

Можна користуватись і моделлю колеса у вигляді монолітного твердого тіла, однак при цьому слід брати до уваги тільки радіус кочення.

Список літератури

1. *Пожидаев С.П.* Про суперечність у теорії кочення еластичного колеса // *Механізація та електрифікація сіл. госп-ва: Міжвідомчий темат. наук. зб.* – Глеваха, 2013. – Вип. 97, т. 2. – С. 76–82.
2. *ГОСТ 17697-72.* Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. – Введ. 1972-05-06. – М.: Изд-во станд., 1972. – 24 с.
3. *Работа автомобильного колеса* / В.И. Кнороз, Е.В.Кленников, И.П. Петров и др. – М.: Транспорт, 1976. – 239 с.

Еластичное колесо нельзя рассматривать в виде монолитного затвердевшего тела, взаимодействие которого с опорной поверхностью происходит на плече, равном динамическому радиусу. Его следует рассматривать в виде двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой – колесного диска и рычага, угловая скорость вращения которого несколько больше, чем диска.

Еластичное колесо, динамический радиус, радиус качения.

The elastic wheel can not be considered as hardened monolithic body equilibrium equations of which are made with the use of loaded radius. It should be presented in form of two solids pivotally interconnected –web of wheel and lever angular, velocity of which is slightly larger than the same of web of wheel.

Elastic wheel, loaded radius, rolling radius.

УДК 629.631.554

АНАЛІЗ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

С.Г. Фришев, доктор технічних наук

Пропонується методика аналізу пропускної здатності машинно-транспортного комплексу для зернових культур та удосконалення його параметрів під час застосування перевантажувальної технології.

© С.Г. Фришев, 2013

Пропускна здатність, зернозбиральні комбайни, причепи-перевантажувачі, автомобілі, аналіз, методика, параметри процесів.

Постановка проблеми. Удосконалення технологічних процесів збирання та перевезення зерна пов'язано із зростанням потужності машин збирально-транспортного комплексу, продуктивність окремих ланок якого повинна забезпечити потоковість процесу за рахунок відповідного вибору робочих параметрів машин. В цих умовах лише повне використання потужності окремих ланок забезпечує ефективну їх роботу.

Аналіз останніх досліджень. Методика, яка застосовується для визначення складу збирально-транспортного комплексу (ЗТК) для зернових культур під час здійснення перевантажувальної технології, не повною мірою ураховує можливість вибору альтернатив кількісного складу автотранспорту під час перевезення зерна [1,2].

Основним критерієм вибору параметрів ЗТК в існуючій методиці є продуктивність його машин, величина якої обмежена їх пропускною здатністю. Аналіз цього обмеження є джерелом потенційної зміни параметрів машин для оцінки можливості зменшення кількісного складу автотранспортних засобів (АТЗ).

Мета досліджень. Підвищити економічну ефективність збирально-транспортного процесу шляхом зменшення кількості автотранспортних засобів.

Результати досліджень. Під час здійснення перевантажувального варіанту збирально-транспортної технології для зернових культур виконується робота технологічного ланцюга «поле – зернозбиральні комбайни (ЗК) – тракторні причепи-перевантажувачі (ПП) – АТЗ», де працюють три типи мобільних пунктів взаємодії у ланках: «поле - ЗК», «ЗК – ПП» та «ПП – АТЗ».

Необхідною умовою ефективної роботи збирально-транспортного комплексу є виконання положення, при якому не гальмується пропускна здатність першої ланки «поле - ЗК» з боку другої, а також не гальмується робота другої ланки з боку третьої, що відображається наступними виразами:

$$N_1 \leq N_2, \quad (1)$$

$$N_2 \leq N_3, \quad (2)$$

де N_1 – пропускна здатність першої ланки «поле – ЗК»;

N_2 – пропускна здатність другої ланки «ЗК – ПП»;

N_3 – пропускна здатність третьої ланки «ПП – АТЗ».

