

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Кусковський Олександр Петрович**

**УДК 631.53.02:631.51**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТРИЧКОВОГО  
ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  
\_\_\_\_\_ Кусковський О.П.

**Керівник роботи**

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2025**

## АНОТАЦІЯ

**Кусковський Олександр Петрович. Обґрунтування технології стрічкового посіву зернових культур. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Проведений аналіз дозволив встановити, що для розсіювання насіння на всю ширину посівної смуги ефективно застосовувати дефлекторний розподільник на соплі насіннепроводу; при цьому налаштування ширини смуги розсіювання слід виконувати шляхом зміни висоти сопла дефлекторного розсіювача згідно з отриманою залежністю, а для ущільнення посівного ложа – використовувати задній кут різання леза диска.

Дослідження роботи сферодискового сошника в умовах ґрунтового каналу дозволило обґрунтувати конструктивні параметри дискового сошника: діаметр диска 0,66 м, кут атаки  $\alpha = 30^\circ$ , кут нахилу  $\beta = 20^\circ$ , кут нахилу розсіювача  $\psi = 50^\circ$ , кут заточування  $\delta = 25^\circ$ , задній кут на рівні дна борозни  $\xi = -1^\circ$ .

Аналіз застосування розробленого ґрунтообробно-посівного комплексу із новими сошниками для смугового посіву показав, що він забезпечує реальне підвищення урожайності порівняно з рядковим посівом за мінімальних і нульових технологій вирощування, а також здатний забезпечувати ефект в посушливі роки.

*Ключові слова: стрічковий посів, сферодисковий сошник, урожайність, зона живлення.*

## ANNOTATION

**Kuskovskyi Oleksandr Petrovych. Justification of the Technology of Strip Sowing of Cereal Crops.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.  
– Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The analysis made it possible to establish that, for distributing seeds across the full width of the sowing strip, it is effective to use a deflector-type distributor mounted on the seed tube nozzle. In this case, the adjustment of the scattering strip width should be performed by changing the height of the deflector nozzle according to the obtained dependence, while the rear cutting angle of the disk blade should be used to compact the seedbed.

The study of the operation of the sphero-disk opener under soil-channel conditions made it possible to substantiate the design parameters of the disk opener: disk diameter 0.66 m, attack angle  $\alpha = 30^\circ$ , inclination angle  $\beta = 20^\circ$ , deflector inclination angle  $\psi = 50^\circ$ , sharpening angle  $\delta = 25^\circ$ , and rear angle at the bottom of the furrow  $\xi = -1^\circ$ .

The analysis of the application of the developed soil-tillage and seeding complex equipped with new openers for strip sowing demonstrated that it provides a real increase in yield compared to row sowing under minimum- and zero-tillage cultivation technologies, and is also capable of ensuring a positive effect in dry years.

*Keywords: strip sowing, sphero-disk opener, yield, feeding zone.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІКИ ДЛЯ СМУГОВОГО ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	9
1.1 Площі живлення за різних способів сівби зернових культур.....	9
1.2. Аналіз конструкцій машин для стрічкової посіву.....	13
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СФЕРОДИСКОВОГО СОШНИКА ДЛЯ СТРІЧКОВОГО ПОСІВУ.....	23
2.1. Сферодисковий сошник для смугового посіву.....	23
2.2 Лабораторні дослідження роботи сферодискового сошника.....	27
2.3 Результати лабораторних досліджень роботи сферодискового сошника.....	35
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СФЕРОДИСКОВИХ СОШНИКІВ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ.....	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Отримання високих і стабільних урожаїв зернових культур є найважливішим завданням сільськогосподарського виробництва. Його виконання потребує розв'язання накопичених машинно-технологічних проблем [3]. Однією з таких досі не вирішених проблем є забезпечення насіння необхідною площею живлення під час посіву.

Рівномірність розподілу насіння за площею живлення є одним з основних факторів якості посіву, що безпосередньо впливають на урожайність [6]. В ідеальному випадку площа живлення рослини повинна мати форму кола без перекриття із сусідніми рослинами. Такий ідеальний розкидний посів виконується без будь-яких міжрядь. Проте на практиці у зерновому виробництві широко застосовується звичайний рядковий посів із міжряддям 15 см, за якого значна частина площі поля недовикористовується, а площі живлення окремих зернівок перекриваються.

Рядковий посів, який прийшов на поля України з Західної Європи понад 100 років тому, залишається незмінним дотепер. Під нього розробляються і посівні машини – рядкові сівалки. Близько 90 % усіх зернових сівалок в Україні – це сівалки, що реалізують саме рядковий посів [4]. Тривале домінування рядкового способу посіву перетворюється на проблему зернового виробництва. Сьогодні наука виявляє підвищений інтерес до смугового (стрічкового) способу посіву зернових культур, який найбільш наближається до ідеального розкидного посіву.

Підвищення урожайності та ефективності вирощування зернових культур потребує переходу до технологій точного та розкидного посіву, а також розроблення відповідних нових робочих органів і засобів механізації. Розробка сівалок нового покоління, здатних забезпечувати рівномірний розподіл насіння за площею живлення, нині стає актуальним завданням для вітчизняної аграрної науки.

Проблемою розкидного висіву є відсутність відповідних робочих органів – сошників. Розроблення таких органів виявилось складним завданням, оскільки потребує зміни усталених уподобань практичного землеробства. Пропонується низка конструкцій лапових сошників для стрічкового (полосного) посіву, у яких під лапою встановлюється так званий розподілювач різної форми, що розбиває струмінь насіння в сторони та створює імітацію розсіювання [1]. Однак вихідні щілини розподілювача мають схильність до забивання, особливо на перезволожених ґрунтах. Набагато стійкішими до забивання виявилися дискові робочі органи, які отримали широке застосування у ґрунтообробних знаряддях, а також у зернових сівалках у вигляді типової дводислової сошникової секції рядкового посіву. Фіксуються спроби застосувати для стрічкового посіву однодискові сошники різних форм: плоскі, конічні та, останнім часом, сферичні диски (сферодиски) [2]. Однак відсутність ефективного розподілювача не дозволяє досягти якісного результату. Нині сферичні диски як робочі органи стали універсальним засобом інтенсивного впливу на ґрунт. Вони широко використовуються на дискаторах, важких боронах, налагоджений їх масовий випуск. Назріла потреба розширити сферу їх застосування як сошників для стрічкового посіву.

Проведений аналіз дозволив виявити проблему: відсутність ефективно працюючого сферодискового сошника, придатного для стрічкового посіву завширшки до 200 мм із забезпеченням насіння необхідними площами живлення.

Мета дослідження: створення умов для підвищення урожайності та рентабельності вирощування зернових культур шляхом оснащення посівного комплексу для стрічкового (полосного) посіву сферодисковими сошниками з забезпеченням насіння необхідними площами живлення.

Робоча гіпотеза: сферодиски можуть успішно виконувати функції сошника під час стрічкового посіву зернових культур, якщо оснастити їх розподільвачем потоку насіння типу дефлектора.

