

УДК 631.331.54

**М.О. Свірень, проф., д-р техн. наук, М.М. Петренко, проф., канд. техн. наук,  
Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Теоретичні дослідження процесу дозування насіння під час висіву пневмомеханічними апаратами

Виділення одиничного насіння із загальної маси є початковим основоположним процесом у формуванні однорідного потоку. Від виконання цього процесу залежать всі наступні етапи дозування, які в кінцевому підсумку визначають якість роботи висівного апарату. Важливість ефективного виділення одиничного насіння від загальної маси полягає і в тому, щоб на основі вивчення цього процесу можна розробляти конструкції більш універсальних апаратів для висіву насіння різних культур, реалізуючи перспективні технології механізації в рослинництві. Дозування насіннєвого матеріалу сучасним висівним апаратів повинно також враховувати реальні умови виконання посіву

**висівний апарат, насінина, присмоктувальна чарунка, склепоутворення**

Україна має значний аграрний потенціал. Спрямованість економіки держави на аграрне виробництво потребує суттєвих змін у галузі сільськогосподарського машинобудування. Ці зміни повинні бути спрямовані на підвищення якісних показників роботи сільськогосподарських машин та знарядь. Посів зерна у ґрунт є однією з важливих та енерготрудомістких операцій. Тому, аналізуючи [1-3] процес однозернового висіву насіння просапних культур, ми прийшли до висновку, що посівний матеріал, який надходить під дією гравітаційних сил з бункера в насіннєву камеру пневматичного посівного апарату і далі до присмоктувальних чарунок вертикально розташованого диска, можна представити у вигляді рухомого потоку дискретних частинок сипучого тіла. Процес такого руху характеризується закономірностями безперервності руху потоку і підтримання сталості заданого рівня насіння в зоні присмоктування: обсяг частинок, що виносяться присмоктувальними чарунками з насінної камери, дорівнює обсягу частинок, що надходять з бункера по каналу витікання в порожнину насіннєвої камери апарату.

В цьому випадку, спираючись на відомі закономірності витікання та ознаки моделі сипкого тіла Л.В. Гячева, В.А. Богомягких [1-3], правомірно допущення про протікання під час руху посівного матеріалу безперервного процесу утворення і руйнування склепінь. В залежності від фізико-механічних властивостей посівного матеріалу та певного співвідношення конструктивно-технологічних параметрів висівного апарату допустима ймовірність переходу нестійких склепінь у фазу статично стійких. Тому безперервно рухомий потік дискретних частинок посівного матеріалу можна представити у вигляді «динамічного склепоутворюючого потоку» частинок сипучого тіла (рис. 1), який переміщується в різних порожнинах (ємностях) висівного пристрою з різних напрямків: вертикально вниз, горизонтально або під кутом до вертикалі (горизонталі).

