

УДК 631.331

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПРИСМОКТУВАННЯ НАСІНИНИ ДО КОМІРЧИНИ ВИСІВНОГО ЕЛЕМЕНТА З НАХИЛЕНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ, ЩО РУХАЄТЬСЯ ВНИЗ

М. С. Шведик*, Ю. Л. Гунько*, В. В. Теслюк**

e-mail: Shvedyk ms.@gmail.com, gunko.@gmail.com, vtesluk@ukr.net

*Луцький національний технічний університет

вул. Львівська, 75/3, м. Луцьк, 43018, Україна

**Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони 12 Б, м. Київ, 03041, Україна

Стаття приурочена дослідженню пневматичного апарата дискового типу з централізованим висівом насіння. Конструктивною особливістю даного апарата є те, що комірчини для висіву насіння розміщені концентрично на нижній основі диска, який має нахилену вісь обертання. Як наслідок, значення сили присмокткування насінини до комірчини в крайніх точках, що лежать на горизонтальному діаметрі диска під час його руху з верхнього положення у нижнє і навпаки, має різне значення.

У статті наведено фрагмент диска з комірчиною і розміщеною в ній насінниною в момент її руху з верхнього положення у нижнє. При цьому, центр комірчини і насінини співпадають і лежать на прямій, яка проходить вздовж нижньої поверхні диска. Через спільний центр насінини і комірчини проведено систему координат XYZ і показано напрям дії сил.

Аналіз сил, що діють на насінину, показує, що під час обертання висівного елемента різко зростає навантаження на задню штовхаючу стінку комірчини і насінина притискується до стінки комірчини, в той час як передній кінець насінини може перебувати без навантаження. Як наслідок виникає нестійке положення і вона може виштовхнутися з комірчини. Щоб цього не сталося насіння утримується в комірчинах за рахунок присмоктувальної сили.

Для того, щоб визначити значення сили присмокткування насінини до комірчини, що рухається з верхнього положення у нижнє, у статті розглянуто схему сил, що діють на насінину саме в цей момент, і складено умову рівноваги цих сил. На основі цієї умови отримано аналітичну залежність сили присмокткування насінини до комірчини висівного елемента з нахиленою віссю обертання як від конструктивно-технологічних параметрів (γ , α , R , ω , h) висівного елемента, так і фізико-механічних властивостей (m , r , l , f , ε , ρ) самого насіння. Отримана залежність дає можливість визначити значення сили присмокткування насіння до комірчин призначених для обслуговування лівосторонньої групи сошників сівалки.

Ключові слова: висівний елемент, нахилена вісь, комірчина, насінина, зерновий шар, тиск, бічний тиск, сила, лобовий опір, тертя, присмокткування.

Постановка проблеми

Одним з резервів, що дозволяє підвищити врожайність зернових колосових культур і знизити собівартість виробництва зерна, є точний висів [1]. Для його здійснення як в Україні, так і за рубежом, активно ведуться розробки зі створення високоефективного висівного апарата. Найбільш перспективним апаратом для точного висіву зернових колосових культур є пневмомеханічний апарат барабанного типу, який забезпечує централізований висів насіння по ширині захвату сівалки. З шести їх типів найбільш виразним є апарат з нахиленою віссю обертання [2], який, завдяки установці нижньої частини висівного елемента в бункері, а верхньої – за його межами, дозволяє саме на цій частині висівного елемента компактно розмістити зону розвантаження комірок.

Оскільки комірчки розміщені на нижній основі висівного елемента по колу, то, відповідно, установка всіх насінневловлювачів забезпечує променерозхідне розміщення насіннепроводів, що дає можливість здійснювати одночасний висів насіння в три групи сошників, розміщених з лівої і правої сторін сівалки та по її центру. Однак саме найменш дослідженим виявився апарат з нахиленою віссю обертання, що стримує подальші його розробки і не сприяє впровадженню у виробництво. При цьому, очевидним є те, що умови для переміщення насінини в зерновому шарі з верхнього положення у нижнє відрізняються від умов її переміщення по колу, а отже і сила присмокткування насінини до комірчини під час її руху вниз під кутом γ до горизонту, також буде значно відрізнятись. Тому теоретичні засади для визначення сили присмокткування будуть іншими

