

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРУЖИННОГО ЗАПОБІЖНОГО ПРИСТРОЮ СОШНИКІВ ДЛЯ ПРЯМОЇ СІВБИ

Яблонський Петро Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-1971-5140

ypn@ukr.net

Сівба – найвідповідальніша операція механізованої технології вирощування сільськогосподарських культур, адже відповідно до агротехнічних вимог насіння має розмістись у ґрунті певної структури, вологості і твердості, на заданій глибині висіву і з рівномірним інтервалом вздовж рядка. Дотримання сталої глибини передпосівного обробітку сприяє ущільненню насіннєвого ложа, забезпечує якісніше загортання насінин та згодом поліпшує доступ світла до паростків. Це має позитивний вплив на рівень польової схожості насіння та одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує стартовий розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури. Отже, технічна досконалість робочих органів машин для передпосівної підготовки ґрунту та висіву насіння відіграє важливу роль.

У статті приведена класифікація сучасних сошників для прямої сівби вітчизняного і закордонного виробництва за ознакою подібності форми утворюваної борозни. Описані особливості конструкції дискових сошників сівалки Salford 520 та John Deere 730, анкерних – Amazone Primera DMC і AD3 Special, викладені результати розробки теоретичної моделі механізму хитної пружини на прикладі запобіжного пристрою анкерних сошників сівалок Horsch Sprinter ST, Elvorti C3C-2,1.

У результаті аналізу виявлено що сошники, які утворюють V-подібну форму борозни, найменше руйнують цілісність складу ґрунту, добре копіюють його поверхню, точніше дотримуються глибини обробітку на підвищених швидкостях, але здатні захоплювати і втягувати рослинні рештки до насіннєвого ложа, внаслідок чого знижується польова схожість насіння, та потребують збільшення витрат на технічне обслуговування. Сошниками, які вирізають U-подібну форму борозни, створюється щільне насіннєве ложе, що сприяє швидшому проростанню насіння, однак вони недостатньо контролюють глибину висіву. Лапові сошники забезпечують більш рівномірне ніж долотоподібні розподілення площ живлення насінин, що призводить до збільшення врожайності культур, проте вони здатні виносити брили та великі грудки на поверхню, особливо при роботі на ґрунтах підвищеної твердості.

Ключові слова: насіння, пряма сівба, насіннєве ложе, сівалка, дисковий, анкерний, лаповий сошник, запобіжний пристрій, хитна пружина, рівняння Лагранжа другого роду.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.21>

Постановка проблеми. Для підвищення ефективності виробництва сільськогосподарських культур вітчизняні аграрії все частіше стали застосовувати технологію прямої, тобто закритої системи сівби, за якої шляхом повторення дій природи зберігається цілісність структури ґрунту, відновлюється його родючість, накопичується продуктивна волога, зменшуються ризики землеробства.

Поряд з цим, для багатьох країн на різних континентах актуальною є боротьба з ерозією ґрунту. В Україні, наприклад, ще за радянської доби поля закривались лісосмугами для запобігання здуванням ґрунту вітром. У Південній Америці в минулому столітті зародилась технологія нульового обробітку No-till, яка прийшла на зміну відвальній оранці та мінімальному обробітку ґрунту і рятує ґрунт від ерозійних процесів, завдячуючи залишеній на полі стерні і мульчі з подрібнених рослинних залишків (Aikins et al., 2019; Lankoski et al., 2006; Neupane & Guo, 2019). Вагомою перевагою на користь No-till є очевидна економічна вигода, адже при відвальній оранці перш ніж приступити безпосередньо до сівби треба провести культивування, передпосівний обробіток ґрунту, а за системою No-till можна сіяти по стерні одразу, виключивши всі підготовчі технологічні операції.

За прямої сівби сошник є найважливішим та найбільш завантаженим елементом сівалки, адже необхідно розрізати рослинні залишки за умови мінімального зсуву мульчувального шару та укласти і заробити насіння на заданій глибині у ґрунті. Наразі для прямої сівби вітчизняними аграріями використовуються дискові, анкерні та лапові сошники відомих і рекламаних виробників сівалок.

