

Кириченко Р. В.
ORCID 0000-0001-7830-6956
E-mail:
kirichenkoromeo1971@gmail.com
Лубченко Є. В.
ORCID 0009-0009-2403-062X
Державний біотехнологічний
університет, м. Харків, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ СОШНИКІВ ДЛЯ
СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА
ТЕХНОЛОГІЄЮ MINI-TILL**

DOI <https://doi.org/10.31359/2311.441X.2026.28.83>

УДК 631.331

Кириченко Р. В., Лубченко Є. В. Дослідження сошників для сівби зернових культур за технологією Mini-till

Анотація. У статті наведено результати досліджень конструкції сошників зернових сівалок, адаптованих до умов сівби за технологією Mini-till. Розроблено експериментальний дводисковий сошник з вирізним диском, у якому периферійна частина диска більшого діаметра виконана з конічними вирізами для ефективного перерізання рослинних решток. Експериментальні дослідження проведено на зерновій сівалці СЗ-3,6 за різних швидкостей руху і рівнів притискного зусилля сошників з порівнянням експериментального сошника із серійними дводисковими однорядковими сошниками та сошниками з різновеликими дисками.

Досліджено вплив ущільнення посівної борозни прикочувальним котком на твердість ґрунту та схожість насіння озимої пшениці. Показано, що локальне ущільнення ґрунту в зоні висіву підвищує твердість посівного шару та сприяє збільшенню польової схожості насіння. Отримані результати підтверджують доцільність використання розробленого сошника в умовах ресурсозберігаючої технології Mini-till.

Ключові слова: сошник, зернова сівалка, Mini-till, глибина заробки насіння, притискне зусилля, рослинні рештки, рівномірність сівби, прикочувальний коток.

Kyrychenko R.V., Lubchenko E.V. Research on openers for sowing grain crops using Mini-till technology

Abstract. The article presents the results of research on the designs of grain seed drill coulters adapted to the conditions of sowing using the Mini-till technology. An experimental double-disk coulters with a cut-out disc has been developed, in which the peripheral part of the disc of larger diameter is made with conical cutouts for effective cutting of plant residues. Experimental studies were carried out on a grain seeder SZ-3.6 at different speeds of movement and levels of coulters downforce with a comparison of the experimental coulters with serial double-disk single-row coulters and coulters with different-sized discs.

The effect of seed furrow compaction by a roller on soil hardness and germination of winter wheat seeds has been studied. It has been shown that local soil compaction in the sowing zone increases the hardness of the seed layer and contributes to an increase in field seed germination. The results obtained confirm the feasibility of using the developed opener in the context of the resource-saving Mini-till technology.

Key words: coulters, grain seeder, Mini-till, seed placement depth, downforce, crop residues, seeding uniformity, press roller.

Постановка проблеми

Інтенсифікація землеробства на основі традиційних систем обробітку ґрунту супроводжується зростанням енергетичних витрат, збільшенням кількості проходів машинно-тракторних агрегатів і підвищенням механічного навантаження на ґрунт, що призводить до його ущільнення, активізації ерозійних процесів, зниження вмісту органічної речовини та погіршення агрофізичних властивостей [1-3]. За умов зростання вартості енергоносіїв і, відповідно, підвищення собівартості продукції рослинництва, зазначені чинники об'єктивно зумовлюють необхідність переходу до енергоресурсозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур [4].

Одним із ефективних напрямів зниження енергоємності технологічних процесів у рослинництві є застосування системи мінімального обробітку ґрунту Mini-till, яка, поряд зі скороченням витрат паливо-мастильних матеріалів і тривалості польових робіт, забезпечує зменшення техногенного навантаження на ґрунт [5, 6]. Її впровадження при вирощуванні зернових культур сприяє збереженню ґрунтової структури, зниженню інтенсивності ерозійних процесів, поліпшенню водного режиму та стабілізації вмісту органічної речовини, що в сукупності підвищує екологічну стійкість агроєкосистем [7].

Ефективність технології Mini-till значною мірою визначається якістю виконання сівби, оскільки саме на етапі посіву формуються умови для проростання насіння та початкового розвитку рослин [8]. За результатами наукових досліджень, рівень урожайності зернових культур на 25...30% залежить від якості виконання посівних робіт [9-11].

Аналіз технічного рівня наявних вітчизняних і зарубіжних зернових сівалок, призначених для посіву за технологією Mini-till, свідчить про їх високу конструктивну складність, матеріалоємність і вартість, що обмежує можливість широкого впровадження зазначених машин у дрібних і середніх сільськогосподарських підприємствах [12]. Водночас в експлуатації перебуває значна кількість зернових сівалок типу СЗ, конструктивні особливості яких не забезпечують належної якості посіву за умов мінімального обробітку ґрунту без відповідної модернізації робочих органів.

У зв'язку з цим виникає науково-прикладна проблема, що полягає у розробці, обґрунтуванні та експериментальному дослідженні удосконалених конструкцій сошників зернових сівалок типу СЗ, адаптованих до умов посіву за технологією Mini-till, які забезпечували б стабільну якість формування посівного ложа, рівномірну заробку насіння та ефективну роботу в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вибір посівних машин визначається біологічними особливостями сільськогосподарської культури та прийнятою системою обробітку ґрунту. За умов упровадження технології мінімального обробітку ґрунту Mini-till особливого значення набуває вибір сошників як ключового конструктивного елемента сівалки, який визначає її технологічне призначення та ефективність посіву. Сошники повинні забезпечувати формування посівного ложа, стабільну глибину розміщення й рівномірну заробку насіння за наявності рослинних решток і мінімального порушення ґрунтової структури, що є вирішальним для реалізації переваг технології Mini-till.

