

## Список літератури

1. Зимин Е.М. Пневмотранспортные установки для вентилирования, транспортирования и сушки зерна (конструкция, теория, расчет) / Е.М. Зимин. – Кострома: Изд. КГСХА, 2000. – 215 с.
2. Волхонов М.С. Технологические факторы и состояние зернового слоя при его обработке в аэрожелобе / М.С. Волхонов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – №10. – С. 26-27.
3. Сычугов Н.П. Транспортно-вентиляционные аэрожелоба: Учебное пособие / Н.П. Сычугов. – Киров: Вятская ГСХА, 2010. – 268 с.

**Vladimir Kulykivskiy, PhD tech. sci., Victor Borovskiy, Senior lecturer, Vladimir Paliychuk, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

### **Analysis of the movement of grain aeration material conveyor**

To analyze the peculiarities of operating transport material conveyor which is an essential task for the functioning line production to ensure quality items for moving grain processing.

The equations that determine the strength of the material, which moves along air chute. Found that resistance layer of grain varies depending on the porosity of the material. The basic properties of grain, as drying and aeration object movement, given that you can not only efficiently and effectively to these processes, but also to combine them.

Aerodynamic resistance layer of the grain mass dried and transported to consider when choosing ventilation equipment. This resistance grain mass can vary widely, depending on the porosity, which affect moisture grain layer height, grain weight loading method that dries or transported.

**aeration conveyor, air resistance, humidity, grain material, handling, drying**

Одержано 04.11.15

**УДК 631.33: 631.58**

**П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, О.Р. Лузан, канд. техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна*

*E-mail: luzanpg@gmail.com*

## Обґрунтування параметрів решета для сепарації зерна

В роботі запропоновано методику обґрунтування параметрів та визначення умов проходу часток зернової суміші крізь щілини решета, виконаного з набору стержнів, що розширюються у бік руху оброблюваного матеріалу. Встановлено, що на показник кінематичного режиму найбільше впливають початкова швидкість руху оброблюваного матеріалу та радіус решета, зміною яких можна добиватися необхідної ефективності сепарації. Визначено умови проходу часток оброблюваного матеріалу крізь щілини решета та умови, коли вони в них не застрягають.

**зерноочисна машина, решето, сепарація, критерій Фруда, очищення зерна, забивання решіт, зерно**

**П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, Е.Р. Лузан, канд. техн. наук, Д.И. Петренко, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Обоснование параметров решета для сепарации зерна**

© П.Г. Лузан, О.Р. Лузан, Д.І. Петренко, 2016

В роботі предложена методика обоснования параметров, и определения условий прохода частиц зерновой смеси сквозь щели решета, выполненного из набора стержней, которые расширяются в направлении движения обрабатываемого материала. Установлено, что на показатель кинематического режима наиболее влияют начальная скорость движения обрабатываемого материала и радиус решета, изменением которых можно добиваться необходимой эффективности сепарации на решетках такого типа. Определены условия прохода частиц обрабатываемого материала сквозь щели решета и условия, когда они в них не застревают.

**зерноочиститель, решето, сепарация, критерий Фруда, очистка зерна, забивание решет, зерно**

**Постановка проблеми.** В зерноочисних машинах для розділення на фракції за розмірами і очищення зерна та продуктів його переробки від домішок, а також у аналогічних машинах в харчовій, гірничорудній, металургійній, будівельній та інших галузях промисловості для сортування сипких матеріалів, використовуються решета різних типів. Забивання решіт частинками матеріалів, що мають розміри, близькі до розмірів щілин решета, приводить до ускладнення конструкції зерноочисних машин очисними пристроями, які суттєво підвищують енергетичні витрати.

Багатократно проведення операцій очищення та сортування зерна, при вирощуванні в Україні близько 60 млн. тонн зернових культур, навіть при незначному покращенні роботи зерноочисних машин і зниженні їх енергоємності дозволить отримати суттєвий економічний ефект і сприятиме сталому розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі принципів побудови моделі ідеального сепаратора [2] М.Є. Авдєєвим започаткована ідея створення самоочисних решіт, для реалізації якої було запропоновано ряд конструкцій відцентрових сепараторів, однак складність їх виготовлення не дозволила широко впровадити такі решета у виробництво [3].

