

УДК 631.33.024: 631.331.5

О.Р. Лузан, асп., В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, В.В. Гончаров, доц., канд. фіз.-мат. наук, П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук

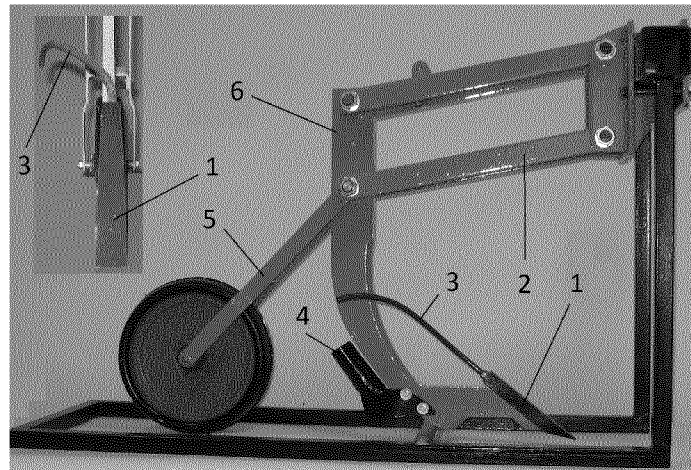
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Дослідження руху рослинних решток по горизонтальній частині стеблевідводу сошника

В статті теоретично обґрунтовано умови руху рослинних решток по горизонтальній частині стеблевідводу сошника. Отримані рівняння для визначення сприятливих умов, при яких вони відводяться в бік від стояка сошника. Теоретично визначена оптимальна форма стеблевідводу. **стеблевідвід, рослинні рештки, сошник, пряма сівба, стебло, зернові культури**

Розробка і вдосконалення конструкції сівалок для прямої сівби зернових культур з метою більш повного виконання ними агротехнічних вимог є одним із основних завдань наукових досліджень в галузі сільськогосподарського машинобудування.

Проведені дослідження [1, 2] дозволили встановити найбільші труднощі для роботи сівалок з сошниками, що мають гострий кут входження в ґрунт (рис. 1) [3] у відповідності до агротехнічних вимог. Не вирішеними залишаються питання: при яких критичних значеннях кутів нахилу стеблепідіймача стебло з нульовою початковою швидкістю буде залишатися в стані спокою, підніматися або опускатися по ньому прискорено чи уповільнено, та відводитися за допомогою стеблевідводу в бік від стояка сошника.



1 – долото–стеблепідіймач; 2 – паралелограмна підвіска; 3 – стеблевідвід; 4 – лійка; 5 – механізм регулювання глибини ходу сошника; 6 - стояк

Рисунок 1 – Посівна секція сівалки прямого посіву

© О.Р. Лузан, В.М. Сало, В.В. Гончаров, П.Г. Лузан, 2011

Метою даного дослідження є теоретичне обґрунтування умов руху рослинних решток по горизонтальній частині стеблевідводу при переміщенні їх в бік від стояка сошника.

Для теоретичного обґрунтування умови руху рослинних решток по горизонтальній частині стеблевідводу при переміщенні їх в бік від стояка сошника

розглянемо рух одного стебла при знаходженні його верхньої точки (точки  $A$ ) на горизонтальній частині стеблевідводу та сили, які при цьому діють на стебло (рис. 2).

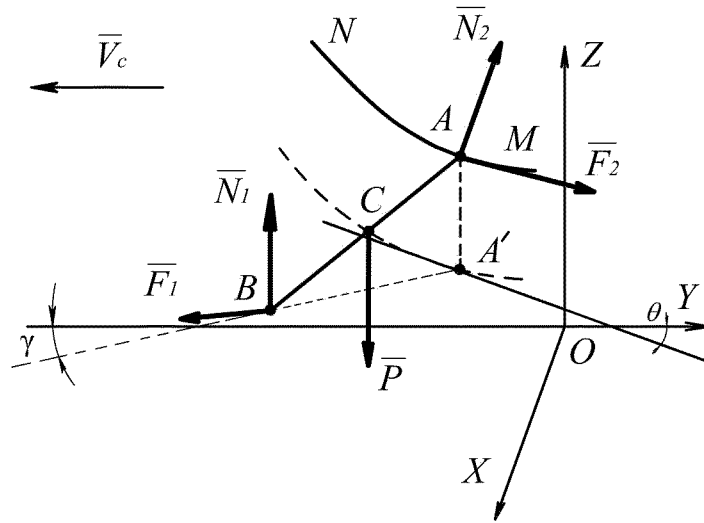


Рисунок 2 – Схема руху стебла при знаходженні його верхньої точки на горизонтальній частині стеблевідводу

