

ЗАКОНОМІРНОСТІ СХОДУ ПРОДУКТІВ ОБМОЛОТУ В КОЛОСОВИЙ ШНЕК ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

**С. М. Герук, кандидат технічних наук
Житомирський агротехнічний коледж
С. В. Пустовіт, кандидат технічних наук
Житомирський національний агроекологічний університет
А. П. Довбиш, аспірант***
**Національний науковий центр «Інститут механізації та
електрифікації сільського господарства»
e-mail: sgerukzt@mail.ru; pustovitl@ukr.net**

Анотація. Отримані рівняння, котрі дозволяють визначити схід зерна з решета залежно від його завантаження, довжини і коефіцієнта сепарації. Отримано формули по визначенню загальної кількості вільного зерна, що надходить в камеру колосового шнека з очистки комбайна, кількість зерна, що потрапляє в камеру колосового шнека з подовжувача верхнього решета, а також визначенню траєкторії польоту зернівки в міжрешітному просторі. Проведено опис по визначенню сходу вільного зерна в камеру колосового шнека з нижнього решета.

Описано процес сепарації зерна на повітряно-решітній очистці на яку впливають кількість і рівномірність подавання вороху, склад його компонентів, вологість зерна й незернової частини, конструктивні та режимні параметри очистки. Розглянуто процес сходу вільного зерна з очистки в камеру колосового шнека зернозбирального комбайна.

Одержана залежність, котра дозволяє визначити схід зерна з нижнього решета в камеру колосового шнека при відомих коефіцієнтах сепарації зерна.

Ключові слова: сепарація, колосовий шнек, процес, параметри очистки, повітряно-решітна очистка

Постановка проблеми. Основним завданням агропромислового комплексу країни є стійке нарощування виробництва зерна, яке потрібне для формування посівних фондів, забезпечення продуктами харчування населення і тваринництва фуражем. Отримання високих врожаїв залежить насамперед від кондиційного високоякісного насіння.

*Науковий керівник – кандидат технічних наук С. М. Герук

Аналіз стану механізації збирання зернових культур показав, що найближчим часом домінуючими залишаться комбайнові способи збирання зернових культур. Тому наукові дослідження і конструкторські розробки спрямовані на подальше підвищення пропускної спроможності комбайнів, яка значною мірою залежить від конструктивних і режимних параметрів очистки.

Аналіз останніх досліджень. На даний час є велика кількість наукових праць, пов'язаних з дослідженням очистки зерна під час збирання. У формування теорії та проведенні досліджень, з метою покращення сепарації зерна на повітряно-решітній очистці, значний внесок зробили: О. П. Тарасенко, В. П. Мартіросова, А. Н. Пугачов, В. І. Оробінський.

В дослідженнях З. І. Воцького зауважується, що навіть за правильного налаштування очистки в камеру колосового шнека потрапляє до 10 % обмолоченого 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 %.

Мета досліджень являється вивчення процесу сепарації зерна на повітряно-решітній очистці зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич».

Результати досліджень. Зерновий ворох, що поступає на очистку зернозбирального комбайна, є багатокомпонентною сумішшю, яка складається з необмолочених колосків, вільного зерна й незернової частини – полови. Компоненти вороху розрізняються між собою як за аеродинамічними властивостями, і за розмірами, а їх співвідношення у воросі залежить від культури, фізико-механічних властивостей хлібної маси, конструктивних і режимних параметрів молотильно – сепаруючого пристрою.

На сепарацію зерна на повітряно-решітній очистці впливають кількість і рівномірність подавання вороху, склад його компонентів, вологість зерна й незернової частини, конструктивні та режимні параметри очистки.

Зерновий ворох, що сходить з транспортної дошки, потрапляє на верхнє решето очистки, де він розділяється внаслідок спільної дії повітряного потоку й коливань решета. Водночас половина відноситься повітряним потоком за межі очистки, а необмолочені частинки колосків з верхнього решета надходять на подовжувач. Вільне зерно з частиною незернових домішок просипається на нижнє решето. Частина вільного зерна разом з необмолоченими колосками

потрапляє з верхнього решета на подовжувач. При цьому деяка частина вільного зерна і необмолочених частинок колосків сходить з подовжувача і надходить в камеру колосового шнека, а та, що залишилася, сходить разом з половиною та втрачається.