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено сімейство зерноочисних машин нового покоління на основі самоочисних пруткових решіт, та обґрунтовані їх параметри [4, 5, 6], однак поява нових технічних рішень потребує проведення додаткових досліджень.

Ідея створення решета [7] полягає в тому, що між двома рядом розташованими прутками при їх зсуві один відносно іншого в точці  $B$  створюються щілини, що розширюються (рис. 1), чим при певних параметрах решіт такого типу, може бути забезпечено їх самоочищення.

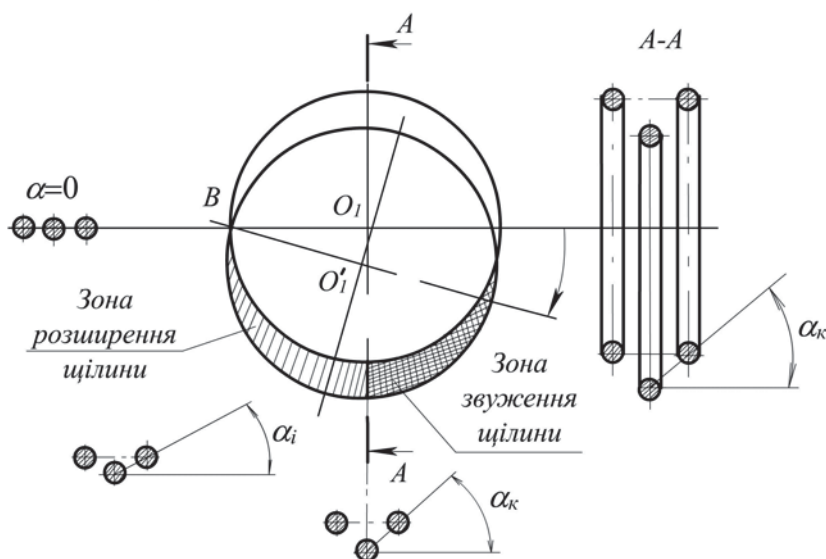


Рисунок 1 – Схема до обґрунтування параметрів щілини решета

Решето (рис. 2) складається з криволінійних стержнів 1 зігнутих в кінцевій частині Б, між якими на осях 2-5 розміщені змінні калібруючі шайби 6. Причому довжина решета  $L \leq \pi \cdot R/2$ , так як при інших значеннях спостерігається звуження щілини. Під дією ваги зернової суміші, вигнуті в кінцевій частині Б прутки, можуть переміщуватися «вверх-вниз» один відносно іншого, що в бік руху оброблюваного матеріалу створює деяке розширення щілин і забезпечує самоочищення решета.