Розглянемо прямокутну Декартову систему координат – нерухому  $OXYZ$  і рухому  $OXYZ'$ . В початковий момент їхні осі співпадають: вісь  $OY$  направлена протилежно руху сошника  $\bar{V}_c$ ; вісь  $OZ$  направлена вертикально вгору; вісь  $OX$  направлена перпендикулярно до площини  $OYZ$  таким чином, щоб система координат  $OXYZ$  була правою; початок координат – точка  $O$  знаходиться в початковому положенні точки  $A'$  – проекції точки  $A$  на поверхню землі. Рухомі система координат рухається поступально з швидкістю  $-\bar{V}_c$ .

Введемо позначення (рис. 2):  $AB$  – стебло, рух якого вивчається (точка  $A$  знаходиться на стеблевідводі, точка  $B$  на поверхні землі); точка  $A'$  – проекція  $A$  на поверхню землі (площину  $OXY$ ); відрізок  $AA' = h$  висота, на якій знаходиться горизонтальна частина стеблевідводу над поверхнею землі; кут  $\angle ABA' = \alpha$  – кут, який утворює стебло з поверхнею землі;  $\gamma$  – кут, який утворює проекція стебла  $A'B$  з напрямком руху сошника (віссю  $OY$ ). Форма горизонтальної частини стеблевідводу задається кривою  $MN$ :

$$x = \Phi(y). \quad (1)$$

При цьому  $\Phi'_y = \operatorname{tg} \theta$ , де  $\theta$  – кут, який утворює дотична до кривої  $MN$  в точці  $A$  з віссю  $OY$ . Рух стебла розкладаємо на два рухи: поступальний разом з точкою  $A$  і обертальний навколо осі  $AA'$ . На стебло діють сили:  $\bar{P}$  – ваги стебла;  $\bar{N}_1, \bar{N}_2$  – реакції відповідно поверхні землі і стеблевідводу;  $\bar{F}_1, \bar{F}_2$  – тертя стебла відповідно по поверхні землі і стеблевідводу. Силою опору повітря нехтуємо.

З урахуванням (1) положення стебла задається двома параметрами: координатою  $y_A$  точки  $A$  і кутом  $\gamma$  повороту стебла навколо вісі  $AA'$ . Знайдемо зв'язок між положеннями кінців стебла – координатами  $x_A, y_A$  і  $x_B, y_B$  точок  $A(x_A, y_A, h)$  та  $B(x_B, y_B, 0)$  в рухомій системі координат. Згідно приведених припущень маємо:

$$(y_A - y_B)^2 + (x_A - x_B)^2 = L_{xy}^2,$$

де  $L_{xy} = L \cos \alpha$ ,  $L$  – довжина стебла.

Так як  $\frac{x_A - x_B}{y_A - y_B} = \operatorname{tg} \gamma$ , то  $(y_A - y_B)^2 = L_{xy}^2 \cos^2 \gamma$ . Таким чином:

$$x_B = \Phi(y_A) + L_{xy} \sin \gamma, \quad y_B = y_A - L_{xy} \cos \gamma. \quad (2)$$

В подальшому індекс  $A$  в координатах  $x_A, y_A$  опускається.

Вирішення подібних задач [2, 4, 5, 6] як і в даному випадку виконують з використанням рівняння Лагранжа другого роду. Тоді в загальному вигляді отримаємо:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q}, \quad q = (y, \gamma)^T, \quad (3)$$

де  $T$  – кінетична енергія стебла;

$\Pi$  – потенціальна енергія стебла;

$q$  – вектор узагальнених координат, які визначають рух стебла;

$(y, \gamma)$  – поточні координати стебла.

