

УДК 633.63:631.51

**Павельчук Ю.Ф.***к.т.н., доцент**кафедра сільськогосподарських машин і механізованих технологій  
Подільський державний аграрно-технічний університет**Кам'янець-Подільський, Україна**E-mail: yuriy3372@gmail.com***Гевко Б.М.***д.т.н., професор**кафедра автомобілів**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**Тернопіль, Україна**E-mail: yuriy3372@gmail.com***Рудь А.В.***доктор філософії в галузі технічних наук, професор, завідувач кафедри**кафедра сільськогосподарських машин і механізованих технологій**Подільський державний аграрно-технічний університет**Кам'янець-Подільський, Україна**E-mail: anatoliy.rudj@gmail.com*

## ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СОШНИКА БЕЗРЯДКОВОЇ СІВБИ

### *Анотація*

*Проаналізована проблема зменшення енергетичних витрат машинно-тракторного агрегату для сівби зернових культур та показані переваги у результаті її вирішення.*

*Зроблено огляд літературних джерел із взаємодії клинового різального органу з різними видами ґрунтів під час їх поверхневого обробітку.*

*Виконано графічний аналіз силової взаємодії стрілкового сошника зернової сівалки з ґрунтом та аналітично описані всі складові силової взаємодії, на основі чого сформована математична модель сумарної сили опору рухові сошника з подвоєним останнім доданком, який враховує наявність двох лез, симетрично розташованих на сошнику.*

*Досліджено вплив кута розкриття  $\gamma$  сошника на величину тягового зусилля  $F_s$ . Очевидно, що необхідно розробити таку конструкцію сошника, щоб досягти мінімального тягового зусилля.*

*Встановлено оптимальне значення кута розкриття  $\gamma$  сошника в межах 40...60 градусів, що сприяє його самоочищенню і забезпечує достатньо місця всередині лапи сошника для утворення каналів, по яких проходить технологічний матеріал.*

*Застосування лапи напівкруглої форми з кутом, меншим 50 градусів дає можливість за рахунок відносно великого поздовжнього розміру розмістити насінєпроводи всередині лапи, зменшити зусилля її руху в ґрунті та сприяти самоочищенню лапи від налипаючого ґрунту.*

**Ключові слова:** *оптимізація, ґрунт, сівба, сошник стрілковий, кут розкриття, сила опору, сила тертя, тягове зусилля.*

**Вступ.** Зменшення енергетичних витрат машинно-тракторного агрегату в процесі сівби зернових культур є суттєвою проблемою. Їх зменшення дає можливість заощадити паливо-мастильні матеріали, збільшити площу посіву за один прохід агрегату за рахунок збільшення кількості сошників, заощадити час проведення польових робіт [1, 2, 3].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У відомих літературних джерелах [3] достатньо ґрунтовно описано взаємодію різальної поверхні у формі клина з різними

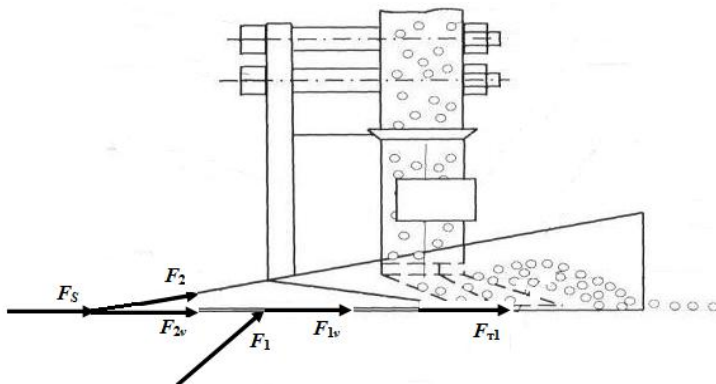
видами ґрунту. Наведено наближені розрахункові формули, які придатні для використання з сухими чи вологими, твердими чи розпушеними ґрунтовими середовищами. Досліджувалась залежність сил різання ґрунту від кута підйому робочої поверхні для різних типів ґрунтів. Також певною мірою розглядалися питання впливу кута розкриття культиваторної лапи на видалення ґрунту та корневих залишків з робочої поверхні стрілкової лапи під час культивування ґрунту.

