

Ю.М. Пархоменко, ас., В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук,  
М.Д. Пархоменко, доц.

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Визначення математичної моделі процесу формування зернового потоку на виході котушкового висівного апарата

Визначено математичну модель процесу формування зернового потоку на виході котушкового висівного апарату, як функцію щільності та продуктивності сумарного потоку від часу.  
**динаміка формування зернового потоку, щільність, продуктивність, котушковий висівний апарат**

**Актуальність та мета теоретичного дослідження.** Дослідження технологічного процесу формування зернового потоку є актуальним від початку створення першої сівалки і до сьогодні. Це пов'язано із зміною кліматичних умов, технології сівби, агротехнічних вимог та конструктивних параметрів сівалок. Перші основи теорії сівби знайшли своє відображення в роботах В. П. Горячкіна, М. Н. Летошнева, М. Х. Пігулевського, А. Н. Семенова [6]. Сьогодні багато уваги приділяється розвитку теорії технологічного процесу висіву насіння, особливо для сівалок точного висіву. Найбільш повно вона відображається в роботах П. В. Сисоліна [2,3], П. М. Заїки [1] та інших авторів. В той же час, розробці засобів реєстрації та комп'ютерної ідентифікації процесу висіву встановленим агротехнічним вимогам процесу формування та переміщення зерна приділяється ще недостатньо уваги. Тому розгляд цього питання є особливо актуальним. Матеріали даної публікації стосуються виконання науково-дослідної роботи “Система комп'ютерної ідентифікації технологічного процесу висіву насіння зерновими сівалками” (державний реєстраційний номер 0107U005469), спрямованої на розв'язання даної проблеми. Визначення вимог до пристроїв реєстрації базується на результатах дослідження динамічних та статистичних параметрів зернового потоку. Так як найбільш складним для реєстрації є зерновий потік, що формується котушковими висівними апаратами, то для визначення цих вимог необхідно дослідити весь процес формування і переміщення вказаного потоку від моменту скидання до дна борозни.

Одним з найважливіших етапів у технологічному процесі висіву є формування зернового потоку на виході висівного апарату, так як у більшості конструкцій сівалок транспортування насіння до дна борозни здійснюється шляхом вільного падіння. Тому постає нагальна потреба у визначенні параметрів сформованого потоку на початку етапу його транспортування з використанням пристроїв реєстрації, які не впливають на характер його руху. Задачею даної статті є визначення моделі формування зернового потоку на виході котушкового висівного апарату, як функції часу.

**Динаміка формування примусової частки потоку одним жолобком.** Потік на виході котушкового висівного апарату складається з примусової та активної часток, тому при дослідженні сумарного потоку, необхідно визначити процес формування кожної з його складових.

Для того, щоб визначити залежність щільності  $\lambda_j(t)$  та продуктивності  $q_j(t)$

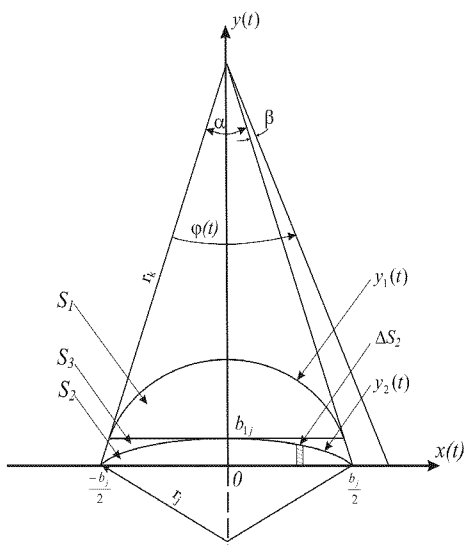


Рисунок 1 - Схема для визначення залежності змінних від часу

потoku насіння, що висівається жолобком на дузі кута  $\alpha + \beta$  від часу – розмістимо початок координат  $X \cdot Y$  в центрі жолобка, а початок кута  $\varphi$  - від радіуса котушки, проведеного до початку жолобка (рис. 1).

Залежність координати  $X$  від часу  $X(t)$ , в заданому діапазоні, визначається виразом (1):

$$x(t) = b_j \cdot \frac{\sin(\omega_k \cdot t - \frac{\alpha}{2})}{2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (1)$$

де  $\omega_k$  - кутова частота обертання котушки;

$b_j$  - ширина жолобка в міліметрах;

$\alpha$  - центральний кут жолобка;  $\beta$  - центральний кут ребра котушки;

$r_j$  - радіус жолобка.