В той же час пропускна здатність третьої ланки може бути суттєво більшою в такому разі частково невикористаною. Пропускна здатність – це ресурс, який у такому випадку повністю невикористаний, а це визначає зменшення економічної ефективності ЗТК в цілому. Суттєва різниця в пропускній здатності певної ланки в порівнянні з попередньою – це така різниця, усунення якої дозволяє зменшити кількість машин ЗТК за рахунок раціональної зміни певних параметрів технологічних процесів.

Основні кроки аналізу пропускної здатності – це визначення пропускної здатності всіх ланок ЗТК, зіставлення пропускної здатності третьої ланки ЗТК з пропускною здатністю другої для виявлення суттєвої різниці між ними, а потім розрахунок та аналіз альтернативних варіантів параметрів для усунення суттєвої різниці. Ці кроки можна сформулювати в наступному вигляді:

1) розрахувати склад ЗТК для конкретних умов, визначити пропускну здатність окремих ланок та зіставити їх значення для перевірки відсутності гальмування технологічних процесів;

2) виявити наявність суттєвої різниці між значеннями пропускної здатності другої та третьої ланок, яка дозволить зменшити кількість АТЗ;

3) для усунення суттєвої різниці розрахувати альтернативні варіанти параметрів третьої ланки.

З використанням аналітичних залежностей виконаємо розрахунок, аналіз та порівняння значень пропускної здатності окремих ланок технологічного ланцюга для перевантажувальної технології. Пропускна здатність ЗТК дорівнює пропускній здатності першої ланки «поле - ЗК» ланцюга. З урахуванням детермінованого підходу це найбільша кількість бункерів зерна комбайнів, які можуть бути намолочені та перевезені збирально-транспортним комплексом машин за розрахунковий цикловий час зміни [3,4]. Пропускна здатність першої ланки ЗТК визначається як

$$N_1 = \frac{m_K T_P}{t_{Ц}} = \frac{m_K T_P}{t_B + t_X} = \frac{m_K T_P \Phi W_{KP}}{\omega_K \cdot d_B}, \text{ бунк./зм.} \quad (3)$$

де m_K – кількість (одиниць) комбайнів, що необхідні для збирання урожаю з певної площі поля;

T_P – розрахунковий цикловий час зміни, год.;

$t_{Ц}$ – тривалість робочого циклу ЗК, год.;

t_B – частка змінного часу роботи ЗК на заповнення бункера зерном за робочий цикл, год.;

t_X – частка змінного часу роботи ЗК на виконання холостих ходів на поворотах за робочий цикл;

φ – коефіцієнт робочих ходів ЗК;

$W_{\text{КР}}$ – продуктивність ЗК за 1 годину чистої (основної) роботи, т/год.;

$\omega_{\text{К}}$ – об'єм бункера комбайна, м³;

$d_{\text{В}}$ – об'ємна маса зерна, т/м³.

Відповідно пропускна здатність другої ланки «ЗК - ПП» визначається як

$$N_2 = \frac{n_{\text{П}} T_p \rho_{\text{П}}}{t_{\text{ЦПП}}}, \text{ бунк./зм.}, \quad (4)$$

де $\rho_{\text{П}}$ – кількість бункерів зерна, що завантажуються в ПП за одну його їздку;

$n_{\text{П}}$ – кількість ПП в ЗТК ;

$t_{\text{ЦПП}}$ – тривалість робочого циклу (обороту) ПП, год.