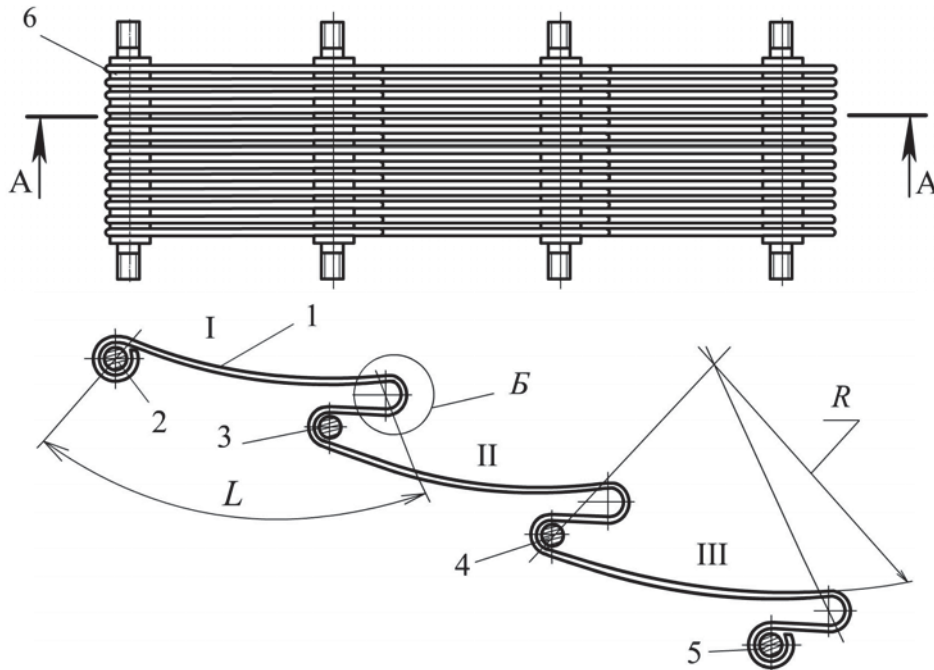


Рисунок 2 – Схема каскадного інерційно-гравітаційного решета

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є розробка методики обґрунтування параметрів та визначення умов проходження часток зернової суміші крізь щілини запропонованого решета, виконаного з набору стержнів, що розширюються у бік руху оброблюваного матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** Для складання рівняння руху частки вздовж клиноподібної щілини приймемо наступні допущення [8, 9]: частка рухається без перекочування і має форму еліпсоїда обертання з поперечним перерізом у вигляді круга діаметром –  $d_e$ ; пружні властивості частки і прутків решета суттєво не впливають на процес руху; частки не взаємодіють одна з одною; коефіцієнт тертя  $f$  залишається постійним на всьому шляху переміщення частки; опір повітряного середовища не враховується.

Розглянемо випадок руху частки по поверхні решета (рис. 3), яка представляє собою дугу кола утворену прутками опуклого профілю, де  $\Theta_0$  – кут, який визначає початкове положення решета;  $\Theta$  – кут, який визначає положення частки на решеті;  $R$  – радіус дуги решета;  $\alpha$  – кут розхилу прутків у поперечному перерізі;  $\beta$  – кут, який визначає положення частки на поверхні решета у поперечному перерізі;  $d_{np}$  – діаметр прутків решета.

На частку будуть діяти сили інерції: тангенційна  $C_t = m \frac{d^2 S}{dt^2} = m \frac{dV}{dt}$  та нормальна  $C_n = \frac{m}{R} \left( \frac{dS}{dt} \right)^2 = \frac{mV^2}{R}$ , сила тяжіння  $G = mg$ , нормальна реакція поверхні решета  $N$ , сила тертя  $F = fN$ , де  $m$  – маса частки;  $V$  – швидкість руху частки по поверхні решета;  $f$  – коефіцієнт тертя.

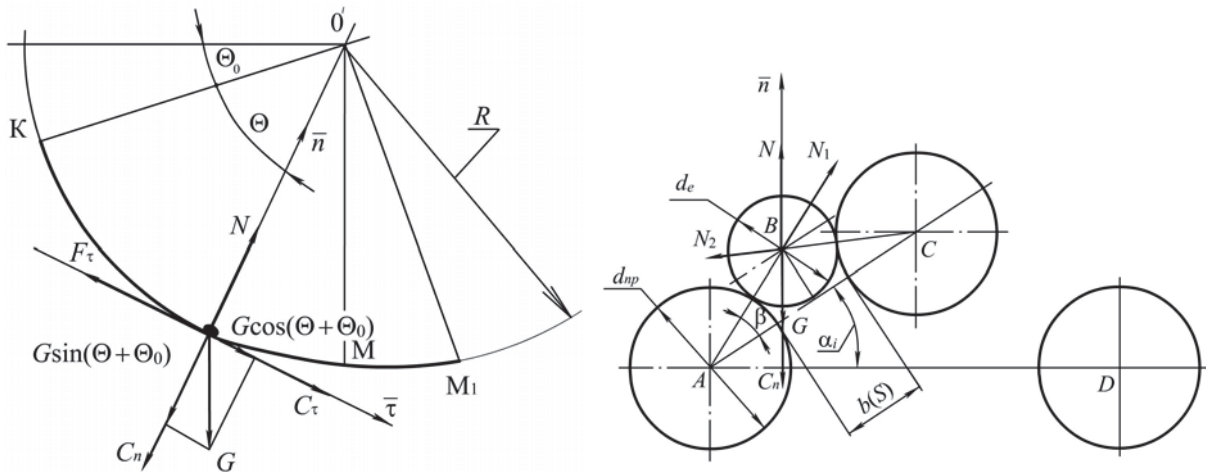


Рисунок 3 – Схема сил, які діють на частку на поверхні решета

Спроектуємо сили, які діють на частку, на вісь  $\tau$ .