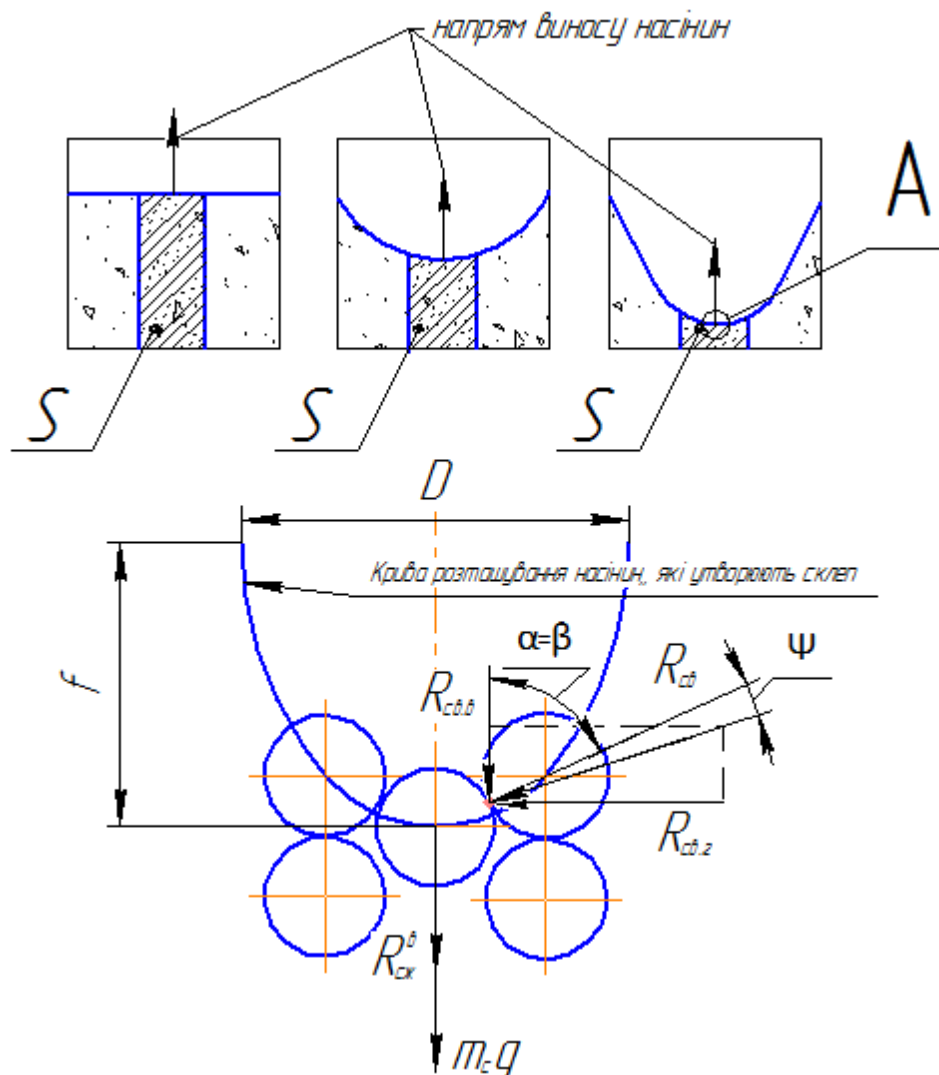


Рисунок 1 – Процес утворення «зворотного» склепу

Процес утворення «зворотного» склепу:

1) зменшується зона (рис. 1) можливого захоплення насіння, яка обмежена спектром всмоктування присмоктуються отвори і висотою стовпа сипкого тіла посівного матеріалу;

2) насіння, які утворюють внутрішню поверхню просторової еліпсоїдної воронки, ущільнюються, в результаті чого утворюється «зворотний» склеп;

3) в утвореному «зворотному» склепі на замкову частинку починають впливати зусилля  $R_{c\dot{\alpha}.s}$  і  $R_{c\dot{\alpha}.z}$  з боку прилеглих частинок склепу, визначені в дослідженнях [7-8] для статично стійкого склепу в класичному розумінні і використані нами стосовно до статично стійкого «зворотного» склепу.

$$R_{c\dot{\alpha}.s} = \frac{\pi \cdot \gamma_c \cdot d_y \cdot g \cdot \sin \beta}{2 \cdot A \cdot k_c} \cdot \left[ \frac{D}{2} + \left( f - \frac{d_y}{2} \cdot \cos \beta \right) \cdot \tan \alpha \right], \quad (1)$$

$$R_{c\dot{\alpha}.z} = \frac{\pi \cdot \gamma_c \cdot d_y \cdot g \cdot \sin \beta}{2 \cdot A \cdot k_c \cdot \tan(\beta + \psi)} \cdot \left[ \frac{D}{2} + \left( f - \frac{d_y}{2} \cdot \cos \beta \right) \cdot \tan \alpha \right], \quad (2)$$

$$A = 0,5 \cdot \left[ \frac{1}{\tan(\beta + \psi)} + \tan(\alpha + \varphi) \right], \quad (3)$$

де  $\psi$  – кут внутрішнього тертя насіння, град;

$\beta$  – кут укладання насіння в насіннєвій камері, град;

$\alpha$  – кут нахилу стінки насіннєвої камери до вертикалі, град;

$\gamma_c$  – густина насіння, кг/м<sup>3</sup>;

$d_y$  – приведений діаметр насінини, м;

$k_c$  – коефіцієнт опору руху насіння.