Пропускна здатність третьої ланки «ПП - АТЗ» знаходиться як

$$N_3 = \frac{n_{\text{А}} T_p \rho_{\text{П}}}{t_{\text{АП}}} = \frac{n_{\text{А}} T_p (\rho_{\text{П}} - 0,36)}{K_p \frac{\rho_{\text{П}} \cdot \omega_{\text{К}} d_{\text{В}}}{W_{\text{ШП}}} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{\text{РА}}}, \text{ бунк./зм.}, \quad (5)$$

де $t_{\text{АП}}$ – тривалість робочого циклу (обороту) АТЗ;

$n_{\text{А}}$ – число АТЗ (одиниць) або груп АТЗ для перевезення зерна, кожна з яких за вантажопідйомністю дорівнює або перевищує вантажопідйомність ПП;

v_T – середня технічна швидкість автомобіля на шляху від поля на тік та назад, км/год;

l_{ij} – відстань перевезення зерна з поля (пункту і) в приймальний пункт (пункт j), км;

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

$t_{\text{РА}}$ – тривалість розвантаження продукції із АТЗ у приймальному пункті, год.

k_p – коефіцієнт, що враховує додатковий час на маневрування ПП під час розвантаження зерна в кузови АТЗ.

Пропускна здатність другої ланки визначається раціональною кількістю ПП в ланці для заданої кількості ЗКі знаходиться як

$$n_{\text{П}} = \text{CEILING} \frac{m_{\text{К}}}{\rho_{\text{П}}} \text{ од.}, \quad (6)$$

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

Кількість ЗК, які працюють в ЗТК повинна бути кратною величині $\rho_{\text{П}}$ та визначається як

$$m_{\text{К}} = n_p \rho_{\text{П}} \quad (7)$$

Розглянемо варіант, коли пропускна здатність третьої ланки «ПП - АТЗ» суттєво перебільшує пропускну здатність другої ланки та проаналізуємо альтернативний варіант перевезення із зменшенням кількості АТЗ до n_{A1} (на 1 од.) з одночасним зменшенням часу $t_{АП}$ - тривалості обороту (робочого циклу) автомобіля до $t_{АП1}$ шляхом.

Для аналізу приймаємо умову граничної пропускної здатності для третьої ланки як

$$N'_3 = N_2, \quad (8)$$

де N'_3 – пропускна здатність третьої ланки зі зменшенням кількості АТЗ до n_{A1} та відповідним зменшенням тривалості циклового часу до $t'_{АП1}$.

З урахуванням значення (2) одержимо

$$\frac{n_{A1} T_P \rho_{II}}{t_{ЦПП}} = \frac{n_{A1} T_P \rho_{II}}{t_{АП1}},$$

звідси

$$t_{АП1} = \frac{n_{A1} T_P \rho_{II}}{N_2} = \frac{n_{A1} T_P \rho_{II}}{t_{ЦПП}} = \frac{n_{A1} (K_P \frac{\rho_{II} \cdot \omega_K d_B}{W_{III}} + 0,08 + 0,12 \rho_{II})}{n_{II}} \quad (9)$$

Необхідне зменшення тривалості обороту АТЗ визначиться як

$$\Delta t = \frac{\rho_{II}}{\rho_{II} - 0,36} (K_P \frac{\rho_{II} \cdot \omega_K d_B}{W_{III}} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{PA}) - \frac{n_{A1}}{n_{II}} (K_P \frac{\rho_{II} \cdot \omega_K d_B}{W_{III}} + 0,08 + 0,12 \rho_{II}) \quad (10)$$

З іншого боку таке зменшення можливо розглядати як

$$\Delta t = t_{АП} - t_{АП1} = \frac{\rho_{II}}{\rho_{II} - 0,36} (\frac{2l_{ij}}{v_T} - \frac{2l_{ij}}{v_{T1}} + t_{PA} - t_{PA1}), \quad (11)$$

де t_{PA1} – тривалість розвантаження зерна на прийомному пункті для варіанту зменшення кількості АТЗ до n_{A1} .

Звідси бачимо, що зменшення тривалості обороту АТЗ може виконуватися за рахунок збільшення його технічної швидкості та зменшення часу розвантаження, що досягається при покращенні як дорожніх умов так і раціональної організації розвантажувальних робіт в приймальному пункті.