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} - F_\tau + G \cos(\Theta + \Theta_0) = 0, \quad (1)$$

де  $F_\tau$  – проекція сил тертя на вісь  $\tau$ :

$$F_\tau = fN = f(N_1 + N_2), \quad (2)$$

де  $N_1, N_2$  – складові сили нормальної реакції поверхні решета на першому і другому пруткові, створені силою тяжіння і відцентровою силою

$$N_1 + N_2 = mg \sin(\Theta + \Theta_0)(\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + m \frac{\dot{S}^2}{R}. \quad (3)$$

З урахуванням (3) рівняння (2) запишемо у вигляді

$$F_\tau = fmg \sin(\Theta + \Theta_0)(\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + fm \frac{\dot{S}^2}{R}. \quad (4)$$

Тоді рівняння (1) можна записати у вигляді

$$m\ddot{S} + fmg \sin(\Theta + \Theta_0)(\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + mf \frac{\dot{S}^2}{R} = mg \cos(\Theta + \Theta_0). \quad (5)$$

Домножимо рівняння (5) на  $\frac{1}{mR}$  і отримаємо

$$\frac{\ddot{S}}{R} + f \frac{g}{R} \sin(\Theta + \Theta_0)[\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)] + f \frac{\dot{S}^2}{R} = \frac{g}{R} \cos(\Theta + \Theta_0). \quad (6)$$

Враховуючи, що  $S/R = \Theta$ , рівняння (6) запишемо у вигляді

$$\ddot{\Theta} = \frac{g}{R} \cos(\Theta + \Theta_0) - f \frac{g}{R} \sin(\Theta + \Theta_0) \times (\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) - f \dot{\Theta}^2. \quad (7)$$

Ширину щілини (рис. 4) в будь-якому перерізі на довжині  $0 < S < \pi R/2$  можна визначити за формулою

$$b(s) = b_0 + \Delta b, \quad (8)$$

де  $\Delta b$  – приріст збільшення щілини по довжині решета.

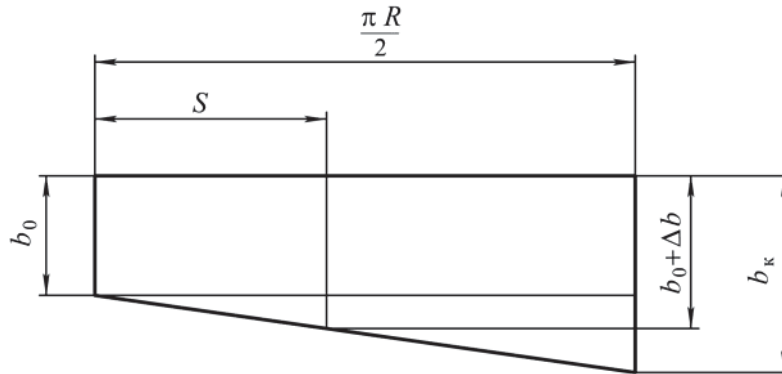


Рисунок 4 – Схема проекції щілини решета

Із рис. 4  $\Delta b/S = 2(b_k - b_0)/\pi R \Rightarrow \Delta b = 2S(b_k - b_0)/\pi R$ , де  $b_k$  – ширина щілини решета в кінцевій частині, тоді  $b(s) = b_0 + 2S(b_k - b_0)/\pi R$ , або

$$b(s) = b_0 + 2\Theta(b_k - b_0)/\pi. \quad (9)$$

Для визначення кута розхилу прутків  $\alpha$  у поперечній площині розглянемо рис. 1. Тут  $\alpha_i/S = 2\alpha_k/\pi R$ , де  $\alpha_i$  – значення кута розхилу прутків в будь-якому поперечному перерізі;  $\alpha_k$  – значення кута розхилу прутків в поперечному перерізі в кінцевій частині. Звідси  $\alpha_i = 2\alpha_k/\pi \cdot \Theta$ , позначимо  $2\alpha_k/\pi = k$ . Тоді