і їх необхідно визначити саме для тих умов, коли насінина переміщується з верхнього положення у нижнє.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел, приурочених питанням теорії пневматичних висівних апаратів [3,4,5] показує, що вони є достатньо вивчені. Встановлено, що основним параметром, який впливає на якість однозернового відбору і виносу насіння в зону висіву, є сила присмокування. Однак, всі теоретичні положення, що стосуються присмокування насінини до комірчини, ґрунтуються на переміщенні насінини по колу розміщеному у вертикальній або у горизонтальній площині і не можуть бути повною мірою застосовані до визначення сили присмокування насінини до комірчини, яка рухається по колу, розміщеному в площині, нахилений під кутом γ до горизонту. Для дискового висівного апарата з нахилоною віссю обертання у найбільш характерних точках ABCD траєкторії руху насіння значення сили присмокування змінюється в залежності від висоти зернового шару.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою дослідження є проведення аналізу сил, що діють на насінину під час її переміщення під кутом до горизонту з верхнього положення у нижнє і на основі рівноваги сил визначити силу присмокування до комірчини висівного елемента з нахилоною віссю обертання.

Результати досліджень

Для того щоб визначити значення сили присмокування насінини до комірчини, що рухається по колу у площині, нахилений під кутом до горизонту, з верхнього положення у нижнє, необхідно розглянути схему сил, що діють на насінину саме в цей момент і скласти

$$T = \frac{1}{2} \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sin \gamma \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{2} \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon^2 \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \cos \gamma \quad (2)$$

$$R = \sqrt{T + Q} = \frac{1}{2} \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sqrt{\sin^2 \gamma + \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \gamma} \quad (3)$$

де $\pi=3,14$; r – половина ширина насінини; l – довжина насінини; ξ' – коефіцієнт бічного

умову рівноваги цих сил, з якої можна буде отримати відповідну аналітичну залежність.

На рис. 1 наведено фрагмент висівного елемента з нахилоною під кутом γ віссю обертання, на якому в розрізі зображено комірчину з розміщеною в ній насінною під час руху вниз. З наведеної на рис. 1 схеми видно, що зі сторони суцільного зернового шару на насінину, розміщену в комірчині, в горизонтальному напрямку буде діяти сила, викликана бічним тиском σ_B , а знизу вертикально вгору, сила, викликана вторинним бічним тиском σ_{BB} , які позначимо, відповідно, символами T і Q .

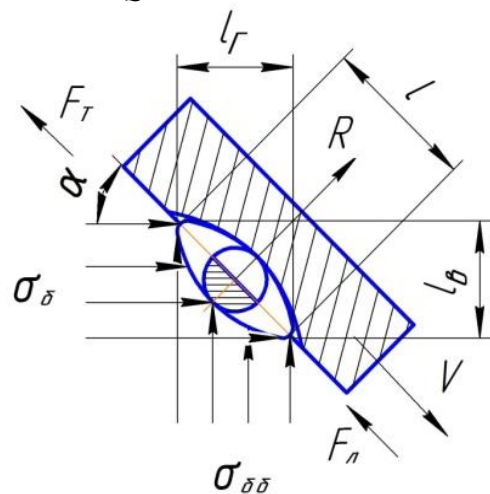


Рис. 1. Фрагмент комірчини висівного елемента з нахилоною віссю обертання і розміщеною в ній насінною, яка розміщена на нижній основі (торці) під час руху вниз

Ці сили сприяють входженню насінини в комірчину висівного елемента, а їх рівнодійна R притискує насінину до комірчини. За результатами наших досліджень [6] значення цих сил визначаються за формулами:

розпирання; n' – коефіцієнт, що враховує вертикальні сили тертя насіння об стінки бункера (коефіцієнт зависання); для неглибокого бункера

$n' = 1$; K_0 – поправний коефіцієнт, що враховує динамічність навантаження; ρ – насипна щільність насіння; g – прискорення вільного падіння; h – глибина розміщення точки прикладання тиску під шаром насіння.