Величина технічної швидкості АТЗ, яка забезпечує необхідне зменшення часу визначиться з (11), якщо приймаємо умову $t_{PA} = t_{PA1}$:

$$v_{T1} = \frac{1}{\frac{1}{v_T} - \frac{\Delta t (\rho_{II} - 0,36)}{2l_{ij} \rho_{II}}} \quad (12)$$

Збільшення продуктивності АТЗ за рахунок зростання його технічної швидкості дозволить меншою кількістю АТЗ забезпечити необхідну пропускну здатність третьої ланки та за рахунок зменшення кількості АТЗ отримати певний економічний ефект.

Розглянемо на прикладі аналіз розрахованих значень пропускної здатності окремих ланок технологічного ланцюга з використанням аналітичних залежностей.

Приклад. Провести аналіз пропускної здатності окремих ланок технологічного ланцюга, який містить 1) комбайни з техніко-експлуатаційними показниками: $W_{KP} = 15,3$ т/год., $\omega_K = 10$ м³, $W_{ШК} = 300$ т/год., коефіцієнт циклового часу зміни $\delta_{3M} = 0,9$; 2) тракторні ПП; 3) АТЗ. Умови роботи: зернове поле 1800 га, урожайність 5 т/га, $d_B = 0,75$ т/м³, відстань перевезень зерна $l_{ij} = 8$ км, $v_T = 40$ км/год., час зміни $T_{3M} = 8$ год., $K_{3M} = 1,5$, агротермін збирання $D_P = 12$ днів.

Рішення.

1. Пропускна здатність першої ланки «поле - ЗК» визначається як

$$N_1 = \frac{m_K T_P \varphi W_{KP}}{\omega_K \cdot d_B} = \frac{6 \cdot 10,8 \cdot 0,85 \cdot 15,3}{7,5} = 112 \text{ бунк./зм.}$$

Кількість (одиниць) комбайнів, що необхідні для збирання урожаю, знаходиться за формулою:

$$m_K = \text{CEILING} \frac{S \cdot U}{W_K T_{3M} K_{3M} D_P} = \frac{1800 \cdot 5}{11,7 \cdot 8 \cdot 1,5 \cdot 12} = 6 \text{ од.},$$

де $W_K = W_{KP} \delta_{3M} \varphi = 15,3 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 11,7$ т/год. – продуктивність ЗК за годину змінного часу.

2. Пропускна здатність другої ланки «ЗК - ПП» знаходиться як

$$N_2 = \frac{n_{PP} T_P \rho_{PP}}{t_{ППП}} = \frac{2 \cdot 10,8 \cdot 3}{0,53} = 122 \text{ бунк./зм.},$$

де ρ_{PP} – кількість бункерів зерна, що завантажуються в ПП за один його оборот і визначається як:

$$\rho_{PP} = \text{INT} \frac{\omega_K d_B \left(\frac{1}{W_{KP} \varphi} + \frac{1}{W_{ШК}} \right) - 0,08}{0,12 + \frac{K_P \omega_K d_B}{W_{ППП}}} = 3 \text{ бунк.},$$

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

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

$$n_{PP} = \text{CEILING} \frac{m_K}{\rho_{PP}} = \text{CEILING} \frac{6}{3} = 2 \text{ од.},$$

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

Необхідної місткості 30 м³ та вантажопідйомності 22,5 т відповідає ПП марки Кінзе 850, який має вивантажувальний шнек з продуктивністю $W_{ШП} = 360$ т/год.

Тривалість обороту ПП – $t_{\text{ПП}}$ знаходиться з наступного рівняння

$$t_{\text{ПП}} = 0,08 + 0,12\rho_{\text{П}} + \frac{K_{\text{P}}\omega_{\text{K}}d_{\text{B}}\rho_{\text{П}}}{W_{\text{ПП}}} = 0,53 \text{ год.},$$

