

П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, О.Р. Лузан, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: luzanpg@gmail.com

Теоретичне обґрунтування конструкції механізму регулювання робочої глибини сошника посівної секції сівалки

У статті наведено теоретичне обґрунтування механізму регулювання робочої глибини сошника посівної секції сівалки з ексцентриковим кулачком та опорною лижею. Отримано аналітичні залежності між робочою глибиною ходу сошника та геометричними параметрами ексцентрикового механізму, що забезпечують дискретне та відтворюване регулювання. На основі динамічної моделі вертикального руху досліджено вплив нерівностей мікрорельєфу поверхні ґрунту на стабільність глибини сівби. Показано роль демпфувальних властивостей системи «сошник-опорна лижа-ґрунт» у зменшенні динамічних відхилень робочої глибини. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації посівних секцій сівалок.

посівна секція, сошник, робоча глибина ходу сошника, ексцентриковий кулачок, опорна лижа

Постановка проблеми. Рівномірність загортання насіння за глибиною є одним із визначальних факторів формування дружних сходів та реалізації потенційної врожайності сільськогосподарських культур. Відомо, що відхилення робочої глибини сошника навіть на незначну величину призводить до нерівномірного проростання насіння, що особливо важливо для просапних та овочевих культур [1-4].

У сучасних сівалках робоча глибина ходу сошників, як правило, регулюється за допомогою опорних лиж або копіювальних коліс шляхом їх переміщення відносно сошника. Такі конструктивні рішення забезпечують можливість зміни глибини сівби, однак мають суттєвий недолік – трудомісткість та великі витрати часу на регулювання, особливо на сівалках з великою кількістю посівних секцій [5-7].

Крім того, у реальних польових умовах нерівності поверхні ґрунту та зміна його фізико-механічних властивостей ускладнюють забезпечення однакової глибини загортання насіння всіма посівними секціями сівалки. Це зумовлює необхідність створення таких конструкцій посівних секцій, які дозволяли б швидко та надійно встановлювати задану робочу глибину сошника без застосування додаткового інструменту [8-11].

У зв'язку з цим актуальною є задача вдосконалення конструкції посівної секції сівалки шляхом впровадження простого та надійного механізму швидкого регулювання робочої глибини сошника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних посівних машинах забезпечення стабільної робочої глибини ходу сошника є одним із визначальних чинників рівномірності загортання насіння та формування дружних сходів. Аналіз наукових публікацій і серійних конструкцій посівних секцій свідчить, що найбільш поширеним технічним рішенням є застосування копіюючих коліс у поєднанні з механізмами регулювання відносного положення «копіююче колесо-сошник» [12-18]. Такі системи реалізовані у посівних секціях сівалок ParaLink 3820 BourGault, Vitasem, Astra 6 New, Centaya Super Amazone, Morris Quantum, Monosem та Sfoggia, (рис. 1, a-g) та ін.



1 – копіююче колесо, 2 – механізм регулювання глибини ходу сошника, 3 – сошник

Рисунок 1 – Механізми регулювання робочої глибини сошника посівних секцій сівалок:
 a) ParaLink 3820 BourGault (Канада), b) Vitasem (Австрія), c) Astra 6 New AT "Ельворті" (Україна),
 d) Centaya Super Amazone (Німеччина), e) Morris Quantum (Канада),
 f) Monosem Меса V4/4Е (Франція), g) Sfoggia (Італія)

Джерело: розроблено на підставі [12-18]

Використання копіюючих коліс дозволяє зменшити вплив нерівностей мікрорельєфу поверхні ґрунту на глибину ходу сошника, однак результати експлуатаційних досліджень і практичний досвід свідчать, що ефективність таких рішень значною мірою залежить від кінематичної схеми регульовального механізму та його жорсткості. Для важких посівних комплексів характерні важільні або паралелограмні підвіски з підвищеним притискним зусиллям, які забезпечують прийнятну стабільність глибини за складних ґрунтових умов, але водночас відзначаються конструктивною складністю, значною масою та чутливістю до люфтів у шарнірних з'єднаннях.

Аналіз наведених конструкцій дозволяє зробити висновок, що переважна більшість існуючих механізмів регулювання глибини ґрунтується на зміні положення копіюючого колеса відносно сошника, тоді як безпосередній контакт регульовального елемента з ґрунтом у зоні формування борозни використовується обмежено. Це зумовлює необхідність пошуку альтернативних технічних рішень, здатних поєднати точність регулювання глибини, кінематичну простоту та зменшення впливу зношування шарнірів і колісних опор.