Мета статті полягає в аналізі переваг і недоліків конструкцій сошників для прямої сівби задля вибору прототипів для розробки та удосконалення сівалки відповідно до умов роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує чимало різних видів дискових сошників, як і різноманітних показників якості виконання ними технологічного процесу. Зокрема, до їх головних переваг слід віднести мінімальні пошкодження цілісності ґрунту, для чого деякі конструктори в зоні виходу сошника з ґрунту розташовують колесо-регулятор глибини, що перешкоджає спучуванню ґрунту під дією диска (Karada et al., 2018). Доведено що чим менший кут нахилу розпушувального диска по відношенню до напрямку руху, тим менші пошкодження поверхневого шару ґрунту (Malaslia et al., 2019).

Стерневими сівалками з дисковими сошниками є Salford 520 (Канада), John Deere 730 (США), СРН-2000F (США), SD7200 (Казахстан), та ін.

Дводисковий сошник сівалки Salford 520 (рис. 1) добре копіює нерівності поверхні поля за допомогою паралелограмного механізму приєднання до рами 2 та дотримується встановленої глибини заробки насіння на підвищених швидкостях. Зміщені відносно один одного висівні диски 1 легко проникають у ґрунт, а розташований між ними пластиковий ущільнювач розриває насіння в борозні і покращує його контакт з ґрунтом. Пружний паралелограмний важільний механізм 2 створює тиск на сошник, який концентрується на прикочувальному гумовому котку 3, завдяки чому заглиблення дисків і відповідно глибина висіву насіння регулюється шляхом зміни положення котка. Шарнірне з'єднання сошника і котка забезпечує точне прикочування навіть на полях зі складним контуром та за умови частих поворотів (Li et al., 2021). Спереду кожного сошника встановлений дисковий ніж (хвилястий диск) 4. Він прорізає в стерні щілину, руйнує ущільнення поверхневого шару ґрунту, подрібнює рослинні залишки, запобігаючи їх попаданню на дно борозни, тобто на насінне ложе. Заглиблення дискового ножа має бути на 2,5 см більшим глибини висіву, внаслідок чого коренева система рослин розвивається вертикально, їй доступна волога та поживні речовини нижчих шарів ґрунту.

Американська сівалка John Deere 730 також забезпечена дводисковим сошником (рис. 1), причому висівні диски 1 для кращого проникнення в ґрунт також зміщені один щодо одного на 6,35 мм. За висівними апаратами рухаються колеса 2, які прикочують поверхню, забезпечуючи посилення контакту насіння з ґрунтом, та дозволяють контролювати глибину його заробки в борозні. Завдяки чергуванню ріжучих кромок правого та лівого дисків 1 врівноважуються бічні зусилля.

Недоліком дискових сошників в залежності від способу їх застосування та попередньої культури, яка вирощувалась у даній сівозміні, може бути проникнення стерні чи інших рослинних залишків у насінне ложе, що погіршує контакт насіння з ґрунтом і, як наслідок, призводить до зниження польової схожості. Крім цього, такі сошники підвищують вартість сівалки і витрати на технічне обслуговування.

Анкерні сошники (особливо долотоподібні) здатні переміщати поживні рештки і ґрунт із зони рядка в міжряддя. При цьому долотоподібний сошник краще ущільнює насінне ложе, що сприяє одночасному і швидкому проростанню насіння (Vолокна, 2019).

До сівалок з анкерними сошниками відносяться Amazone Primera DMC, Amazone AD3 Special (Німеччина), Elvorti СЗС-2,1 (Україна), Seed Master (Франція) та ін.

Анкерний сошник сівалки Primera DMC (Conyers et al., 2019) розроблений для прямої та мульчувальної сівби у посушливих регіонах. Принциповою різницею є те, що насіння закладається під поживні рештки, чим забезпечується хороший контакт з ґрунтом і створюються умови для проростання насіння. Висівний апарат (рис. 2) копіює нерівності поверхні поля за допомогою паралелограмної підвіски 3 і може відхилитись при наїзді на камінь чи іншу перешкоду.