Визначимо кінетичну енергію стебла за формулою:

$$T = T_n + T_o, \quad (4)$$

де  $T_n = \frac{m\bar{V}^2}{2}$ ,  $T_o = \frac{\omega^m J \omega}{2}$  – відповідно кінетична енергія поступального і обертального рухів стебла.

Швидкість  $\bar{V}$  точки  $A$ , кутова швидкість обертання стебла  $\omega$  та його тензор інерції  $J$  в проекціях на осі системи  $OXYZ$  враховуючи (1) рівні:

$$\bar{V} = (\Phi'_y \dot{y}, \dot{y}, 0)^T, \quad \omega = (0, 0, \dot{\gamma})^T,$$

$$J = \frac{mL^2}{3} \cdot \text{Diag}(1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \gamma, 1 - \cos^2 \alpha \cos^2 \gamma, \cos^2 \alpha). \quad (5)$$

Підставивши (5) в (4), отримаємо:

$$T = \frac{m(\Phi_y'^2 + 1)\dot{y}^2}{2} + \frac{mL_{xy}^2}{6} \dot{\gamma}^2. \quad (6)$$

Визначимо потенціальну енергію стебла за формулою:

$$\Pi = -\bar{P} \delta \bar{s}_C - \bar{N}_1 \delta \bar{s}_B - \bar{F}_1 \delta \bar{s}_B - \bar{N}_2 \delta \bar{s}_A - \bar{F}_2 \delta \bar{s}_A, \quad (7)$$

де  $\delta \bar{s}_A, \delta \bar{s}_B, \delta \bar{s}_C$  – вектори елементарних переміщень точок прикладання відповідних сил, що діють на стебло.

При заданих елементарних переміщеннях  $\delta y, \delta \gamma$  узагальнених координат маємо:

$$\begin{aligned} \delta \bar{s}_A &= (\Phi'_y \delta y, \delta y, 0)^T, \quad \delta \bar{s}_B = (\Phi'_y \delta y + \delta \gamma L_{xy} \cos \gamma, \delta y + \delta \gamma L_{xy} \sin \gamma, 0)^T, \\ \delta \bar{s}_C &= (\Phi'_y \delta y + \delta \gamma L_{xy} / 2 \cdot \cos \gamma, \delta y + \delta \gamma L_{xy} / 2 \cdot \sin \gamma, 0)^T. \end{aligned} \quad (8)$$

Вектори сил, що діють на стебло:

а) сила ваги:

$$\bar{P} = (0, 0, -mg)^T, \quad (9)$$

де  $m$  – маса стебла;

$g$  – прискорення земного тяжіння;

б) сила реакцій поверхні землі:

$$\bar{N}_1 = (0, 0, N_1). \quad (10)$$

в) сила реакцій стеблевідводу:

$$\bar{N}_2 = (-N_{xy} \cos \theta, N_{xy} \sin \theta, N_z), \quad (11)$$

де  $N_{xy}, N_z$  проекції вектора  $\bar{N}_2$  відповідно на вісь  $OZ$  і площину  $OXY$ ,  $\theta$  – кут, який утворює проекція  $\bar{N}_{xy}$  з віссю  $OX$ .

г) сила тертя стебла по поверхні землі направлена по дотичній до траєкторії точки  $B$  в сторону протилежну його руху:

$$\bar{F}_1 = -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} (\bar{V}_B - \bar{V}_c) = -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} (\dot{x}_B, \dot{y}_B + V_c, 0), \quad (12)$$

де  $\bar{V}_c = (0, -V_c, 0)$  – вектор швидкості руху сошника;

$f_1$  – коефіцієнт сили тертя при русі стебла по поверхні землі.

$$\dot{x}_B = \Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma, \quad \dot{y}_B = \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma;$$

$$|\bar{V}_B - \bar{V}_c| = \sqrt{(\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma)^2 + (V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma)^2}.$$

д) сила тертя стебла по поверхні стеблевідводу направлена по дотичній до кривої  $x = \Phi(y)$  в сторону протилежну рухові точки  $A$ :

$$\bar{F}_2 = \frac{f_2 N_2}{\sqrt{1 + \Phi_y'^2}} (\Phi'_y, 1, 0), \quad (13)$$

де  $f_2$  – коефіцієнт сили тертя при русі стебла по поверхні стеблевідводу;

$N_2 = \sqrt{N_{xy}^2 + N_z^2}$  – модуль сили реакції стеблевідводу.