У зв'язку з поставленою метою визначено завдання досліджень:

- провести аналіз стану питання за обраною темою, визначити шляхи розв'язання проблеми технічного забезпечення смугового (стрічкового) посіву зернових із використанням досягнень сучасної агроінженерії;
- обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри сферодискового сошника з дефлекторним розподільвачем, здатного забезпечити підвищення площ живлення насіння;
- розробити й виготовити експериментальну установку та зразки сферодискових сошників із розподільвачем;
- доопрацювати та випробувати посівний комплекс зі сферичними сошниками на базі дискатора, укомплектований сферодисковими сошниками з розподільвачами, здатний здійснювати стрічковий посів за нульовою технологією;
- визначити ефективність упровадження у виробництво посівних комплексів з удосконаленими сферодисковими сошниками.

**Об'єкт досліджень** – процес стрічкового посіву зернових культур.

**Предмет досліджень** – закономірності забезпечення рослин необхідною площею живлення завдяки використанню сферодискового сошника під час стрічкового посіву зернових культур та дослідження процесів борозноутворення і розкидання насіння сферодисковими сошниками з насіннепроводами, оснащеними розподільвачами.

**Методи наукового дослідження.** Експериментальні дослідження виконані з використанням стандартних і розроблених методик із застосуванням методу планування експериментів. Виробничі випробування сівалки зі сферодисковими сошниками для стрічкового посіву проведено відповідно до вимог ДСТУ.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Чередник С., **Кусковський О.**, Грабар І. Способи та засоби механізації знезараження зерна. Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. С. 156-163.

2. Derevyanko D.A., Kinert V.V., **Kuskovsky O.P.**, Parkhomchuk M.P., Razmakhin D.V. Methods Of Mechanized Distribution Of Sown Seeds Across The Sowing Area. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 177-179.

3. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., **Кусковський О.П.**, Пархомчук М.П. Аналіз конструкцій сівалок для просапних культур. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). НУБІП України. URL : <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

**Практичне значення одержаних результатів.** Застосування сферодискових сошників дає змогу об'єднати в одній конструкції дискатор і сівалку та створювати компактні ґрунтообробно-посівні комплекси нового покоління із зниженням питомої металоємності у 2,5 рази порівняно з сучасними аналогами. Розроблені сферодискові сошники використано в конструкції ґрунтообробно-посівного комплексу нового покоління, який здатний здійснювати стрічковий посів зернових культур, підвищуючи врожайність на 20–30% порівняно з рядковим способом посіву.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінки комп'ютерного тексту, містить 27 рисунків та 2 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІКИ ДЛЯ СМУГОВОГО ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

#### 1.1 Площі живлення за різних способів сівби зернових культур

Площа живлення визначається схемою розміщення насіння на полі, яка характеризує певний спосіб сівби. Проведемо аналіз забезпечення площі живлення насіння за різних способів його висіву. Для різних культур і конкретних умов сформувалися різні способи сівби (рис. 1.1).

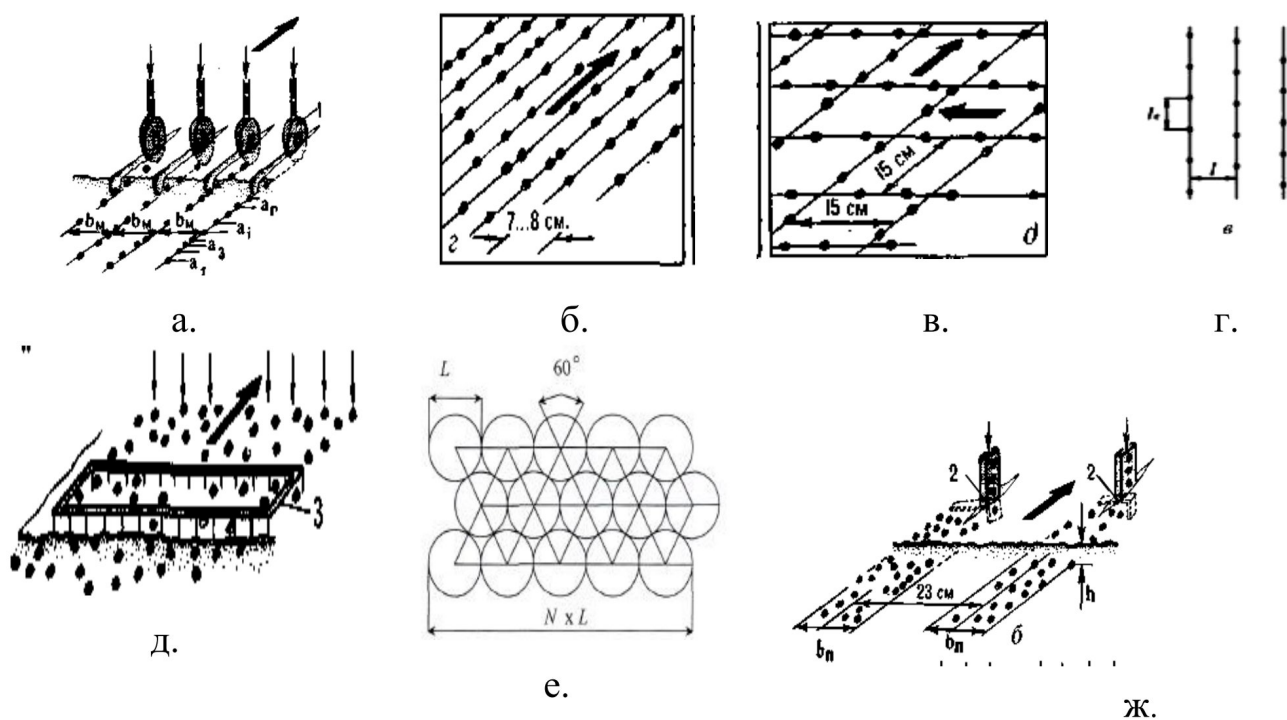


Рис. 1.1. Способи сівби зернових культур: а – рядковий звичайний посів; б – вузькорядний; в – перехресний; г – пунктирний (точний висів); д – розкидний; е – триангуляційний; ж – стрічковий; 1 – сошник; 2 – лапа сошника; 3 – борона;  $a_1 \dots a_n$  – відстань між насінинами в рядках;  $b_m$  – ширина міжрядь;  $b_p$  – ширина смуг;  $h$  – глибина висіву.

Рядковий посів (рис. 1.1, а) є найпоширенішим способом сівби зернових культур. Насіння розміщується рядками, а в самих рядках воно розташовується хаотично, тобто відстань  $a$  між насінинами є непостійною.

Строго наукових обґрунтувань ширини міжрядь  $b_m$  не існує; зазвичай  $b_m = 15$  см.

Рослина змушена пристосовуватися, розвиваючи кореневу систему переважно в напрямку міжрядь, що виснажує її продуктивний потенціал.

Рядовий спосіб намагаються удосконалити, що призвело до появи вузькорядного та перехресного способів сівби [2].