Сумарний зерновий потік на виході котушкового апарату складається з примусової та активної часток [2,3] рис.2.

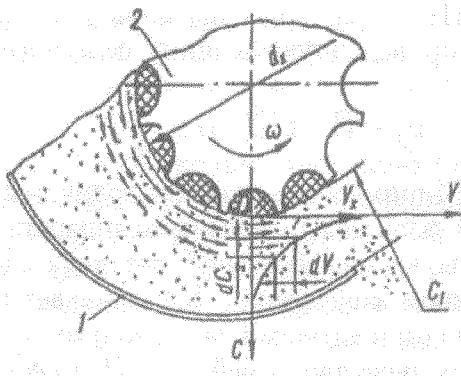


Рисунок 2 - Схема роботи

Площа поперечного перерізу кожного сегмента жолобка обмежена знизу прямою  $y = 0$ , а зверху – кривою  $y_i(t)$ , де  $i$  - номер сегмента ( $i = 1, 2, 3$ ). Тоді щільність насіння  $\lambda_i(t)$ , що висівається кожним сегментом жолобка в довільний момент часу, пропорційна значенню кривої  $y_i(t)$ , що її обмежує.

Визначення характеру внеску кожного окремого сегменту в примусовий потік показало, що продуктивність третього сектору змінюється лінійно і вплив його на динаміку розвантаження жолобка не значний, тому, для спрощення розрахунків, його площу було віднесено до

першого сегменту.

В результаті були визначені формули розрахунку рівняння кривої  $y_1(t)$ , що обмежує сегмент, площі перерізу  $S_1$ ,  $mm^2$ , щільності в одиницю часу  $\lambda_1(L_k, t) um/c$ , щільності  $f_1(L_k, t) um/c$  в інтервалі  $\Delta t = 0,02c$ , та продуктивності  $q_1(L_k, t) um/c$  описуються виразами (2)

$$y_1(t) = \begin{cases} \sqrt{r_j^2 - x(t)^2} - \sqrt{r_{jk}^2 - \frac{b_j^2}{4}}, & \text{якщо } 0 \leq \omega_k \cdot t \leq \alpha \\ 0, & \text{якщо } \alpha < \omega_k \cdot t < \alpha + \beta \end{cases}$$

$$S_1 = \int_0^{T_j} y_1(t) \cdot x'(t) \cdot dt; \quad S_1 = 31,71 mm^2;$$

$$\lambda 1(L_k, t) = y 1(t) \cdot x'(t) \cdot L_k \cdot \mu \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\gamma}{A}; \quad f 1(L_k, t) = \lambda 1(L_k, t) \cdot \Delta t; \quad (2)$$

$$q 1(L_k, t) = \int_0^t \lambda 1(L_k, t) \cdot dt,$$

де  $x'(t)$  - похідна від змінної  $x(t)$ ,  $x'(t) = b_j \cdot \omega_k \cdot \frac{\cos(\omega_k \cdot t - \frac{\alpha}{2})}{2 \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}$ ;  $t_d = \frac{(\frac{\alpha}{2}) - \phi}{\omega_k}$ ,

$t_d = 0,0002c$ ,  $t_h = \frac{(\frac{\alpha}{2}) + \phi}{\omega_k}$ ,  $t_h = 0,1009c$  - значення нижнього та верхнього

кордонів сегмента  $S 1$ , де:  $\phi = \arctan\left(\frac{b 1_j}{2 \cdot H 1}\right)$ ,  $H 1 = \frac{b_j}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{b_j - b 1_j}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$ .

Рівняння кривої  $y 2(t)$ , що обмежує сегмент, площі перерізу  $S 2$ ,  $\text{мм}^2$ , щільності в одиницю часу  $\lambda 2(L_k, t) \text{ ум} / c$ , щільності  $f 2(L_k, t) \text{ ум} / c$  в інтервалі  $\Delta t = 0,02c$  та продуктивності  $q 2(L_k, t) \text{ ум} / c$  описуються виразами (3)

$$y 2(t) = \begin{cases} \sqrt{r_k^2 - x(t)^2} - \sqrt{r_k^2 - \frac{b_j^2}{4}}, & \text{якщо } 0 \leq \omega_k \cdot t \leq \alpha; \\ 0, & \text{якщо } \alpha < \omega_k \cdot t < \alpha + \beta \end{cases}$$

$$\lambda 2(L_k, t) = y 2(t) \cdot x'(t) \cdot L_k \cdot \mu \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\gamma}{A}; \quad f 2(L_k, t) = \lambda 2(L_k, t) \cdot \Delta t; \quad (3)$$

$$S 2 = \int_0^{T_j} y 2(t) \cdot x'(t) \cdot dt; \quad S 2 = 4,035 \text{ мм}^2; \quad q 2(L_k, t) = \int_0^t \lambda 2(L_k, t) \cdot dt.$$