Такі способи регулювання забезпечують необхідний діапазон зміни глибини сівби, однак характеризуються високою трудомісткістю, низькою оперативністю та значною залежністю результату від кваліфікації оператора. У багаторядних сівалках, що мають 8-12 і більше посівних секцій, процес налаштування робочої глибини потребує значних витрат часу, що негативно впливає на загальну продуктивність посівних робіт.

Аналіз конструкцій показує, що перспективним напрямом удосконалення посівних секцій є застосування механізмів з фіксованими дискретними положеннями, які дозволяють швидко встановлювати однакову робочу глибину сошників на всіх секціях сівалки.

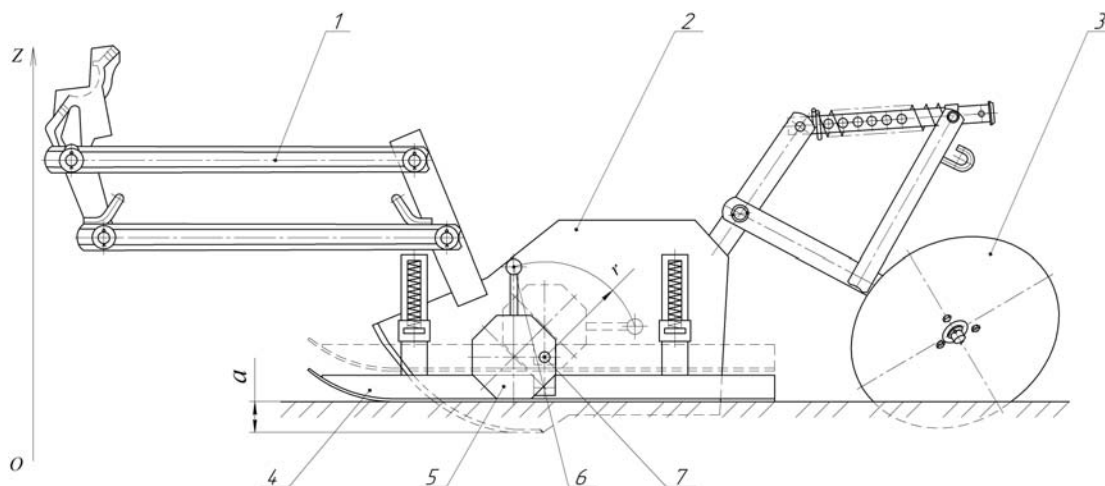
У цьому напрямку перспективним є застосування опорних лиж, розташованих безпосередньо в зоні роботи сошника, які забезпечують стабільну опору на ґрунт і зменшують залежність глибини ходу від вертикальних коливань посівної секції. Водночас ефективність таких рішень значною мірою визначається способом регулювання положення лижі відносно сошника та надійністю фіксації обраного положення.

Таким чином, аналіз останніх досліджень і серійних конструкцій посівних секцій свідчить про актуальність розроблення механізмів регулювання робочої глибини сошника, які поєднують паралелограмну підвіску, локальну опорну поверхню у вигляді лижі та простий, жорсткий і надійний фіксований регулятор положення. Саме це стало передумовою створення запропонованої конструкції посівної секції з опорною лижею та ексцентриковим кулачком із індексованими положеннями, що дозволяє підвищити точність і стабільність регулювання глибини ходу сошника за різних ґрунтових умов, (рис. 2).

Постановка завдання. Виходячи з наведеного, постановка задачі дослідження полягає у створенні та дослідженні конструкції посівної секції сівалки з жорстко фіксованим механізмом регулювання робочої глибини сошника, що забезпечує скорочення часу налаштування та підвищення відтворюваності заданої глибини сівби.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування конструкції посівної секції сівалки з ексцентриковим індексованим механізмом регулювання робочої глибини сошника.

Виклад основного матеріалу. На відміну від відомих конструкцій, у яких регулювання здійснюється шляхом зміни положення копіюючого колеса, у запропонованій конструкції посівної секції сівалки, яка містить паралелограмну підвіску з кронштейном кріплення до рами, сошник та загортачі, механізм регулювання робочої глибини сошника виконаний у вигляді опорної лижі, встановленої з можливістю поступального переміщення у вертикальному напрямку відносно сошника.



1 – паралелограмна підвіска з кронштейном кріплення до рами, 2 – сошник, 3 – загортачі,
4 – опорна лижа, 5 – ексцентриковий кулачок, 6 – важіль повороту ексцентрикового кулачка, 7 – вал

Рисунок 2 – Загальний вигляд запропонованої посівної секції

Джерело: розроблено авторами

Лижка взаємодіє з ексцентриковим кулачком, який жорстко закріплений на сошнику та має індексовані фіксовані положення. Зміна положення ексцентрикового кулачка здійснюється поворотом важеля, після чого обране положення фіксується.