Для аналізу впливу зусиль  $R_{св.г}$  і  $R_{св.в}$  на замкову частинку статично стійкого «зворотного» склепу за формулами в системі MathCAD були побудовані графічні залежності цих зусиль від можливої  $f$  висоти стріли склепу, представлені на рис. 2. При цьому брали до уваги, що величина  $f$ , виходячи з конструктивно-технологічних параметрів експериментального висівного апарату, може знаходитися в інтервалі 0-0,08 м [8]і.

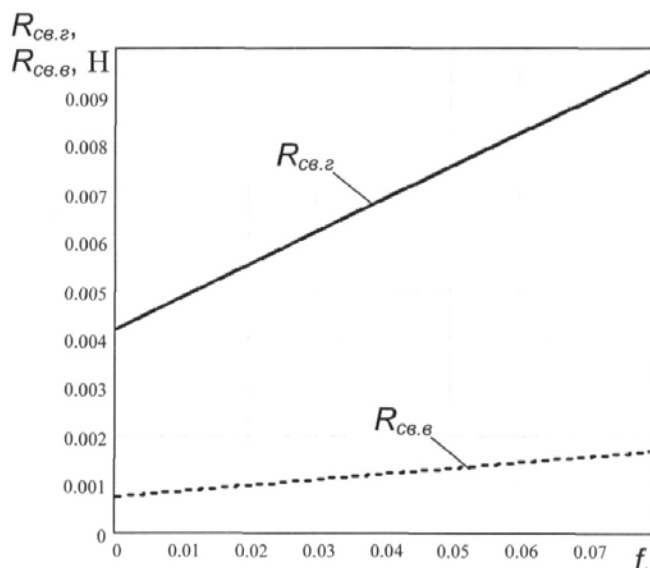


Рисунок 2 – Зміна зусиль, що діють на замкову частинку склепу, від його висоти  $f$

З аналізу рис. 2 можна зробити висновок, що при збільшенні висоти  $f$  стріли склепу від 0 до 0,08 м, більшою мірою вплив на замкову частинку статично стійкого склепу надає зусилля  $R_{св.г}$  та  $R_{св.в}$  в меншій мірі. При цьому змінюється  $R_{св.г}$  в інтервалі 0,004-0,0095 Н,  $R_{св.в}$  - в інтервалі 0,0008-0,0018 Н.

Визначаємо умови захоплення насіння присмоктувальною чарункою. Розглядаючи процес захоплення насіння (рис. 1) присмоктувальною чарункою, домовимося, що початок заходу насіння в присмоктувальну чарунку визначається розташуванням точки А взаємного торкання даного насіння і поверхні висівного диска на кромці присмоктувальної чарунки. Будемо вважати, що точка А – точка «заходу» насінини до присмоктувальної чарунки.

В основу математичної моделі процесу захоплення насіння покладемо наступні допущення:

- точки «заходу» в різних місцях зони захоплення насіння розташовуються на одній і тій же окружності висівного диска, що збігається з траєкторією руху присмоктувальних чарунок;

- на траєкторії руху присмоктувальних чарунок відсутній активний шар насіння і насіння граничного шару, що контактують з поверхнею висівного диска в зоні руху присмоктувальних чарунок, позбавлені рухливості;

- процес захоплення насіння починається з моменту його рушання в точці «заходу» А й закінчується, коли поверхню насіння стикнеться з крайкою по всьому периметру присмоктувальної чарунки, при цьому насіння здійснює прямолінійний рух;

- в процесі захоплення насіння присмоктувальною чарункою швидкість повітряного потоку, що впливає на насіння, дорівнює швидкості повітряного потоку, створюваного в присмоктуються комірці;

- розрідження, створюване в площині присмоктуються осередки, відповідає розрідженню у вакуумній камері апарату.

