

УДК 631.354.2.

С. В. Пустовіт, канд. техн. наук

*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна
pustovitl@ukr.net*

Обґрунтування необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки

Описано конструктивні параметри нижнього та верхнього жалюзійного решета та проведено обґрунтування необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки.

жалюзійне решето, система очистки, травмування, повітряний потік, амплітуда коливання решета

С. В. Пустовит, канд. техн. наук

Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина

Обоснование необходимой длины сепарирующей поверхности нижнего решета очистки

Описаны конструктивные параметры нижнего и верхнего жалюзийного решета и проведено обоснование необходимой длины сепарирующей поверхности нижнего решета очистки.

жалюзное решето, система очистки, травмирования, воздушный поток, амплитуда колебания решета

Постановка проблеми. Виробництво зерна – найважливіше завдання, що чинить істотний вплив на розвиток економіки країни, дозволяє забезпечити в міжнародних відносинах економічну незалежність держави.

Нині сільськогосподарське виробництво повинне забезпечити потребу країни у високоякісному продовольчому й фуражному зерні, створити необхідні державні резерви та ресурси для його експорту. Резервом є зменшення його втрат у процесі збирання, транспортування, післязбиральної обробки й зберігання.

Рішення цього завдання багато в чому залежить від продуктивності і якості роботи зернозбиральних комбайнів, які на сьогодні залишаються основним засобом збирання зернових культур і є одним із джерел утрат зерна. У створенні нових високопродуктивних комбайнів з пропускною здатністю 10 – 12 кг/с і вище велика увага приділяється вдосконаленню системи очистки, котра є стримуючим чинником у підвищенні продуктивності комбайнів.

Проблема забезпечення високої пропускної здатності збиральних машин та зменшення рівня травмування зерна пов'язана з удосконаленням їх конструктивних особливостей.

Тому проведення досліджень, з метою зниження травмування зерна під час збирання з обґрунтуванням необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час є велика кількість наукових праць, пов'язаних з дослідженням травмування зерна під час збирання.

У формування теорії та проведенні досліджень, з метою зниження травмування зерна під час збирання, значний внесок зробили: О. П. Тарасенко, В. П. Мартіросова, А. Н. Пугачов та інші [3], [4], [5].

В дослідженнях Воцкога З. И. зауважується, що навіть за правильного налаштування очистки в камеру колосового шнека потрапляє до 10 % обмолочуваного зерна, а наявність циркулюючого навантаження в його молотарці призводить до збільшення втрат від 20 до 50 % і до підвищення його дроблення з 30 до 50 %.

Якість роботи очистки залежить від співвідношення зерна й соломистих домішок у воросі. Зокрема, у роботі В. Ф. Федорова зазначено, що збільшення соломистих домішок у воросі на 20 – 50 % збільшує вихід зерна в колосовий шнек з 0,75 до 2,34 %. За оптимальних регулюваннях системи очистки в камеру колосового шнека поступає до 10 % вільного зерна від поданого на очистку, що збільшує його травмування в 1,2 – 1,5 рази.

Одним із істотних недоліків збиральних комбайнів, що впливає на травмування зерна, є наявність циркулюючого навантаження – виходу вороху в колосовий шнек і його повернення в молотарку. Це веде до збільшення завантаження молотарки, росту втрат і травмування зерна.

Постановка завдання. Метою роботи являється зниження травмування зерна при збиранні, шляхом обґрунтування необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки.

Виклад основного матеріалу. Спостереження за роботою очистки зернозбиральних комбайнів показують, що внаслідок ударних дій поверхні жалюзі зернини відбиваються. При цьому в сукупності з підрешітним повітряним потоком частина з них, рухаючись деякими траєкторіями, вилітає за задню кромку нижнього решета. Це знижує якість роботи очистки, оскільки збільшує схід вільного зерна в колосовий шнек комбайна, а відтак до його додаткового травмування.

Можна припустити, що виліт зерна за задню кромку решета є наслідком недостатньо обґрунтованого вибору співвідношення довжини верхнього й нижнього жалюзійних решіт. Тому для підвищення ефективності роботи очистки потрібне

теоретичне обґрунтування довжини нижнього жалюзійного решета L_n , а також отримання аналітичної залежності, яка зв'язує довжину нижнього решета з конструктивними й кінематичними параметрами очистки.

Вирішуючи це завдання розглянемо план швидкостей, діючих на зернину в момент зіткнення її з поверхнею жалюзі решета (рис.1).