Таким чином, робоча глибина сошника визначається геометричним співвідношенням між положенням робочої кромки сошника та опорної лижі. При кожному фіксованому положенні ексцентрикового кулачка встановлюється відповідне значення робочої глибини, що забезпечує її відтворюваність на всіх посівних секціях сівалки.

З конструктивно-кінематичної точки зору механізм регулювання робочої глибини можна розглядати як систему з одним керованим ступенем вільності, де вихідною координатою є вертикальне положення ріжучої кромки сошника відносно поверхні ґрунту, а керуючою – кут повороту ексцентрикового кулачка. При цьому всі робочі положення механізму є дискретними та жорстко фіксованими, що виключає випадкову зміну глибини сівби під час роботи агрегату.

Запропонована конструктивно-кінематична схема дозволяє швидко встановлювати задану робочу глибину сошника без застосування додаткового інструменту та забезпечує однаковість налаштування для багаторядних сівалок.

Для теоретичного обґрунтування процесу регулювання робочої глибини розглянемо кінематичну схему посівної секції у вертикальній площині. Введемо нерухому систему координат з вертикальною віссю OZ , спрямованою вгору, та приймемо рівень поверхні ґрунту за нульовий – $z = 0$. Оскільки опорна лижка постійно контактує з ґрунтом, лінія контакту лижі збігається з поверхнею ґрунту і використовується як базова лінія відліку.

Положення ріжучої кромки сошника у вертикальному напрямку характеризується координатою z_s . Робоча глибина ходу сошника a визначається як вертикальна відстань від поверхні ґрунту до ріжучої кромки сошника та за прийнятого напрямку осі OZ має вигляд

$$a = -z_s. \quad (1)$$

Регулювання робочої глибини здійснюється ексцентриковим кулачком з індексованими положеннями, що змінює взаємне положення сошника відносно опорної лижі (поверхні ґрунту). Геометричний зв'язок між положенням ріжучої кромки сошника та положенням ексцентрика можна подати у вигляді:

$$z_s(\theta) = -(C + r(\theta)), \quad (2)$$

де C – величина, яка визначає сталу вертикальну відстань між віссю обертання ексцентрикового кулачка та базовою контактною лінією опорної лижі з ґрунтом, $r(\theta)$ – радіальна функція ексцентрикового кулачка, θ – кут повороту кулачка.

У виразі (2) величина C є сталою конструктивною складовою, що описує незмінне взаємне вертикальне зміщення між базовою лінією контакту опорної лижі з ґрунтом та опорною точкою (або віссю) ексцентрикового кулачка в системі «сошник-лижа». Таким чином, C визначається геометрією монтажу елементів механізму (положенням осі обертання кулачка відносно лижі та ріжучої кромки сошника) і не залежить від кута повороту θ . Радіальна функція $r(\theta)$ характеризує зміну миттєвого радіуса кулачка у напрямку дії сили контакту з лижею; саме ця зміна визначає переміщення лижі (або сошника) та, відповідно, робочу глибину.

Підставляючи (2) у (1), отримаємо залежність робочої глибини від кута повороту ексцентрикового кулачка

$$a(\theta) = C - r(\theta). \quad (3)$$

Оскільки ексцентриковий кулачок має індексовані фіксовані положення, то кут θ приймає дискретні значення

$$\theta = \theta_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

де n – кількість індексованих положень.

Відповідно, робоча глибина також набуває дискретних значень

$$a_i = a(\theta)_i = C - r(\theta)_i. \quad (5)$$

Крок регулювання робочої глибини між суміжними положеннями

$$\Delta a_i = a_{i+1} - a_i. \quad (6)$$

Таким чином, запропонований ексцентриковий кулачок забезпечує дискретне, відтворюване встановлення робочої глибини сошника, оскільки кожному індексованому положенню θ_i відповідає однозначне значення a_i , визначене геометрією механізму.

З отриманих залежностей випливає, що стабільність та відтворюваність робочої глибини сошника забезпечуються жорстким геометричним зв'язком між опорною лижею та ексцентриковим кулачком, а також фіксацією його положень. Такий підхід виключає вплив люфтів і похибок, характерних для болтових та гвинтових механізмів регулювання.

Отримана теоретична модель дозволяє на етапі проєктування визначити діапазон та крок регулювання робочої глибини сошника шляхом вибору геометричних параметрів ексцентрикового кулачка та кількості його індексованих положень.

Для оцінки впливу нерівностей поверхні ґрунту на стабільність робочої глибини сошника розглянемо спрощену динамічну модель вертикального руху посівної секції. Посівну секцію подаємо у вигляді одномасової системи з пружними та демпфувальними властивостями, яка здійснює вертикальні коливання відносно поверхні ґрунту.