Вузькорядний посів (рис. 1.1, б) виконують із шириною міжрядь 7,5 см за збереження тієї ж площі живлення, що й при рядовому посіві. Він дає змогу краще використовувати міжряддя та зменшує засміченість полів [4].

Перехресний посів (рис. 1.1, в) не набув поширення, оскільки агрегат повинен двічі проходити по полю. Його застосовують під час підсіву та ремонту пошкоджених посівів [8].

Пунктирний посів (рис. 1.1, г) утворюється з рядкового, коли насіння розміщують із постійним кроком. Здебільшого його застосовують під час сівби просапних культур із великою шириною міжрядь. Проте цей спосіб може використовуватися й у системах точного висіву зернових культур. Вважається перспективним засобом підвищення якості сівби та рівномірності площ живлення [3], однак випадкові процеси у довгих насіннепроводах і сошниках сівалок можуть ускладнювати та спотворювати роботу апарата точного висіву.

Для підвищення використання площі поля рядки точного висіву можна зближувати, і в межі, коли відстань  $b_p$  між рядками стане рівною відстані  $a$  між насіннями в рядку, утвориться ідеально розподілений посів (рис. 1.1, д) [5]. Але досягти цього складно через необхідність великої кількості сошників і складність системи керування висівними апаратами.

Наведені вище способи — це різні варіанти рядкового посіву, коли насіння укладається у стрічки (рядки). Отримати розподілений посів можливо розкидними способами. Розрізняють поверхнево-розкидний і підґрунтово-розкидний способи.

Поверхнево-розкидний посів (рис. 1.1, д) є найдавнішим і найпростішим способом. Насіння розкидають по полю та загортають боронуванням. Площі живлення мають випадкові розміри, але площа поля використовується на всі 100%. Розкидний спосіб застосовують під час сівби рису та насіння трав на вологих луках і культурних пасовищах, у тому числі авіаційним методом. Як робочий орган для поверхнево-розкидного посіву зернових культур запропоновано центробіжний дисковий розкидач із подальшим загортанням бороною [1]. Він забезпечує підвищення продуктивності машини у 1,7 раза та низькі енерговитрати. Завдяки кращому використанню площі поля відмічається збільшення врожайності озимої пшениці на 2,4 ц/га. Недолік — низька якість загортання насіння боронуванням; підвищення врожайності на 10–15% нестабільне й незначне, проявляється лише на вологих агрофонах. Через проблеми із загортанням насіння на потрібну глибину поверхнево-розкидний спосіб наразі виглядає малоперспективним. Вирішити проблему загортання розкиданого насіння можливо шляхом їх розкидання під шар ґрунту. У цьому разі утворюється підґрунтово-розкидний спосіб сівби, який можна поділити на безрядковий розподілений та смуговий.

Смуговий спосіб сівби полягає в чергуванні засіяних і незасіяних смуг зернових культур. Лапи 2 сошника (рис. 1.1, ж) загортають насіння у ґрунт на глибину  $h$ , розподіляючи його смугами шириною  $b_p$ . Насіння в смузі розміщується хаотично. Порівняно з рядковим, смуговий посів дає змогу розмістити насіння з більшою площею живлення, а відтак – підвищити врожайність вирощуваної культури [3, 6, 8]. Смуговий посів уже давно привертає увагу дослідників і пройшов тривалу апробацію [2]. Використання площі поля в цьому разі становило близько 50 %, проте проривних результатів він не дав.

Смуговий спосіб, через наявність проміжків між смугами, не забезпечує повного використання площі поля. Збільшуючи ширину смуг до  $b_p = b_r$ ,

отримуємо суцільний розподілений посів. Поверхня поля використовується на 100 %, однак такі посіви схильні до вилягання під дією вітру [8].

У результаті агрономічна наука в забезпеченні насіння площами живлення має дві крайнощі:

а) рядковий посів із загушеннями та конкуренцією у рядках за вільний простір;

б) безрядковий ідеально розподілений посів, що рівномірно розподіляє насіння по полю із достатньою площею живлення, але без вільного простору та конкуренції.

Щоб надати перевагу певному напрямку сівби, слід враховувати ступінь механізації кожного з них. Рядковий посів із загушеннями, завдяки тривалому періоду розвитку, добре механізований. Розподілений посів поки що не має достатньо відпрацьованих технічних засобів.

У сформованій ситуації раціонально прийняти компромісне рішення — смуговий посів. Він полягає у розкидному висіві лише в межах смуги, без внутрішньовидової конкуренції, а між смугами залишається необхідна вільна зона з достатнім освітленням. Незалежно від нових рішень, смуговий посів, як і будь-який інший, має відповідати загальним агротехнічним вимогам [5, 4, 9, 13]. Зауважимо, що смуговий посів добре поєднується з ресурсозберігаючими технологіями аж до нульових. У посушливих районах України, де передпосівний обробіток ґрунту неможливий, прями́й посів, посів з мінімальним обробітком, посів по вологозберігальному мульчувальному шару цілком сумісні зі смуговим способом сівби. У ерозійно небезпечних районах та зонах ризикованого землеробства (Степ України) смуговий посів по незібраному стерньовому фоні виявився ефективним [1, 5, 9, 11].

Аналіз усіх способів сівби показує, що одним із найперспективніших методів сівби зернових культур з точки зору врожайності є смуговий посів.

## 1.2. Аналіз конструкцій машин для стрічковго посіву

Сучасні зернові сівалки використовують різноманітні типи робочих органів і відрізняються конструктивним виконанням та агрегуванням. Найпоширенішими є рядкові зернові сівалки з індивідуальним механічним дозуванням насіння та подаванням його до сошників через насіннепроводи під дією сили тяжіння.

Нині базовою машиною є причіпна зернотукова сівалка СЗ-3,6А [3, 4, 5]. За аналогічною схемою побудовані й інші сівалки вітчизняного виробництва: СЗП-3,6; СЗУ-12; СЗТ-3,6 та ін. [5]. Більшість зернових сівалок в Україні виготовляються з дводисковим висівним апаратом, який краще працює на полях із неоднорідним агрофоном. Однак вести стрічковий (смуговий) посів така сівалка не може.

Основні інновації в зернових сівалках розвиваються шляхом модернізації висівних апаратів. На зміну механічним сівалкам прийшли пневматичні сівалки з центральним висівним апаратом і пневматичним розподільником (ЦВС). У механічних сівалках замість катушкового висівного апарата почали застосовувати центробіжні висівні апарати: «Стокланд» (Швеція), «Джоунз» (Англія).

Як приклад (рис. 1.2) показано сівалку «Аккорд» (Німеччина) з пневматичним розподільником. Аналіз свідчить, що, незважаючи на очевидний прогрес у вдосконаленні висівних апаратів, у зернових сівалках відсутній розвиток конструкцій сошників: сошники залишаються незмінно анкерними або килеподібними, які потребують вирівняного староорного поля. Анкерні сошники мають менший тяговий опір, але не ущільнюють дно борозни; килеподібні ущільнюють дно борозни та є більш стійкими, проте вирізняються підвищеним тяговим опором. Сошники формують вузьку борозенку, придатну лише для стрічкового рядкового посіву. Здійснювати смуговий посів вони принципово не можуть.