Нехай решето здійснює періодичні коливання вздовж лінії ДЕ, що проходить під кутом β до горизонту (де β – кут напряму коливань решета). Тоді в момент удару поверхні жалюзі об зернину із швидкістю V_p кут зіткнення ψ буде рівний:

$$\psi = 90^\circ - \alpha,$$

де α – кут відкриття жалюзі решета.

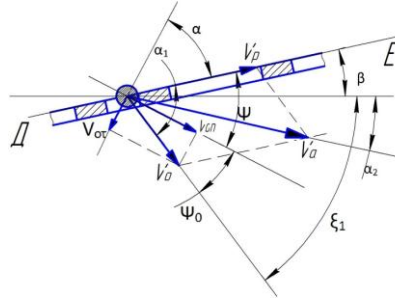


Рисунок 1. План швидкостей, діючих на зернину в момент зіткнення її з поверхнею жалюзі верхнього решета очистки.

Згідно із законами механіки, вектор швидкості будь-якого пружного тіла і поверхні матиме відносно до останньої нормальну V_n і дотичну V_τ складові. Але оскільки у випадку, що розглядається, удар не є абсолютно пружним, то після зіткнення зернина відбивається від поверхні жалюзі під кутом ψ_0 і набуває деякої швидкості V_0 .

Вектор швидкості після зіткнення буде спрямований під кутом ξ_1 відносно до горизонталі. Величину і напрям швидкості зернини після зіткнення визначимо за відомим правилом плану швидкостей:

$$V_0 = \sqrt{V_{0n}^2 + V_{0\tau}^2}, \quad (1)$$

$$\xi_1 = 90 - \alpha - \beta + \psi_0. \quad (2)$$

Значення складових швидкостей визначається з виразів:

$$V_n = V_p \sin \alpha, \quad V_\tau = V_p \cos \alpha;$$

$$V_{0n} = \varepsilon V_n = \varepsilon V_p \sin \alpha; \quad V_{0\tau} = f V_\tau = f V_p \cos \alpha,$$

де $\varepsilon = \frac{V_{0n}}{V_n}$ і $f = \frac{V_{0\tau}}{V_\tau}$ – відповідно коефіцієнти відновлення швидкості і миттєвого тертя під час удару.

Підставивши ці вирази в рівняння (1), отримаємо:

$$V_0 = V_p \sqrt{\varepsilon^2 \sin^2 \alpha + f^2 \cos^2 \alpha}. \quad (3)$$

Кут віддзеркалення ψ_0 визначається за формулою:

$$\cos \psi_0 = \frac{V_{0n}}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{\varepsilon} \operatorname{ctg} \alpha\right)^2}}. \quad (4)$$

Абсолютна швидкість зернини після удару дорівнює сумі векторів \overline{V}_p та \overline{V}_0 і може бути визначена за відомою теоремою косинусів

$$V_a = \sqrt{V_p^2 + V_0^2 + 2V_p V_0 \cos \alpha_1}. \quad (5)$$

Вектор абсолютної швидкості буде спрямований під кутом α_2 відносно до горизонту. Відбившись від поверхні жалюзі, зернина вступає у взаємодію з підрешітним повітряним потоком. Схема сил, діючих на зернину в повітряному потоці, зображена на рис. 2.

Нехай повітряний потік діє на зернину із швидкістю C . Знаючи величину й напрям вектору абсолютної швидкості зернини, а також повітряного потоку C , можна у відповідності до векторного рівняння $\overline{V}_a = \overline{C} + \overline{U}_0$ і планом швидкостей (рис. 2) розрахувати величину й напрям вектору швидкості зернини відносно повітряного потоку:

$$U_0 = \sqrt{C^2 + V_a^2 - 2CV_a \cdot \cos(\alpha_2 + \xi)}. \quad (6)$$

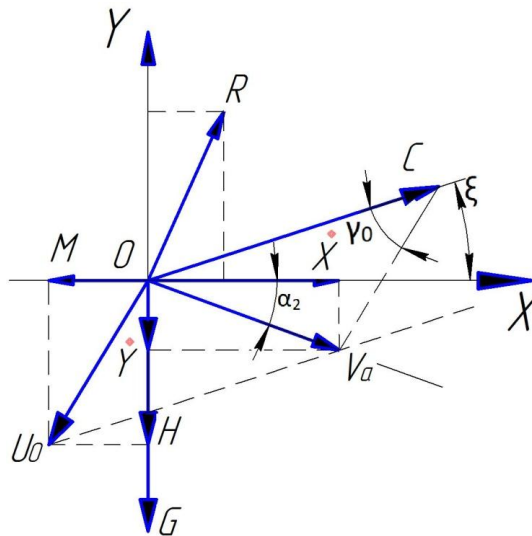


Рисунок 2. Схема сил і швидкостей, прикладених до зернини в повітряному потоці після її зіткнення з поверхнею жалюзі верхнього решета.