Вертикальне переміщення ріжучої кромки сошника відносно його середнього положення позначимо через $z(t)$. Нерівності поверхні ґрунту описуються функцією $z_g(t)$, яка задає вертикальні збурення, що передаються на сошник через опорну лижу, яка постійно контактує з ґрунтом. У прийнятій моделі величина $z(t)$ характеризує відхилення ріжучої кромки сошника від середнього положення, що відповідає

встановленій робочій глибині, а функція $z_g(t)$ описує профіль поверхні ґрунту. Оскільки опорна лижа безперервно контактує з поверхнею ґрунту, збурення $z_g(t)$ передаються безпосередньо на сошник.

З огляду на інженерний характер дослідження та з метою отримання аналітично інтерпретованих залежностей, система зведена до одномасової моделі з еквівалентними параметрами. Рівняння руху системи може бути записане як

$$m\ddot{z} + c(\dot{z} - \dot{z}_g) + k(z - z_g) = 0, \quad (7)$$

де m – приведена маса рухомих елементів посівної секції; c – коефіцієнт в'язкого демпфування, що враховує втрати енергії при взаємодії з ґрунтом; k – приведений коефіцієнт жорсткості системи.

Нерівності мікрорельєфу поверхні ґрунту є основним джерелом зовнішніх збурень, що впливають на стабільність робочої глибини ходу сошника під час руху посівної секції. У процесі роботи агрегату мікрорельєф поверхні ґрунту діє як кінематичне збурення, яке через опорну лижу безпосередньо передається на сошник у вигляді змінної функції профілю $z_g(t)$. Унаслідок цього виникають вертикальні коливання ріжучої кромки сошника відносно його середнього положення, що відповідає встановленій робочій глибині.

Передача збурень від мікрорельєфу поверхні ґрунту призводить до появи інерційних сил, пропорційних приведеній масі рухомих елементів посівної секції, а також до змінної реакції ґрунту на опорну лижу. Амплітуда вертикальних коливань сошника та відповідні відхилення фактичної глибини його ходу визначаються співвідношенням між інерційними параметрами системи, приведеною жорсткістю контакту «опорна лижа-ґрунт» та демпфувальними властивостями підвіски і ґрунту.

За недостатнього демпфування або малої жорсткості контакту опорної лижі з ґрунтом збурення, викликані мікрорельєфом, можуть призводити до значного зростання амплітуди вертикальних коливань сошника. У граничних випадках це може супроводжуватися частковою або короткочасною втратою контакту опорної лижі з поверхнею ґрунту, що спричиняє різке та неконтрольоване збільшення робочої глибини ходу сошника під дією власної ваги та притискного зусилля посівної секції.

Таким чином, нерівності мікрорельєфу поверхні ґрунту викликають динамічні відхилення робочої глибини сошника від заданого значення, величина яких визначається не лише геометрією механізму регулювання, але й динамічними характеристиками системи «сошник-опорна лижа-ґрунт». Це обґрунтовує необхідність урахування демпфувальних властивостей та раціонального вибору параметрів опорної лижі з метою зменшення впливу мікрорельєфу на стабільність глибини сівби.

Для забезпечення стабільної робочої глибини сошника необхідною умовою є безперервний контакт опорної лижі з поверхнею ґрунту. Втрата контакту призводить до різкого зменшення реакції опори та неконтрольованого заглиблення сошника.

Реакція ґрунту на лижу може бути записана у вигляді

$$R(t) = k[z_g(t) - z(t)] + c[\dot{z}_g(t) - \dot{z}(t)], \quad (8)$$

де $z(t)$ – переміщення сошника; $z_g(t)$ – профіль поверхні ґрунту.

Умова збереження контакту має вигляд

$$R(t) \geq 0. \quad (9)$$

З цієї умови випливає, що для зменшення ймовірності відриву лижі необхідно забезпечити достатню приведену жорсткість контакту та наявність демпфування, яке обмежує амплітуду швидкісних складових руху.

Для оцінювання динамічних властивостей системи «сошник-опорна лижа-грунт» та впливу параметрів демпфування на стабільність робочої глибини проведемо частотний аналіз рівняння руху. У цьому випадку розглянемо гармонічне збурення поверхні ґрунту у вигляді

$$z_g(t) = Z_g \sin(\omega t), \quad (10)$$

де Z_g – амплітуда збурення; ω – кутова частота.

З урахуванням рівняння (10) отримуємо амплітудно-частотну характеристику системи, яка описує залежність амплітуди коливань сошника від частоти збурення. Передавальна функція системи за амплітудами має вигляд

$$|H(\omega)| = \frac{Z}{Z_g} = \frac{\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}}. \quad (11)$$

де Z – амплітуда усталених коливань ріжучої кромки сошника.