Проте, недостатньо уваги приділялось дослідженню впливу кута розкриття стрілкової лапи сошника сівалки на величину тягового зусилля, а також можливої зміни її форми з метою зменшення енергетичних показників без погіршення якісних параметрів для основного її призначення – загортання насіння зернових культур.

**Мета.** Метою досліджень була оптимізація конструктивних параметрів сошника безрядкової сівби зернових культур.

**Методологія дослідження.** Теоретичні дослідження виконувалися з використанням положень вищої математики, теоретичної механіки, методів математичного моделювання робочих процесів, алгоритмізації обчислень з використанням сучасних пакетів прикладних програм.

**Результати.** З метою визначення енергетичних характеристик процесу загортання насіння зернових культур стрілковою лапою сошника розглянемо зусилля, що діють на сошник зі сторони ґрунту (рис. 1).



**Рис. 1.** Сили, що діють на сошник зі сторони ґрунту

$F_S$  – сумарна сила опору ґрунту рухові стрілкового сошника;  $F_2$  – сила тертя ґрунту по поверхні клина;  $F_{2v}$  – проекція сили  $F_2$  на напрямку руху сошника;  $F_1$  – сила опору зрізання ґрунту в напрямку, перпендикулярному лезу сошника;  $F_{1v}$  – проекція сили  $F_1$  на напрямку руху сошника;  $F_{T1}$  – сила тертя ґрунту до підшви сошника.

Основні складові зусилля діють на підшву сошника і на клиновий ніж. На підшву сошника діє сила вертикального тиску від механізму підвіски. З метою проведення дослідження робимо припущення, що силу тиску можна вважати сталою і залежною від площі підшви. Тобто існує певний сталий питомий тиск на поверхню підшви сошника, який залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту та глибини загортання насіння. При цьому виникає значна сила тертя ґрунту до підшви, направлена проти руху лапи сошника. Її величина визначається коефіцієнтом тертя ґрунту по сталі і наближено вона може бути оцінена залежністю

$$F_{T1} = \mu p S_{\text{п}}, \quad (1)$$

де  $p$  – питомий тиск лапи на ґрунт;

$\mu$  - коефіцієнт тертя;

$S_n = A \cdot B = \frac{B^2}{\tan(\gamma)}$  - площа поверхні підшви лапи сошника;

$2\gamma$  - кут при вершині культиваторної лапи.

Друга складова сили опору - це сила, що протидіє рихленню ґрунту сошником і визначається конструкцією переднього кута клина лапи сошника. Як правило, сівба йде по попередньо обробленій поверхні ґрунту, тому вказана сила не набуватиме максимально можливих значень, як це слідує з досліджень з врахуванням фізико-механічних характеристик твердих та цілинних земель.

Величина сили опору зрізанню ґрунту  $F_1$  у напрямку, перпендикулярному до різального леза сошника, може бути записана у вигляді

$$F_1 = \beta L = \beta \frac{B}{\sin(\gamma)}, \quad (2)$$

де  $L$  - довжина клинового леза лапи сошника;

$\beta$  - питома сила опору, що діє на лапу сошника перпендикулярно до леза у напрямку, паралельному поверхні ґрунту, віднесена до одиниці довжини леза. Припускаємо, що її величина є сталою і визначається фізико-механічними характеристиками ґрунту та конструкцією лапи сошника.

Проекція сили  $F_1$  на напрямок руху сошника запишеться у вигляді

$$F_{1v} = F_1 \sin(\gamma). \quad (3)$$

Інша складова зусилля різання визначається силою тертя ґрунту по клиновій поверхні, яка залежить від кута підйому клина  $\alpha_1$  і коефіцієнта тертя  $\mu$  з врахуванням зміни ефективного кута підйому клина  $\alpha_2$ , що визначається залежністю

$$\tan(\alpha_2) = \tan(\alpha_1) \sin(\gamma). \quad (4)$$

Силу тертя ґрунту по поверхні клина можна виразити залежністю

$$F_2 = \sigma L \mu \tan(\alpha_2) = \sigma L \mu \tan(\alpha_1) \sin(\gamma), \quad (5)$$

де  $\sigma$  - питома сила тиску на поверхню клина.