Оскільки напрям швидкості U_0 визначається кутом γ_0 до напрямку швидкості повітряного потоку, то його можна записати:

$$\sin \gamma_0 = \frac{V_a}{U_0} \cdot \sin(\alpha_2 + \xi), \quad (7)$$

де ξ – кут нахилу повітряного потоку до горизонту, град.

У повітряному потоці на зернину масою m діятимуть сила тяжіння

$$G = m \cdot g$$

і сила опору повітряного потоку (реакція повітря):

$$R = m \cdot k_n \cdot U_0^2, \quad (8)$$

де $k_n = \frac{\kappa \cdot \rho \cdot F}{m}$ – коефіцієнт парусності;

κ – коефіцієнт опору повітря;

ρ – густина повітря;

F і m – відповідно міделевий переріз і маса зернини.

Сила R спрямована протилежно до відносної швидкості U_0 . Під дією прикладених сил зернина рухатиметься в потоці деякою траєкторією, набуваючи в будь-якій конкретній точці нових значень початкових параметрів (надалі будемо писати без індексу «0»).

Складемо рівняння руху зернини в координатах XOY (рис.2):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = R\cos(\gamma + \xi) \\ m\ddot{y} = -mg + R\sin(\gamma + \xi). \end{cases} \quad (9)$$

Підставляючи в рівняння (9) значення R із рівняння (8), отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k_{II} U^2 \cos(\gamma + \xi) \\ \ddot{y} = -g + k_{II} U^2 \sin(\gamma + \xi). \end{cases} \quad (10)$$

З плану швидкостей (рис. 2) матимемо:

$$\begin{aligned} OM &= C\cos\xi - x, \\ OH &= C\sin\xi + y. \end{aligned}$$

Відповідно

$$U^2 = (C\cos\xi - x)^2 + (C\sin\xi + y)^2. \quad (11)$$

Підставивши рівняння (11) в рівняння (10), отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k_{II} [(C\cos\xi - x)^2 + (C\sin\xi + y)^2] \cos(\gamma + \xi) \\ \ddot{y} = -g + k_{II} [(C\cos\xi - x)^2 + (C\sin\xi + y)^2] \sin(\gamma + \xi). \end{cases} \quad (12)$$

З плану швидкостей (рис. 2) можна записати:

$$\begin{cases} U \cos(\gamma + \xi) = C \cos \xi - x \\ U \sin(\gamma + \xi) = C \sin \xi + y. \end{cases} \quad (13)$$

Зважаючи, що $\sin(\gamma + \xi) = \operatorname{tg}(\gamma + \xi) \cos(\gamma + \xi)$ і прирівнюючи праві частини (13), отримаємо:

$$\begin{cases} x = C\cos\xi - \frac{C\sin\xi + y}{\operatorname{tg}(\gamma + \xi)} \\ y = C\cos\xi \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \xi) - x \operatorname{tg}(\gamma + \xi) - C\sin\xi. \end{cases} \quad (14)$$

Підставимо рівняння (14) в (12) й після деяких перетворень будемо мати:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k_{II} (C\cos\xi - x)^2 [\cos(\gamma + \xi) + \frac{\sin^2(\gamma + \xi)}{\cos(\gamma + \xi)}] \\ \ddot{y} = -g + k_{II} (C\sin\xi + y)^2 [\sin(\gamma + \xi) + \frac{\cos^2(\gamma + \xi)}{\sin(\gamma + \xi)}]. \end{cases} \quad (15)$$

Уведемо позначення:

$$\begin{cases} A_1 = k_{II} [\cos(\gamma + \xi) + \frac{\sin^2(\gamma + \xi)}{\cos(\gamma + \xi)}] \\ B_1 = k_{II} [\sin(\gamma + \xi) + \frac{\cos^2(\gamma + \xi)}{\sin(\gamma + \xi)}]. \end{cases} \quad (16)$$

Тоді отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = A_1 x^2 - 2A_1 C \cos \xi x + A_1 C^2 \cos^2 \xi \\ \ddot{y} = -g + B_1 y^2 + 2B_1 C \sin \xi y + B_1 C^2 \sin^2 \xi. \end{cases} \quad (17)$$

Отримані диференціальні рівняння руху зернини в косому потоці повітря з моменту її зіткнення з поверхнею жалюзі решета є нелінійними диференціальними рівняннями другого роду. У загальному вигляді такі рівняння мають такий запис:

$$ay'' + by' + c = 0. \quad (18)$$

Лінеаризація й відповідні перетворення рівняння (18) призводять до його такого вигляду:

$$g'' = g^2 + pg + g, \quad (19)$$

Оскільки з рівнянь (17) видно, що всі члени (19) значущі, то наближене рішення поставленої нами завдання можливе лише за умови введення деяких допущень, виходячи з фізичної суті процесу.