Отримана залежність (11) дозволяє оцінити вплив параметрів жорсткості та демпфування на динамічну реакцію посівної секції. Зі збільшенням коефіцієнта демпфування c спостерігається зменшення амплітуди коливань сошника в області резонансних частот, що сприяє підвищенню стабільності робочої глибини ходу сошника під час руху агрегату по нерівній поверхні ґрунту.

Таким чином, результати частотного аналізу підтверджують доцільність урахування демпфувальних властивостей системи при проектуванні посівної секції та виборі параметрів опорної лижі і підвіски сошника з метою зменшення динамічних відхилень робочої глибини.

Для аналізу впливу демпфувальних властивостей системи результати розрахунків подано з використанням безрозмірного коефіцієнта демпфування ξ , який пов'язаний із фізичним коефіцієнтом в'язкого демпфування c співвідношенням

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}, \quad (12)$$

де m – приведена маса рухомих елементів посівної секції; k – приведений коефіцієнт жорсткості системи. Зміна значень ξ дозволяє узагальнено оцінити вплив демпфування на динамічну реакцію сошника незалежно від абсолютних значень параметрів m і k .

Аналіз частотної характеристики показує, що за недостатнього демпфування амплітуда вертикальних коливань сошника суттєво зростає, що може призводити до нестабільності робочої глибини, рис. 3. Зі збільшенням коефіцієнта демпфування амплітуда коливань зменшується, а рух сошника стає більш стабільним. Разом з тим, надмірне демпфування може призводити до зниження здатності посівної секції копіювати мікрорельєф поверхні ґрунту.

З теоретичного аналізу випливає, що опорна лижа повинна забезпечувати достатню приведену жорсткість контакту з ґрунтом, яка визначається її площею опори та формою робочої поверхні. Наявність демпфувальних властивостей системи зменшує амплітуду коливань сошника та підвищує стабільність робочої глибини. Таким чином, параметри опорної лижі мають істотний вплив на динамічну поведінку посівної секції та повинні враховуватися на етапі проектування.

Зміна вертикального переміщення сошника при гармонічному збуренні поверхні ґрунту для різних значень безрозмірного коефіцієнта демпфування системи, рис. 4. Зі збільшенням демпфування амплітуда коливань зменшується, що сприяє підвищенню стабільності робочої глибини сошника.

Аналіз динамічної моделі показує, що параметри демпфування істотно впливають на характер вертикальних коливань сошника. За малих значень демпфування амплітуда коливань зростає, що може призводити до нестабільності робочої глибини. Зі збільшенням демпфування коливання згладжуються, а рух сошника стає більш стабільним. Разом з тим, надмірне демпфування може погіршувати здатність посівної секції копіювати мікрорельєф поверхні ґрунту, що необхідно враховувати при виборі параметрів опорної лижі

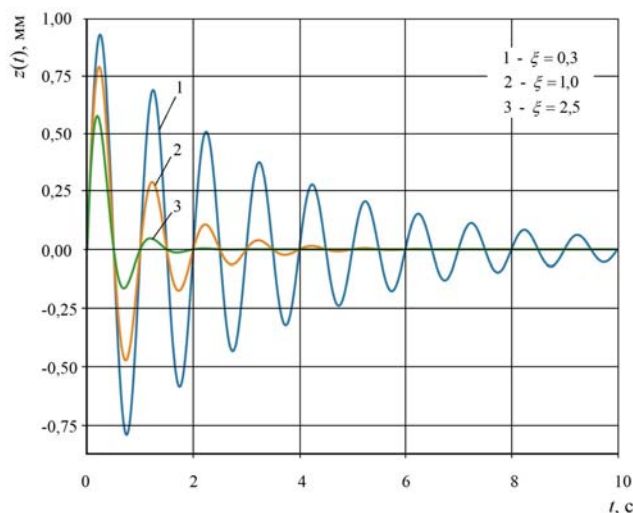


Рисунок 3 – Залежність нормалізованого вертикального переміщення сошника від часу при різних значеннях безрозмірного коефіцієнта демпфування ξ : $\xi = 0,3$ – слабке демпфування (великі коливання); $\xi = 1,0$ – близько до критичного демпфування; $\xi = 2,5$ – надмірне демпфування

Джерело: розроблено авторами

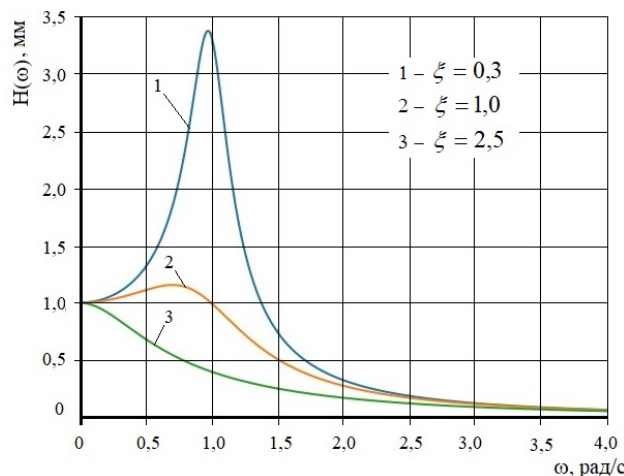


Рисунок 4 – Вплив безрозмірного коефіцієнта демпфування ξ на вертикальні коливання сошника