Підставивши (8)–(13) в (7) і враховуючи, що  $\bar{N}_2 \perp \delta \bar{s}_A$  отримаємо:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma)(\Phi'_y \delta y + \delta y L_{xy} \cos \gamma) + \\ & + (V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma)(\delta y + \delta y L_{xy} \sin \gamma)] - f_2 N_2 \sqrt{1 + \Phi_y'^2} \delta y \end{aligned} \quad (14)$$

З (6) знаходимо ліві частини рівнянь Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} - \frac{\partial T}{\partial y} = m[(\Phi_y'^2 + 1)\ddot{y} + \dot{y}^2 \Phi_{yy}''], \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}} - \frac{\partial T}{\partial \gamma} = \ddot{\gamma} \frac{mL^2}{3} \cos^2 \alpha. \quad (15)$$

З (14) знаходимо праві частини рівнянь Лагранжа:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \Pi}{\partial \delta y} = & -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma) \Phi'_y + V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma] + f_2 N_2 \sqrt{1 + \Phi_y'^2}, \\ -\frac{\partial \Pi}{\partial \delta \gamma} = & -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma) L_{xy} \cos \gamma + (V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma) L_{xy} \sin \gamma]. \end{aligned} \quad (16)$$

Підставивши (15), (16) в (3), отримаємо рівняння руху стебла:

$$\begin{aligned} m[(\Phi_y'^2 + 1)\ddot{y} + \dot{y}^2 \Phi_{yy}''] = & -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma) \Phi'_y + \\ & + V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma] + f_2 N_2 \sqrt{1 + \Phi_y'^2}, \\ \ddot{\gamma} \frac{m}{3} = & -\frac{f_1 N_1}{|\bar{V}_B - \bar{V}_c|} [(\Phi'_y \dot{y} \cos \gamma + (V_c + \dot{y}) \sin \gamma + \dot{y} L_{xy}]. \end{aligned} \quad (17)$$

де  $|\bar{V}_B - \bar{V}_c| = \sqrt{(\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma)^2 + (V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma)^2}$ .

Система (17) є системою двох рівнянь відносно чотирьох невідомих величин  $y, \gamma, N_1, N_2$ . Визначимо реакції  $N_1, N_2$ .

Так як в площині  $(AA'B)$  стебло є нерухомим, то з співвідношень статички маємо

$$N_1 = N_2 = \frac{mg}{2}. \quad (18)$$

З рис. 3 слідує, що  $N_{xy} = f_1 N_1 \cos(\gamma - \alpha_{F_2}) \sin(\theta + \gamma)$ ;  $\operatorname{tg} \alpha_{F_1} = \frac{V_{Bx}}{V_{By}} = \frac{\Phi'_y \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \cos \gamma}{V_c + \dot{y} + \dot{y} L_{xy} \sin \gamma}$ ,

де  $\alpha_{F_1}$  – кут, який утворює сила  $\vec{F}_1$  з віссю  $OY$ .