Питання обґрунтування параметрів сошників, підвищення рівномірності заробки насіння та стабільності глибини посіву активно досліджуються. Значний внесок зробили вітчизняні науковці (Морозов І.В., Сало В.М., Гевко Б.М. та ін.) [13–20], а також зарубіжні дослідники [21–23], які вивчали взаємодію робочих органів сівалок із ґрунтом та адаптацію конструкцій до ресурсозберігаючих технологій.

Аналіз наукових публікацій свідчить, що залишається недостатньо вивченим питання удосконалення конструкцій сошників зернових сівалок для технології Mini-till з урахуванням вітчизняних ґрунтово-кліматичних умов. Це зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на удосконалення конструкції сошників сівалок для ресурсозберігаючої технології Mini-till.

Формулювання мети досліджень

Метою дослідження є вдосконалення конструкції сошників зернових сівалок і підвищення рівномірності заробки насіння з метою забезпечення оптимальних умов його проростання та розвитку рослин під час сівби зернових культур за технологією Mini-till. Досягнення мети передбачає розроблення конструкції сошника, що забезпечить стабільну глибину висіву й ефективну заробку насіння за наявності рослинних решток. Реалізація запропонованого рішення спрямована на підвищення ефективності роботи сівалок в умовах енергоресурсозберігаючої технології Mini-till.

Результати досліджень

В сівалках застосовують два основні типи сошників: наральникові та дискові. Наральникові сошники поділяються на анкерні, кілеподібні, долотоподібні та лапові, дискові на однодискові та дводискові. Найбільш універсальними вважаються дводискові сошники, оскільки вони характеризуються кращою проникною здатністю у ґрунт; водночас така сошникова група не завжди забезпечує надійне копіювання мікрорельєфу поверхні поля, у зв'язку з чим сівалки додатково оснащують опорно-прикочувальними колесами. Анкерні сошники, на відміну від дискових, забезпечують якісніше формування посівної борозни та насінневого ложа, однак потребують ретельної підготовки ґрунту, що обмежує їх застосування за значної кількості рослинних решток. Долотоподібні сошники завдяки компактним геометричним розмірам і загостреній формі здатні ефективно проникати в ґрунт незалежно від наявності пожнивних залишків на поверхні поля.

За умов мінімальної системи обробітку ґрунту та наявності рослинних решток переважно застосовують дискові й лапові сошники. Проте під час сівби зернових культур, зокрема озимих, у технологіях Mini-till на полях після кукурудзи на зерно або соняшнику такі сошники не завжди забезпечують виконання агротехнічних вимог щодо рівномірної заробки насіння на задану глибину. Це зумовлено їх недостатньою здатністю до ефективного перерізання товстих і міцних часток навіть подрібнених пожнивних залишків.

Підвищення рівномірності заробки насіння зернових культур на задану глибину в умовах ресурсозберігаючих технологій можливе шляхом удосконалення конструкції сошників, зокрема за рахунок підвищення ефективності перерізання пожнивних залишків крайками дисків сошників.

Для реалізації поставленої мети розроблено експериментальний дводисковий сошник з вирізним диском для технології Mini-till [24]. Конструкція (рис. 1) включає корпус 1, напівосі 2 і 3 з дисками 4 і 5 різного діаметра, напрямник для насіння 7 та повідець 8 для кріплення до рами сівалки. Периферійна частина більшого диска виконана з конічними вирізами 9, боковини 10 яких утворюють кут α , менший за кут тертя ковзання стебел по металу, а глибина вирізів $h = R_b - R_m$ забезпечує перерізання пожнивних залишків.

Під час сівби диск більшого діаметра розрізає верхній шар ґрунту і формує початкову борозенку, після чого диск меншого діаметра заглиблюється в розпушений ґрунт. Бокові поверхні дисків відсувають ґрунт у сторони, формуючи конічну борозенку

потрібної глибини. Насіння надходить із лійки через напрямник між дисками на дно борозенки та присипається ґрунтом.

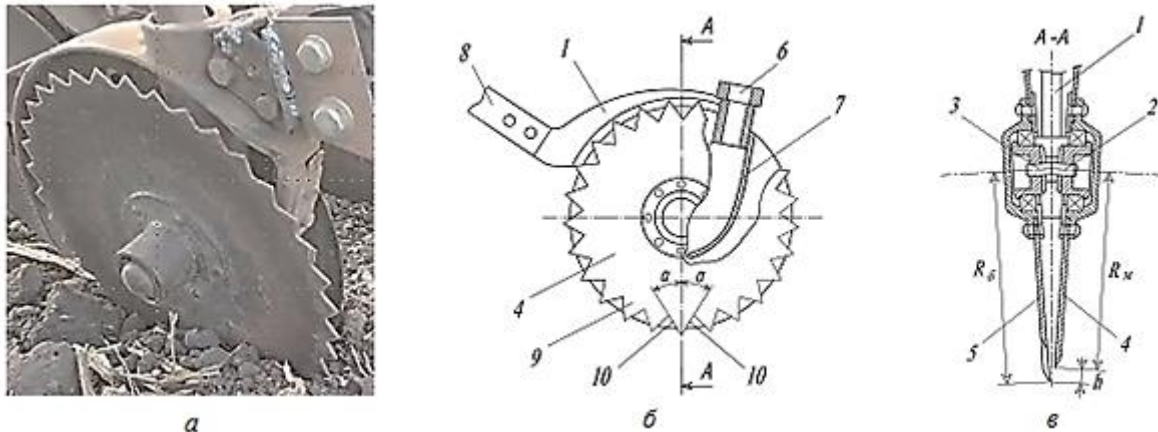


Рис. 1. Експериментальний дводисковий сошник з вирізним диском: а – загальний вигляд; б – бокова проекція сошника; в – переріз А-А бокової проекції
1 – корпус; 2, 3 – напівосі; 4 – більший диск; 5 – менший диск; 6 – лійка; 7 – напрямник;
8 – повідець; 9 – вирізи; 10 – боковини вирізів

Конічні вирізи диска ефективно наколюють і перерізають рослинні рештки, навіть товсті стебла кукурудзи та соняшнику, запобігаючи їх намотуванню і забезпечуючи стабільну глибину загортання насіння. Для надійного перерізання пожнивних залишків висота вирізів h повинна бути більшою або рівною максимальній товщині стебел на полі, що гарантує рівномірну заробку насіння та ефективність роботи сошника за ресурсозберігаючих технологій.