Джерело: розроблено авторами

Отримані теоретичні залежності та графічні результати показують, що демпфувальні властивості системи істотно впливають на характер вертикальних коливань сошника. За недостатнього демпфування амплітуда коливань зростає, що може призводити до нестабільності робочої глибини. Зі збільшенням демпфування рух сошника стає більш згладженим, а відхилення робочої глибини зменшуються. Разом з тим, надмірне демпфування може погіршувати здатність посівної секції копіювати мікрорельєф поверхні ґрунту, що необхідно враховувати при виборі параметрів опорної лижі.

Проведений теоретичний аналіз конструкції механізму регулювання робочої глибини сошника посівної секції сівалки показав, що застосування ексцентрикового індексованого механізму дозволяє забезпечити жорстко фіксовані значення робочої глибини без використання різбових або болтових з'єднань. Такий підхід істотно зменшує трудомісткість і тривалість налаштування посівної секції, особливо у багаторядних сівалках.

Отримані геометричні та динамічні залежності свідчать, що робоча глибина сошника визначається виключно геометричними параметрами механізму та не залежить від суб'єктивних факторів, пов'язаних з процесом налаштування. Індексовані фіксовані положення ексцентрикового кулачка забезпечують відтворюваність встановлення глибини сівби на всіх посівних секціях агрегату.

Аналіз динаміки руху сошника з опорною лижею показав, що параметри лижі істотно впливають на стабільність робочої глибини під час руху агрегату. Рациональний вибір площі опорної поверхні лижі та демпфувальних властивостей системи дозволяє зменшити амплітуду вертикальних коливань сошника, що сприяє покращенню рівномірності загортання насіння.

Запропонований механізм регулювання робочої глибини є конструктивно простим, не потребує складного обслуговування та може бути реалізований як у нових посівних секціях, так і при модернізації існуючих сівалок. Застосування такого механізму доцільне для сівалок різних типів, у тому числі просапних та овочевих, де висуваються підвищені вимоги до точності та повторюваності глибини сівби.

Таким чином, результати теоретичного дослідження підтверджують доцільність використання ексцентрикового механізму з індексованими положеннями для регулювання робочої глибини сошника посівної секції сівалки.

Висновки. Запропоновано та теоретично обґрунтовано конструкцію механізму регулювання робочої глибини сошника посівної секції сівалки, виконаного на основі ексцентрикового кулачка з індексованими фіксованими положеннями.

Показано, що робоча глибина сошника у запропонованій конструкції визначається виключно геометричними параметрами механізму та є функцією кута повороту ексцентрикового кулачка, що забезпечує відтворюваність установлених значень глибини сівби.

Отримано аналітичні залежності, які дозволяють визначати діапазон та крок регулювання робочої глибини сошника на етапі проектування шляхом вибору геометричних параметрів ексцентрикового механізму та кількості його індексованих положень.

На основі динамічної моделі руху сошника з опорною лижею встановлено, що параметри лижі та демпфувальні властивості системи істотно впливають на стабільність робочої глибини під час руху посівної секції по нерівній поверхні ґрунту.

Теоретичний аналіз показав, що рациональний вибір конструктивних параметрів опорної лижі дозволяє зменшити амплітуду вертикальних коливань сошника та підвищити рівномірність загортання насіння.

Запропонований механізм регулювання робочої глибини відрізняється конструктивною простотою та забезпечує скорочення часу налаштування посівних секцій, що є особливо важливим для багаторядних сівалок.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових та модернізації існуючих посівних секцій сівалок різного призначення, а також служити основою для подальших експериментальних досліджень.

Список літератури

- 1 Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Конструктивні особливості сошникових систем сучасних сівалок та їх відповідність вимогам точного землеробства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 241. С. 269–278. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_241_38 (дата звернення: 15.01.2026).