У досліджуваній конструкції висівного апарату, на нашу думку, можливо три випадки захоплення насіння присмоктувальною чарункою. По-перше, захоплення насіння з обсягу сипкого тіла посівного матеріалу в момент надходження насіння на досить великій відстані від стінок насінневої камери висівного апарату. По-друге, захоплення насіння, що знаходиться в самій нижній частині насінневої камери і безпосередньо контактує зі стінками останньої. По-третє, захоплення замкової частинки статично стійкого «зворотного» склепу.

Захоплення насіння присмокту вальною чарункою можливий за умови перевищення рушійними силами сил опору, тобто при виконанні умови:

$$P_{\text{движ}} > P_{\text{сопр}} \quad (4)$$

У такому разі сила, необхідна для захоплення насіння, визначиться з виразу:

$$P_z > P_{\text{движ}} - P_{\text{сопр}} \quad (5)$$

$$P_{\text{сопр}} = F_{\text{тр.с}} + F_{\text{тр.д}}^x \quad (6)$$

$$P_{\text{движ}} = P_{\text{а.прис}} + P_{\text{сж}}^e \quad (7)$$

$$P_z > P_{\text{а.прис}} + P_{\text{сж}}^e - F_{\text{тр.с}} - F_{\text{тр.д}}^x \quad (8)$$

Аеродинамічна сила присмоктування, згідно з дослідженнями [5], визначається таким чином:

$$P_{\text{а.прис}} = m_c \cdot V_6^2 \cdot k_c \quad (9)$$

при цьому

$$V_6 = a_c \sqrt{\frac{2H_6}{\rho_6}} \quad (10)$$

де  $\rho_e$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  
 $a_c$  – коефіцієнт лобового опору середовища.

Сили  $F_{mp.c}$  и  $F_{mp.d}^x$  згідно наведеної на рис. 3 схемою, визначаються з виразів:

$$F_{mp.c} = (P_{сж}^e + m_c \cdot g) f_\theta , \quad (11)$$

де  $f_\theta$  – коефіцієнт внутрішнього тертя насіння;

$$F_{mp.d}^x = F_{mp.d} \cdot \sin \eta , \quad (12)$$

$$F_{mp.d} = N_\theta \cdot f_\theta , \quad (13)$$

де  $f_\theta$  – динамічний коефіцієнт внутрішнього тертя насінин;

$$N_\theta = (P_{a.прис} + P_{сж}^e) \cos \eta . \quad (14)$$

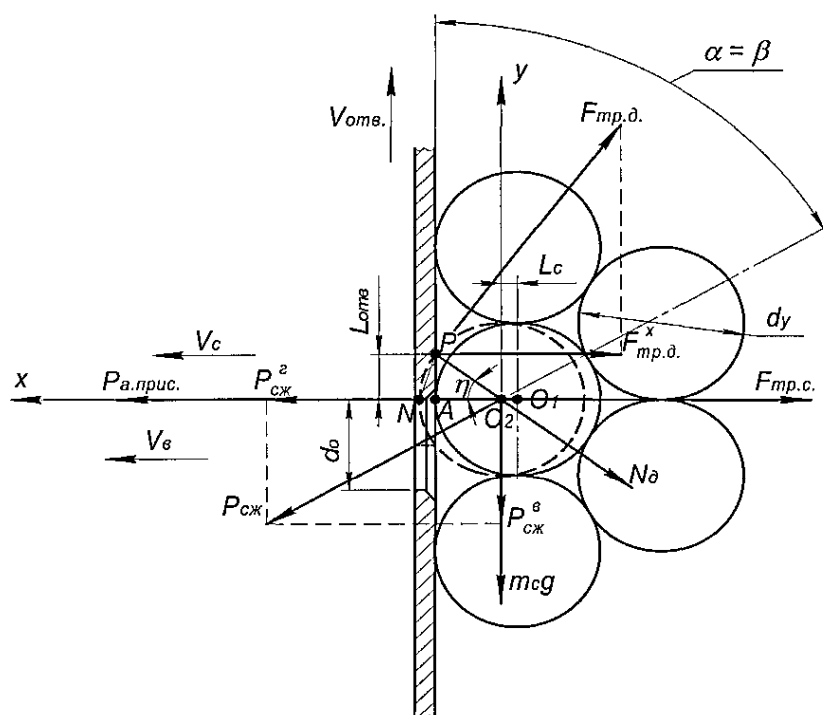


Рисунок 3 – Схема захоплення насіння присмоктувальною чарункою з обсягу сипкого тіла посівного матеріалу