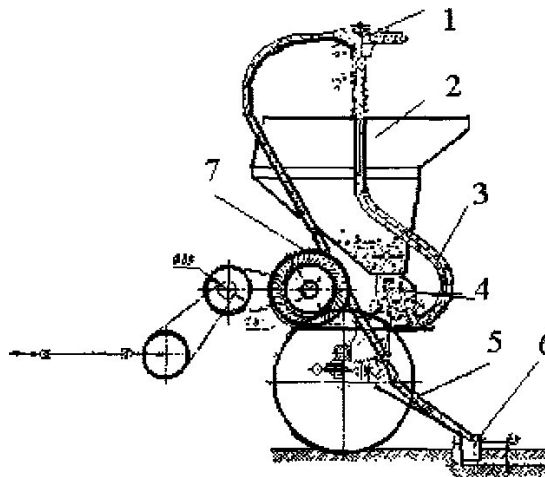


Рис. 1.2. Схема сівалки «Аккорд»: 1 – розподільча головка; 2 – бункер; 3 – центральний насіннепровід; 4 – висівна котушка; 5 – насіннепровід; 6 – сошник; 7 – вентилятор

Використання в окремих випадках додаткових пристроїв для безрядкового суцільного висіву без виражених рядків або стрічок загальної картини не змінює.

Поставлене на перший план завдання ресурсозбереження вимагало створення більш продуктивної посівної техніки, яка поєднує кілька операцій. Масове впровадження мінімальної обробки ґрунту призвело до появи комбінованих машин — посівних комплексів, що поєднують ґрунтообробіток, сівбу та підживлення. Вони дають змогу здійснювати висів у вологий, щойно розпушений ґрунт, усуваючи шкідливий розрив між обробкою ґрунту та сівбою.

Дослідження свідчать, що комбінування функцій машин сьогодні досягається трьома способами компонування [8]:

- об'єднанням кількох автономних (за ходовою частиною) машин у складений агрегат;
- об'єднанням кількох робочих органів на єдиній рамі машини;
- застосуванням на машині універсальних робочих органів, що одночасно виконують кілька операцій.

Найекономічнішим і найкомпактнішим є третій шлях, однак розроблення універсальних робочих органів – складне наукове завдання. На практиці для комбінування найчастіше використовують найбільш очевидний перший спосіб.

Найповніше поєднання операцій забезпечує суміщення основного, передпосівного обробітку та сівби: плуг з'єднують із сівалкою. Комбінований агрегат фірми Kverneland складається з оборотного плуга та пневматичної сівалки типу «Аккорд». Особливістю конструювання агрегату є те, що сівалка розташована збоку оборотного плуга. Використання пневмотранспорту дозволило розмістити важкий бункер для насіння на передній навісці трактора. Килеподібні сошники сівалки працюють по щойно зораному полю без якісного передпосівного обробітку. Подрібнення брил, отриманих під час оранки, та вирівнювання поверхні поля не забезпечуються, тому стійкість ходу сошників і рівномірність глибини сівби залишають бажати кращого.

Суміщення основного, передпосівного обробітку та сівби поки що технічно не опрацьовується через згортання енергоємної оранки. Відмова від основного обробітку спростила завдання зі створення комбінованої посівної техніки. Широкого поширення набули роздільно-агрегатні (модульні) сівалки, які називаються посівними комплексами [1]. Вони виконують передпосівний обробіток і сівбу з внесенням добрив, уникаючи оранки.

Багато зарубіжних фірм виготовляють посівні комплекси, до складу яких, як правило, входять: сівалка-культиватор з лаповими сошниками, бункер з дозувальними апаратами, встановлений на спеціальному візку, пневмотранспортна система з розподільниками потоку, з'єднана насіннепроводами із сошниками, прикочувальні робочі органи.

Для висіву застосовується лаповий сошник. Особливості конструювання: рама культиватора трисекційна, складена; бункер для насіння причеплений ззаду на візку; дві ЦВС з двоступеневим розподілом; прикочувальна система з пневматичних коліс та задньої опори культиватора.

Для підвищення продуктивності ґрунтообробно-посівні комплекси роблять широкозахватними (до 18 м), а місткість бункера намагаються збільшити до 0,5 м<sup>3</sup> на метр захвату, щоб зменшити кількість зупинок для заправки та виключити заправку в межах гону.

Розміщення важкого насінневого бункера виявилось проблемою компонування комплексів. Зазвичай використовують один бункер для насіння і добрив. Але можливості пневмосистем дозволяють створювати і складніші комплекси. Наприклад, фірма Horsch будує ґрунтообробно-посівний комплекс із двома причіпними бункерами: для насіння і для добрив. У результаті утворюється цілий автопоїзд – погано керований «мастодонт». Маса та металомісткість агрегату збільшуються до величин, згубних для родючості полів. Широкі шини потужних машин хоч і зменшують руйнування поверхневих шарів, але не здатні запобігти ущільненню глибинних горизонтів ґрунту до 1,5...2,0 м. Гігантизм створює нові проблеми.

Тому більшість посівних комплексів мають ширину близько 8 м. Приклад – посівний комплекс «Агромастер 8500» (рис. 1.3), який має два бункери на одній тележці та плоскорізні лапові сошники.

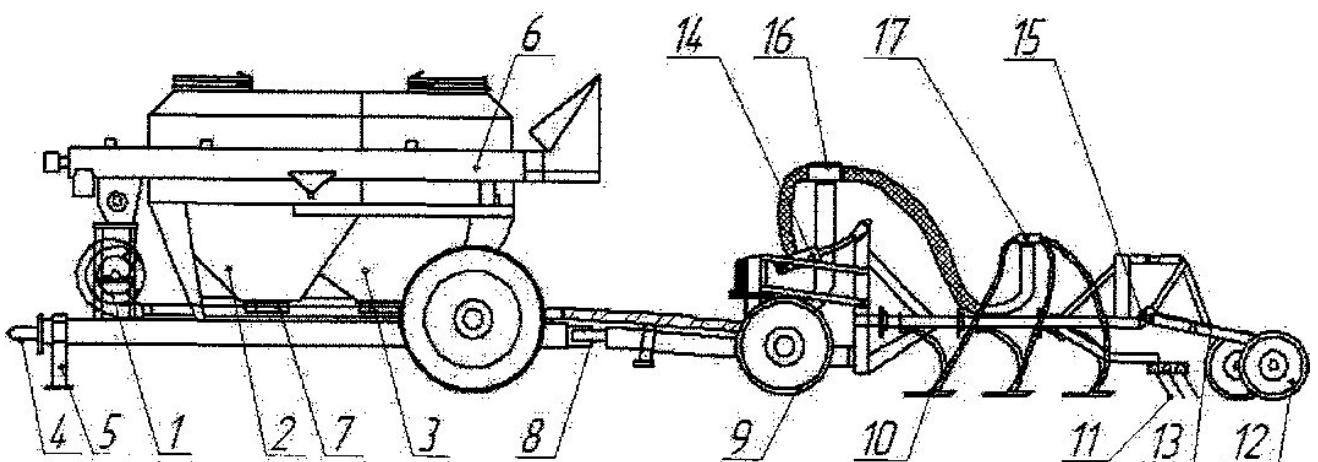


Рис. 1.3. Посівний комплекс «Агромастер 8500»: 1 – двигун із вентилятором; 2 – бункер зерна; 3 – бункер добрив; 4, 8 – дишло; 5 – передня опора; 6 – завантажувальний шнек; 7 – дозувальний апарат; 9 – опорне колесо; 10 – сошник; 11 – борона; 12 – опорно-прикочувальні колеса; 13 – балансирна підвіска; 14, 15 – підйомні гідроциліндри; 16 – головний розподільник; 17 – вторинний розподільник