Ворох, що надійшов на нижнє решето, очищається від половистих домішок, які відносяться повітряним потоком, а зерно просівається через решето і подається в бункер. Деяка його частина разом з частками полови, що залишилися, сходить з решета потрапляє в камеру колосового шнека. Колосовий ворох, до якого входять необмолочені колоски, вільне зерно й незернові домішки, подається в дообмолочувальний пристрій, і надалі повертається на очистку. Розглянемо процес сходу вільного зерна з очистки в камеру колосового шнека зернозбирального комбайна.

На думку І. Я. Чумаченка, виділення зерна з вороху, який рухається по поверхні верхнього решета і подовжувачем, відбувається на всій їх довжині, зокрема й на ділянках, які розташовані над камерою колосового шнека. Водночас зерно в камеру колосового шнека поступає проходом через подовжувач Y_2' винесенням з міжрешітного простору $Y_{\Delta L_1}'$ і сходом з нижнього решета Y_3 (рис. 1).

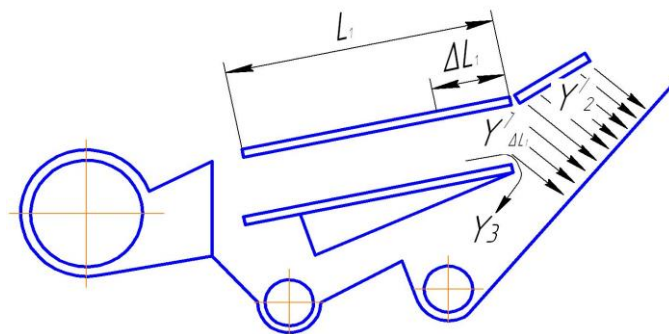


Рис. 1. Зони сходу продуктів обмолоту з очистки комбайна в камеру колосового шнека.

Потік вільного зерна Y_2' , що надходить через подовжувач, утворюється внаслідок незавершеності процесу сепарації на верхньому решеті. З міжрешітного простору виноситься зерно $Y_{\Delta L_1}'$, яке просіпається через задню частину верхнього решета завдовжки ΔL_1 і, підхоплене повітряним потоком та решетом, виноситься за межі нижнього решета. Схід з нижнього решета Y_3 відбувається внаслідок незавершеності процесу сепарації на цьому решеті.

Загальну кількість вільного зерна, що надходить в камеру колосового шнека з очистки комбайна, можна виразити рівнянням:

$$Y_k = Y_2' + Y_{\Delta L_1}' + Y_3, \quad (1)$$

де: Y_k – загальна кількість вільного зерна; Y_2' – схід зерна через подовжувач; $Y_{\Delta L_1}'$ – схід зерна з міжрешітного простору; Y_3 – схід зерна з нижнього решета.

Головною причиною сходу вільного зерна в камеру колосового шнека є незавершеність процесів сепарації на верхньому й нижньому решетах.

Найбільш поширеним для розрахунку кількості зерна, що поступає з решіт очистки в колосовий шнек, є закон сепарації:

$$Y = Y_0 e^{-\mu L}, \quad (2)$$

де: Y – кількість зерна, що поступає з решета очистки; Y_0 – подача вороху на початок решета, кг/с; μ – коефіцієнт сепарації; L – довжина решета, м.

Коефіцієнт сепарації μ можна визначити з виразу:

$$\mu = \frac{\alpha\beta}{V_{сеп}t}, \quad (3)$$

де: α – імовірність просіювання зерна через просторову ділянку; β – імовірність просіювання зерна через решета; $V_{сеп}$ – середня швидкість переміщення вороху решетом м/с; t – проміжок часу між струшуваннями, с.

Імовірність проходу зернини через шар вороху змінюється за довжиною решета у зв'язку з тим, що зменшується товщина шару вороху й змінюється його склад.

Отже, коефіцієнт сепарації зерна залежить від довжини решета, тобто:

$$\mu = f(L). \quad (4)$$

Кількість зерна, що потрапляє в камеру колосового шнека з подовжувача верхнього решета:

$$Y_2' = Y_1 - Y_2, \quad (5)$$

де: Y_1 – схід зерна з верхнього решета; Y_2 – схід зерна з подовжувача з незерною частиною урожаю.

Ураховуючи (2), отримаємо:

$$Y_1 = Y_0 e^{-\mu_1 L_1}, \quad (6)$$

$$Y_2 = Y_1 e^{-\mu_2 L_2}, \quad (7)$$

де: μ_1, μ_2 – коефіцієнти сепарації відповідно для верхнього решета й подовжувача; L_1 – довжина верхнього решета, м; L_2 – довжина подовжувача, м.