3. Пропускна здатність третьої ланки «ПП - АТЗ» дорівнює

$$N_3 = \frac{n_{\text{A}}T_{\text{P}}(\rho_{\text{П}} - 0,36)}{K_{\text{P}} \frac{\rho_{\text{П}} \cdot \omega_{\text{K}} d_{\text{B}}}{W_{\text{ПП}}} + \frac{2l_{ij}}{v_{\text{T}}} + t_{\text{PA}}} = \frac{3 \cdot 10,8 \cdot 2,64}{0,63} = 136 \text{ бунк./зм.},$$

де n_{A} – число АТЗ (одиниць) або груп АТЗ для перевезення зерна, кожне(а) з яких за вантажопідйомністю дорівнює або перевищує вантажопідйомність ПП, знаходиться з рівняння:

$$n_{\text{A}} = \text{CEILING} \frac{m_{\text{K}} \varphi \left(\frac{K_{\text{P}} \omega_{\text{K}} d_{\text{B}} \rho_{\text{П}}}{W_{\text{ПП}}} + \frac{2l_{ij}}{v_{\text{T}}} + t_{\text{PA}} \right)}{(\rho_{\text{П}} - 0,36)t_{\text{B}}} =$$

$$\text{CEILING} \frac{6 \cdot 0,85 \left(\frac{1,5 \cdot 7,5 \cdot 3}{360} + \frac{2 \cdot 8}{40} + 0,1 \right)}{0,5(3 - 0,36)} = 3 \text{ од.}$$

Отримані дані свідчать, що ЗТК забезпечує максимальну пропускну здатність першої ланки «поле - ЗК», оскільки відсутнє гальмування її роботи збоку другої та третьої ланок:

$$N_1 = 112 \leq N_2 = 122 \text{ бунк./зм.}, N_2 = 122 \leq N_3 = 136 \text{ бунк./зм.}$$

Припустимо, що пропускна здатність третьої ланки «ПП - АТЗ» суттєво перебільшує пропускну здатність другої ланки та проаналізуємо альтернативний варіант перевезення із зменшенням кількості АТЗ до $n_{\text{A}1} = 2$ од. з одночасним зменшенням тривалості обороту (робочого циклу) автомобіля до $t_{\text{АП1}}$ - шляхом, наприклад збільшення швидкості руху АТЗ .

Необхідне зменшення тривалості обороту АТЗ визначиться з (10) як

$$\Delta t = \frac{\rho_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} - 0,36} \left(K_{\text{P}} \frac{\rho_{\text{П}} \cdot \omega_{\text{K}} d_{\text{B}}}{W_{\text{ПП}}} + \frac{2l_{ij}}{v_{\text{T}}} + t_{\text{PA}} \right) - \frac{n_{\text{A}1}}{n_{\text{П}}} \left(K_{\text{P}} \frac{\rho_{\text{П}} \cdot \omega_{\text{K}} d_{\text{B}}}{W_{\text{ПП}}} + 0,08 + 0,12\rho_{\text{П}} \right) = 0,14 \text{ год.}$$

Тривалість часу обороту АТЗ після зменшення їх кількості дорівнює:

$$t_{\text{АП1}} = \frac{n_{\text{A}1} \left(K_{\text{P}} \frac{\rho_{\text{П}} \cdot \omega_{\text{K}} d_{\text{B}}}{W_{\text{ПП}}} + 0,08 + 0,12\rho_{\text{П}} \right)}{n_{\text{П}}} = 0,53 \text{ год.}$$

Величина технічної швидкості АТЗ, яка забезпечує необхідне зменшення часу визначиться з (12):

$$v_{\text{T1}} = \frac{1}{\frac{1}{v_{\text{T}}} - \frac{\Delta t(\rho_{\text{П}} - 0,36)}{2l_{ij}\rho_{\text{П}}}} = 57,4 \text{ км/год.}$$

Оскільки така швидкість досягається в господарських умовах при відповідному покращенні дорожніх умов, то можливо стверджувати, що різниця в значеннях пропускної здатності третьої та другої ланок суттєва.