Проекція сили  $F_2$  на напрямок руху сошника, аналогічно (3), становитиме

$$F_{2v} = F_2 \sin(\gamma). \quad (6)$$

Відповідно, сумарна сила опору рухові сошника  $F_s$  дорівнює сумі виразів (1), (3) і (6)

$$F_s = \mu p \frac{B^2}{\tan(\gamma)} + 2B[\beta + \sigma \mu \tan(\alpha_1) \sin(\gamma)] \quad (7)$$

Подвоєний останній доданок записаний з врахуванням наявності двох лез, симетрично розташованих на сошнику.

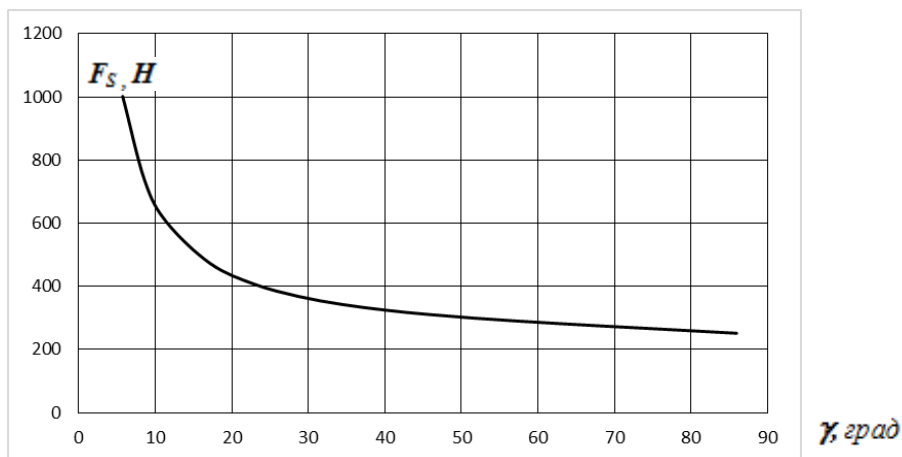
Дослідимо вплив кута розкриття сошника  $\gamma$  на величину тягового зусилля  $F_s$ . Очевидно, що необхідно створити таку конструкцію сошника, щоб тягове зусилля було мінімальне. Для дослідження залежності (7) проведемо числове моделювання і побудуємо графік зміни сили опору від кута розкриття сошника. Решту параметрів, що входять до виразу (7), зафіксуємо у межах реально існуючих величин, які представлені у таблиці 1.

**Таблиця 1. Значення величин для розрахунку сили опору рухові сошника**

Параметр	Значення
Ширина захвату $B$ , м	0,1
Кут підйому клина $\alpha_1$ , град	30
Коефіцієнт тертя $\mu$	0,8
Питома сила опору $\beta$ , Н/м	1000
Питома сила тиску на поверхню клина $\sigma$ , Н/м	500
Питомий тиск лапи на ґрунт $p$ , Н/м <sup>2</sup>	10000

З метою якісного аналізу та спрощення числового експерименту значення параметрів заокруглені до типових значень.

Результат числового моделювання представлено на рисунку 2.



**Рис. 2. Залежність розрахункової сили опору  $F_s$  рухові сошника від кута розкриття  $\gamma$  сошника**

Аналіз отриманого графіка свідчить, що з метою зменшення тягового зусилля при всіх інших сталих величинах, існує необхідність використання кута розкриття сошника  $\gamma$  з максимально можливим значенням, аж до 90 градусів.

Проте, таке значення кута має певні недоліки.

По-перше, це негативно впливає на процес очищення сошника під час руху від налипання ґрунту та частинок рослинності, які в ньому розташовані.

По-друге, збільшення кута  $\gamma$  зменшує поздовжній розмір сошника, а це, в свою чергу, зменшує можливість сошника рівномірно підводити та розсіювати технологічний матеріал.

Величина тягового зусилля, як видно з рисунка 1, змінюється несуттєво у діапазоні кутів – 40...90 градусів (325...250 Н).