$$\alpha_i = k \cdot \Theta. \quad (10)$$

Кут  $\beta$  (рис. 3) створений прямими  $|AB|$  і  $|AC|$ , які з'єднують центри прутків і частки. Із рисунка видно, що

$$\cos \beta = \frac{r + b(s)/2}{r_e + r} = \frac{r + b_0/2 + \Theta(b_k - b_0)/\pi}{r_e + r}, \quad (11)$$

де  $r$  – радіус прутків решета;

$r_e$  – еквівалентний радіус частки.

Позначимо  $\frac{r + b_0/2}{r_e + r} = a$ ;  $\frac{b_k - b_0}{\pi(r_e + r)} = c$ , тоді формулу (11) можна записати у

вигляді:  $\cos \beta = a + c\Theta$ , очевидно що  $\sin \beta = \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}$ . Виконаємо перетворення функції  $\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)$  з урахуванням попередніх зауважень:

$$\begin{aligned} \cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta = \cos \alpha (\cos \beta + \sin \beta) + \\ &+ \sin \alpha (\cos \beta - \sin \alpha) = \cos k\Theta (a + c\Theta + \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}) + \sin k\Theta (a + c\Theta - \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}). \end{aligned}$$

Остаточню рівняння (7) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \ddot{\Theta} + f \frac{g}{R} \sin(\Theta + \Theta_0) [\cos(k\Theta)(a + c\Theta + \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}) + \\ + \sin(k\Theta)(a + c\Theta - \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2})] + f\dot{\Theta}^2 = \frac{g}{R} \cos(\Theta + \Theta_0) \end{aligned} \quad (12)$$

В запропонованому решеті відсутні пристрої для очищення щілин від часток, які в них можуть застрягнути, тому важливою задачею є виявлення умов, при яких виконується самоочищення. Виділення часток може статися тільки в тому місці щілини  $S_{\text{прох.}}$ , коли  $d_e = b(s) = b_0 + 2(b_k - b_0)S_{\text{прох.}}/\pi R$ , звідки  $S_{\text{прох.}} = \pi R(d_e - b_0)/2(b_k - b_0)$ , тоді

$$\Theta_{\text{прох.}} = \frac{\pi (d_e - b_0)}{2 (b_k - b_0)}. \quad (13)$$

Частки не застрягатимуть у щілинах решета при умові

$$F_\tau < G \cos(\Theta_{\text{прох.}} + \Theta_0) - m\ddot{S}^2. \quad (14)$$

З урахуванням показника кінематичного режиму (критерію Фруда)  $K = \omega^2 R/g$ , та  $\dot{\Theta} = V/R$ , рішення рівняння (12) дозволяє встановити залежність зміни швидкості руху частки по поверхні решета в залежності від факторів, які в нього входять, за умови самоочищення (13) і коли частки не застрягатимуть у щілинах решета (14).

Аналіз рівняння (12) показує, що умови проходження часток крізь щілини решета, та коли вони в них не застрягають, виконуються при показникові кінематичного режиму на всій довжині решета  $K > 1$ . Найбільший вплив на показник кінематичного режиму виявляють радіус решета і початкова швидкість руху зерна. Підвищення  $K$  відбувається при збільшенні початкової швидкості, а збільшення радіусу решета приводить до його зниження.

Так для решета радіусом  $R=700$  мм (рис. 5) при швидкості  $V_0=4$  м/с вже в положенні  $\Theta = 57^\circ$  частка зупиняється, очевидно в такому випадку вона не тільки не виділиться через решітку, але може застрягнути в щілині.

В реальних умовах довжину решета необхідно вибирати із умов технологічної ефективності проходження процесу, на якій буде забезпечуватися проходження процесу сепарації при максимальній швидкості, яка обмежується травмуванням зернової суміші. Для досягнення максимального значення кінематичного режиму необхідно вибирати максимальні значення швидкості, при цьому радіус решета повинен бути мінімальним, який вибирають із умови забезпечення необхідної ефективності процесу сепарації.