Для оцінки працездатності та показників висіву розробленого сошника проведено експериментальні дослідження. Першим етапом досліджень було встановлення впливу швидкості руху сівалки та притискового зусилля сошників на розподіл насіння за глибиною заробки при використанні експериментальних сошників і серійних дводискових однорядкових сошників та сошників з різновеликими дисками. Другим етапом передбачено оцінку впливу ущільнення посівної борозни на схожість насіння шляхом застосування прикочувального котка на експериментальному сошнику.

Досліди проводилися в польових умовах по агрофону після збирання кукурудзи на зерно за наявності подрібнених рослинних решток на поверхні ґрунту. Попередньо було виконано дисковий обробіток, у результаті якого подрібнені стебла кукурудзи рівномірно розподілялися по поверхні поля з частковим загортанням у верхній шар ґрунту. Кількість рослинних решток на поверхні становила близько 35 %, поверхня ґрунту була вирівняною, з помірною грудкуватістю. Дослідження виконували на зерновій сівалці СЗ-3,6, на яку встановлювали зазначені типи сошників. Визначення умов роботи, розбиття дослідних ділянок та оцінювання показників якості висіву здійснювали відповідно до вимог СОУ 74.3-37-129:2004 [25].

Перший етап експериментальних досліджень проводили за трьох швидкостей руху сівалки: $v_1 = 1,5$ м/с; $v_2 = 2,0$ м/с; $v_3 = 2,5$ м/с, а також за трьох рівнів притискового зусилля сошників: $P_1 = 120$ Н; $P_2 = 150$ Н; $P_3 = 180$ Н. Притискове зусилля створювалося шляхом стискання пружин на штангах сошників і контролювалося за допомогою динамометра з межею вимірювання до 200 Н. Такий підхід дозволив оцінити вплив досліджуваних факторів на рівномірність заробки насіння та ефективність роботи сошників.

Результати досліджень розподілу насіння за глибиною заробки залежно від швидкості руху сівалки та величини притискного зусилля сошників подано у вигляді гістограм (рис. 2) та таблиці 1, в якій наведено середні значення глибини заробки насіння \bar{x} , стандартні відхилення σ та коефіцієнти варіації V для трьох типів сошників.

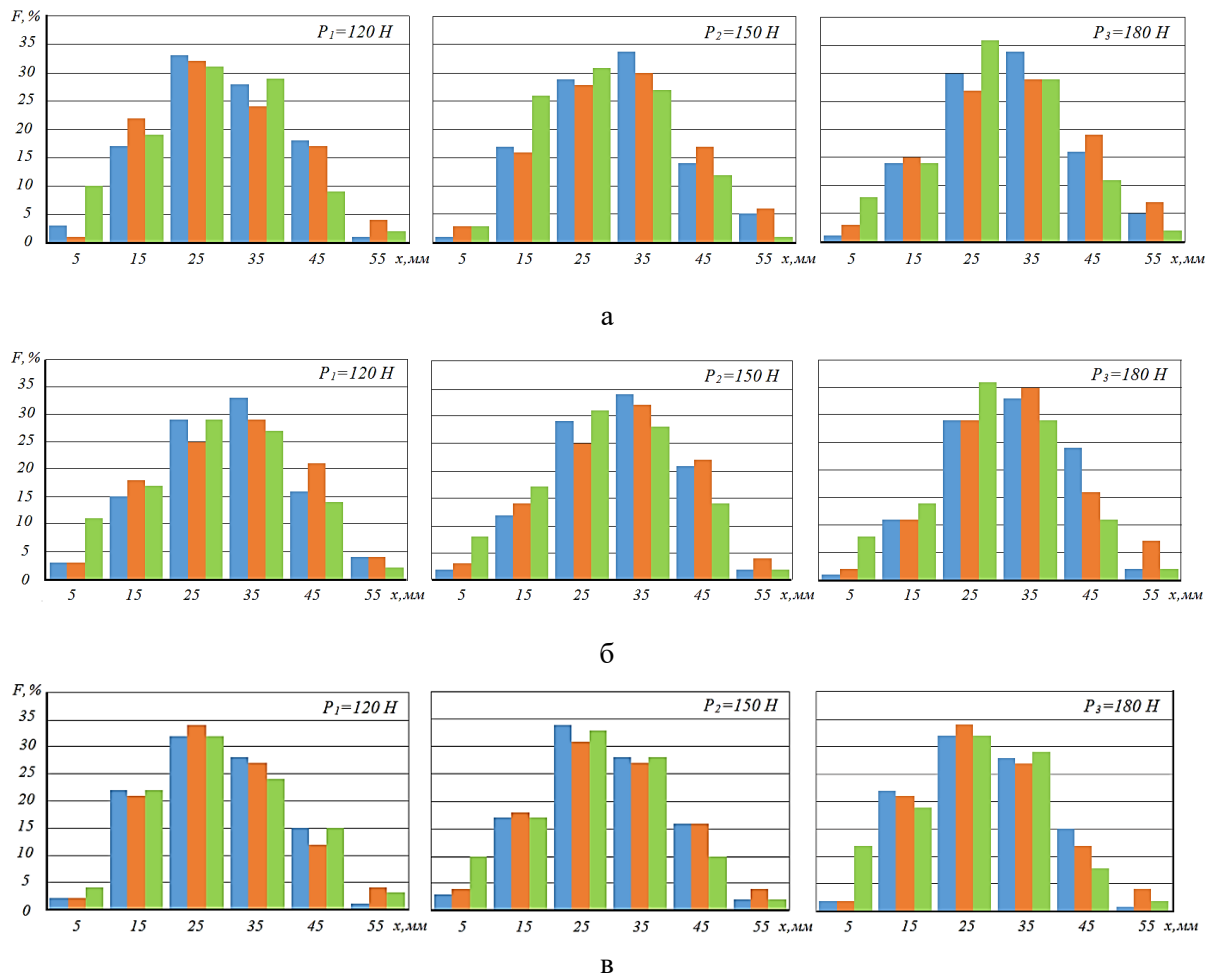


Рис. 2. Розподіл насіння за глибиною заробки в залежності від притискного зусилля сошників на ґрунт та швидкості руху сівалки:

- – сошник дводисковий однорядковий
- – сошник з різновеликими дисками
- – сошник експериментальний з вирізним диском

а – $v_1 = 1,5$ м/с; б – $v_2 = 2,0$ м/с; в – $v_3 = 2,5$ м/с

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що за швидкості руху сівалки $v_1 = 1,5$ м/с (рис. 2, а) збільшення притискного зусилля сошників з 120 до 180 Н істотно впливає на характер розподілу насіння у ґрунтовому шарі. Зокрема, кількість насіння, розміщеного у шарі ґрунту завглибшки 31...50 мм, для експериментального сошника зросла на 4 %, для сошника з різновеликими дисками - на 7 %, тоді як для дводискового однорядкового сошника цей показник збільшився лише на 2 %. Водночас зафіксовано зменшення кількості насіння у верхньому шарі ґрунту 0...20 мм: для дводискового однорядкового сошника - на 7 %, а для сошника з різновеликими дисками та експериментального сошника - на 5 %. Отримані результати свідчать, що зі зростанням притискного зусилля експериментальний сошник і сошник з різновеликими

дисками характеризуються підвищеною стабільністю роботи у вертикальній площині, що забезпечує більш рівномірну глибину заробки насіння.

За швидкості руху сівалки $v_2 = 2,0$ м/с (рис. 2, б) та збільшення притискного зусилля сошників з 120 до 180 Н спостерігається перерозподіл насіння за глибиною заробки. Для всіх досліджуваних сошників зазначена зміна супроводжується зменшенням частки насіння у крайніх ґрунтових горизонтах, однак характер цього перерозподілу суттєво залежить від конструкції сошника. Зокрема, кількість насіння у верхньому шарі ґрунту завглибшки 0...20 мм зменшується для дводискового однорядкового та експериментального сошників на 6 %, тоді як для сошника з різновеликими дисками - на 8 %. У нижньому шарі ґрунту 41...60 мм для дводискового однорядкового сошника зафіксовано зменшення частки насіння на 3 %, для сошника з різновеликими дисками - на 2 %. Водночас для експериментального сошника, на відміну від серійних конструкцій, спостерігається збільшення кількості насіння у зазначеному шарі на 6 %. Отримані результати свідчать, що за швидкості руху 2,0 м/с експериментальний сошник забезпечує більш контрольований характер заробки насіння та стабільність формування посівної борозни за умов підвищеного притискного зусилля, тоді як серійні сошники демонструють тенденцію до зміщення насіння у верхні горизонти ґрунту.

За швидкості руху $v_3 = 2,5$ м/с (рис. 2, в) і зміні притискного зусилля також спостерігається перерозподіл насіння у ґрунтових шарах. У шарі ґрунту 31...50 мм відбувається зменшення кількості насіння для дводискового однорядкового сошника на 4 %, тоді як для сошника з різновеликими дисками та експериментального сошника, навпаки, фіксується збільшення цього показника на 7 %. У діапазоні глибин заробки 21...40 мм дводисковий сошник і сошник з різновеликими дисками забезпечують розміщення від 57 до 61 % насіння, тоді як для експериментального сошника з вирізним диском цей показник є більш стабільним і становить 60...62 %. Отримані результати свідчать про дещо вищу ефективність експериментального сошника порівняно з серійними конструкціями за показником забезпечення заробки насіння у заданому інтервалі глибин.

Узагальнення отриманих даних показує, що як збільшення швидкості руху сівалки, так і зміна притискного зусилля сошників істотно впливають на рівномірність заробки насіння незалежно від типу сошника.

Аналіз даних таблиці 1 свідчить, що для експериментального сошника стандартне відхилення глибини заробки насіння перебуває в межах 10,4...11,4 мм, що характеризує достатньо стабільний процес заробки на задану глибину. Для дводискового однорядкового сошника значення стандартного відхилення змінюються у межах 10,9...12,6 мм, а для сошника з різновеликими дисками - 11,3...12,3 мм, що свідчить на збільшення відхиленнями глибини заробки насіння порівняно з експериментальним сошником.

По рівномірності заробки насіння по глибині, перевагу має експериментальний сошник з вирізним диском. Для серійних сошників коефіцієнт варіації коливається від 35,2 % до 46,5 %, що свідчить про більшу нерівномірність глибини заробки насіння. Коефіцієнт варіації для експериментального сошника становить від 32,1 % до 37,8 %, що вказує на більш рівномірну заробку насіння, причому найкращий показник по рівномірності досягається при швидкості 2,0 м/с та притискному зусиллі 180 Н.

Дослідження показало, що за рівних умов (однакова швидкість та однаковий тиск на сошники) експериментальний сошник та сошник з різновеликими дисками забезпечують заробку насіння на більшу глибину порівняно з дводисковим однорядковим. Різниця в глибині заробки між сошниками становить від 2,6 мм до 4,7 мм. Встановлено, що зі збільшенням швидкості руху різниця глибини заробки насіння

зростає. Це досягається за рахунок кращого заглиблення експериментального сошника у ґрунт, завдяки особливостям конструкції, зокрема використанню диска на сошниках зі збільшеним діаметром і наявністю вирізів на ньому.