- 2 Драйер Х. Детальний розгляд сошника сівалки Primera DMC. AMAZONE-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. 2010. 2 с. URL: <http://www.amazone.de> (дата звернення: 15.01.2026).
- 3 Kuş E., Yıldırım Y. Effects of seed drop height and tillage system on the emergence time and rate in the single seed planters. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*. 2020. Vol. 35, № 1. P. 69-76. DOI: 10.28955/alinterizbd.739387.
- 4 Васильковська К.В. Аналіз створення рівномірного потоку насіння до борозни. *Сільськогосподарські машини*. 2025. Вип. 51. С. 24–33. DOI: 10.36910/acm.vi51.1890.
- 5 Jin G., Zhang X., Liu Y. Development and field performance evaluation of hole-fertilizing planter for precision planting of corn. *Precision Agriculture*. 2023. Vol. 24. P. 1241-1260. DOI: 10.1007/s11119-023-09988-6.
- 6 Гринько Ю. Класифікація сошників. Їхні переваги і недоліки. *Агроном: веб-сайт*. URL: <https://www.agronom.com.ua/klassifikatsiya-soshnykiv-yihni-perevagy-i-nedoliky/> (дата звернення: 10.12.2025).
- 7 Загортаючи робочі органи для прямої сівби зернових культур: монографія / Сало В.М., Лузан О.Р., Лузан П.Г., Мачок Ю.В. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В. Ф., 2012. 164 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473> (дата звернення: 15.01.2026).
- 8 Шмат С.І., Лузан П.Г., Сало В.М. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур. Харків: Мачулін, 2018. 236 с.
- 9 Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник / Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2022. 220 с.
- 10 Wan L., Li Y., Song J. Vibration response of soil under low-frequency vibration using the discrete element method. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. Article 1958. DOI: 10.3390/agriculture13101958.
- 11 Сало В. М., Вовнянко Б. Г., Лещенко С. М., Лузан П. Г. Покращення якісних показників процесу сівби. *Сільськогосподарські машини*. 2024. Вип. 50. С. 113-119. DOI: 10.36910/acm.vi50.1398.
- 12 Дискові посівні комплекси 3820 ParaLink: веб-сайт. URL: <https://www.bourgault.com/en-us/products/paralink-coulter-drills/plr-coulter-opener> (дата звернення: 15.01.2026).
- 13 Основні характеристики модельного ряду ALFA. Нова конструкція повідкової системи CoultSystem. *Elvorti*. 2023. URL: https://elvorti.com/upload/ua_KATALOG_2023_mini.pdf (дата звернення: 15.01.2026).
- 14 Vitasem – механічні сівалки. Продумана система сошників. *Pöttinger*. 2015. С. 18-19. URL: https://www.poettinger.at/download/prospekte/21398/0/POETTINGER_232.uk.1215.pdf (дата звернення: 15.01.2026).
- 15 Cataya harrow-mounted seed drill. RoTeC coulter – the universal single disc coulter. *Amazone: веб-сайт*. URL: <https://amazone.net> (дата звернення: 15.01.2026).
- 16 Operator's Manuals QUANTUM Air Drill. Morris Industries Ltd. Canada, 2025. 94 p. URL: https://morrisequipment.ca/wp-content/uploads/QUANTUM_Operators_S66250-05.pdf (дата звернення: 15.01.2026).
- 17 Обладнання Monosem. Висівна секція Меса V4/4E: веб-сайт. URL: <https://ua.monosem.com/sivalky-tochnoho-vysivu/mekhanichna-sivalka/meca-v4-4e> (дата звернення: 15.01.2026).
- 18 Сівалка Gamma plus. Sfoggia – Agriculture Division: веб-сайт. URL: <https://sfoggia.com/en/semina-di-precisione-3/gamma-plus/> (дата звернення: 15.01.2026).

References

1. Aniskevych, L. V., & Rosamakha, Yu. O. (2016). Design features of coulter systems of modern seed drills and their compliance with precision farming requirements. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Engineering and Energy of the Agro-Industrial Complex*, 241, 269–278. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_241_38 [in Ukrainian].
2. Dreyer, H. (2010). *Detailed review of the Primera DMC seed drill opener*. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. <http://www.amazone.de>.
3. Kuş, E., & Yıldırım, Y. (2020). Effects of seed drop height and tillage system on emergence time and rate in single seed planters. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 35(1), 69–76. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.739387>.
4. Vasylovskaya, K. V. (2025). Analysis of the formation of a uniform seed flow to the furrow. *Agricultural Machines*, 51, 24–33. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1890> [in Ukrainian].
5. Jin, G., Zhang, X., Liu, Y., & Chen, L. (2023). Development and field performance evaluation of hole-fertilizing planter and dynamic alignment control system for precision planting of corn. *Precision Agriculture*, 24, 1241–1260. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-09988-6>.
6. Hrynko, Yu. (n.d.). Classification of coulters: advantages and disadvantages. *Agronom*. <https://www.agronom.com.ua/klassifikatsiya-soshnykiv-yihni-perevagy-i-nedoliky/> [in Ukrainian].
7. Salo, V. M., Luzan, O. R., Luzan, P. H., & Machok, Yu. V. (2012). *Covering working bodies for direct seeding of grain crops*. Kirovohrad: SPD FO Lysenko V. F. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473> [in Ukrainian].