Долотоподібний сошник 1 лишає за собою чисту борозну для висівного матеріалу, а подвійні котки 2 забезпечують рівномірну глибину ходу і покриття ґрунтом висіяного насіння. Сошник сівалки Amazone AD3 Special (рис. 2) застосовується при невеликій кількості соломи, наприклад, після буряків чи ріпаку. Достатній поздовжній крок між сусідніми сошниками сівалки захищає їх від забивання рослинними рештками. Стійка 4 запобігає засміченню випускного отвору сошника при встановленні машини на землю.

Сошники як вітчизняної сівалки компанії Elvorti СЗС-2,1 (м. Кропивницький), так і німецької Sprinter ST (рис. 3) створюють борозенку в ґрунті зі щільним ложе для насіння не порушуючи структуру поверхневого шару ґрунту і мульчі, за рахунок чого добре зберігається волога (Sereda et al., 2019).

До сівалок з лаповими сошниками відносяться також УСК-2 (Казахстан), LD 3000 – AS QUASAR (Італія), СКС-2 (Білорусь) та ін. Лаповий сошник краще контролює глибину, ніж долотоподібний, хоча за певних умов роботи обидва схильні до нагрівання рослинних решток та пошкодження поверхні ґрунту, що призводить до втрати вологи.

Більш значні пошкодження ґрунту та забивання рослинністю в порівнянні з анкерними сошниками викликає

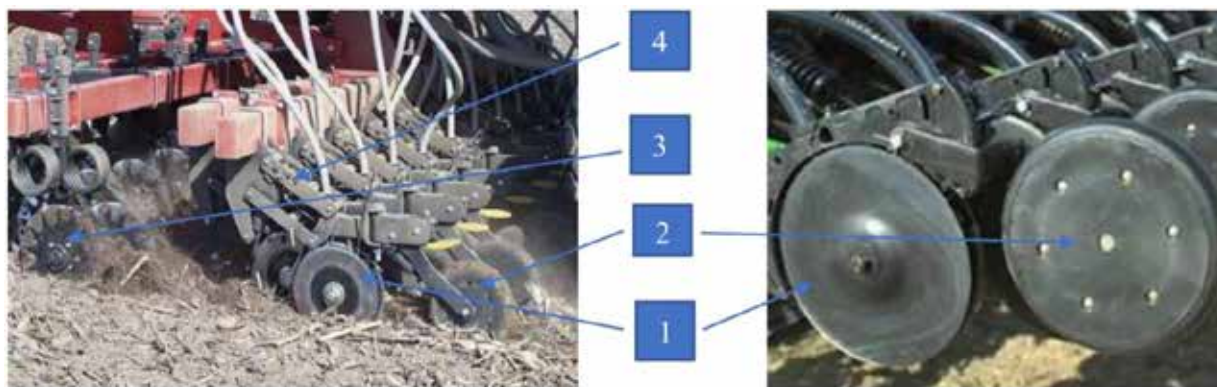


Рис. 1. Сошники сівалок Salford 520 (зліва), John Deere 730 (справа): 1 – дводисковий сошник; 2 – прикочувальне колесо; 3 – дисковий ніж; 4 – паралелограмний важільний механізм

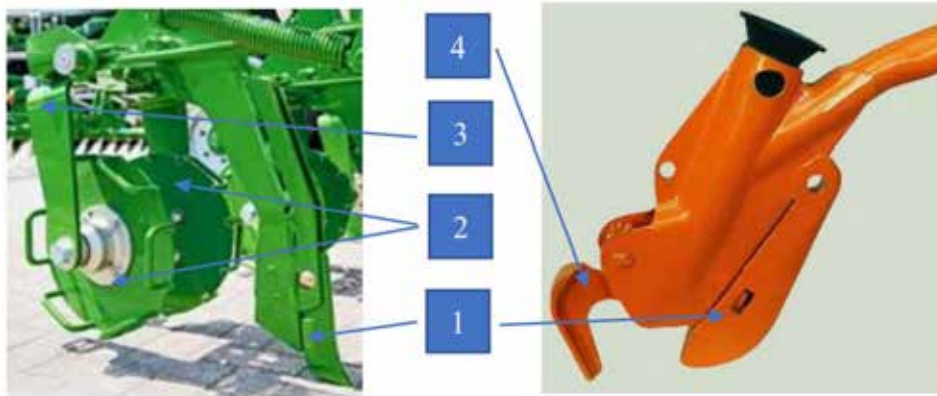


Рис. 2. Сошники Amazone: Primera DMC (зліва), AD3 Special (справа): 1 – долотоподібний сошник; 2 – прикочувальні котки; 3 – паралелограмна підвіска; 4 – стійка-запобіжник