Необхідне збільшення продуктивності АТЗ можливо за рахунок зростання технічної швидкості від 40 до 57,4 км/год. Це дозволить меншою кількістю АТЗ (2 од. замість 3 од.) забезпечити необхідну пропускну здатність третьої ланки «ПП - АТЗ». Раціональний ЗТК містить 6 од. ЗК, 2 тракторних ПП і 2 АТЗ. Економічний ефект при цьому дорівнює вартості одного АТЗ.

Таким чином аналіз пропускної здатності збирально-транспортного комплексу для зернових культур показує шляхи зменшення кількості транспортних машин в технологічному комплексі для отримання відповідної економічної ефективності.

Висновок. Запропонована методика аналізу параметрів збирально-транспортного комплексу для зернових культур при застосуванні перевантажувальної технології, яка показує шляхи зменшення кількості транспортних машин в технологічному комплексі та отримання відповідної економічної ефективності.

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. *Фришев С.Г.* Транспортний процес в АПК: Посібник для самостійної роботи студентів / *С.Г. Фришев, В.З. Докуніхін, С.І. Козулиця*. – К. : Державна академія керівних кадрів, 2010. – 484 с.
3. *Бурьянов А.И.* Технология, организация и планирование перевозок грузов на сельскохозяйственных предприятиях: монография. / *А.И. Бурьянов*. – зерноград: ФГОУВПОАЧГАА, 2010. – 268 с.
4. *Нагірний Ю.П.* Обгрунтування інженерних рішень / *Ю.П. Нагірний*. – К.: Урожай, 1994. – 215 с.

Предлагается методика анализа пропускной способности машинно-транспортного комплекса для зерновых культур и совершенствования его параметров при применении перегрузочной технологии.

Пропускная способность, зерноуборочные комбайны, прицепы-перегружатели, автомобили, анализ, методика, параметры процессов.

The technique of analysis bandwidth machine-transport complex for crops and improvement of its parameters in application of technology overload.

Trackcapacity, combineharvesters, trailers-unloaders, cars, theanalysis, technique, parametresofprocesses.

УДК 636.1

**АНАЛІЗ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ
ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ (ПРОЦЕСІВ У СІЛЬСЬКОМУ
ГОСПОДАРСТВІ)**

***О.В. Шобаніна, доктор економічних наук
В.С. Хмельовський, кандидат технічних наук
К.Д. Веселівський, інженер***

Наведений аналіз чисельних методів для розв'язку задач прикладної фізики (процесів у сільському господарстві), що прискорює й підвищує ефективність процесу вирішення останніх.

Чисельні методи, прикладна фізика, метод кінцевих різниць, метод кінцевих елементів, метод дискретних елементів.

Постановка проблеми. Нині вирішення систем диференціальних та інтегральних рівнянь, що виникають при розв'язку задач прикладної фізики, здійснюється за допомогою чисельних методів на персональному комп'ютері. Застосування останніх дає змогу спростити сам процес вирішення та підвищує достовірність результатів, а застосування ПК з пакетами програм забезпечує повну автоматизацію процесу [1]. Тому аналіз чисельних методів для розв'язку задач прикладної фізики (процесів у сільському господарстві) є актуальним. Метод кінцевих різниць (МКР) – широко відомий (найпростіший) метод інтерполяції [2]. Його суть полягає в заміні диференціальних коефіцієнтів в рівнянні на коефіцієнти їх різниці, що дозволяє звести вирішення диференціального рівняння до вирішення аналога рівняння його різниць, тобто побудувати кінцево-різничну схему, вирішення її відповідає наближеному рішенню початкового диференціального рівняння. Розглянемо квадратичний многочлен $p(t)=2t^2-3t+2$ та припустимо, що ми знаємо його табличні значення (табл.1) (одно факторний експеримент) $p(0)$, $p(0,1)$, $p(0,2)$, $p(0,3)$, $p(0,4)$ і т. д.

В таблиці перший стовпчик містить значення полінома, другий – різницю між двома верхніми (сусідніми) з першої колонки, а третій – різницю між двома сусідніми з другої колонки. Можна відмітити, що