Таблиця 1

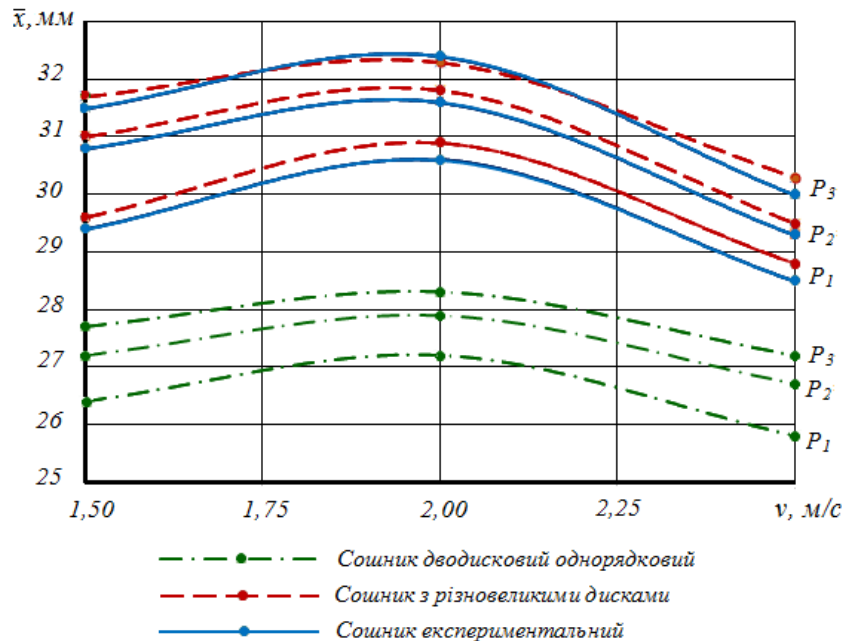
Результати досліджень глибини заробки насіння сошниками

Тип сошника	Швидкість руху v , м/с	Притискне зусилля сошника P , Н	Середня глибина заробки насіння \bar{x} , мм	Стандартне відхилення σ , мм	Коефіцієнт варіації V , %
Сошник дводисковий однорядковий	1,5	120	26,4	11,9	45,1
		150	27,2	10,9	40,0
		180	27,7	11,4	41,3
	2,0	120	27,2	12,6	46,3
		150	27,9	12,0	43,0
		180	27,7	11,4	41,3
	2,5	120	28,3	11,8	41,7
		150	26,7	11,9	44,6
		180	25,8	12,0	46,5
Сошник з різновеликими дисками	1,5	120	29,6	11,6	39,1
		150	31,0	12,1	38,9
		180	31,7	12,3	38,8
	2,0	120	30,9	12,1	39,1
		150	31,8	11,7	36,8
		180	32,3	11,4	35,2
	2,5	120	28,8	11,3	39,1
		150	29,5	11,9	40,4
		180	30,3	12,6	41,5
Сошник експериментальний з вирізним диском	1,5	120	29,4	10,9	37,2
		150	30,8	11,1	36,1
		180	31,5	11,0	34,8
	2,0	120	30,6	11,4	37,3
		150	31,6	10,7	33,7
		180	32,4	10,4	32,1
	2,5	120	28,5	10,8	37,8
		150	29,3	11,0	37,7
		180	30,0	11,2	37,5

На рисунку 3 наведено залежність середньої глибини заробки насіння \bar{x} від швидкості руху сівалки v та притискного зусилля сошників P для трьох типів сошників: дводискового однорядкового, з різновеликими дисками та експериментального з вирізним диском.

Аналіз графіків показує, що для всіх досліджуваних сошників зі збільшенням швидкості руху від 1,5 до 2,0 м/с спостерігається зростання середньої глибини заробки насіння, після чого за подальшого підвищення швидкості до 2,5 м/с глибина заробки помітно зменшується. Це пояснюється тим, що за невеликої швидкості руху сівалки сошники копіюють окремі ґрунтові грудки та не повністю перерізають стебла рослинних решток, унаслідок чого насіння загортається на глибину, меншу за установчу. Із підвищенням швидкості диски сошників ефективніше руйнують ґрунтові грудки та

якісніше перерізають рослинні рештки (особливо це стосується експериментального сошника), що зумовлює збільшення глибини їх ходу і, відповідно, глибини заробки насіння до установчого значення. Максимальні значення середньої глибини заробки \bar{x} для всіх типів сошників досягаються за швидкості 2,0 м/с. Подальше збільшення швидкості призводить до виглиблення сошників унаслідок зростання опору ґрунту.



$P_1=120$ Н; $P_2=150$ Н; $P_3=180$ Н

Рис. 3. Залежність середньої глибини заробки насіння \bar{x} від швидкості руху v та притискового зусилля на сошники P

Підвищення притискового зусилля сошників із 120 Н до 180 Н супроводжується зростанням середньої глибини заробки насіння в усьому досліджуваному діапазоні швидкостей. При цьому для кожного значення швидкості криві, що відповідають більшим значенням притискового зусилля, розташовані вище, що свідчить про безпосередній вплив тиску на сошники на їх заглиблення в ґрунт.

Порівняльний аналіз показує, що експериментальний сошник, порівняно з серійними конструкціями, забезпечує більш стабільну і задану глибину заробки насіння в усьому діапазоні швидкостей руху та притискових зусиль, що підтверджує доцільність його застосування в умовах ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту.