Підставивши в рівняння (5) значення Y_1 і Y_2 з (6) і (7), отримаємо

$$Y_2' = Y_0 e^{-\mu_1 L_1} (1 - e^{-\mu_2 L_2}). \quad (8)$$

Кількість зерна $Y_{\Delta L_1}'$, що просівається через задню частину верхнього решета на довжині ΔL_1 , можна визначити:

$$Y'_{\Delta L_1} = Y_{(L_1 - \Delta L_1)} - Y_1, \quad (9)$$

де: $Y_{(L_1 - \Delta L_1)}$ – схід зерна з верхнього решета завдовжки $L_1 - \Delta L_1$, коли воно ще не виноситься з міжрешітного простору в камеру колосового шнека.

Величина ΔL_1 визначається траєкторією польоту зернівки в міжрешітному просторі.

Ураховуючи закон сепарації (2), будемо мати:

$$Y_{(L_1 - \Delta L_1)} = Y_0 e^{-\mu_1(L_1 - \Delta L_1)}. \quad (10)$$

Підставляючи в рівняння (9) значення (6) і (7), отримаємо:

$$Y'_{\Delta L} = Y_0(e^{-\mu_1(L_1 - \Delta L_1)} - e^{-\mu_1 L_1}). \quad (11)$$

Схід вільного зерна в камеру колосового шнека з нижнього решета визначається закономірністю сепарації на ньому.

Виходячи із закону (2), на ділянці X (рис. 2) з верхнього решета на нижнє попаде така кількість вороху:

$$Y'_1 = Y_0(1 - e^{-\mu_1 x}). \quad (12)$$

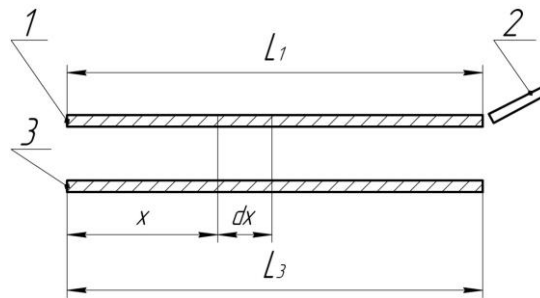


Рис. 2. Схема для визначення сходу вороху з нижнього решета: 1 – верхнє решето; 2 – подовжувач; 3 – нижнє решето.

Диференціюючи рівняння (12), отримаємо залежність, що характеризує інтенсивність сепарації на довільній елементарній ділянці за довжиною верхнього решета:

$$\frac{dY'_1}{dx} = Y_0 \mu_1 e^{-\mu_1 x} dx. \quad (13)$$

Тоді кількість зерна, що просівається на ділянці dx з верхнього решета на нижнє, є завантаженням нижнього решета на цій ділянці:

$$dY'_1 = Y_0 \mu_1 e^{-\mu_1 x} dx. \quad (14)$$

У процесі подальшої сепарації на ділянці dx на нижньому решеті з цього зерна залишиться:

$$dY_3 = dY'_1 e^{-\mu_3(L_3 - x)}. \quad (15)$$

Проінтегрувавши цей вираз, отримаємо загальну кількість зерна, що зійшло з нижнього решета в колосовий шнек:

$$Y_3 = \int_0^{L_1} dY'_1 e^{-\mu_3(L_3 - x)}, \quad (16)$$

де: Y_3 – схід зерна з нижнього решета.

Підставивши в рівняння (16) значення dY_1' з (14), будемо мати:

$$Y_3 = \int_0^{L_1} Y_0 \mu_1 e^{-\mu_1 x} e^{-\mu_3(L_3-x)} dx. \quad (17)$$

Після інтегрування вираз (17) набуде вигляду:

$$Y_3 = Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_3(L_3-L_1) - \mu_1 L_1} - e^{-\mu_3 L_3}). \quad (18)$$

Якщо $L_1 = L_3 = L$:

$$Y_3 = Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_1 L} - e^{-\mu_3 L}). \quad (19)$$

Отже, ми маємо залежність, котра дозволяє визначити схід зерна з нижнього решета в камеру колосового шнека при відомих коефіцієнтах сепарації зерна.

Виконуємо перевірку отриманого рівняння, що дає змогу визначити загальну кількість зерна, яке зійшло з нижнього решета в колосовий шнек.