Щільність потоку насіння, що вивантажується усім жолобком в одиницю часу  $\lambda 1_j(L_k, t)$ ,  $\text{ум} / c$ , щільність  $f 1_j(L_k, t)$ ,  $\text{ум} / c$  в інтервалі  $\Delta t = 0,02c$  (рис.3) та продуктивність  $q 1_j(L_k, t)$ ,  $\text{ум} / c$  (рис.4), як функції часу, описуються виразами (4)

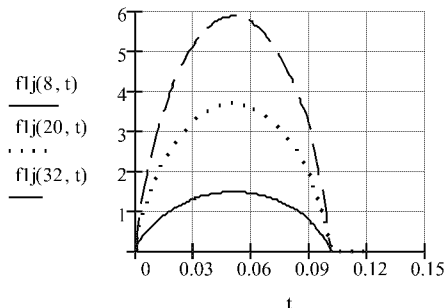


Рисунок 3 – Графік щільності  $f 1_j(L_k, t)$

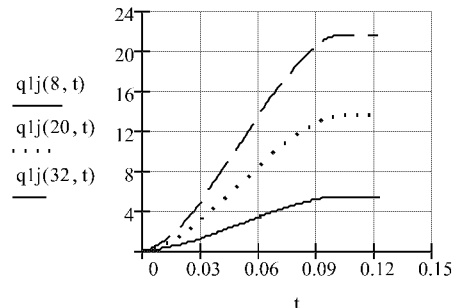


Рисунок 4 – Графік продуктивності  $q 1_j(L_k, t)$

$$\lambda 1_j(L_k, t) = \lambda 1(L_k, t) + \lambda 2(L_k, t); \quad f 1_j(L_k, t) = \lambda_j(L_k, t) \cdot \Delta t; \quad q 1_j(L_k, t) = \int_0^t \lambda_j(L_k, t) \cdot dt. \quad (4)$$

**Динаміка формування активної частки потоку в зоні дії одного жолобка.**  
 Щільність активного шару насіння  $\lambda_a(L_k, t)$ ,  $um/c$  в одиницю часу, щільність  $f_a(L_k, t)$ ,  $um/c$  в інтервалі  $\Delta t = 0,02c$  та продуктивність  $q_a(L_k, t)$ ,  $um/c$  описуються виразами (5). Графіки щільності  $f_a(L_k, t)$ ,  $um/c$  та продуктивності  $q_a(L_k, t)$ ,  $um/c$  за період дії одного жолобка  $T_j$  представлені на рис.5 та рис.6.

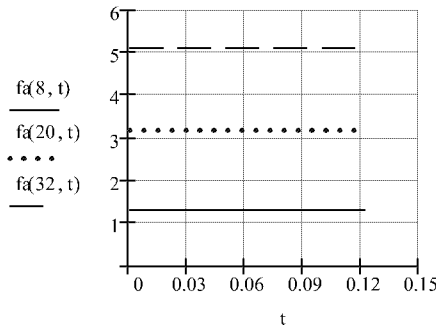


Рисунок 5 – Графік щільності  $f_a(L_k, t)$

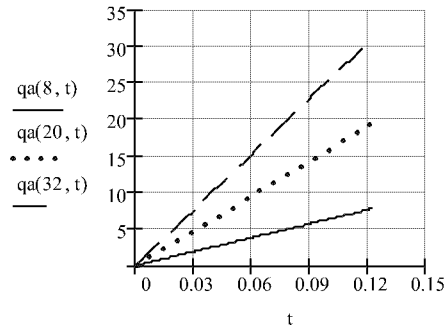


Рисунок 6 – Графік продуктивності  $q_a(L_k, t)$

$$\lambda_a(L_k, t) = \frac{\gamma \cdot 10^{-3} \cdot L_k \cdot V_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0 \cdot A} = \frac{\gamma \cdot 10^{-3} \cdot L_k \cdot \pi \cdot d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{T_k \cdot b_0 \cdot A}; \quad (5)$$

$$f_a(L_k, t) = \lambda_a(L_k, t) \cdot \Delta t; \quad q_a(L_k, t) = \int_0^t \lambda_a(L_k, t) dt.$$

**Динаміка формування сумарного потоку в зоні дії одного жолобка.** Сумарна щільність примусового та активного потоку насіння  $f(L_k, t)$ ,  $um/c$  в інтервалі  $\Delta t = 0,02c$  та його продуктивність  $q(L_k, t)$ ,  $um/c$ , як функції часу, визначені за термін дії одного жолобка визначаються виразами (6) і представлені на рис.7 та рис.8.