Зі співвідношення умовного діаметру насінини і діаметру присмоктувальної чарунки величини  $\sin \eta$  і  $\cos \eta$  можна виразити таким чином

$$\cos \eta = (1 - d_0^2 d_y^{-2}) , \quad (15)$$

$$\sin \eta = \frac{d_0}{d_y} . \quad (16)$$

З урахуванням формул (14), (15), (16) та (17) вираз (13) можна представити у вигляді:

$$F_{mp,\delta}^x = (P_{a.npuc} + P_{c\epsilon}^2) \cdot (1 - d_0^2 \cdot d_y^{-2}) \cdot f_\delta . \quad (17)$$

З формули (9) аеродинамічна сила присмокування:

$$P_{a.npuc} > P_3 - P_{c\epsilon}^2 + F_{mp,c} + F_{mp,\delta}^x . \quad (18)$$

Внаслідок того, що під час відносного руху назустріч один одному присмокувальна чарунка та насіння за період часу присмокування  $t_{npuc}$  пройдуть шлях  $L_{омв}$  та  $L_c$  зі швидкостями  $V_{омв}$  і  $V_c$ , виконується наступне співвідношення:

$$\frac{L_c}{V_c} = \frac{L_{омв}}{V_{омв}} . \quad (19)$$

Відповідно силу, необхідну для захвату насіння присмокувальною чарункою, можна виразити:

$$P_3 = m_c \cdot \frac{V_c^2}{L_c} . \quad (20)$$

Із співвідношення сторін трикутників  $\Delta PO_2N$  та  $\Delta PNA$  виражаємо шляхи насінини та присмокувальної чарунки, які пройдено за час захвату:

$$L_c = 0,5 \cdot d_y \cdot (1 - (1 - d_0^2 \cdot d_y^{-2})) , \quad (21)$$

$$L_{омв} = 0,5 \cdot d_0 . \quad (22)$$

Вирішуючи рівняння (20), (22) и (23) відносно швидкості насінини та виражаючи швидкість присмокувальної чарунки через частоту обертання висівного диска, отримаємо:

$$V_c = \frac{\pi \cdot n_\delta \cdot R \cdot d_y \cdot [1 - (1 - d_0^2 \cdot d_y^{-2})^{0,5}]}{30 \cdot d_0} , \quad (23)$$

де  $R$  – радіус розташування присмоку вальних чарунок, м.

Сумісне рішення рівнянь (22), (23) та (24) дозволило виявити співвідношення, яке визначає силу  $P_3$ , необхідну для захвату насінини присмокувальною чарункою з об'єму сипучого тіла посівного матеріалу:

$$P_3 = \frac{0,02 \cdot m_c \cdot \pi^2 \cdot n_d^2 \cdot R^2 \cdot d_y \cdot \left[1 - (1 - d_0^2 \cdot d_y^{-2})^{0,5}\right]}{d_0} \quad (24)$$

Для графічного аналізу формул (23) и (245) в системі **MathCAD** були побудовані графічні залежності сили  $P_3$ , необхідної для захвату насінини присмоктувальною чарункою з об'єму сипучого тіла посівного матеріалу та швидкості  $V_c$  насінини під час його захоплення від частоти оберту висівного диску (рис. 4).

З аналізу рис. 4 можна зробити висновок, що сила  $P_3$ , яка необхідна для захвату насінини присмоктувальною чарункою з об'єму сипучого тіла посівного матеріалу при зміні частоти обертання висівного диску від 25 до 45  $\text{с}^{-1}$ , повинна знаходитись в інтервалі 0,0019-0,0055 Н, при швидкості насіння під час його – в інтервалі 0,056-0,098 м/с.