Для того щоб з'ясувати дію всіх сил на насінину, виділимо фрагмент диска з комірчиною і розміщеною в ній насінною. При цьому вважаємо, що центр комірчини і насінини співпадають і лежать на прямій, яка проходить вздовж нижньої поверхні дика. Проведемо через спільний центр насінини і комірчини систему координат XYZ , рис.2 і покажемо напрям дії вищезазначених сил. При цьому, з метою спрощення побудови схеми вважаємо, що вісь X направлена перпендикулярно до площини малюнка.

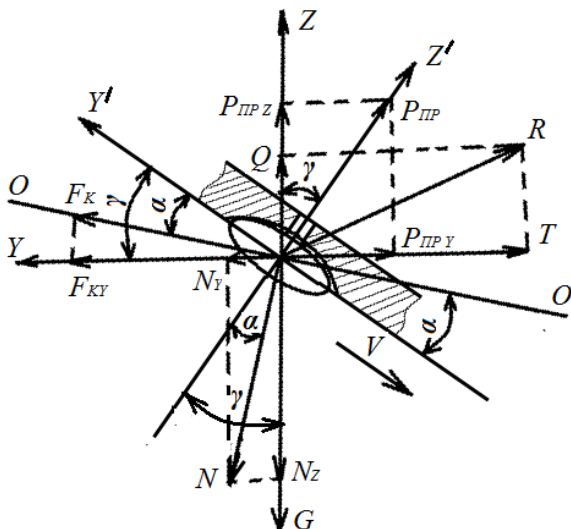


Рис. 2. Схема сил, що діють на насінину, розміщену в комірчині висівного елемента з нахиленою віссю обертання під час руху вниз

Під час обертання висівного елемента різко зростає навантаження на задню штовхаючу стінку комірчини, під дією якого виникає рівна за величиною, але протилежно направлена нормальна сила N . Ця сила для напівсферичної комірчини, за даними [7], направлена під кутом α до перпендикуляра, опущеного до хорди, що стягує кінцеві точки комірчини. Оскільки задній кінець насінини постійно притискується до стінки комірчини, в той час як передній може перебувати без навантаження, то, в такому випадку, виникає нестійке положення і передній кінець насінини відірветься від комірчини. Як наслідок, під тиском інших насінин вона може повністю відірватися і виштовхнутися з

комірчини. При цьому, сила ваги G , яка діє вниз вздовж осі Z , також намагається її відірвати від комірчини. Це є однією з причин, які призводять до висіву з пропуском, тобто за час повороту висівного елемента і проходження ним зони заповнення, комірчина виявиться без насінини. Щоб цього не сталося у пневматичних висівних апаратах, насіння утримується в комірчинах за рахунок присмоктувальної сили. Цю силу можна визначити з умови рівноваги сил, що діють на насінину. Для цього розкладемо силу присмоктування, яку позначимо символом P_{PP} , на дві складові – горизонтальну P_{PP_Y} і вертикальну P_{PP_Z} та визначимо їх значення. Напрямок дії присмоктувальної сили (рис.2) завжди співпадає з напрямком присмоктувального каналу комірчини, а оскільки присмоктувальний канал комірчини виконано перпендикулярно до основи висівного елемента нахиленого під кутом γ , то на основі взаємоперпендикулярності сторін трикутників видно, що:

$$P_{PP_Z} = P_{PP} \cdot \cos \gamma, \quad (4)$$

$$P_{PP_Y} = P_{PP} \cdot \sin \gamma. \quad (5)$$

Аналогічним чином розкладемо нормальну силу N також на дві складові – горизонтальну N_Y і вертикальну N_Z і визначимо їх значення:

$$N_Y = N \cdot \sin(\gamma - \alpha), \quad (6)$$

$$N_Z = N \cdot \cos(\gamma - \alpha). \quad (7)$$

Рівнодійна R сил T і Q під час переміщення насінини заднім кінцем по стінці комірчини викликає силу тертя F_K , яка діє по прямій $O-O$ відхиленій від осі Y на кут α :

$$F_K = f \cdot R \quad (8)$$

де f – кут тертя насінини об стінку комірчини.