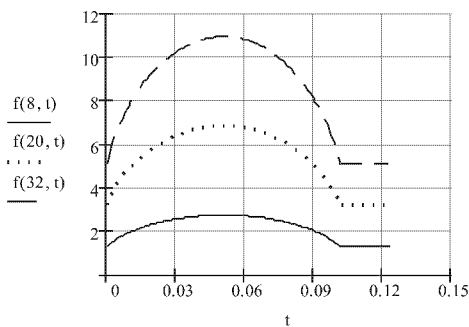


Рисунок 7 – Графік щільності  $f(L_k, t)$  потоку, що створюється одним жолобком

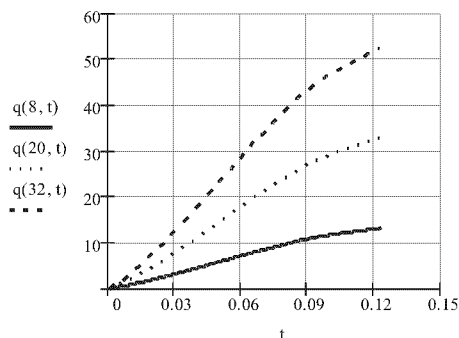


Рисунок 8 – Графік продуктивності  $q(L_k, t)$  потоку, що створюється одним жолобком

$$f(L_k, t) = (\lambda_{1j}(L_k, t) + \lambda_a(L_k, t)) \cdot \Delta t; \quad q(L_k, t) = \int_0^t (\lambda_{1j}(L_k, t) + \lambda_a(L_k, t)) \cdot dt. \quad (6)$$

Для забезпечення рівномірності розвантаження сумарного потоку вздовж робочої довжини котушки торець денця висівного апарата, в місці скидання насіння, має форму гвинтової лінії, нахил і довжина якої наближена до гіпотенузи трикутника з катетами  $L_k \max = 32mm$  та  $\pi \cdot d_k / z = 13,1mm$ .

**Динаміка формування зернового потоку на виході висівного апарата.** Так як зерновий потік на виході висівного апарата послідовно формується жолобками в результаті неперервного обертання котушки, то його можна моделювати періодичними функціями. Для цього введемо функцію  $\phi(k, t)$  - кута обертання котушки, значення якої повторюються з періодом  $T_j = \frac{(\alpha + \beta)}{\omega_k}$ , що дорівнює часу дії одного жолобка, і визначимо через неї координату  $x(k, t)$ , де:  $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ;  $t \in (0 \div \infty)$  (7):

$$\phi(k, t) = \omega_k \cdot t - k \cdot (\alpha + \beta), \text{ якщо } k \cdot T_j \leq t \leq (k + 1) \cdot T_j; \quad x(k, t) = \frac{\sin\left(\phi(k, t) - \frac{\alpha}{2}\right)}{2 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (7)$$

Виходячи з означеного, рівняння кривих  $y1(k, t)$  та  $y2(k, t)$ , що обмежують перший та другий сегменти жолобка, щільність примусового потоку  $\lambda_j(k, L_k, t)$ ,  $\text{шт}/\text{с}$  в одиницю часу, продуктивність  $k$ -го жолобка  $q1_j(k, L_k, t)$ ,  $\text{шт}/\text{с}$ , продуктивність нульового жолобка  $q0_j(L_k)$ ,  $\text{шт}$  за період  $T_j$  та продуктивність примусового потоку  $q_j(k, L_k, t)$ ,  $\text{шт}/\text{с}$  за довільний термін часу описуються виразами (8). Залежність  $x(t)$ , як періодичної функції (7) представлено на (рис.9):