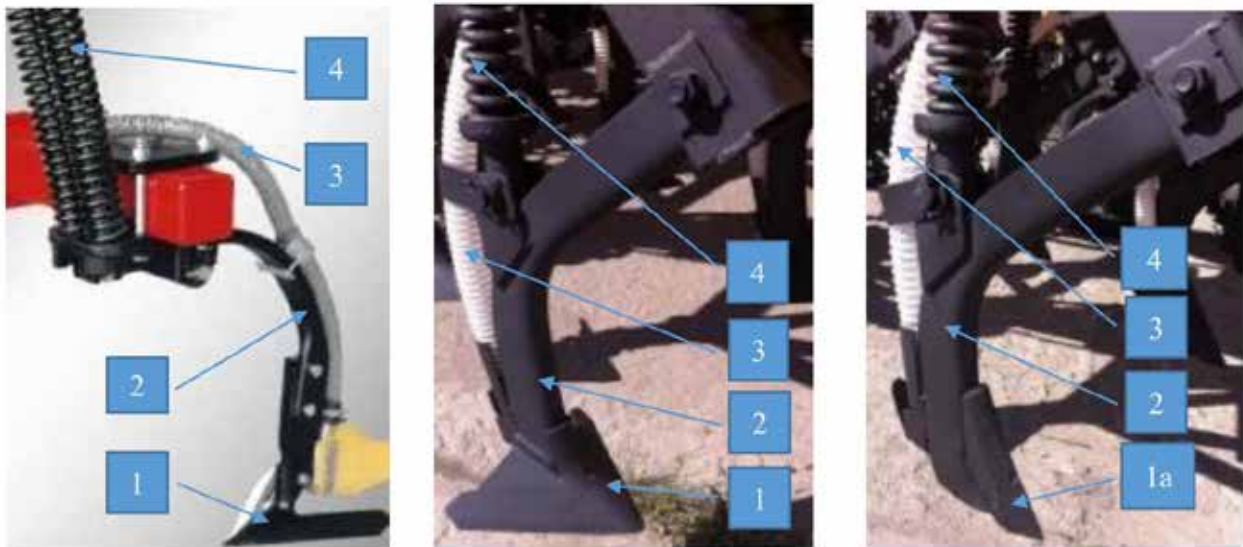


Рис. 3. Анкерні сошники сівалок Horsch Sprinter ST (зліва), Elvorti C3C-2,1 (по середині-лаповий, справа-долотоподібний): 1 – лапа; 1а – долото; 2 – стійка; 3 – насіннепровід; 4 – пружинний пристрій

культиваторна стрільчаста лапа, що характеризується нерівномірністю глибини ходу в ґрунті. Сівалки з культиваторними лапами часто виносять каміння та брили на поверхню ґрунту, чим ускладнюється наступний обробіток посівів (Aduov et al., 2020; Lamichhane et al., 2020).

Результати досліджень. Враховуючи складні польові умови виконання технологічного процесу прямої сівби, за яких існує підвищений ризик наїзду робочих органів на тверді брили ґрунту, каміння і т. п., варто зазначити, що важливою особливістю конструкції приведених на рис. 3 сошників є шарнірне кріплення стійки 2 сошника до рами сівалки за допомогою пружинного запобіжного пристрою. Вертикальні коливання пружини 4, зафіксованої верхнім кінцем, дозволяють сошнику обминати перешкоди, самоочищатися та зменшувати тяговий опір знаряддя. Відомі моделі подібних складних динамічних систем сучасних технологічних процесів, отримані в результаті аналізу коливань математичного маятника різних видів (Kutsenko et al., 2018a; Kutsenko et al., 2018b; Kutsenko et al., 2019; Semkiv, 2015; Semkiv et al., 2017).