Умовно розіб'ємо обидва решета на K елементарних ділянок завдовжки ΔL (рис. 3). Ураховуючи закон сепарації (2), схід зерна з верхнього решета на ділянці $(0 - X_1)$ становитиме:

$$Y_1' = Y_0 e^{-\mu_1 \Delta L}. \quad (20)$$

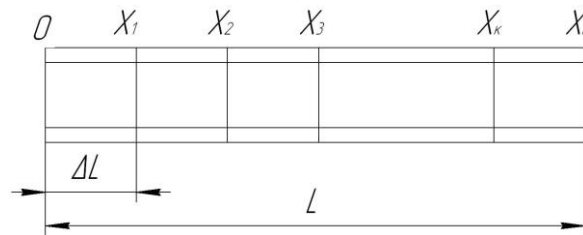


Рис. 3. Схема для визначення сходу обмолоченого зерна з нижнього решета очистки.

Тоді кількість зерна, що проходить через верхнє решето на ділянці $(0 - X_1)$, становитиме:

$$Y_{1_1}' = Y_0 (1 - e^{-\mu_1 \Delta L}). \quad (21)$$

Аналогічно отримаємо для i -ої ділянки $[X_{i-1}, X_i]$, де $1 \leq i \leq K$,

$$Y_{1_i}' = Y_{1_{i-1}} e^{-\mu_1 \Delta L}. \quad (22)$$

$$Y_{1_i}' = Y_{1_{i-1}} (1 - e^{-\mu_1 \Delta L}). \quad (23)$$

Визначимо схід зерна з нижнього решета на ділянці $(0 - X_1)$:

$$Y_{3_1} = Y_{1_1}' e^{-\mu_3 \Delta L} = Y_0 (1 - e^{-\mu_1 \Delta L}) e^{-\mu_3 \Delta L}. \quad (24)$$

Для ділянки $(X_1 - X_2)$, матимемо:

$$Y_{3_2} = (Y_{3_1} + Y_{1_2}') e^{-\mu_3 \Delta L}. \quad (25)$$

І нарешті, для i -ої ділянки нижнього решета $[x_{i-1}, x_i]$ отримаємо:

$$Y_{3_i} = (Y_{3_{i-1}} + Y_{1_i}') e^{-\mu_3 \Delta L}, \quad (26)$$

де: $Y'_{1_i} = Y_{1_{i-1}} - Y_{1_i}$ за умови $1 \leq i \leq k$.

Підставляючи рівняння (20) і (24) у (25), отримаємо:

$$Y_{3_2} = Y_0(1 - e^{-\mu_1 \Delta L})e^{-\mu_3 \Delta L} + Y_1(1 - e^{-\mu_1 \Delta L}) = Y_0(1 - e^{-\mu_1 \Delta L}) \times (e^{-\mu_3 2 \Delta L} + e^{-\mu_1 \Delta L - \mu_3 \Delta L}). \quad (27)$$

Визначаємо схід для К-ої ділянки:

$$Y_{3_K} = Y_0(1 - e^{-\mu_1 \Delta L})(\sum_{i=1}^K e^{-\mu_1(k-i)\Delta L - \mu_3 i \Delta L}). \quad (28)$$

Зважаючи, що $\sum_{i=1}^K \Delta L = L$, отримаємо наближену формулу для визначення сходу вільного зерна з нижнього решета:

$$Y_3 \approx Y_0(1 - e^{-\mu_1 \Delta L}) \left(\sum_{i=1}^K e^{-\mu_1 L + (\mu_1 - \mu_3) i \Delta L} \right) = Y_0 e^{-\mu_1 L} (1 - e^{-\mu_1 \Delta L}) \left(\sum_{i=1}^K e^{(\mu_1 - \mu_3) i \Delta L} \right). \quad (29)$$

Для того, щоб отримати точну формулу, кількість ділянок К повинно прямувати до ∞ , а довжина елементарної ділянки $\Delta L = \frac{L}{K}$ – до нуля. Ураховуючи, що:

$$Y_3 = \lim_{k \rightarrow \infty} \left(1 - e^{-\mu_1 \frac{L}{K}} \right) \left(\sum_{i=1}^K e^{(\mu_1 - \mu_3) \frac{L}{K} i} \right) = \int_0^L e^{(\mu_1 - \mu_3)x} \mu_1 dx = \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_3} e^{(\mu_1 - \mu_3)x} \Big|_0^L = \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_3} (e^{(\mu_1 - \mu_3)L} - 1), \quad (30)$$

отримаємо:

$$Y_3 = Y_0 e^{-\mu_1 L} \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_3} (e^{(\mu_1 - \mu_3)L} - 1) = Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_1 L} - e^{-\mu_3 L}). \quad (31)$$

Отримана залежність є ідентичною (19). Отже, вона реально відображає процес сепарації.

