньої технології є підвищення продуктивності ЗК.

Розрахунок річної економічної ефективності виконується шляхом порівняння прямих експлуатаційних витрат (собівартості) за базової (прямі перевезення зерна) і досліджуємої технологіями стосовно комплексу машин, що розглядається. Річний економічний ефект дорівнює:

$$E = (S_{\PiР} - S_{ЗКП}) W_{3M} t_{3M} K_{3M} D + B_{3K} = (476 - 337) \cdot 1120 + 1600000 = 1756000 \text{ грн.} \quad (10)$$

Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

Порівняльна оцінка техніко-економічних показників збирально-транспортних процесів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.- Порівняльна оцінка техніко-економічних показників збирально-транспортного процесу

Найменування техніко-економічних показників машин ЗТК	Технологічні варіанти	
	Прямі перевезення	Збирально-транспортний процес із застосуванням перевантажувальної технології
Продуктивність ЗК «Кейс 2388», т/год	7,5	9,7
Необхідна кількість ЗК, од.	3	2
Кількість ТЗ, од	2 од. КаМАЗ-45143 вантажністю 12 т	5 од. ТСП 16 та 4 трактори Т-150 К
Приведені витрати, грн/т	476	337
Додатковий економічний ефект за рахунок зменшення ЗК в ЗТК, грн	-	1600000
Загальний економічний ефект, грн	-	1756000

З представлених даних бачимо, що використання обігових напівпричепів ТСП 16 забезпечує безперервну і високопродуктивну роботу ЗК і дозволяє отримати загальний економічний ефект 1756000 грн. за рахунок підвищення продуктивності та відповідно зменшення кількості ЗК в ЗТК.

ВИСНОВКИ

1. Розроблена методика визначення раціональних параметрів перевантажувальної технології із застосуванням обігових напівпричепів під час збирання кукурудзи.
2. Використання обігових напівпричепів ТСП 16 забезпечує безперервну і високопродуктивну роботу зернозбиральних комбайнів.

Література

- 1 Гречкоій В.Д., Войтюк В.Д. Проектування технологчних процесів у рослинництві. Видавець: ПП Лисенко М.М. 2014. -392 с.
- 2 Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки./А.И. Воркут – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.
- 3 Измайлов А. Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК. /Измайлов А. Ю. — М.: ФГНУ «Рос-информагротех», 2007. — 200 с
- 4 Гамеляк І.П. Експериментальне визначення навантаження на вісь транспортних засобів/ І.П. Гамеляк, В.Ф. Райковський// Автомобільні дороги. – 2014. № 3 (239) – с. 25-29.
- 5 Фришев С.Г. Визначення складу збирально-транспортного комплексу із застосуванням автомобільних напівпричепів самоскидів/ С.Г. Фришев С.Г. //Науковий вісник НУБіП України №196 ч.2 . К.:, 2014.
- 6 Фришев С.Г., Дьомін О.А. Патент на корисну модель № 135168. Спосіб транспортування зерна від комбайнів. Зареєстровано 25.06.2019