Тому, з аналізу графіка (рис. 2) можна зробити висновок, що оптимальним значенням кута розкриття  $\gamma$  сошника є величина у межах 40...60 градусів, що сприяє його самоочищенню і забезпечує достатньо місця всередині лапи сошника для утворення каналів, по яких проходить технологічний матеріал.

Значення кута розкриття  $\gamma$ , яке менше 40 градусів, є недоцільним внаслідок значного зростання довжини лапи сошника, збільшення площі, а відповідно, і сили тертя, збільшення маси та матеріалоємності лапи. Куту, більші ніж 60 градусів, не сприяють самоочищенню механізму та зменшують можливість оптимально розмістити зернопроводи всередині конструкції лапи. Це може викликати необхідність в додатковому видовженні лапи сошника, що збільшуватиме площу її контакту з ґрунтом.

З метою уникнення вище вказаних недоліків, що характерні для кутів, більших 60 градусів, пропонується розглянути варіант конструкції лапи, який у плані має вигляд сектора круга, а різальне лезо має кругову кромку. Вказана конструкція лапи сошника, на відміну від трикутної, дає можливість збільшити поздовжній розмір і не заважати її самоочищенню за рахунок відкидання ґрунту по круговій кромці.

Розрахуємо зусилля, що діятимуть на лапу, прийнявши попередню схему навантажень, але розподіливши його на елементарні частинки кругового леза.

Першим доданком у формулі (7) є сила тертя, яка пропорційна площі підшви лапи сошника. Для обчислення площі розглянемо сектор. Рівняння кола з радіусом  $R$  має вигляд

$$(x + b)^2 + (y + a)^2 = R^2. \quad (8)$$

Для визначення площі необхідно проінтегрувати рівняння кола в межах, що задаються сектором. Точка перетину колом осі  $OX$  визначається, допустивши що  $y = 0$ . Звідси отримуємо

$$x_0 = \sqrt{R^2 - a^2} - b. \quad (9)$$

Відповідно, площа сектора визначається виразом

$$S_r = \int_0^{x_0} [\sqrt{R^2 - (x + b)^2} - a] dx. \quad (10)$$

Після інтегрування та подвоєння отримаємо вираз для площі підшви лапи сошника

$$S_{pr} = 2ab - a\sqrt{R^2 - a^2} - b\sqrt{R^2 - b^2} + R^2 \left[ \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 - a^2}}{R}\right) - \arcsin\left(\frac{b}{R}\right) \right]. \quad (11)$$

Для визначення сили опору зрізанню ґрунту перетворимо другий доданок виразу (7), замінивши  $B = L \sin(\gamma)$  та взявши елементарну ділянку  $dL = R d\gamma$

$$dF = 2R \sin(\gamma) [\beta + \sigma \mu \tan(\alpha_1) \sin(\gamma)] d\gamma. \quad (12)$$

Вираз (12) описує елементарну силу, що діє на кругове лезо в точці, розміщеній під кутом  $\gamma$  до напрямку руху.

Інтегруючи вираз (12) по куту  $\gamma$  в межах від  $\gamma_1$  до  $\gamma_2$ , отримаємо сумарну силу, яка діє на лезо та підшву сошника  $F_{2vr}$

$$F_{2vr} = \mu p \left[ 2ab - a\sqrt{R^2 - a^2} - b\sqrt{R^2 - b^2} + R^2(\gamma_2 - \gamma_1) \right] + 2\beta R [\cos(\gamma_1) - \cos(\gamma_2)] + \mu \sigma R \operatorname{tg}(\alpha_1) [\gamma_2 - \gamma_1 - \sin(\gamma_2) \cos(\gamma_2) + \sin(\gamma_1) \cos(\gamma_1)] \quad (13)$$

У виразі (13) кути меж інтегрування визначаються за формулами

$$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 - a^2}}{R}\right); \quad (14)$$

$$\gamma_1 = \arcsin\left(\frac{b}{R}\right).$$

При конструюванні півкруглої лапи сошника задаємося її шириною  $2B$ , координатою центра кола  $b$  та кутом  $\gamma_1$ , що визначається дотичною до кола в точці максимального розміру. Решта параметрів сошника розраховуємо за формулами