З рис. 2 видно, що проекцію F_{KY} сили F_K на вісь Y можна визначити за формулою:

$$F_{KY} = F_K \cdot \cos(\gamma + \alpha) \quad (9)$$

Яка, з врахуванням виразів (8) і (3), набуде вигляду:

$$F_{KY} = \frac{1}{2} f \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sqrt{\sin^2 \gamma + \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \gamma} \quad (10)$$

Вздовж осі X діє відцентрова сила $P_{ВЦ}$, яка намагається виштовхнути насінину з комірчини, їй протидіє сила лобового опору, яка визначається за формулою [6]:

$$P_L = P_B = \frac{1}{2} \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_D \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (11)$$

Таким чином, всі сили, які діють на насінину, по осях координатної системи XYZ визначені, і умову рівноваги сил можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} \sum P(x) &= 0; & -P_{ВД} + P_B &= 0; \\ \sum P(y) &= 0; & P_{ППY} + T - F_{KY} - N_Y &= 0; \\ \sum P(z) &= 0; & P_{ППZ} + Q - N_Z - G &= 0. \end{aligned}$$

З урахуванням останніх рівнянь та виразів (4), (5), (6) і (7), умову рівноваги сил можна записати у вигляді системи трьох рівнянь:

$$\begin{cases} -P_{ВД} + P_B = 0; \\ P_{ПП} \cdot \sin \gamma + T - F_{KY} - N \cdot \sin(\gamma - \alpha) = 0; \\ P_{ПП} \cdot \cos \gamma + Q - N \cdot \cos(\gamma - \alpha) - G = 0. \end{cases}$$

Друге рівняння даної системи можна записати в такому вигляді:

$$N = \frac{P_{ПП} \cdot \sin \gamma + T - F_{KY}}{\sin(\gamma - \alpha)} \quad (12)$$

і, підставивши в третє рівняння замість N вираз (1), прийдемо до системи з двома рівняннями і одним невідомим:

$$\begin{cases} -P_{ВД} + P_B = 0; \\ P_{ПП} \cdot \cos \gamma + Q - G - \frac{P_{ПП} \cdot \sin \gamma + T - F_{KY}}{\sin(\gamma - \alpha)} \cdot \cos(\gamma - \alpha) = 0. \end{cases}$$

Прирівнюючи між собою дані рівняння після деяких спрощень і перетворень, отримаємо рівняння:

$$P_{ПП} \cdot [\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{ctg}(\gamma - \alpha)] + Q - G - (T - F_{KY}) \cdot \operatorname{ctg}(\gamma - \alpha) = -P_{ВД} + P_B$$

з якого знайдемо, що

$$P_{ПП} = \frac{1}{\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{ctg}(\gamma - \alpha)} \cdot [-P_{ВД} + P_B - Q + G + (T - F_{KY}) \cdot \operatorname{ctg}(\gamma - \alpha)],$$

Або, підставивши замість T , Q , F_{KX} і P_B вирази (1), (2), (10) і (11) та враховуючи те, що $P_{ВД} = m\omega^2 R$, а $G = mg$, після деяких спрощень отримаємо залежність сили присмокування насінини до комірки під час її переміщення з верхнього положення у нижнє від конструктивно-технологічних параметрів висівного апарата з нахиленою віссю обертання:

$$P_{ПП} = \frac{1}{\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{ctg}(\gamma - \alpha)} \cdot \left\{ \begin{aligned} &mg - m\omega^2 R + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_D \cdot \rho \cdot g \cdot h \times \\ &\times \left[\frac{r}{l} - \varepsilon \cdot \cos \gamma + [\sin \gamma - f \cdot \cos(\gamma - \alpha)] \times \right. \\ &\left. \times \sqrt{\sin^2 \gamma + \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \gamma} \right] \cdot \operatorname{ctg}(\gamma - \alpha) \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Аналіз отриманого виразу показує, що сила висівного елемента з нахиленою віссю обертання присмокування насінини до комірки під час її переміщення з нижнього положення у