Застосування лапових сошників на посівних комплексах дає змогу їм претендувати на виконання смугового посіву. Прикладом можуть слугувати

стерньові сівалки-культиватори SALFORD (Канада), призначені для ґрунтозахисного землеробства (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Канадська стерньова сівалка-культиватор SALFORD у задньопрічпному варіанті.

Особливістю компонування агрегату є те, що двосекційний бункер може бути передньопрічпним або задньопрічпним, тобто розташовуватися попереду або позаду ґрунтообробної машини.

Сівба на глибину від 5 до 15 см може виконуватися з використанням різних варіантів взаємозамінних сошників.

Після обробітку поля культиватором на поверхні ґрунту залишається шар мульчі, що запобігає ерозії, замуленню ґрунту та випаровуванню вологи.

Продуктивність 12-метрового посівного комплексу становить 12...14 га/год. Лапові сошники для широкосмугового посіву виявилися енергоємними, травмують поверхневий шар і схильні до забивання. Тому спостерігається тенденція заміни лапових сошників у посівних комплексах на дискові.

Дискові робочі органи для підготовки ґрунту та для сівби використовує американський ґрунтообробно-посівний комплекс Great Plains NTA 3510 (рис. 1.5).

Багатомашинні причіпні ґрунтообробно-посівні комплекси шириною захвату 3, 4, 6 м, складені з дискатора, візка з бункером, за якими розташовані два ряди однодискових сошників, каток із шипами та ряд пружинних зубців, випускає австрійська фірма Pöttinger.



Рис. 1.5. Ґрунтообробно-посівний комплекс Great Plains NTA 3510 (США)

Зменшення багатомашинності складених комплексів є актуальною темою. Привертає увагу компонування агрегату за схемою з передньою навіскою трактора, що зменшує кількість машин у комплексі. Основними перевагами такої схеми є рівномірне навантаження осей трактора, краща маневровість, стійкість і керованість, менша ширина поворотної смуги та зниження ущільнення ґрунту завдяки рівномірнішому розподілу маси агрегату по колесах трактора. Співвідношення навантаження на задні та передні колеса трактора 3/7 стає близьким до оптимального. Також зменшується перекидаючий момент.

Комбіновані агрегати з передньою навіскою знайшли застосування в низці європейських країн, у США та Канаді. Недолік — ускладнення керованості трактора та візуального контролю тракториста за дорогою. Більш зручним способом зниження багатомашинності посівних комплексів стало розміщення бункера на рамі ґрунтообробного знаряддя та перехід до другого способу компонування. Такий підхід застосовують фірми Kverneland, Väderstad, Horsch та ін.

Приклад – європейська напівпричіпна сівалка з центральною дозувальною системою DMC Primega 602. Її компонування дає змогу збільшити ширину захвату агрегату порівняно з навісними сівалками, але у порівнянні зі складеними агрегатами ширина зменшується до 3...6 м.

Справжнє ресурсозбереження вимагає розроблення посівних комплексів, малогабаритних та енергозберігаючих. Поступово утверджується третій шлях компоновання посівних комплексів, коли комбінованість забезпечує єдиний робочий орган.

Компоновання посівних комплексів за третім способом знайшло застосування у стерньових сівалках, що використовуються в посушливих умовах або на ґрунтах, схильних до вітрової ерозії.

Прикладом може слугувати стерньова сівалка-культиватор СЗС-2,1 [4]. Сівалка-культиватор СЗС-2,1 (рис. 1.6) за один прохід розпушує ґрунт, висіває насіння разом із мінеральними добривами та прикочує ґрунт у рядках.

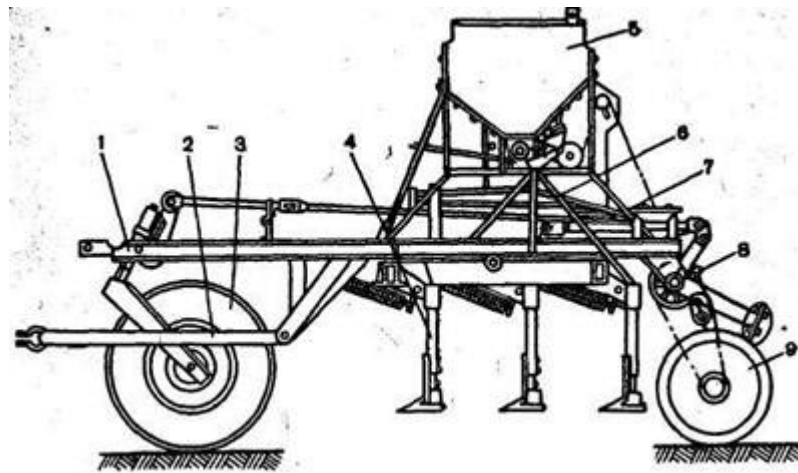


Рис. 1.6. Схема сівалки-культиватора СЗС-2,1: 1 – рама; 2 – причіпний пристрій; 3 – опорне колесо; 4 – сошник; 5 – зернотуковий ящик; 6 – насіннєпроводи; 7 – механізм підйому; 8 – механізм приводу; 9 – прикочувальний коток.

На сівалці використовують два типи сошників: плоскорізальні лапи з пристроєм для висіву насіння та наральник. На стерньових агрофонах застосовують плоскорізальні сошники-лапи, а на попередньо обробленому полі – наральники. Сошники встановлені на трубчастих стояках, шарнірно підвішених до балок рами. На стояку є дві амортизаційні пружини, що запобігають його поломці під час наїзду на перешкоду. Внаслідок нерівномірного опору ґрунту пружини створюють вібрацію сошників, що сприяє їх самоочищенню. Трубчаста

стойка сошника з'єднана насіннепроводом із зерновисівними та туковисівними апаратами. Висівні апарати – котушкового типу, з приводом від прикочувальних котків ланцюговою передачею, обладнаною механізмом роз'єднувача для вимкнення та вмикання приводу. Кероване гідромеханізмом за висотою самоустановлюючеся колесо забезпечує переведення сівалки з робочого у транспортне положення і навпаки, а також регулювання глибини ходу сошників. Подібні сівалки для вирощування зернових за енергозберігаючою технологією виготовляються і за кордоном.