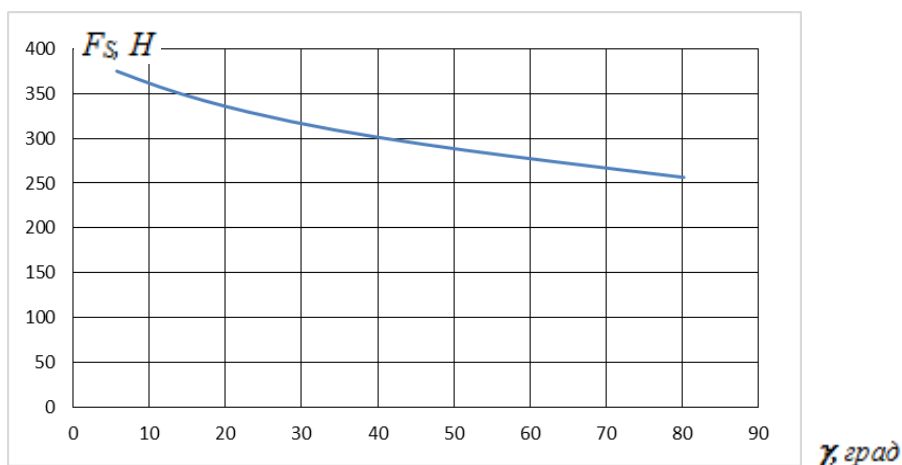
$$R = (B + b) / \cos(\gamma_1); \quad (15)$$

$$a = R \sin(\gamma_1);$$

$$A = R \sin(\gamma_2) - a.$$

З метою порівняння результатів розрахунку для трикутної та напівкруглої лап сошника сівалки використаємо такі ж значення розрахункових величин, які записані у таблиці 1. Додатково задаємося величиною  $b = 0,05$  м.

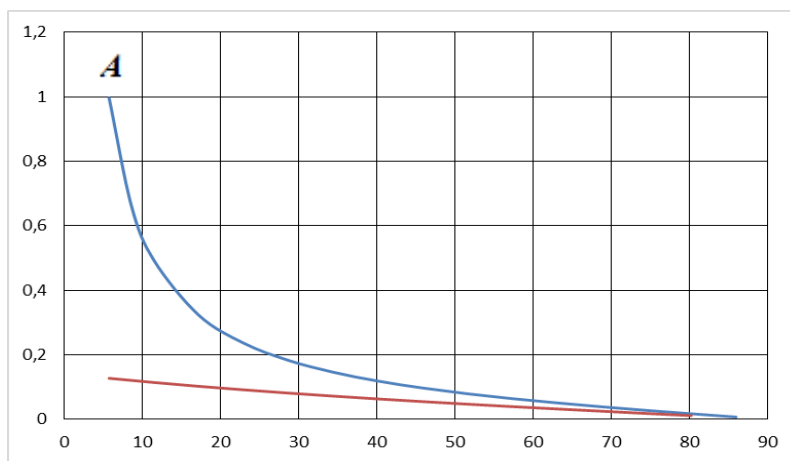
Результати розрахунку зображено на рисунку 3.



**Рис. 3.** Залежність розрахункової сили опору  $F_s$  рухові напівкруглого сошника від кута  $\gamma_1$ .

Аналізуючи отриманий графік на рисунку 3 видно, що розрахункові зусилля опору рухові сошника в наведеному випадку суттєво менші, особливо в зоні кутів, менших 50 градусів. Використання таких напівкруглих сошників може суттєво зменшити необхідну споживану потужність при загортанні технологічного матеріалу.

На рисунку 5 наведено зміну поздовжнього розміру лапи сошника для трикутної та напівкруглої форми.



**Рис. 4.** Зміна поздовжнього розміру сошника від кута  $\gamma$  розкриву лапи сошника для випадку трикутної та напівкруглої форми

Застосування лапи напівкруглої форми з кутом, меншим 50 градусів дає можливість використання за рахунок відносно великого поздовжнього розміру, вмонтувати зернопроводи всередині лапи, зменшити зусилля її руху в ґрунті та сприяти самоочищенню лапи від налипання ґрунту.