Як найближчу спрощену теоретичну модель коливання пружини, яка закріплена одним кінцем на рамі і має умовний точковий вантаж m (сошник, що рухається в ґрунті) на іншому, далі використано розроблену за участю автора теорію механізму хитної пружини (Yablonskyi et al., 2019), де визначено траєкторію переміщення вантажу, тобто сошника, залежно від маси (умовно сили опору ґрунту), початкової довжини h та жорсткості пружини k (рис. 4).

За відомим алгоритмом складання рівнянь Лагранжа другого роду (Pavlovskyi, 2002) в якості першої узагальненої координатної функції $v(t)$ оберемо значення кута, який вісь пружини утворює з вертикальною віссю Oy . Другу узагальнену координатну функцію $u(t)$ пов'яжемо з подовженням пружини в часі; через h позначимо довжину пружини в ненавантаженому стані, тобто до зустрічі з перешкодою. Тоді віртуальні координати рухомого точкового вантажу можна обчислити за формулами:

$$x = (h+u)\sin v; y = -(h+u)\cos v. \quad (1)$$

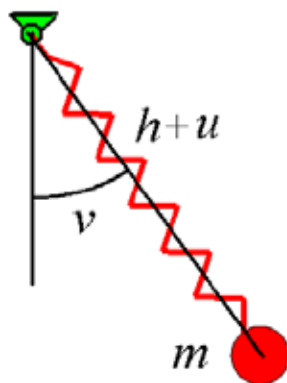


Рис. 4. Схема хитної пружини

Лагранжіан задаємо як різницю кінетичної і потенціальної енергій:

$$L = 0.5m \left(\left(\frac{du}{dt} \right)^2 + (h+u) \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 \right) - 0.5ku^2 - 9.81m(h+u)(1 - \cos v) - 9.81mu. \quad (2)$$

Для складання системи диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду використаємо співвідношення (тут точка над u і v означає похідну по часу):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{du} \right) - \frac{dL}{du} = 0; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{dv} \right) - \frac{dL}{dv} = 0. \quad (3)$$

В результаті систему рівнянь Лагранжа другого роду одержуємо у вигляді:

$$\begin{cases} (u+h) \frac{d^2v}{dt^2} + 2 \frac{dv}{dt} \frac{du}{dt} + 9.81 \sin v = 0; \\ \frac{d^2u}{dt^2} - (u+h) \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 + \frac{ku}{m} - 9.81 \cos v = 0. \end{cases} \quad (4)$$

При зустрічі сошника з перешкодою (випадок навантаженого стану) за умови поєднання хитної пружини з математичним маятником її віссю є математичний маятник довжиною R , а сила опору ґрунту моделюється вантажем збільшеної маси M (рис. 5).

Для визначення траєкторії переміщення у вертикальній площині Oxy вантажу хитної пружини залежно від її параметрів у якості першої узагальненої координатної функції $v(t)$ оберемо значення кута, який вісь хитної пружини утворює з вертикальною віссю Oy . Другу узагальнену координатну функцію $u(t)$ пов'яжемо зі зміною довжини пружини h залежно від часу. Тоді віртуальні

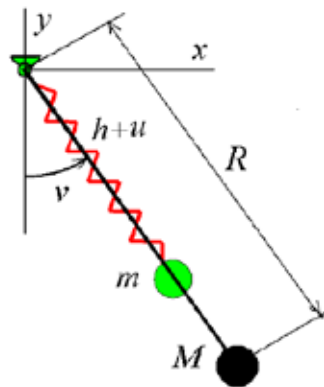


Рис. 5. Схема хитної пружини, поєднаної з маятником

координати рухомого точкового вантажу пружини можна обчислити за приведеними вище формулами (1).