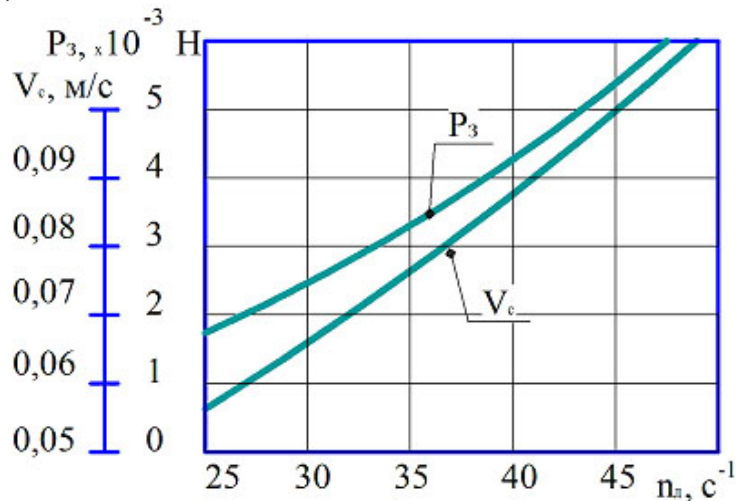


Рисунок 4 – Вплив частоти обертання висівного диску на силу захоплення і швидкість насінини

Рішення рівнянь (8-10) и (17) дозволило виявити співвідношення для визначення величини розрідження:

$$H_e > \frac{\rho_e \cdot d_y \cdot \left( P_3 + F_{mp,c} + 0,5 \cdot \pi \cdot \gamma_c \cdot g \cdot d_y^2 \cdot \sin \beta \cdot k_\phi \cdot \left[ (1 - d_0^2 \cdot d_y^{-2})^{0,5} \cdot f_\delta \cdot d_0 - d_y \right] \right)}{2 \cdot m_c \cdot a_c^2 \cdot k_n \cdot \left[ d_y - (1 - d_0^2 \cdot d_y^{-2})^{0,5} \cdot f_\delta \cdot d_0 \right]} \quad (25)$$

Після підстановки в рівняння (25) рівнянь (11), (14) і відповідних перетворень було отримано наступний вираз:

$$H_e > \frac{\rho_e \left\{ 0,1 m_c n_d^2 R^2 d_y^{-1} + \left[ 0,25 \pi \gamma_c g d_y^3 k_\phi (2 f_e \cos \beta + \sin \beta (f_\delta - 2)) + m_c g f_e \right] \right\}}{m_c a_c^2 k_n (2 - f_\delta)} \quad (26)$$

Після перетворення рівняння (27) з урахуванням значень кута  $\beta$  і властивостей обраної механічної моделі сипкого тіла посівного матеріалу, воно набуває наступний вигляд:

$$H_g > \frac{\rho_s \left\{ 0,1m_c n_d^2 R^2 d_y^{-1} + \left[ 8\gamma_c g d_y^3 k_\phi (1,5f_s + f_d - 2) + 10m_c g f_s \right] \right\}}{m_c a_c^2 k_n (2 - f_d)}, \quad (27)$$

Рівняння (28) при певних початкових умовах дозволило побудувати в системі *MathCAD* залежність величини розрідження необхідної для захвату насінини з об'єму сипучого тіла посівного матеріалу від частоти оберту висівного диска (рис. 5).

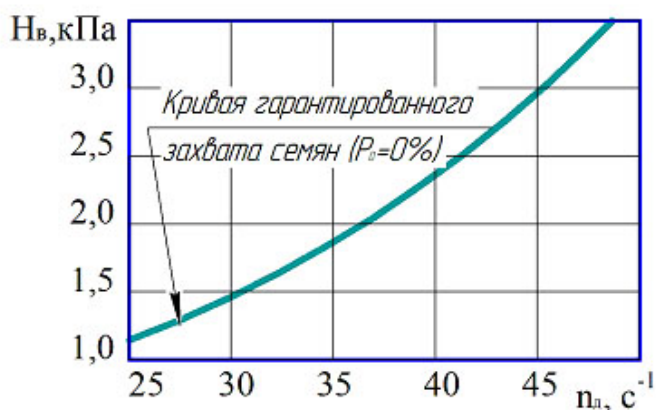


Рисунок 5 – Залежність величини розрідження від частоти обертання висівного диска