**Висновки і перспективи.**

1. Зменшення енергетичних витрат машинно-тракторного агрегату в процесі сівби зернових культур дає можливість заощадити паливо-мастильні матеріали, збільшити площу посіву за один прохід агрегату за рахунок збільшення кількості сошників, зекономити час проведення польових робіт.

2. Проаналізована силова взаємодія стрілкового сошника з ґрунтом, що дало можливість математично описати кожен складову сумарного опору стрілкового сошника зернової сівалки.

3. З метою зменшення тягового зусилля  $F_S$  при всіх інших сталих величинах, існує необхідність використання кута розкриття  $\gamma$  сошника з максимально можливим значенням, аж до 90 градусів.

4. Розрахункові зусилля опору рухові напівкруглого сошника в наведеному варіанті суттєво менші, особливо в зоні кутів, менших 50 градусів. Використання таких напівкруглих сошників може суттєво зменшити необхідну потужність при сівбі зернових культур.

**Список використаних джерел**

1.Самокиш М.І., Рудь А.В., Винничук С.М., Мошенко І.О. Перспективні можливості підґрунтового-розкидного способу сівби зернових культур. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація та електрифікація сільськогосподарства»*. Випуск 87. Глевах, Національний науковий центр ІМЕСГ, 2003. С. 60-67.

2.Рудь А.В., Павельчук Ю.Ф., Жалоба В.М., Мошенко І.О., Михайлова Л.М. Технологічні схеми розподільних пристроїв сошників для підґрунтового-розкидних сівалок. *Збірник наукових праць / За редакцією доктора с.-г. наук, професора, академіка Міжнародної Академії наук екології і безпеки життєдіяльності, ректора університету М.І. Бахмата*. Кам'янець-Подільський, 2004. С. 344-347.

3.Бендера І.М., Рудь А.В., Козій Я.В., та ін. Проектування сільськогосподарських машин: навч. посібник ; за ред. І.М. Бендери, Рудя А.В. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисін Я.В., 2011. 640 с.

4.Гевко Б.М., Павельчук Ю.Ф. Дослідження процесу розподілу насіння зернових культур при підґрунтового-розкидному способі сівби: теоретичний аналіз. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. 2016. випуск 24. Частина 2. Технічні науки. С. 25–32.

5.Павельчук Ю.Ф., Заболотный Д.Н. Резонансные колебания стойки рабочего органа. *Современные тенденции развития науки и технологий: Периодический научный сборник по материалам XXI Международной научно-практической конференции*. Белгород, Российская федерация. 2016. № 12-4. С. 68-70.

6.Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Москва : Колос, 1994. 751 с.

7.Павельчук Ю.Ф., Гевко Б.М. Математическая модель динамики системы «семяпровод-зерно». *Теория и практика современной науки*. 2016. Выпуск №2 (8) (февраль, 2016). URL: <http://www.modern-j.ru> (дата звернення 03.09.2017).

8.Пат. на корисну модель № 101973 У. Україна, МПК А01С 7/20(2006.01). Сошник / Б.М. Гевко, Ю.Ф.Павельчук, В.М.Жалоба. № у 2015 03400; Заяв. 10.04.2015 р. Опубліковано 12.10.2015. Бюл. № 19.

*Дата надходження статті до редакції : 01.09.2017  
Рецензування 10.11.2017 Прийняття в друк: 14.12.2017*

**Pavelchuk Y.F.<sup>1</sup>**

*PhD (Technics), Associate Professor*

*Agricultural Machinery and Mechanized Technologies Department*

*E-mail: yuriy3372@gmail.com*

**Hevko B.M.<sup>2</sup>**DrSc (Technics), Professor  
Automobile, Faculty of Mechanics and Technology Department  
E-mail: yuriy3372@gmail.com**Rudy A.V.<sup>1</sup>**PhD (Technics), Professor, Head of the department  
Agricultural Machinery and Mechanized Technologies Department  
E-mail: anatoliy.rudj@gmail.com<sup>1</sup>State Agrarian and Engineering University in Podilya  
Kamianets-Podilskyi, Ukraine<sup>2</sup>Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj  
Ternopil, Ukraine

## OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF SOLID PLANTING COULTER

### Abstract

The issue of reducing energy costs of machine and tractor aggregate for grain crops has been established and the advantages of its solution are shown.