верхнє залежить від конструктивних (γ , α , R) і технологічних (ω , h) параметрів висівного елемента та фізико-механічних (m , r , l , f , ε , ρ) властивостей насіння. Тому, під час розробки пневматичних висівних апаратів централізованого висіву насіння з нахиленою віссю обертання висівного елемента величину сили присмокування насіння до комірчин, призначених для обслуговування лівосторонньої групи сошників сівалки, необхідно визначати з урахуванням зазначених як конструктивно-технологічних параметрів висівного елемента, так і фізико-механічних властивостей самого насіння.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Отримана на основі результатів досліджень аналітична (13) залежність сили присмокування насіння до комірчини висівного елемента з нахиленою віссю обертання, під час її переміщення з верхнього положення у нижнє від конструктивно-технологічних параметрів (γ , α , R , ω , h) висівного елемента та фізико-механічних властивостей (m , r , l , f , ε , ρ) насіння, може бути застосована до пневматичних апаратів централізованого висіву для визначення необхідної сили присмокування насіння до комірчин висівного елемента з нахиленою віссю обертання і призначених для обслуговування лівосторонньої групи сошників сівалки.

Напрямом подальших досліджень може бути дослідження залежності сили присмокування насіння до комірчини висівного елемента з нахиленою віссю обертання під час її переміщення з нижнього положення у верхнє, що дасть можливість визначити значення необхідної сили для надійного присмокування насіння до комірчин висівного елемента, призначених для обслуговування правосторонньої групи сошників сівалки.

References

1. Pogorily, L. V. & Schwedik, M. S. (1992.). Obgruntuvannia ahrotekhnichnykh vymoh shchodo tochnoho vysivu zerna kolosovykh kultur i tekhnichnykh zasobiv dlia yoho zdiisnennia. [Substantiation of agrotechnical requirements for precision seeding of cereal crops and technical means for its implementation]. *Visnyk silskohospodarskoi nauky*, 7, 40–44 (in Ukrainian).
2. Ivanitsa, S. K., Belyayev, E. A., Gusev, V. M. & Kuznetsov, B. F. A. S. 1256706 (USSR).

Moskva: Gosudarstvennyy komitet SSSR po delam izobreteniy i otkrytiy (in Russian).

3. Pogorelyj, L. V. (Ed.) (1987). *Mashiny dlya tochnogo poseva propashnykh kultur: konstruirovaniye i raschet* [Machines for precise sowing of common crops: design and calculation]. Kiyev: Tekhnika (in Russian).

4. Pogorelyj, L. V. (Ed.) (1992). *Pnevmaticheskie sejalki: konstruirovaniye i raschet* [Pneumatic seeders: design and calculation]. Kiyev: Tekhnika (in Russian).

5. Sviren, M. O., Leshchenko, S. M., Bojko, A. I. & Bannyj, O. O. (2011). Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen roboty posivnykh mashyn dlja systemy tochnogo zemlerobstva [Results of experimental research of the work of sowing machines for the system of precision farming]. *Konstrujuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija silskohospodarskykh mashyn*, 41, 1, 208–216 (in Ukrainian).

6. Shvedyk, M. S. (2017). Vyznachennja syl sprychynenyh tyskom zernovogo sharu na nasynnu rozmishhenu v komirchyni vysivnogo elementa [Determination of the forces caused by the pressure of the grain layer on the seed placed in the chamber of the seed element]. *Silskohospodarski mashyny*, 36, 162–168 (in Ukrainian).

7. Pogorelyj, L. V. & Shvedik, N. S. (1993). Obosnovanie parametrov pnevmaticheskogo vysevajushhego aparata dlja tochnogo poseva zernovykh kultur [Justification of the parameters of the pneumatic seeding machine for precise sowing of grain crops]. *Tekhnika v selskom hozjajstve*, 5–6, 16–18 (in Russian).

DETERMINATION OF POWER APPROXIMATION APPROXIMATE TO THE COMBINED HIGH-PERFORMANCE ELEMENT WITH RELATED DIAGNOSIS

M. Shvedik*, Yu. Gunko*, V. Teslyuk**

e-mail: Shvedyk ms.@gmail.com,

gunko.@gmail.com, vtesluk@ukr.net

*Lutsk National Technical University

Lvivska Str., 75, Lutsk,

Volynska oblast, 43018, Ukraine

**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroyiv Oborony Str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

The article is timed to the investigation of a disk type pneumatic apparatus with centralized seed sowing. The design feature of this apparatus is that the seed cells are placed concentrically on the bottom of the disc, which has a tilted axis of rotation. As a result, the value of the force of suction of the seed to the cell at the extreme points lying on

the horizontal diameter of the disk during its movement from the upper position to the bottom and vice versa, has different meanings.