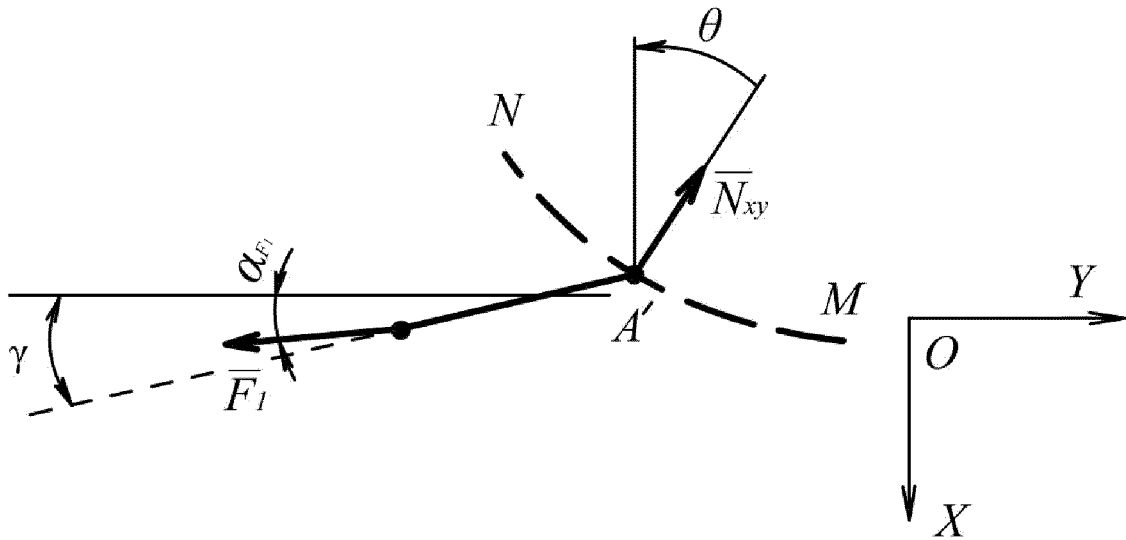


Рисунок 3 – Схема визначення реакції  $\vec{N}_{xy}$

Таким чином:

$$N_1 = \frac{mg}{2}, \quad N_2 = \frac{mg}{2} \sqrt{[f_1 \cos(\gamma - \alpha_{V_B - V_c}) \sin(\theta + \gamma)]^2 + 1}. \quad (19)$$

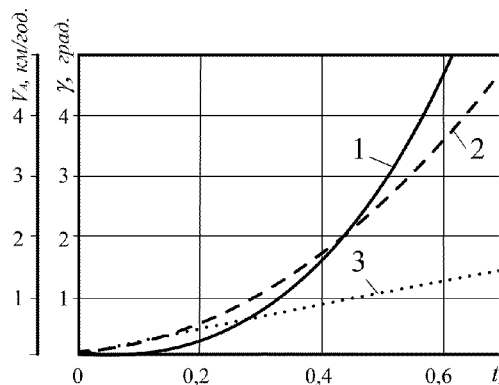
Підставивши (19) в систему (17) отримаємо:

$$\begin{aligned} (\Phi_y'^2 + 1)\ddot{y} + \dot{y}^2 \Phi_{yy}'' &= -\frac{f_1 g}{2|\vec{V}_B - \vec{V}_c|} [V_c + (1 + \Phi_y'^2)\dot{y} + \dot{\gamma}(\Phi_y' \cos \gamma + \sin \gamma)L_{xy}] + \\ &+ \frac{g}{2} f_2 \sqrt{[f_1 \cos(\gamma - \alpha_{V_B - V_c}) \sin(\theta + \gamma)]^2 + 1} \sqrt{1 + \Phi_y'^2}, \quad (20) \\ \ddot{\gamma} &= -\frac{3f_1 g}{2|\vec{V}_B - \vec{V}_c|} [(\Phi_y' \dot{y} \cos \gamma + (V_c + \dot{y}) \sin \gamma + \dot{\gamma} L_{xy})]. \end{aligned}$$

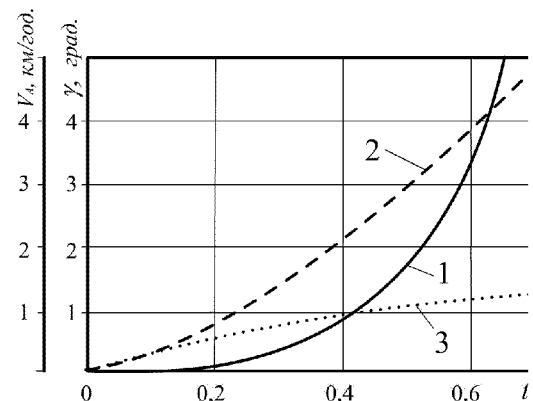
Система (20) є системою двох рівнянь з двома невідомими  $y$  і  $\gamma$ . Її потрібно розв'язати при граничних умовах:

$$\gamma(0) = \gamma'(0) = 0, \quad y(0) = y_0, \quad y'(0) = y'_0. \quad (21)$$

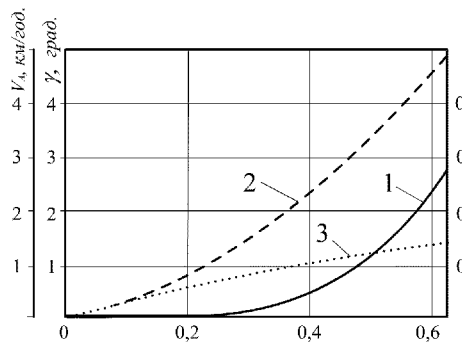
В аналітичному вигляді система (20) не розв'язується, тому для рішення застосовуємо наближений метод з використанням програмного забезпечення Mathcad. Отримані наступні графічні залежності рис. 4а-г.