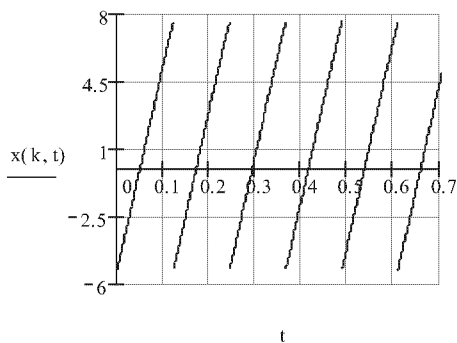


Рисунок 9 – Графік залежності  $x(k, t)$

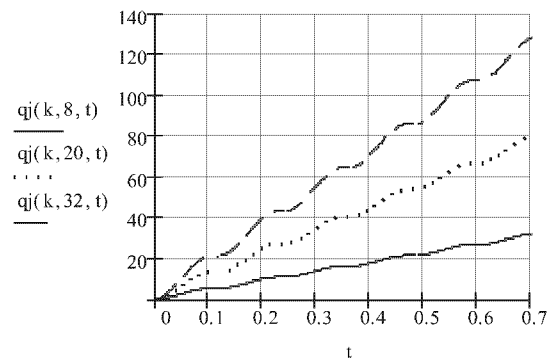


Рисунок 10 – Продуктивність примусового потоку

$$y1(k, t) = \begin{cases} \sqrt{r_j^2 - x(k, t)^2} - \sqrt{r_j^2 - \frac{b_j^2}{4}} & , \text{ якщо } 0 \leq \phi(k, t) \leq \alpha ; \\ 0 & , \text{ якщо } \alpha < \phi(k, t) < \alpha + \beta \end{cases}$$

$$y2(k, t) = \begin{cases} \sqrt{r_k^2 - x(k, t)^2} - \sqrt{r_k^2 - \frac{b_j^2}{4}} & , \text{ якщо } 0 \leq \phi(k, t) \leq \alpha ; \\ 0 & , \text{ якщо } \alpha < \phi(k, t) < \alpha + \beta \end{cases}$$

$$\lambda_j(k, L_k, t) = (y1(k, t) + y2(k, t)) \cdot x'(t) \cdot L_k \cdot \mu \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\gamma}{A}; \quad (8)$$

$$q1_j(k, L_k, t) = \int_{t_d(k)}^t \lambda_j(k, L_k, t) \cdot dt, \text{ якщо } t > t_d(k),$$

$$\text{де } t_d(k) = k \cdot \frac{\alpha + \beta}{\omega_k}.$$

$$q0_j(L_k) = \int_0^{T_j} \lambda_j(L_k, t) \cdot dt; \quad q_j(k, L_k, t) = q1_j(k, L_k, t) + k \cdot q0_j(L_k). \quad (8)$$

Так як щільність активного потоку залежить від робочої довжини котушки і не залежить від часу, то сумарна щільність  $f(k, L_k, t)$  примусового (8) та активного (5) потоків в інтервалі  $\Delta t$ , як функція часу визначається формулою (9) (рис. 11):

$$f(k, L_k, t) = (\lambda_j(k, L_k, t) + \lambda_a(L_k, t)) \cdot \Delta t. \quad (9)$$

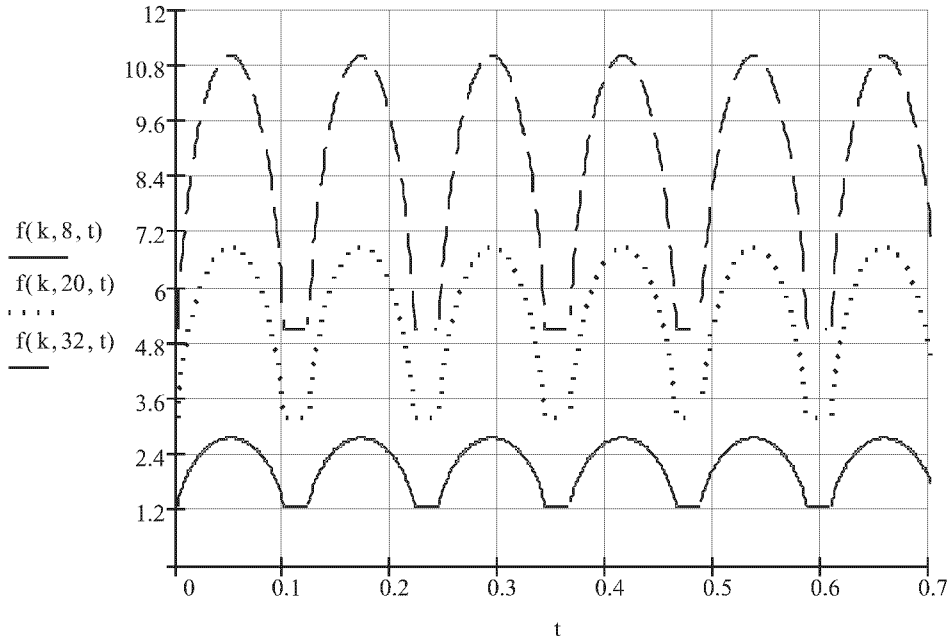


Рисунок 11 – Щільність  $f(k, L_k, t)$  сумарного потоку в інтервалі  $\Delta t$

Продуктивність сумарного потоку визначається за формулою (10) (Рис. 12.)