Початкова ширина щілини вибирається із умов технологічної необхідності, а кінцеву можна приймати в межах  $b_n = b_0 + \Delta b$ , де  $\Delta b$  – величина класового проміжку, так як зміна ширини щілин решіт в межах величини класового проміжку суттєво не впливає на якість розділення зернових сумішей [10].

Збільшення діаметра прутків приводить до зменшення ймовірності просіювання, тому їх мінімальні значення необхідно вибирати із умови жорсткості решета.

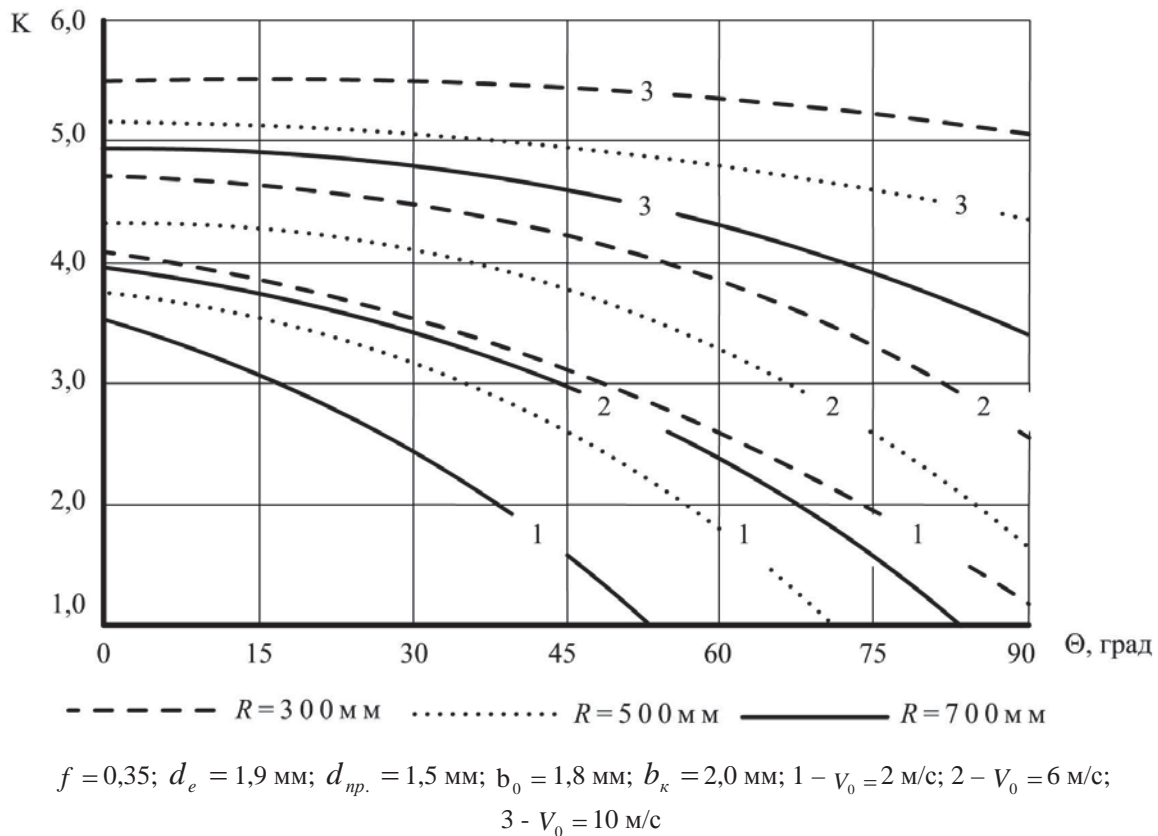


Рисунок 5 – Залежність зміни показника кінематичного режиму  $K$  по довжині решета при різних значеннях початкової швидкості руху часток  $V_0$  та радіуса решета  $R$

**Висновки.** В роботі запропоновано методику обґрунтування параметрів та визначення умов проходження часток зернової суміші крізь щілини решета виконаного з набору стержнів, що розширюються у бік руху оброблюваного матеріалу. Встановлено, що на показник кінематичного режиму найбільше впливають початкова швидкість руху оброблюваного матеріалу та радіус решета, зміною яких можна добиватися необхідної ефективності сепарації. Визначено умови проходження часток оброблюваного матеріалу крізь щілини решета та умови, коли вони в них не застрягають.