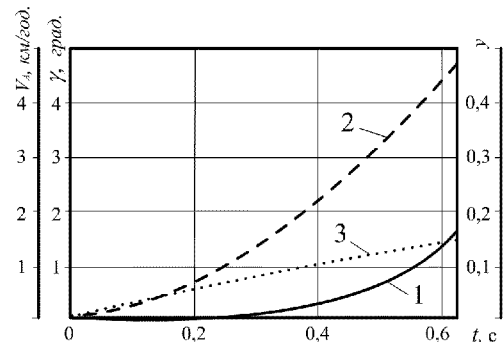
а)  $\Phi_1(y) = y/2$



б)  $\Phi_2(y) = -y^2$



в)  $\Phi_3(y) = -y^2 / 2$



г)  $\Phi_4(y) = -y^2 / 3$

Рисунок 4 – Залежності кута повороту стебла  $\gamma$  в градусах (лінія - 1), координати  $y$  точки  $A$  (лінія - 2) та швидкості  $V_A$  руху точки –  $A$  по стеблевідводу (лінія - 3) від часу  $t$  при фіксованих параметрах  $f_1 = 1$ ,  $f_2 = 0,4$ ,  $L = 0,2$  м,  $V_c = 5$  км/год для різних форм стеблевідводу

Аналіз отриманих графічних залежностей показує, що під час руху стебло спочатку рухається вздовж стеблевідводу і повертається, а потім, при досягненні більш великих значень тертя по стеблевідводу повертається назад до подовжного положення.

Отримані рівняння дозволяють визначити сприятливі умови, при яких стебла відводяться в бік від стояка сошника. Оптимальним, відносно конструктивних розмірів з розглянутих форм, є випадок наведений на рис.4 в з формою стеблевідводу  $\Phi_3(y) = -y^2 / 2$ .

## Список літератури

1. Сало В.М. Вибір напрямів вдосконалення сошників сівалок прямого посіву зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.– Кіровоград: КНТУ, 2010, Вип. 40, Част. II.– С. 271-277.
2. Сало В.М. Обґрунтування форми стеблелініймача сошника для прямої сівби зернових культур / В.М. Сало, О.Р. Лузан, С.Я. Гончарова, П.Г. Лузан. Вип. 21.- Том II.- Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011.- С. 64-74.
3. Позитивне рішення про видачу патенту на корисну модель. Україна, МПК А01С 7/20 (2006.01) Посівна секція сівалки прямого посіву / Сало В.М., Лузан П.Г., Шмат С.І., Лузан О.Р., Гончаров В.В.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т.- № u2011 02758; заявл. 09.03.2011.
4. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / П.М. Заика.– К.: Изд-во УСХА, 1992.- 512 с.
5. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко.– К.: УАСХН, 1960. – 283 с.
6. Корн Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн.– М.: Наука, 1974.– 832 с.

*Е.Лузан, В.Сало, В.Гончаров, П. Лузан*

### **Исследование движения растительных остатков по горизонтальной части стеблеотвода сошника**

В статье теоретически обоснованы условия движения растительных остатков по горизонтальной части стеблеотвода сошника. Получены уравнения для определения благоприятных условий, при которых они отводятся в сторону от стойки сошника. Теоретически определена оптимальная форма стеблеотвода.

*E. Luzan, V. Salo, V. Goncharov, P. Luzan*

### **Study of the motion of plant remains on the horizontal part of the vomer**

In the article theoretically grounded traffic conditions plant residues on the horizontal part of the vomer. Obtain equations for determining favorable conditions under which they are assigned to the side of the rack vomer. Theoretically defined optimal form.

Одержано 25.09.11