Беручи до уваги умову забезпечення якості процесу розділення вороху, тобто винесення з очистки тільки легких домішок, швидкість повітряного потоку в решітних очистках порівняно мала. З урахуванням цього незначною зміною напрямку реакції повітря R під час польоту зернини можна знехтувати. Тоді можна вважати, що сила R надає зернині постійне прискорення:

$$j = \frac{R}{m} = k_n U^2. \quad (20)$$

Із прийнятими допущеннями рішення задачі значно спрощується, і залежності для визначення проекцій швидкості руху зернини на осі координат X і Y набудуть вигляду:

$$\begin{cases} \dot{x} = V_a C \cos \alpha_2 + k_n U^2 \cos(\gamma + \xi)t \\ \dot{y} = -gt - V_a \sin \alpha_2 + k_n U^2 \sin(\gamma + \xi)t. \end{cases} \quad (21)$$

Після інтегрування (21) отримуємо проекції переміщення зернини на осі координат X і Y :

$$\begin{cases} x = V_a \cos \alpha_2 t + k_n \frac{U^2 \cos(\gamma + \xi)t^2}{2} \\ y = -\frac{gt^2}{2} - V_a \sin \alpha_2 t + k_n \frac{U^2 \sin(\gamma + \xi)t^2}{2}. \end{cases} \quad (22)$$

Виключимо з рівнянь (22) час t , оскільки $t \geq 0$, матимемо:

$$t = \frac{\sqrt{V_a^2 \cos^2 \alpha_2 + 2k_n U^2 \cos(\gamma + \xi)x} - V_a \cos \alpha_2}{k_n U^2 \cos(\gamma + \xi)}. \quad (23)$$

Уведемо наступні позначення:

$$\begin{aligned} a_x &= V_a \cos \alpha_2; & b_x &= k_n U^2 \cos(\gamma + \xi); \\ a_y &= V_a \sin \alpha_2; & b_y &= k_n U^2 \sin(\gamma + \xi). \end{aligned} \quad (24)$$

Тоді рівняння (23) виглядатиме:

$$t = \frac{\sqrt{a_x^2 + 2b_x x_1} - a_x}{b_x} \quad (25)$$

Підставивши значення t в рівняння (22) і перетворивши, отримаємо рівняння траєкторії руху зернини після зіткнення із жалюзійним решетом:

$$y = \frac{(b_y - g)(a_x^2 + x b_x) + \sqrt{a_x^2 + 2b_x x}(g a_x - a_y b_x - b_y a_x) + a_y b_x a_x}{b_x^2}. \quad (26)$$

Вираз (26) є рівнянням параболи. Отже, рух зернини після зіткнення з жалюзі решета відбувається по параболічних кривих.

Для того, щоб розрахувати величину необхідної різниці ΔL довжини нижнього жалюзійного решета L_H порівняно з довжиною верхнього решета L_B , спочатку визначимо довжину польоту зернини після удару ($l_1 = NN_1$) уздовж лінії напрямку нижнього решета (рис. 3).

Для визначення довжини польоту $l_1 = NN_1$ (рис. 3) знайдемо місце знаходження точки N_1 . Для цього в прийнятій нами системі координат напишемо рівняння похилої площини нижнього жалюзійного решета:

$$y = x_1 \operatorname{tg} \eta - h, \quad (27)$$

де h – відстань між решетами по осі Y , м;

η – кут напрямку коливань нижнього решета, град.

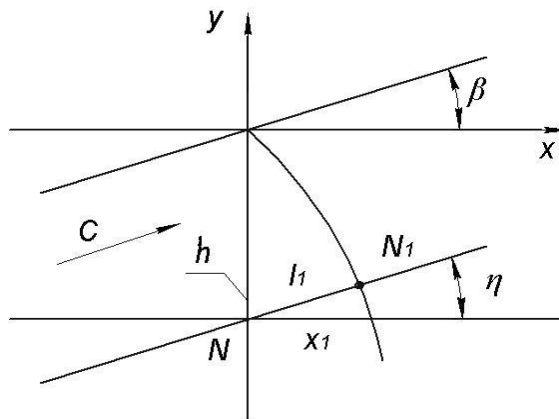


Рисунок 3. Схема для визначення довжини польоту зернини вздовж лінії напрямку коливань нижнього решета після її зіткнення з поверхнею жалюзі верхнього решета.