Підставивши у вираз (1) значення складових з рівнянь (8), (11) і (18) отримаємо залежність для визначення сходу вільного зерна в колосовий шнек:

$$Y_K = Y_0 e^{-\mu_1 L_1} (1 - e^{-\mu_2 L_2}) + Y_0 (e^{-\mu_1(L_1 - \Delta L_1)} - e^{-\mu_1 L_1}) + Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_3(L_3 - L_1) - \mu_1 L_1} - e^{-\mu_3 L_3}). \quad (32)$$

Після перетворення отримаємо:

$$Y_K = Y_0 \left[e^{-\mu_1(L_1 - \Delta L_1)} - e^{-\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2} + \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_3(L_3 - L_1) - \mu_1 L_1} - e^{-\mu_3 L_3}) \right]. \quad (33)$$

На основі рівнянь (6), (7), (19) побудовано графічні залежності сепарації зерна за довжиною решіт і подовжувача, які представлені на рис. 4 і рис. 5.

З рис. 4 видно, що із збільшенням довжини решіт кількість зерна, що просипається, на одиничній ділянці решета спочатку різко

збільшується, досягає максимуму і починає плавно знижуватися. Це пояснюється тим, що в конструкції очистки є перепад висоти між транспортною дошкою й верхнім решетом, а також між решетами. Зерно, що просіялось через пальцеві гребінки, а також з верхнього решета під впливом рухомого грохоту і повітряного потоку здійснює падіння траєкторією, характерною для тіл, кинутих горизонтально.

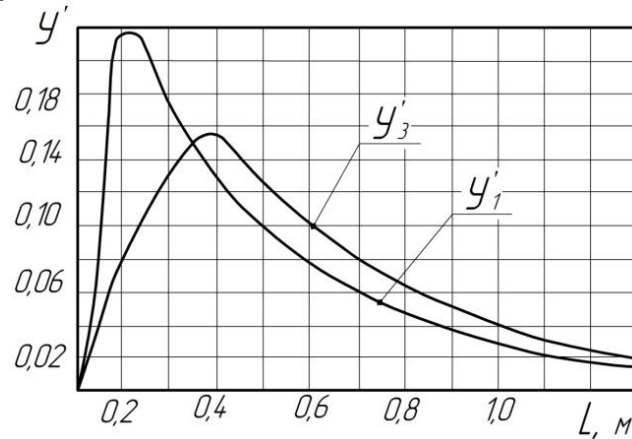


Рис. 4. Графічні залежності сепарації зерна за довжиною верхнього й нижнього решіт: Y'_1 – сепарація на верхньому решеті за умови $\mu_1 = 2,45 м^{-1}$; Y'_3 – сепарація на нижньому решеті за умови $\mu_3 = 7,32 м^{-1}$.

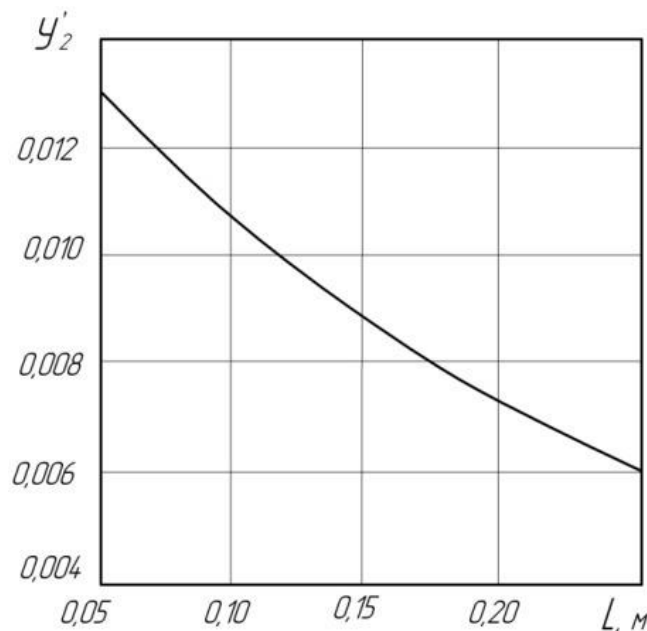


Рис. 5. Графічна залежність сходу зерна з подовжувача Y'_2 від його довжини L : якщо $\mu_1 = 2,45 м^{-1}$; $\mu_2 = 4,26 м^{-1}$; $L_1 = 1,2 м$.