Випробування показали, що якість просіювання матеріалу на запропонованому решеті підвищується на 12-14 % порівняно з існуючими решетами.

## Список літератури

1. Сало В.М. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний ресурс] / В.М. Сало, С.І. Шмат, П.Г. Лузан // Международная научно-техническая интернет конференция «Задачи земледельческой механики в XXI веке», 2-10 ноября 2011 г. – Дослідницькое-Мелітополь, 2011. – С. 61-65. – Режим доступу до збірника доповідей: [www.tsaa.org.ua](http://www.tsaa.org.ua).
2. Авдеев Н.Е. Принципы построения модели идеального сепаратора / Н.Е. Авдеев // Докл. ВАСХНИЛ. – 1978. – №11. – С. 38-40.
3. Васильковский М.И. Проблемы совершенствования процессов очистки и сортирования зерна на решетках / М.И. Васильковский, П.Г. Лузан // Повышение технического уровня сельскохозяйственных машин. – К.: УМК ВО, 1991. – С. 31-36.
4. Сало В.М. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: [Монографія] / В.М. Сало, П.Г. Лузан, Д.В. Богатирьов. – Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. – 148 с.

5. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдозрідження: [Монографія] / М.М. Петренко, В.М.Сало, Д.В. Богатирьов та ін.– Кіровоград: СДП ФО Лисенко В.Ф., 2013. – 212 с.
6. Розробка нової конструкції пневморешітної зерночисної машини. Том 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора [Монографія] / В.М. Сало, С.М. Мороз, О.М. Васильковський та ін.– Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. – 108 с.
7. Патент на корисну модель №31115 Україна, МПК В07В 13/00. Решето / Шмат С.І., Лузан П.Г., Мачок Ю.В. та ін.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. – № 200713425; Заявл. 03.12.07; Опубл. 25.03.08. Бюл. №6. – 2 с
8. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики: Практ. пособие / П.М. Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 512 с.
9. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко.- К.: Изд. УАСХН, 1960. – 283 с.
10. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.-Л.: Госсельхозиздат, 1955. – 764 с.

**Petro Luzan, Assos. Prof., PhD tech. sci., Olena Luzan, PhD tech. sci., Dmitry Petrenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Substantiation of sieve parameters for grain separation**

The objective of this work is to develop a method for substantiation of parameters along with determination of conditions for passing grain particles through the sieve openings, diameter of which is increasing toward work material movement and made with set of rods.

It has been defined that the biggest impact on kinematic movement parameters has the starting speed of work material movement and the radius of a sieve and by changing this parameters the required effectiveness for this type of sieves can be achieved. The conditions of passing of work material particles through sieve openings without blocking the openings were defined.

The increase of kinematic movement parameters takes place with the increase of starting speed, while increase of a radius has an opposite impact. The usage of offered sieves increase separation effectiveness by 12-14% compared to regular sieves.

**separator, sieve, separation, Froude number, grain separation, sieve openings blocking, grain**

Одержано 12.01.16

**УДК 631.3 - 351**

**О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук,  
С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: para5511@mail.ru*

## **Розрахунок надійності зернозбиральних комбайнів за критерієм оптимальності ходової системи**

В статті розглянуто процес роботи зернозбирального комбайна при виконанні технологічного процесу збирання при мінімальних втратах урожаю, Проведено аналіз використання імовірнісних критеріїв при розрахунку оптимальності коливальних параметрів мобільних сільськогосподарських машин. Встановлені закономірності імовірнісного критерію оптимізації ходової системи, спектри вертикальних коливань корпусу ходової системи комбайна і крутильних коливань приводу ходової системи. Проведено тензометрирування комбайна в польових умовах.

**коливання, цільова функція, квантіль, імовірність, комбайн, жатка, молотарка, колесо**

© О.Й. Мажейка, В.М. Каліч, С.І. Маркович, 2016