У процесі пошуку робочого органа для комбінованих знарядь, який виконує кілька операцій обробітку ґрунту та сівби, останнім часом звертають увагу на дискаторні сферичні диски.

Автор роботи [3] застосував їх у пневматичній сівалці з V-подібною рамою та сошником зі сферичним і плоским дисками, який установлений вертикально. Плоский диск, що йде за сферичним, закриває борозну та вирівнює гребенистість.

Переваги такої компоновки: V-подібне розташування сошників урівноважує бокові сили та підвищує стійкість руху машини; забезпечує регулювання кута атаки диска; має загортач борозни для кожного сошника. Урожайність пшениці, висіяної за нульовою технологією, становила 26,5 ц/га, що на 10,4 % більше, ніж урожайність на контрольних ділянках (при сівбі серійною сівалкою).

Недоліки компоновки: велика довжина, яка призведе до нерівномірності ходу рядів сошників при коливаннях рами на нерівному полі; наявність додаткового плоского диска за кожним сферичним; малий кут атаки сферодискового сошника  $\alpha = 10^\circ$ , що робить борозну вузькою; подавання насіння в борозну шляхом простого висипання з насіннепроводу; відсутність розподільника насіння по ширині борозни. У підсумку така сівалка не здатна здійснювати смуговий посів, а лише рядковий.

Комплекси здатні забезпечувати будь-яку агротехнологію: класичну – як сівалка, культиватор, дискатор; mini-till – як сівалка, дискатор, культиватор; no-till – як сівалка прямого висіву, як зернових, так і просапних культур; strip-till – смугова обробка ґрунту по гребенях.

Наведений матеріал щодо розвитку посівних комплексів показує, що для ефективного ресурсозбереження вони є надмірно затратними: гігантоманія, велика металоємність, енергоспоживання, витрати пального, габарити, транспортування — суцільні проблеми. Справжнє ресурсозбереження вимагає розроблення малогабаритних, енергозберігаючих посівних комплексів. І такий шлях уже поступово прокладається. Розробляються комплекси, у яких комбінованість забезпечує єдиний робочий орган. Таким робочим органом виявився сферичний сошник.

У цьому контексті оснащення сферодискового сошника ефективним розподільником потоку насіння відкриє шлях до створення одномашинного компактного посівного комплексу для смугової сівби на базі звичайного дискатора.

### **Висновки по розділу**

Широко розповсюджений рядковий посів із фіксованою шириною міжрядь вичерпав свої можливості та вже не здатний забезпечити насінню необхідну площу живлення. Він схильний до загущення у рядках, що призводить до перевитрати насіннєвого матеріалу, порушень у розвитку кореневої системи рослин і зниження врожайності.

Смуговий спосіб забезпечує більшу площу живлення рослини та створює умови для підвищення врожайності. Для ресурсозбереження процесів вирощування зернових культур необхідні посівні комплекси, які за один прохід виконують і підготовку ґрунту, і посів. Вони відрізняються найбільшою

продуктивністю, але водночас мають велику металоємність, значні габарити та високі енергозатрати.

Для зниження витрат перспективними є одномашинні посівні комплекси з універсальним робочим органом, здатним за один прохід виконувати операції підготовки ґрунту та сівби. Існуючі комплекси здебільшого здійснюють рядковий посів і не можуть якісно проводити смуговий посів через відсутність відповідних сошників.

Сошники, що використовуються нині для стрічкового посіву – лапові з підлаповим розподільником та дискові (плоскі, конічні й сферичні) – поки що є недосконалими. Лапові сошники мають схильність до забивання та високу енергоємність, дискові – не мають якісного розподільника-розкидача насіння по ширині борозни.

У дискових сошниках доцільно застосовувати сферичні диски, які добре зарекомендували себе в дискаторах і дискових боронах. Сферодиск може успішно виконувати функції сошника при стрічковому посіві зернових з рівномірним розподілом насіння по площах живлення, якщо оснастити його розкидачем насіння по ширині борозни. Таке рішення – використання сферичного диска — має значні резерви та хороші перспективи.

## РОЗДІЛ 2

### ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СФЕРОДИСКОВОГО СОШНИКА ДЛЯ СТРІЧКОВОГО ПОСІВУ

#### 2.1. Сферодисковий сошник для смугового посіву

Як встановлено у першому розділі, смугова сівба зернових культур розглядається як вигідна альтернатива нині домінуючому рядковому способу, проте поки що не може виконуватися існуючими сошниками.

Для смугової сівби зернових культур потрібен новий сошник, який має відповідати таким агротехнічним вимогам: сошник повинен розподіляти насіння смугою шириною до 200 мм і глибиною загортання 3–6 мм; сошник повинен працювати на неокультурених агрофонах; конструкція повинна складатися з надійних і перевірених технічних рішень; конструкція повинна бути придатною для масового виробництва; конструкція повинна бути простою в регулюваннях і обслуговуванні.

Створення нового виробу з типових деталей старої конструкції містить елементи технічної суперечності. Розв'язання таких задач здійснюється евристичними методами. Застосування евристичних підходів дозволило розробити удосконалену конструкцію сошника, яка відповідає всім суперечливим вимогам.

Пропонується створювати конструкцію сошника на базі сферичного диска дискатора, що добре зарекомендував себе в сучасному ґрунтообробітку. Сферодиски сьогодні масово виготовляються у різних типорозмірах, а технологія їх виробництва доведена до високої надійності.

Інновацією конструкції є додавання дефлекторного розподільника для смугового розкидання насіння. Дефлекторний розкидач – це перевірене технічне

рішення, яке ефективно використовується у розкидачах добрив і в обприскувачах.

На рис. 2.1 подано 3D-креслення нового сошника, що отримав назву сферодисковий.