Другий етап експериментальних досліджень було проведено з метою визначення впливу ущільнення посівної борозни на схожість насіння озимої пшениці. Для цього розглянуто два варіанти висіву:

- 1) висів і заробка насіння експериментальним сошником із вирізним диском;
- 2) висів і заробка насіння із використанням того самого сошника, оснащеного прикочувальним котком, який встановлювався позаду сошника та виконував функцію ущільнення ґрунту в зоні висіву (рис. 4).

Для визначення твердості ґрунту в посівних борозенках використовували твердомір, який забезпечував отримання об'єктивних даних щодо щільності ґрунту після проходження сошника. Вимірювання проводили у верхньому шарі ґрунту (0...5 см) із виконанням трьох повторних вимірювань для забезпечення статистичної надійності результатів. Дослідження виконували на середньосуглинковому ґрунті.

За результатами проведених дослідів встановлено залежність твердості ґрунту ρ у посівній борозні від швидкості руху v . Отримані залежності подано у вигляді кривих (рис. 5) для двох варіантів висіву.



Рис. 4. Висів та заробка насіння експериментальним сошником з застосуванням прикочувального котка

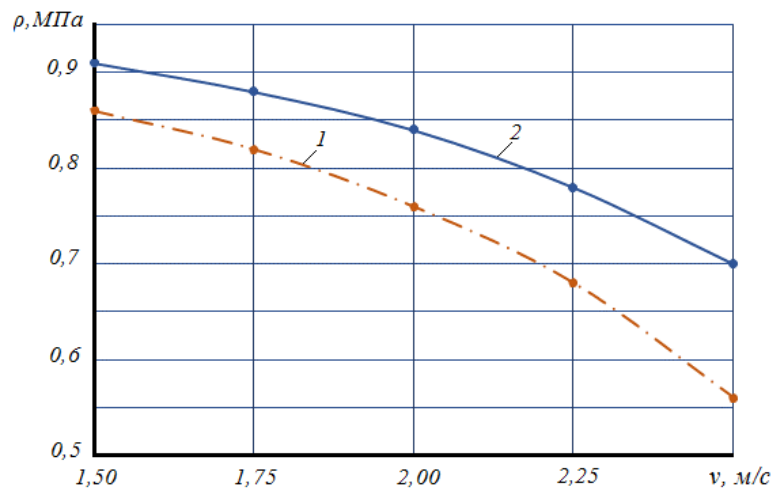


Рис. 5. Залежність твердості ґрунту ρ у посівній борозні від швидкості руху v :
1 – висів та заробка насіння сошником;
2 – висів та заробка насіння сошником з прикочувальним котком

Аналіз отриманих даних (рис. 5) показує, що твердість ґрунту у посівній борозні при використанні сошника з прикочувальним котком є вищою порівняно з варіантом, у якому застосовувався лише сошник. Крім того, у варіанті з прикочуванням зменшення твердості ґрунту зі збільшенням швидкості руху сівалки має більш плавний характер, що свідчить про рівномірніше ущільнення посівного шару та стабільніші умови в зоні розміщення насіння.

Важливим є те, що схожість насіння значною мірою залежить від твердості ґрунту в зоні висіву, оскільки вона визначає щільність контакту насіння з ґрунтом і умови надходження вологи. Результати досліджень показали, що використання експериментального сошника в поєднанні з прикочувальним котком сприяє підвищенню схожості насіння озимої пшениці на 3,6 % порівняно з варіантом, у якому ущільнення борозни не виконувалося. Це підтверджує доцільність застосування локального ущільнення ґрунту для поліпшення умов проростання насіння та підвищення польової схожості.

Висновки

1. Удосконалена конструкція експериментального сошника з вирізним диском більшого діаметра забезпечує ефективніше перерізання рослинних решток, зменшення вертикальних коливань і підвищення якості формування посівної борозни, що є важливою умовою для реалізації ресурсозберігаючої технології Mini-till.

2. Експериментальний дводисковий сошник характеризується підвищеною стабільністю роботи порівняно з дводисковим однорядковим сошником і сошником з різновеликими дисками, що проявляється у меншому впливі до зміни швидкості руху та у забезпеченні розміщення насіння в межах агротехнічно доцільних шарів ґрунту.

3. Встановлено, що зі зростанням швидкості руху сівалки для всіх типів сошників спостерігається тенденція до зменшення середньої глибини заробки насіння, тоді як підвищення притискного зусилля забезпечує її зростання та стабілізацію за різних режимів роботи.

4. Порівняльні дослідження показали, що поєднання експериментального сошника з прикочувальним котком забезпечує підвищення стабільності глибини заробки насіння та сприяє збільшенню польової схожості озимої пшениці.

Список використаних джерел

1. Kumarasinghe U. A review on new technologies in soil erosion management. *Journal of research technology and engineering*. 2021. Vol. 2, Issue 1. P. 120–127.

2. Камінський В.Ф. Наукові основи оптимізації сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур залежно від типу агроформувань. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2017. Вип. 4. С. 3–14.

3. Формування родючості ґрунту в умовах органічного землеробства / В.М. Писаренко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С. 85–91. DOI 10.31210/visnyk2019.03.11

4. Чайка Т.О. Роль мінімального обробітку ґрунту в органічному землеробстві. *Інженерія природокористування*. 2018. № 2 (10). С. 37–44.

5. Циліурик О.І. Система мульчувального обробітку ґрунту в Північному Степу: монографія. Дніпро: Новий Світ – 2000, 2019. 298 с.

6. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур Ю. М. Ефект мінімалізації. *Farmer*. 2015. № 5. С. 24–25.

7. Паштецький В.С. Мінімізація обробітку ґрунту в системі агроекологічного захисту ґрунтів. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 2. С. 74–81.

8. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур М. В. Вплив мінімалізації обробітку ґрунту на вологозабезпечення та продуктивність ячменю ярого в зоні Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 128–134. doi: 10.31210/visnyk2021.01.15.