The study presents an overview of literary sources on the interaction between a wedge cutting unit and different types of soils during their surface cultivation.

A graphical analysis of the power interaction between pointed coulter of the grain opener and soil is made and all the components of the power interaction are described. The mathematical model of the total resistance force to the propeller motor with the doubled last plug that considers the presence of two symmetrically located blades at the coulter is given.

The influence of the entering angle of the coulter on the size of the traction effort has been investigated. The author suggests creating a coulter construction with minimal traction effort. The optimum value of the entering angle of the coulter is set in the range of 40 - 60 degrees that serves as self-cleaning and gives enough space inside the paw of the coulter to form the channels for passing the seed material.

The author argues that application of a semi-circular paw with an angle of less than 50 degrees makes it possible, at the expense of a relatively longitudinal size, to easily place the seed tube inside the paw, to reduce its movement forces in the soil and to promote the self-cleaning of the paw from sticking soil.

**Keywords:** soil, arrowhead, open angle, resistance force, friction force, traction effort.

### References

1. Samokysh, M.I., Rudy, A.V., Vynnychuk, S.M., & Moshenko, I.O. (2003). Perspektivni mozhyvosti pidhruntovo-rozkydnoho sposobu sivyby zernovykh kultur [Perspectives of the substrate and spreading method of grain crop sowing]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*, 87, 60-67. [in Ukr.]
2. Rudy, A.V., Pavelchuk, Y.F., Zhaloba, V.M., Moshenko, I.O., & Mykhailova, L.M. (2004). Tekhnolohichni skhemy rozpodilnykh prystroiv soshnykiv dlia pidhruntovo-rozkydnykh sivalok [Technological schemes of distributing devices of coils for subsoil and spreading seeders]. In *Zbirnyk naukovykh prats, Bakhmat, M.I. (Ed.)*. 344-347. [in Ukr.]
3. Bendera, I.M., Rudy, A.V. (Eds.), & Kozii, Y.V. et al. (2011). Proektuvannia silskohospodarskykh mashyn: navch. posib. [Designing agricultural machines: training. manual]. Kamianets-Podilskyi: FOP Sysin Ya.V. [in Ukr.]
4. Hevko, B.M., & Pavelchuk, Y.F. (2016). Doslidzhennia protsesu rozpodilu nasinnia zernovykh kultur pry pidhruntovo-rozkydnomu sposobi sivyby: teoretychnyi analiz [Investigation of the process of distribution of seeds of grain crops under the soil-spreading method of sowing: theoretical analysis]. *Zbirnyk naukovykh prats PDATU*, 24 (p. 2), 25-32. [in Ukr.]
5. Pavelchuk, Yu.F., & Zabolotniy D.N. (2016). Rezonansnye kolebaniya stoiky rabocheho orhana [Resonant oscillations of the stand of the working organ]. *Sovremennyye tendentsyy razvytyia nauky y tekhnolohiy: Peryodycheskyi nauchni sbornyk po materiyalam KhKhI Mezhdunarodnoi nauchno-*



*prakticheskoi konferentsyy, 12-4, 68-70. [in Russ.]*

6. Klenyn, N.Y., & Sakun, V.A. (1994). *Selskokhoziaistvennie y melyoratyvnie mashyni* [Agricultural and meliorative machines]. Moscow : Kolos.

7. Pavelchuk, Yu.F., & Hevko, B.M. (February 2016). Matematycheskaia model dynamyky systemi «semiaprovod-zerno» [Mathematical model of dynamics of the system "seed-tube-grain"] *Teoryia y praktyka sovremennoi nauky, №2 (8)*. Retrived from <http://www.modern-j.ru>. [in Russ.].

8. Hevko, B.M., Pavelchuk, Y.F., & Zhaloba, V.M. (2015). Ukraine Patent № 101973 U. Ukraine, MPK A01S 7/20(2006.01). Soshnyk [Coulter].

*Received: September 01, 2017*

*Revision: November 11, 2017 Accepted: December 14, 2017*