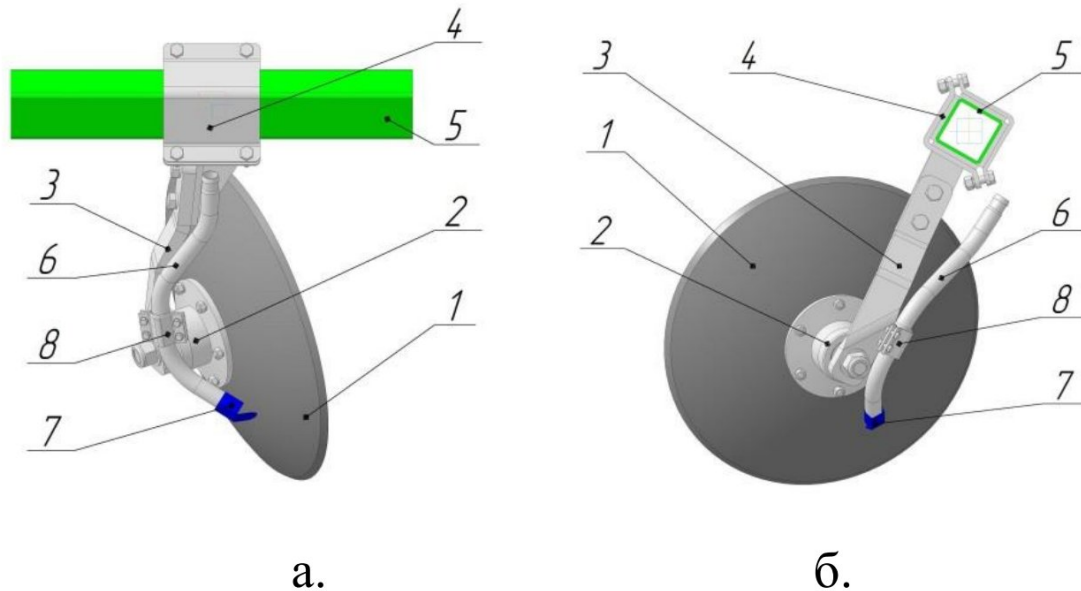


Рис. 2.1. Сферодисковий сошник для смугової сівби: а – вигляд спереду; б – вигляд збоку; 1 – сферичний диск; 2 – підшипник; 3 – стояк; 4 – підрезинений кронштейн; 5 – рама; 6 – насіннепровід; 7 – розподільник; 8 – кріплення насіннепроводу.

Сферодисковий сошник складається з косо встановленого сферичного диска 1 від дискатора, який монтується на підшипнику 2 на стояку 3 за класом Ж (кут атаки  $\alpha$  і кут нахилу  $\beta$  не дорівнюють нулю). Стояк 3 кріпиться до бруса рами 5 кронштейном 4 з хомутом через гумові прокладки. На стояку за допомогою затискачів 8 закріплюється насіннепровід, виготовлений з гофрованої трубки. І найголовніше – на виході насіннепроводу закріплено дефлекторний розподільник 7.

У цілому конструкція проста, складається з 7 деталей та вузлів. Вона є максимально уніфікованою: із 7 елементів 4 уніфіковано з дискатором — сам диск, підшипниковий вузол, стояк, кронштейн. Стандартним є також гофрований насіннепровід 6.

Технологічний процес сівби таким сошником (рис. 2.2) здійснюється таким чином:

1. Перед початком роботи рама сівалки опускається та встановлюється глибина занурення кромки диска в ґрунт, що відповідає глибині загортання насіння.

2. Під час руху сівалки її рама 5 рухається горизонтально, а сферичний диск 3 обертається. Гострою кромкою він вирізає з ґрунту пласт, розпушує його та зміщує убік, утворюючи досить широку борозенку. Насіння з насіннепроводу падає на розподільник 7 типу дефлектора, відскакує від нього та розсіюється на ширину борозни, доки вона залишається відкритою.

3. Після розсіювання частина ґрунту зі сферичного диска осипається та починає закривати висіяне насіння — таким чином виконується первинне загортання.

4. Остаточне закриття борозни здійснюється розташованими позаду прикочувачами, які ущільнюють ґрунт над насінням.

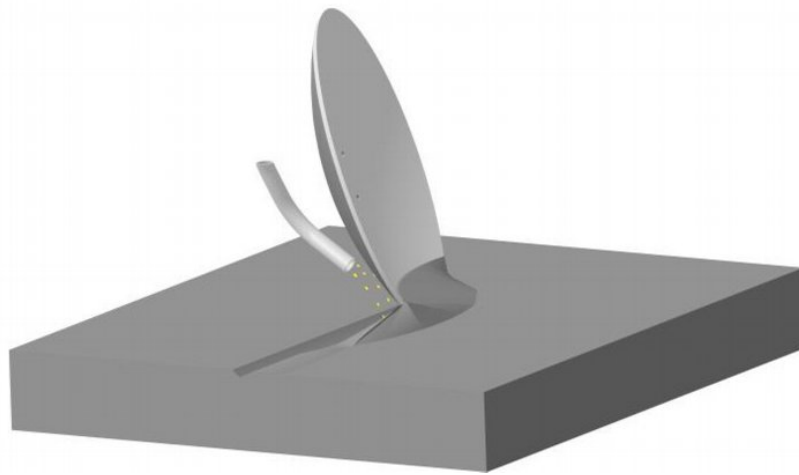


Рис. 2.2. Технологічна схема роботи сферодискового сошника

Увесь процес поділяється на низку етапів — фаз, що відрізняються за природою явищ, які відбуваються. Головними з них є: утворення борозенки та валка; засипання насіння у відкриту борозенку; закриття борозенки осипанням валка; рух зерна по насіннепроводу та його відскок від дефлектора-розподільника.

У табл. 2.1 наведено перелік технологічних етапів під час роботи запропонованого сошника.

Таблиця 2.1 – Технологічні етапи роботи смугової сівби дисковим сошником

Найменування операції	Виконавчий елемент
1. Формування борозенки	Передня поверхня косо встановленого диска
2. Ущільнення посівного ложа	Задня поверхня косо встановленого диска
3. Підрізання рослинних решток	Лезо сферичного диска
4. Бічне переміщення ґрунту з утворенням бокового валка	Передня поверхня косо встановленого диска
5. Розподіл насіння на ширину смуги	Розсіювач
6. Загортання ґрунтом, вирівнювання	Осіпання бокового валка в борозну

Через наявність розкидача на полі утворюються смуги висіяного насіння. Розсіюванню в боки тут нічого не перешкоджає, як це відбувається у дводискових сошниках. Ширина розсіву виходить значно більшою, ніж при рядковому способі сівби. Для нормального ходу висіву на всю ширину борозни необхідно виконати умову: насіння повинно падати на ґрунт у той момент, коли борозна ще залишається відкритою. Це потребує налаштування положення сопла насіннепроводу відносно диска; його розташування стає важливим параметром сошника.

Сформуємо систему параметрів сошника, що впливають на процес широкосмугової сівби. Звернімося до креслень сошника (рис. 2.3). Як видно з рисунка, система параметрів сошника, що є значущими для якості його роботи, повинна включати параметри диска, насіннепроводу, розподільника та їх взаємне розташування (орієнтацію).

Агротехнічні вимоги, що висувуються до сферодискового сошника:

1. Для забезпечення капілярного підняття вологи до насіння дно борозни повинно бути ущільненим.

2. Вологі нижні шари ґрунту не повинні вивертатися на поверхню.
3. Траєкторія польоту насіння з розсіювача повинна відповідати розмірам посівного ложа.