9. Свидинюк І.М., Шморгун О.В. Реалізація біологічного потенціалу зернових культур за різних технологій вирощування. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. К.: ВД «ЕКМО», 2008. Спецвипуск. С. 49.

10. Лихочвор В.В. Агробіологічні основи формування врожаю озимої пшениці в умовах західного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук. спец. 06.01.09 «рослинництво». Інститут землеробства УААН. К., 2004. 42 с.

11. Зубко В.М. Особливості формування біологічної врожайності озимої пшениці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. К., 2013. Вип. 185, ч. 3. С. 328–334.

12. Огляд конструкцій посівних машин для MINI-TILL та NO-TILL технологій у системах ресурсозберігаючого землеробства / Р.В. Кириченко, Є.В. Лубченко, О.Б. Козій, А.О. Колпаченко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: Науковий журнал. Харків: ДБТУ, 2025. Вип. 26. С. 25–35. <https://doi.org/10.64165/journal-ts.2025.26.25-35>.

13. Improving the efficiency of a sowing technology based on the improved structural parameters for colters / O. Nanka, I. Morozov, V. Morozov, M. Krekot, A. Poliakov, I. Kiralhazi, M. Lohvynenko, K. Sharai, A. Babiy, M. Stashkiv // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2019. - Vol. 4, Issue 1-100. - С. 33-45. - DOI 10.15587/1729-4061.2019.174445.

14. Substantiation of the presence and parameters of seed guides in the openers, which increase the quality of sowing and yield / O. Nanka, I. Morozov, V. Morozov, M. Krekot, A. Poliakov, I. Kiralhazi, M. Lohvynenko, V. Ryndiaiev, S. Dyakonov, M. Stashkiv // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2021. - Vol. 4, № 1-112. - С. 61-75. - DOI 10.15587/1729-4061.2021.239304.

15. Сало В.М., Лузан О.Р. Вибір напрямів вдосконалення сошників сівалок прямого посіву зернових культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград: КНТУ. 2010. Вип. 40. Част. II. С. 271-277.

16. Gorobey V., Adamchuk V., Bulgakov V. Theory of two-disc anchor opener of grain drill. Scientific proceedings i international scientific conference «CONSERVING SOILS AND WATER», 2016. P. 71-73.

17. Гевко Б.М., Павельчук Ю.Ф. Дослідження процесу розподілу насіння зернових культур при підгрунтоворозкидному способі сівби: теоретичний аналіз. Зб. наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Ч. 2. Технічні науки. Кам'янець-Подільський. 2016. Вип. 24. С. 25–32.

18. Грушецький С.М., Кириченко Р.В., Омелянов О.М. Аналіз та перспективи технологічних і конструктивних особливостей посівних машин. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2022. № 2 (117). С. 25-33. doi: 10.37128/2520-6168-2022-2-3.

19. Кириченко Р.В., Бурлака С.А. Шляхи удосконалення конструкцій сівалок для точного землеробства. Вібрації в техніці та технологіях. - 2023. - № 4 (111). С. 37-46. - DOI 10.37128/2306-8744-2023-4-6.

20. Результати польових досліджень дводискових сошників для сівби зернових культур за технологією MINI-TILL / Р.В. Кириченко, Є.В. Лубченко, М.В. Бакум, О.Б. Козій // Науковий вісник Таврійського держ. агротехнол. ун-ту. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. Т. 15, № 2. С. 53–60. DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-5>.

21. He J, Zhang Z Q, Li H W, Wang Q J. Development of small/medium size no-till and minimum-till seeders in Asia: A review. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2014; 7(4): 1-12. DOI:10.3965/j.ijabe.20140704.001.

22. P. Savinych, R.Kurbanov, M. Kuboń, J. Kamionka. Stability of semi-mounted sod seeder motion. Scientific quarterly journal: Agricultural Engineering, 2015. 3 (155). P:101–108. DOI: <http://dx.medra.org/10.14654/ir.2015.155.140>.

23. L. Conceição, P. Barreiro, S. Dias, M. Garrido, C. Valero, J. R. Marques da Silva. A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the Alentejo region, Portugal. Precision Agriculture, 2016. Vol.17. P. 36–52. DOI 10.1007/s11119–015–9405.

24. Пат. 156689 Україна, МПК А01С7/20. Дводисковий сошник для ресурсозберігаючих технологій посіву зернових культур / М.В. Бакум, Р.В. Кириченко, Є.В. Лубченко, О.В. Лубченко, О.І. Завгородній, Т.О. Сичова, А.І. Сичов, М.М. Кречот, О.В. Сіняєва; власник Держ. біотехнол. ун-т. - № u202400597; Заявл. 05.02.2024; Опубл. 24.07.2024, Бюл. № 30. 5 с.

25. СОУ 74.3-37-129:2004 Випробування сільськогосподарської техніки. Машини посівні. Методи випробувань / М. Собчук, В. Погорілий, Л. Шустік та ін. К.: Мінагрополітики України, 2006. 86 с.