Координати точки перетину параболи з площиною нижнього решета знайдемо, виходячи з рівнянь (26) і (27):

$$x_1 \operatorname{tg} \eta - h = \frac{(b_y - g)(a_x^2 + x \cdot b_x) + \sqrt{a_x^2 + 2b_x x}(g a_x - a_x b_x - b_y a_x) + a_y b_x a_x}{b_x^2}. \quad (28)$$

Довжина польоту зернини відповідно до рис. 3 становитиме:

$$l_1 = \frac{x_1}{\cos \eta}. \quad (29)$$

Після відповідних перетворень (28) і (29) рівняння наберуть вигляду:

$$x_1 = \frac{ABD^2 b_x + \sqrt{D^2 [D^2 b_x^2 + A^2 \cdot a_x - 2ABb_x]}}{A^2} \quad (30)$$

$$l_1 = \frac{ABD^2 b_x + \sqrt{D^2 [D^2 b_x^2 + A^2 a_x - 2ABb_x]}}{A^2 \cos \eta}, \quad (31)$$

де $A = b_x (b_y - g) - b_x^2 \operatorname{tg} \eta$;

$B = h b_x^2 + a_x^2 (b_y - g) + a_x b_x a_y$;

θ – кут нахилу веденого радіуса коливань r_1 відносно вертикальної осі, який відповідає положенню точки M_1 , град;

χ – кут асиметрії радіусів коливань решіт, град.

Згідно із законами гармонійних періодичних коливань, можна записати:

$$l = a \frac{r_2}{r_1} \sin 2\pi t \quad (38)$$

Підставивши значення l_0 і l з рівняння (37) і (38) в (36), отримаємо:

$$\Delta L = l_1 - \left(\frac{r_1 \sin \theta + r_2 \sin(\theta + \chi)}{\cos \eta} + a \frac{r_2}{r_1} \sin 2\pi t_1 \right) \quad (39)$$

З урахуванням виразів (36) і (39) залежність для визначення необхідної довжини нижнього жалюзійного решета, очистки комбайна набуде вигляду:

$$L_n = L_B + l_1 - \left(\frac{r_1 \sin \theta + r_2 \sin(\theta + \chi)}{\cos \eta} + a \frac{r_2}{r_1} \sin 2\pi t_1 \right) \quad (40)$$

Рівняння (40) може бути використане для визначення необхідної довжини нижнього жалюзійного решета комбайнів з аналогічною технологічною схемою очистки.

Висновки. Описано обґрунтування необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки, де отримані диференціальні рівняння руху зернини в косому потоці повітря у момент її зіткнення з поверхнею жалюзі решета, що є нелінійними диференціальними рівняннями другого роду.

Визначено довжину польоту зернини після удару уздовж лінії напрямку нижнього решета та час польоту.

Отримано залежність для визначення необхідної довжини нижнього жалюзійного решета, очистки комбайна.

Список літератури

1. Урайкин В. М. Влияние циркулирующих нагрузок на качество работ молотильно-сепарирующих устройств комбайнов / В. М. Урайкин, Н. И. Косилов, М. Г. Степичев. - Тр./ЧИМЭСХ - Вып.95. - 22-31 с.
2. Шпокас Л. И. Исследование работы колосового элеватора СК-5 "Нива" на холмистых полях // Науч. тр./Латв. с.-х. Акад.- Вильнюс: Москва. - 1980. Вып. XXVI, 3(82). - 24-30 с.
3. Тарасенко А. П. Снижение травмирования семян при уборке и после уборочной обработке. А. П. Тарасенко. – Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2003. С.310-314.
4. Мартиросова В. П. Травмирование семян зерновых культур при обмолоте В. П. Мартиросова. - ТСХА.: - 1965. 51-56с.
5. Пугачев А. Н. Повреждение зерна машинами А. Н. Пугачев. - М.: Колос, 1976. 315-320 с.

Sergij Pustovit, PhD tech. sci.

Zhytomyr national agroecological University, Zhitomir, Ukraine

The rationale for the required length separating the bottom surface of the cleaning sieve

The aim of this work is to reduce injury to the grain during harvesting, by way of justification required length separating the bottom surface of the cleaning sieve.

Describes the design parameters of the upper and lower louvered sieve and conducted substantiation required length separating the bottom surface of the cleaning sieve.

Determined the length of flight of grains after impact along the line of the lower sieve and the flight time. The dependence for determining the necessary length of the lower louver sieve, cleaning of the combine.

key words: galuzina sieve, cleaning system, injuries, airflow fluctuation amplitude of the sieve.

Одержано 05.11.15