$$q(k, L_k, t) = q_j(k, L_k, t) + \int_0^t \lambda_a(L_k, t) \cdot dt. \quad (10)$$

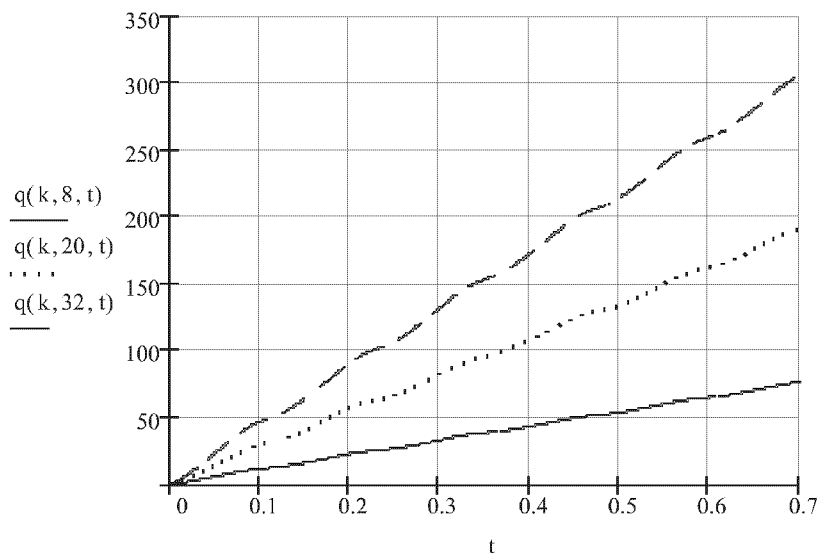


Рисунок 12 – Продуктивність  $q(k, L_k, t)$  сумарного потоку

**Висновки.**

Результати теоретичного дослідження показали, що:

- щільність зернового потоку на виході катушкового висівного апарату є періодичною функцією часу, значення якої змінюються в межах дії кожного жолобка;
- значення щільності в окремі моменти часу тривалістю 0,02с досягає десяти зернин, що виключає можливість використання для їх реєстрації емнісного датчика;
- отримана математична модель дає можливість теоретично дослідити процес формування зернового потоку та його числові характеристики на виході катушкового висівного апарату, при заданих вхідних параметрах.

## Список літератури

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, ч. 2. – Харків: Око, 2002. – 452с.:іл.
2. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1: Машини для рільництва. За ред. М. І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. –384 с.
3. Сисолін П. В. Теорія проектування та розрахунки посівних машин: Навч. посібник - К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
4. Ликкей А. В. Исследование технологического процесса высева семян катушечными аппаратами. Спец. 05.20.01. – диссертация Кировоград 1973г.
5. Комаристов В. Ю., Дунай М. Ф. Сільськогосподарські машини. – К.: Вища школа, 1987. – 486с.
6. Семенов А. Н. Зерновые сеялки. – М. – К.: Машгиз, 1959. – 316 с.
7. Пархоменко М.Д., Пархоменко Ю.М., Горевий І.М. Дослідження динаміки розподілу зернового потоку в площині реєстрації датчика // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин – Кіровоград: КДТУ. – 2004. - №34. – С. 152-158.

*Ю. Пархоменко, В. Кондратец, М. Пархоменко*

**Определение математической модели процесса формирования зернового потока на выходе катушечного высевающего аппарата**

Определена математическая модель процесса формирования зернового потока на выходе катушечного высевающего аппарата, как функция плотности и производительности суммарного потока от времени.

*Y. Parhomenko, V.Kondratec, M. Parhomenko*

**The definition of mathematical model of the process of formation of a grain stream on an output of the bobbin sowing device**

It is received mathematical model of the process of formation of a grain stream on an output of the bobbin sowing device, as a function of density and efficiency of a total stream from time.

Одержано 02.10.11