На подовжувачі процес виділення зерна з вороху є кривою, що плавно спадає, за експоненціальною залежністю (рис.5). Тут не спостерігається значних перепадів, характерних для кривих показаних на рис. 4, оскільки ворох на подовжувач поступає з

верхнього решета вже збіднений і імовірність проходження через нього зерна знижується із збільшенням довжини останнього.

Залежності для визначення сходу компонентів вороху в камеру колосового шнека через подовжувач верхнього решета винесенням з міжрешітного простору й сходом з нижнього решета показують, що вихід їх зменшується із збільшенням довжини поверхні сепарування.

Величина подавання вороху на очистку визначається умовами збирання, тобто від стану хлібостою і його врожайності.

Висновок. Отримано формули по визначенню загальної кількості вільного зерна, що надходить в камеру колосового шнека з очистки комбайна, кількість зерна, що потрапляє в камеру колосового шнека з подовжувача верхнього решета, а також визначення траєкторії польоту зернівки в міжрешітному просторі. Отримано залежності сепарації зерна за довжиною верхнього й нижнього решіт, а також залежність сходу зерна з подовжувача в залежності від його довжини.

Список літератури

1. *Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д.* та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник. Київ. Вища освіта. 2004. 544 с.
2. *Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М.* та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник. Київ. Вища освіта. 2005. 464 с.
3. *Сисолін П. В., Рибак Т. І., Сало В. М.* Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. Машини для рільництва. Київ. Урожай. 2002. 364 с.

References

1. *Voytyuk D. G., Dubrovin V. O., Ishchenko T. D.* etc. (2004). Agricultural and reclamation machines: textbook. Kiev. Higher education. 544.
2. *Voytyuk D. G., Baranovsky V. M., Bulgakov V. M.* etc. (2005). Agricultural machines. Fundamentals of theory and calculation: the textbook. Kiev. Higher education. 464.
3. *Sisolin P. V., Rybak T. I. Salo V. M.* (2002). Agricultural machinery: theoretical basis, design, design. Book 2. Machines for agriculture. Kiev. Harvest. 364.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИСХОДА ПРОДУКТОВ ОБМОЛОТА В КОЛОСОВОЙ ШНЕК ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

С. М. Герук, С. В. Пустовит, А. П. Довбыш

Аннотація. *Полученные уравнения, позволяющие определить исход зерна с решета в зависимости от его загрузки, длины и коэффициента сепарации. Получены формулы по определению общего количества зерна, поступающего в камеру колосового шнека по очистке комбайна, количество зерна, что попадает в камеру колосового шнека с удлинителя верхнего решета, а также определения траектории полета зерновки в*

межрешетном пространстве. Проведено описание по определению исхода свободного зерна в камеру колосового шнека с нижнего решета.

Описан процесс сепарации зерна на воздушно-решетчатый очистке на которую влияют количество и равномерность подачи вороха, состав его компонентов, влажность зерна и незерновой части, конструктивные и режимные параметры очистки. Рассмотрен процесс исхода свободного зерна по очистке в камеру колосового шнека комбайна.

Полученная зависимость, которая позволяет определить исход зерна с нижнего решета в камеру колосового шнека при известных коэффициентах сепарации зерна.

Ключевые слова: сепарация, колосовой шнек, процесс, параметры очистки, воздушно-решетчатая очистка

REGULARITIES EAST FOOD LAWS IN SPIKELET AUGER OF THRESHING COMBINE HARVESTERS

S. M. Geruk, S. V. Poustovit, A. P. Dovbysh

Abstract. *The resulting equations to determine the outcome of the grain from the sieve, depending on its load, length and separation ratio. The formulas to determine the total quantity of grain coming into the camera spikelet auger on cleaning the combine harvester, the amount of grain that enters the camera spiked auger with extension of the upper sieve, and determine the trajectory of the grains in mirechatman space. Held description in determining the outcome of free grain in the camera spikelet auger lower sieve.*

Describes the process of grain separation on air-cleaning lattice which affect the amount and uniformity of flow heap, the composition of its components, the moisture content of the grain and non-grain part of the design and operating parameters of the treatment process. The process of the outcome free of grain cleaning in the chamber spiked auger of the combine.

The dependence, which allows to determine the outcome of the grain on the lower sieve into the auger chamber spiked with known coefficients of separation.

Key words: *separation, spikelet auger process, cleanup options, air-cleaning grid*