The article presents a fragment of a disk with a cell and placed in it by a seed at the moment of its movement from the upper position to the lower one. In this case, the center of the cell and the seed coincide and lie on a straight line which extends along the bottom surface of the disk. Through the joint center of the seed and the cell, the XYZ coordinate system was performed and the direction of the forces was shown.

The analysis of the forces acting on the seed indicates that during the rotation of the seed element the load on the rear pushing wall of the cell increases dramatically, and the seed is pressed against the wall of the cell, while the front end of the seed may be unloaded. As a result, there is not a stable position and it can escape from the closet. To prevent this, the seed is kept in the cells due to the suction force.

In order to determine the value of the force of suction of the seed to the cell, moving from the upper position to the bottom, in the article the scheme of forces acting on the seed at that moment is considered and the condition of equilibrium of these forces is drawn up. On the basis of this condition, an analytical dependence of the seed suction force on a seed cell with a tilted axis of rotation is obtained, as from the structural and technological parameters (γ , α , R , ω , h) of the seed element, and the physical and mechanical properties (m , r , l , f , ϵ , ρ) of the seed itself. The obtained dependence makes it possible to determine the values of the force of suction of seeds to the cells intended for servicing the left-hand group of seeders of the seeders

Keywords: sowing element, tilted axle, cell, seed, grain layer, pressure, lateral pressure, force, frontal resistance, friction, suction.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПРИСАСЫВАНИЯ СЕМЕНИ К ЯЧЕЙКЕ ВЫСЕВАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА С НАКЛОНЕННОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ, КОТОРАЯ ДВИЖЕТСЯ ВНИЗ

Н. С. Шведик*, Ю. Л. Гунько*, В. В. Теслюк**

e-mail: Shvedyk ms. @gmail.com,

gunko. @gmail.com, vtesluk@ukr.net

*Луцкий национальный технический университет, г. Луцк

ул. Львовская, 75/3, г. Луцк, 43018, Украина

**Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ул. Героев Оборона, 12 Б,

г. Киев, 03041, Украина

Статья посвящена исследованию пневматического аппарата дискового типа с централизованным высевом семян. Конструктивной особенностью данного аппарата является то, что ячейки для высева семян размещены концентрически на нижней основе диска, который имеет наклоненную ось вращения. В результате значение силы присасывания семян к ячейке в крайних точках, лежащих на горизонтальном диаметре диска во время его движения из верхнего положения в нижнее и наоборот, имеет разное значение.

В статье приведен фрагмент диска с ячейкой и размещенным в ней семенем в момент ее движения из верхнего положения в нижнее. При этом, центр ячейки и семени совпадают и лежат на прямой, проходящей вдоль нижней поверхности диска. Через общий центр семени и ячейки проведено систему координат XYZ и показано направление действия сил.

Анализ сил, действующих на семя, показывает, что при вращении высевающего элемента резко возрастает нагрузка на заднюю толкающую стенку ячейки и семя прижимается к стенке ячейки, в то время как передний конец семени может находиться без нагрузки. В результате возникает неустойчивое положение и оно может вытолкнуто из ячейки. Чтобы этого не случилось, семена удерживаются в ячейках за счет присасывающей силы.

Для того чтобы определить значение силы присасывания семени к ячейке, движущегося из верхнего положения в нижнее, в статье рассмотрена схема сил, действующих на семя именно в этот момент и составлено условие равновесия этих сил. На основании этого условия получена аналитическая зависимость силы присасывания семян к ячейке высевающего элемента с наклоненной осью вращения, как от конструктивно-технологических параметров (γ , α , R , ω , h) высевающего элемента, так и физико-механических свойств (m , r , l , f , ϵ , ρ) самих семян. Полученная зависимость позволяет определить значение силы присасывания семян к ячейкам, предназначенным для обслуживания левосторонней группы сошников сеялки.

Ключевые слова: высевающий элемент, наклоненная ось, ячейка, семя, зерновой слой, давление, боковое давление, сила, лобовое сопротивление, трение, присасывание.