References

1. Kumarasinghe U. A review on new technologies in soil erosion management. Journal of research technology and engineering. 2021. Vol. 2, Issue 1. P. 120–127.
2. Kaminsky V.F. Scientific foundations of optimization of modern technologies of growing agricultural crops depending on the type of agricultural formations. Collection of scientific papers of the National Scientific Center "Institute of Agriculture of the NAAS". 2017. Issue 4. P. 3–14.
3. Formation of soil fertility in conditions of organic farming / V.M. Pisarenko et al. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. 2019. No. 3. P. 85–91. DOI 10.31210/visnyk2019.03.11.
4. Chaika T.O. The role of minimum tillage in organic farming. Environmental Engineering. 2018. No. 2 (10). P. 37–44.
5. Tsilyuryk O.I. Mulching soil cultivation system in the Northern Steppe: monograph. Dnipro: Novy Svit – 2000, 2019. 298 p.
6. Gangur V. V., Len O. I., Gangur Yu. M. The effect of minimization. Farmer. 2015. No. 5. P. 24–25.
7. Pashetsky V. S. Minimization of soil cultivation in the system of agroecological soil protection. Bulletin of the Black Sea Region Agricultural Science. 2013. Issue 2. P. 74–81.
8. Gangur V. V., Len O. I., Gangur M. V. The impact of minimization of soil cultivation on moisture supply and productivity of spring barley in the Left-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. 2021. No. 1. P. 128–134. doi: 10.31210/visnyk2021.01.15
9. Svydnyuk I.M., Shmorgun O.V. Realization of the biological potential of grain crops under different cultivation technologies. Collection of scientific works of the NSC "Institute of Agriculture of the Ukrainian Academy of Sciences" Kyiv: Publishing House "EKMO", 2008. Special issue. P. 49.
10. Likhochvor V.V. Agrobiological foundations of winter wheat yield formation in the conditions of the western Forest-Steppe of Ukraine: author's abstract. dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences. Special Sciences 06.01.09 "Plant cultivation". Institute of Agriculture of the Ukrainian Academy of Sciences. Kyiv, 2004. 42 p.
11. Zubko V.M. Features of the formation of biological yield of winter wheat. Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Nature Management of Ukraine. K., 2013. Issue 185, part 3. P. 328–334.
12. Review of the designs of sowing machines for MINI-TILL and NO-TILL technologies in resource-saving farming systems / R.V. Kyrychenko, E.V. Lubchenko, O.B. Koziy, A.O. Kolpachenko // Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes: Scientific journal. Kharkiv: DBTU, 2025. Issue 26. P. 25–35. <https://doi.org/10.64165/journal-ts.2025.26.25-35>.
13. Improving the efficiency of a sowing technology based on the improved structural parameters for colters / O. Nanka, I. Morozov, V. Morozov, M. Krekot, A. Poliakov, I. Kiralhazi, M. Lohvynenko, K. Sharai, A. Babiy, M. Stashkiv // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2019. - Vol. 4, Issue 1-100. - C. 33-45. - DOI 10.15587/1729-4061.2019.174445.
14. Substantiation of the presence and parameters of seed guides in the openers, which increase the quality of sowing and yield / O. Nanka, I. Morozov, V. Morozov, M. Krekot, A. Poliakov, I. Kiralhazi, M. Lohvynenko, V. Ryndiaiev, S. Dyakonov, M. Stashkiv // Eastern-

European Journal of Enterprise Technologies. - 2021. - Vol. 4, № 1-112. - С. 61-75.
- DOI 10.15587/1729-4061.2021.239304.

15. Salo V.M., Luzan O.R. Selection of directions for improving the openers of direct seeding seeders of grain crops. Design, production and operation of agricultural machines. Kirovograd: KNTU. 2010. Issue 40. Part II. P. 271-277.

16. Gorobey V., Adamchuk V., Bulgakov V. Theory of two-disc anchor opener of grain drill. Scientific proceedings i international scientific conference «CONSERVING SOILS AND WATER», 2016. P. 71-73.

17. Gevko B.M., Pavelchuk Yu.F. Research on the process of seed distribution of grain crops with subsoil sowing method: theoretical analysis. Collection of scientific works of Podolsk State Agrarian and Technical University. Part 2. Technical Sciences. Kamianets-Podilskyi. 2016. Issue 24. P. 25–32.

18. Hrushetsky S.M., Kyrychenko R.V., Omelyanov O.M. Analysis and prospects of technological and design features of sowing machines. Technology, energy, transport of the agricultural complex. 2022. No. 2 (117). P. 25-33. doi: 10.37128/2520-6168-2022-2-3

19. Kyrychenko R.V., Burlaka S.A. Ways to improve the designs of seed drills for precision farming. Vibrations in engineering and technologies. - 2023. - No. 4 (111). P. 37-46. - DOI 10.37128/2306-8744-2023-4-6.

20. Results of field studies of double-disk openers for sowing grain crops using MINI-TILL technology / R.V. Kyrychenko, E.V. Lubchenko, M.V. Bakum, O.B. Koziy // Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University. Zaporizhzhia: TSATU, 2025. Vol. 15, No. 2. P. 53–60. DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-5>.

21. He J, Zhang Z Q, Li H W, Wang Q J. Development of small/medium size no-till and minimum-till seeders in Asia: A review. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2014; 7(4): 1-12. DOI:10.3965/j.ijabe.20140704.001.

22. P. Savynych, R.Kurbanov, M. Kuboń, J. Kamionka. Stability of semi-mounted sod seeder motion. Scientific quarterly journal: Agricultural Engineering, 2015. 3 (155). P:101–108. DOI: <http://dx.medra.org/10.14654/ir.2015.155.140>.

23. L. Conceição, P. Barreiro, S. Dias, M. Garrido, C. Valero, J. R. Marques da Silva. A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the Alentejo region, Portugal. Precision Agriculture, 2016. Vol.17. P. 36–52. DOI 10.1007/s11119–015–9405.

24. Pat. 156689 Ukraine, MPK A01C7/20. Double-disk opener for resource-saving technologies of sowing grain crops / M.V. Bakum, R.V. Kyrychenko, E.V. Lubchenko, O.V. Lubchenko, O.I. Zavgorodniy, T.O. Sychova, A.I. Sychov, M.M. Krekot, O.V. Sinyaeva; owner State Biotechnological University - No. u202400597; Appl. 05.02.2024; Publ. 24.07.2024, Bull. No. 30. 5 p.

25. SOU 74.3-37-129:2004 Testing of agricultural machinery. Sowing machines. Test methods / M. Sobchuk, V. Pohoriliy, L. Shustik, etc. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2006. 86 p.

Отримано: 10.04.2026. Прийнято: 21.04.2026. Опубліковано: 15.05.2026.