Аналіз графічної залежності (рис. 5) дозволяє зробити висновок, що для гарантованого захвату насінини присмоктувальною чарункою з об'єму сипучого тіла посівного матеріалу, при частоті оберту висівного диска в інтервалі 25-45 с<sup>-1</sup>, необхідно створити розрідження в вакуумній камері висівного апарата величиною 1,2-3,5 кПа. Результати проведених досліджень можна використовувати в подальшому при визначенні теоретичних залежностей між параметрами пневмомеханічного апарата в процесі захвату та виноса насіння присмоктувальними отворами висівного диска з урахуванням можливого склепоутворення посівного матеріалу.

## Список літератури

1. Науково-технологічні основи підвищення ефективності роботи висівних апаратів посівних машин. 05.05.11-машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук / М. О.Свірень. - Кіровоград : КНТУ, 2012. - 36 с.
2. Бондаренко П.А. К анализу процесса формирования однозернового потока высевы семян в аппаратах пневматической сеялки / П.А. Бондаренко, В.В. Лукьянец; Азово-Черномор. гос. агроинж. акад. - зерноград, 1999. - 22 с. - Деп. в ВИНТИ 19.08.99, № 2682 - В 99.
3. Бондаренко П.А. Обоснование условий присасывания семян ячейками высевяющего аппарата / П.А. Бондаренко, В.В. Лукьянец; Азово-Черноморская гос. агроинж. акад. - зерноград, 1999. - 14 с. - Деп. в ВИНТИ 19.08.99, № 2680 - В 99.
4. Богомягих В. А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов /В. А. Богомягих. - Ростов-н/Д; Изд-во РГУ, 1973. – 148 с.
5. Богомягих В.А. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов / В.А. Богомягих, П. А. Пепчук . - зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1995. - 162 с.

6. Богомягих В.А. Обоснование параметров и режимов работы сводо- разрушающих устройств бункерных дозирующих систем сельскохозяйственных машин и установок / В.А. Богомягих, В. П. Трембич, А.И. Пахайло. – Зерно- град: ВНИИПТИМЭСХ, 1997. - 124 с.
7. Богомягих В.А. Процесс образования сводов в силосах и бункерах при истечении сыпучих материалов / В. А. Богомягих, В. Г. Ялтанцев, Т.Н. Семенов // Механика деформируемых систем в сельхозмашиностроении. – Ростов-на-Дону, 1974. -С. 115-119.
8. Лукьянец В. В. Совершенствование технологического процесса точного высева семян пропашных культур пневматической сеялкой (на примере дражированных семян сахарной свеклы): Дис. ... канд. техн. наук. – Зерноград, 1999.- 163 с.

*Н.Свирень, Н.Петренко, Д.Богатырѐв, И.Павленко*

**Теоретические исследования процесса дозировка семена при высева пневмомеханическими аппаратами**

Выделение единичного семян из общей массы начальный основополагающим процессом в формировании однородного потока. От выполнения этого процесса зависят все последующие этапы дозирования, которые в конечном итоге определяют качество работы высевающего аппарата. Важность эффективного выделения единичного семян от общей массы заключается и в том, чтобы на основе изучения этого процесса можно разрабатывать конструкции более универсальных аппаратов для высева семян различных культур, реализуя перспективные технологии механизации в растениеводстве. Дозировка семенного материала современных высевающих аппаратов должно также учитывать реальные условия выполнения посева

*M.Sviren, M.Petrenko, D.Bohatyrov, I. Pavlenko*

**Theoretical studies of dosing sowing pneumatic seeds during**

Isolation of a single seed from the masses is the initial fundamental process in the formation of a homogeneous flow. From this process, depend all the subsequent stages of the dosage, which ultimately determine the quality of the sowing machine. The importance of effective allocation of a single seed of the total mass lies in the fact that by studying this process can develop designs more versatile machines for sowing different crops, implementing advanced technology of mechanization in crop production. Dosage modern seed sowing machines should also take into account the actual conditions of crop performance

Отримано 16.10.12