8. Shmat, S. I., Luzan, P. H., & Salo, V. M. (2018). *Original methods and means of tillage and crop sowing*. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].
9. Salo, V., Leshchenko, S., Luzan, P., & Salo, L. (2022). *Machines for sowing, planting and crop care*. Kropyvnytskyi: Lysenko V.F. Publisher [in Ukrainian].
10. Wan, L., Li, Y., Song, J., Ma, X., Dong, X., Zhang, C., & Song, J. (2023). Vibration response of soil under low-frequency vibration using the discrete element method. *Agriculture*, 13, 1958. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101958>.
11. Salo, V. M., Vovnianko, B. H., Leshchenko, S. M., & Luzan, P. H. (2024). Improvement of qualitative indicators of the sowing process. *Agricultural Machines*, 50, 113–119. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398> [in Ukrainian].
12. Bourgault Industries Ltd. (2026). *ParaLink 3820 disc seeding systems*. <https://www.bourgault.com/en-us/products/paralink-coulter-drills/plr-coulter-opener>.
13. Elvorti. (2023). *Main characteristics of the ALFA model range. New CoultSystem linkage design*. https://elvorti.com/upload/ua_KATALOG_2023_mini.pdf.
14. Pöttinger Landtechnik GmbH. (2015). *Vitasem mechanical seed drills: Advanced coulter system*. https://www.poettinger.at/download/prospekte/21398/0/POETTINGER_232.uk.1215.pdf.
15. Amazone. (2026). *Cataya harrow-mounted seed drill. RoTeC coulter – the universal single disc coulter*. <https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/seeding/conventional-seed-drills>.
16. Morris Industries Ltd. (2025). *QUANTUM air drill operator's manual*. https://morrisequipment.ca/wp-content/uploads/QUANTUM_Operators_S66250-05.pdf.
17. Monosem. (2026). *Meca V4/4E seeding unit*. <https://ua.monosem.com/sivalky-tochnoho-vysivu/mekhanichna-sivalka/meca-v4-4e>.
18. Sfoggia S.r.l. (2026). *Gamma Plus precision seed drill*. <https://sfoggia.com/en/semina-di-precisione-3/gamma-plus/>.

Petro Luzan, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victor Aulin**, Prof., Dr. tech. sci., **Olena Luzan**, PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Substantiation of the Design of a Working Depth Adjustment Mechanism for the Opener of a Seeding Unit

The aim of the study is the theoretical substantiation of the design of a mechanism for adjusting the working depth of the opener of a seeding unit, which ensures increased accuracy and reproducibility of the preset seeding depth under various soil conditions. The research is focused on eliminating the shortcomings of traditional adjustment mechanisms associated with high labor intensity of settings, the presence of clearances in joints, and the dependence of the result on the operator's subjective actions. Particular attention is paid to reducing the influence of soil surface microrelief irregularities on the stability of the opener working depth.

The article considers a seeding unit design with a gauge skid and an eccentric cam with indexed fixed positions, which provides discrete and rigidly fixed adjustment of the opener working depth. A kinematic model of the adjustment mechanism is proposed, on the basis of which analytical relationships between the working depth of the opener and the geometric parameters of the eccentric cam are obtained. It is shown that each indexed position of the cam corresponds to a unique value of the working depth, which ensures its reproducibility on all seeding units of the machine. To evaluate the influence of soil surface irregularities, a simplified dynamic model of the vertical motion of the opener with a gauge skid is developed in the form of a single-mass system with elastic and damping properties. On the basis of this model, a frequency analysis is performed and the amplitude–frequency characteristic of the system is obtained, allowing the assessment of the influence of stiffness and damping parameters on the stability of the working depth.

The results of the theoretical study have shown that the use of an eccentric indexed mechanism significantly reduces the time and labor required for adjusting seeding units and ensures high repeatability of setting the opener working depth. It is established that the stability of seeding depth is determined not only by the geometry of the adjustment mechanism but also by the dynamic characteristics of the “opener – gauge skid – soil” system. A rational selection of the gauge skid parameters and the damping properties of the system makes it possible to reduce the amplitude of vertical oscillations of the opener and to improve the uniformity of seed placement. The obtained results can be used in the design of new and modernization of existing seeding units of various types and serve as a basis for further experimental research.

seeding unit, opener, working depth of the opener, eccentric cam, gauge skid

Одержано (Received) 15.01.2026

Прорецензовано (Reviewed) 20.02.2026

Прийнято до друку (Approved) 24.02.2026