Лагранжіан системи у цьому випадку:

$$L = 0.5MR^2 \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 + 0.5m \left(\left(\frac{du}{dt} \right)^2 + u^2 \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 \right) + 9.81(mu + MR) \cos v - 0.5k(u-h)^2. \quad (5)$$

Використавши співвідношення (3) складаємо систему диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду:

$$\begin{cases} m \frac{d^2u}{dt^2} - mu \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 - 9.81m \cos v + k(u-h) = 0; \\ (MR^2 + mu^2) \frac{d^2v}{dt^2} + 2mu \frac{dv}{dt} \frac{du}{dt} + 9.81 \sin v (MR + mu) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Таким чином, траєкторія переміщення сошника при зустрічі з перешкодою залежить від сили опору ґрунту, довжини, жорсткості і швидкості зміни кута нахилу осі пружини запобіжного пристрою.

Висновки та перспективи досліджень. Технологія прямої сівби, яка все частіше застосовується вітчизняними виробниками сільськогосподарської продукції, потребує досконалих технічних засобів, зокрема сівалок. Аналіз сошників для прямої сівби показав, що нині існує значна різноманітність їх конструкцій. Однак, при виборі сівалки з анкерними чи дисковими сошниками важливо, щоби за певних умов роботи вона не забивалась ґрунтом та рослинними залишками, могла забезпечити рівномірність висіву як по довжині рядка так і за глибиною заробки насіння.

Дослідження пружинних запобіжних пристроїв анкерних сошників доцільно проводити з використанням системи рівнянь Лагранжа другого роду.

Бібліографічні посилання:

1. Aikins K. A., Antille D. L., Jensen T. A., Blackwell J. (2019). Performance ocomparison of residue management units of no-tillage sowing systems: A review. Eng Agric Environ Food. 12(2). 181-190. doi: 10.1016/j.eaef.2018.12.006.
2. Aduov M., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K., Tulegenov, T. (2020). Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan. Acta Agriculturae Scandinavica. 70(6). 525-531. doi: org/10.1080/09064710.2020.1784994.
3. Conyers M., Rijt V., Oates A., Poile G., Kirkegaard J., Kirkby C. (2019). The strategic use of minimum tillage within conservation agriculture in southern New South Wales, Australia. Soil and Tillage Research. 193. 17-26. doi: 10.1016/j.still.2019.05.021.

4. Karada P. R., Gaikwad A. (2018). Design and analysis of a disc furrow opener. *Int J Eng Technol Sci Res.* 5(3). 1777-1780.
5. Kutsenko L. M., Pikasov M. M., Zapolskyi L. L. (2018). Ilustratsii do statti "Heometrychne modeliuвання periodychnoi traiektorii vantazhu khytnoi pruzhyny". [Illustrations to the article «Geometrical modeling of the periodic trajectory of the swing spring load»] (in Ukrainian).
6. Kutsenko L., Semkiv O., Asotskyi V., Zapolskiy L., Shoman O., Ismailova N. (2018). Geometric modeling of the unfolding of a rod structure in the form of a double spherical pendulum in weightlessness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 4 7(94). 13-24. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139595.
7. Kutsenko L., Semkiv O., Kalynovskiy A., Zapolskiy L., Shoman O., Virchenko G. (2019). Development of a method for computer simulation of a swinging spring load movement path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 1 7(97). 60-73. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154191.
8. Lamichhane JR., Constantin J., Schoving C., Maury P., Debaeke P., Aubertot JN., Dürr C. (2020). Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. *Eur J Agron.* 113: 125972. doi: 10.1016/j.eja.2019.125972.
9. Lankoski J., Ollikainen M., Uusitalo P. (2006). No-till technology: benefits to farmers and the environment? Theoretical analysis and application to Finnish agriculture *Eur Rev Agric Econ.* 33(2). 193-221. doi: 10.1093/erae/jbl003.
10. Li H., Liu H., Zhou J., Wei G., Shi S., Zhang X., Zhang R., Zhu H., He T. (2021). Development and First Results of a No-Till Pneumatic Seeder for Maize Precise Sowing in Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agriculture.* 11. 1023. doi.org/10.3390/agriculture11101023.
11. Malaslija M. Z., Celik A. (2019). Disc angle and tilt angle effects on forces acting on a single-disc type no-till seeder opener. *Soil and Tillage Research.* 194. 104304. doi: 10.1016/j.still.2019.104304.
12. Neupane, J., Guo, W. (2019). Agronomic bases and strategies of accurate water resources management: a review. *Agronomy.* 9(87). doi.org/10.3390/agronomy9020087.
13. Pavlovskiy M. A. (2002). *Teoretychna mekhanika.* [Theoretical mechanics]. – K. : Tekhnika 512 s. (in Ukrainian).
14. Semkiv O. M. (2015). Metod vyznachennia osoblyvykh traiektorii kolyvan vantazhu 2d-pruzhynnoho maiiatnyka. [The method of determining the special trajectory of load oscillations of a 2d-spring pendulum] *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu.* 71. 36-44 (in Ukrainian).
15. Semkiv O., Shoman O., Sukharkova E., Zhurilo A., Fedchenko H. (2017). Development of projection technique for determining the non-chaotic oscillation trajectories in the conservative pendulum systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2 4(86). 48-57. doi.org/10.15587/1729-4061.2017.95764.
16. Sereda L. P., Shvets O. I. (2019). Tekhnolohiia STRIP-TILL v roslinnytstvi. Perspektyvny vprovadzhennia v Ukraini. [STRIP-TIL technology in horticulture. Implementation perspective in Ukraine] *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria «Ukrainian Black Sea region agrarian science».* 4. 104-113 (in Ukrainian).
17. Volokha, M. (2019). Doslidzhennia pokaznykiv rozmishchennia skhodiv tsukrovkykh buriakiv za vysivu nasinnia mekhanichnyimi i pnevmatychnymi sivalkami. [Study of indicators of placement of sugar beet seedlings when sowing seeds with mechanical and pneumatic seed drills]. *Tekhnika ta enerhetyka / Machinery & Energetics.* 297. 153-158. (in Ukrainian).
18. Yablonskyi P., Kutsenko L., Vanin V., Shoman O., Zapolskiy, P. (2019). Synthesis and classification of periodic trajectories movement of the cargo swinging. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2 7(98). 26-73. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.161769.

Yablonskyi P. M., PhD, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
Design features of the spring safety device for direct seed coulters

Sowing is the most important operation of mechanized crop cultivation technology because, according to agrotechnical requirements, seeds must be placed in the soil of a certain structure, moisture, and hardness, at a given sowing depth and at a uniform interval along the row. Maintaining a consistent depth of pre-sowing tillage helps to compact the seedbed, ensures better seed embedding, and subsequently improves light access to the sprouts. This has a positive effect on the level of field germination of seeds and simultaneity (friendliness) of seedlings, which generally increases the initial development of plants and, as a result, crop yields. Therefore, the technical perfection of the working parts of machines for pre-sowing soil preparation and seed sowing plays an important role.

The article presents a classification of modern direct seeding coulters of domestic and foreign production based on similarity of the furrow shape. The design features of the disc coulters of the Salford 520 and John Deere 730 seeders, the capstan coulters of the Amazone Primera DMC and AD3 Special are described, the results of the development of a theoretical model of the mechanism of the oscillating spring on the example of the safety device of the capstan coulters of the Horsch Sprinter ST, Elvorti CZS-2.1 seeders are presented.

The analysis revealed that the coulters that form a V-shaped furrow are the least destructive to the integrity of the soil composition, copy its surface well, more accurately adhere to the depth of cultivation at higher speeds, but can capture and draw plant residues into the seedbed, which reduces the field germination of seeds and requires increased maintenance costs. Coulters that cut a U-shaped furrow create a dense seedbed, which contributes to faster seed germination, but they do not control the seeding depth sufficiently. Tine coulters provide a more uniform distribution of seed nutrition areas than chisel-shaped ones, which leads to an increase in crop yields, but they can bring boulders and large clods to the surface, especially when working on soils of high hardness.

Key words: seeds, direct sowing, seedbed, seeder, disk, capstan, tine coulters, safety device, oscillating spring, Lagrange's Equation of the second kind.