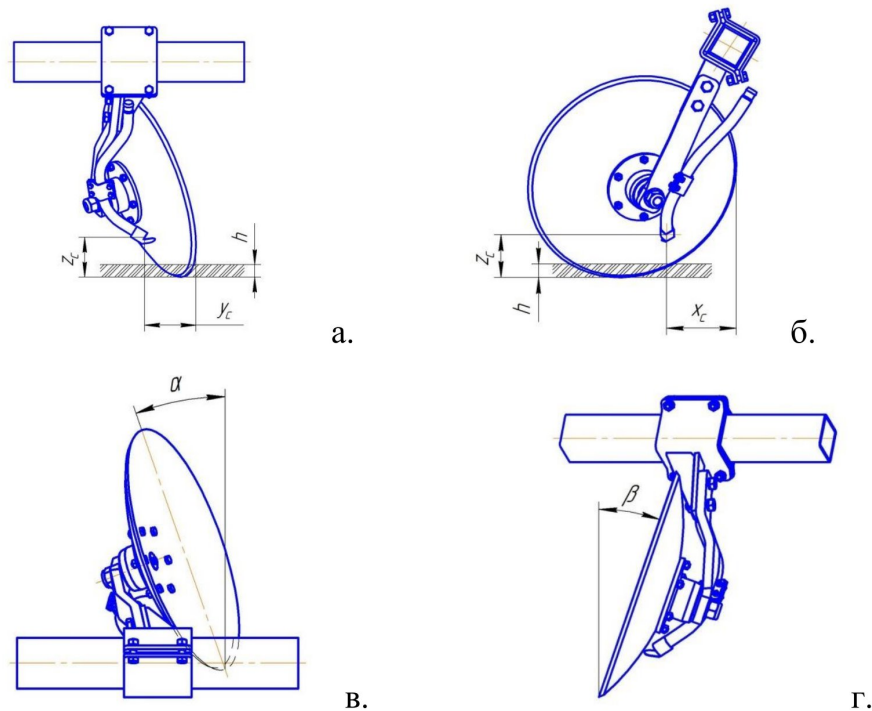


Рис. 2.3. Проекції сферодискового сошника: а – вигляд ззаду по осі  $Y$ ; б – вигляд збоку по осі  $X$ ; в – вигляд зверху по осі  $Z$  ( $\alpha$  — кут атаки); г – вигляд у площині диска ( $\beta$  – кут нахилу).

## 2.2 Лабораторні дослідження роботи сферодискового сошника

Для проведення досліджень за швидкісною факторною моделлю використовувався комплекс обладнання в ґрунтовому каналі. Загальний вигляд комплексу обладнання наведено на рис. 2.4.

Ґрунтовий канал являє собою прямокутне ложе довжиною 45 м, шириною 2,1 м і глибиною 1,5 м, розташоване нижче рівня підлоги, яке заповнене ґрунтом типу приазовського чорнозему. Ґрунтовий масив у каналі відповідає умовам 6-ї ґрунтово-кліматичної зони.

Комплекс технологічного обладнання включає: тяговий візок із розпушувальним пристроєм, канатну тягу, барабанну приводну станцію з

електродвигуном, коток (рис. 2.5). Ґрунт у каналі – чорнозем (Бердичівського району), з абсолютною вологістю від 8 до 30%, твердістю ґрунту від 4 до  $16 \cdot 10^{-1}$  МПа ( $16 \text{ кгс/см}^2$ ) у горизонтах від 0 до 15 см. Кут нахилу поверхні ґрунту – не більше  $1^\circ$ .



Рис. 2.4. Загальний вигляд ґрунтового каналу.

Для проведення пошукових досліджень роботи сферодисків у лабораторних умовах було створено експериментальну установку, що імітує роботу секції сівалки в умовах ґрунтового каналу (рис. 2.5).



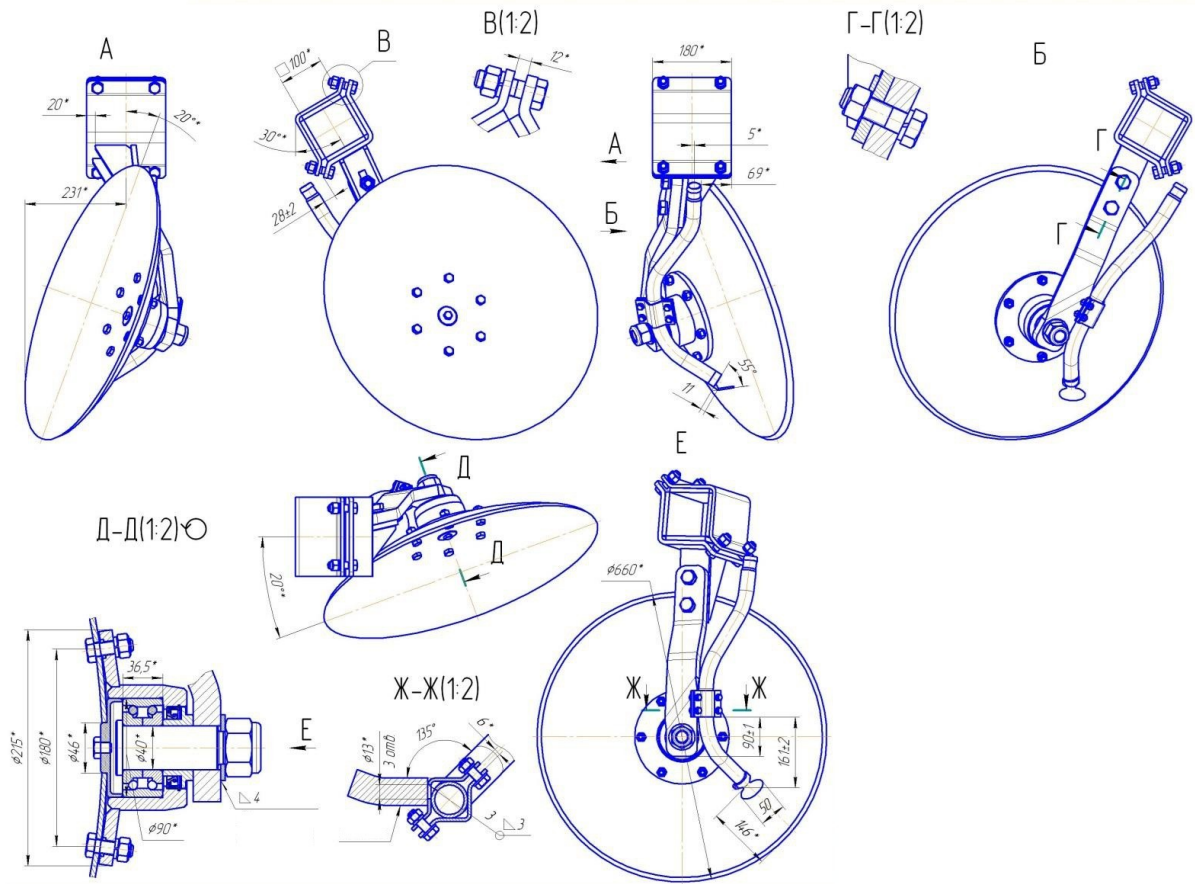
а.

б.

Рис. 2.5. Загальний вигляд установки для дослідження роботи сферодисків: а – вигляд збоку; б – загальний вигляд дискових сошників: ліворуч – типовий дводисковий сошник; праворуч – досліджуваний сферодисковий сошник.

Основою конструкції установки є посівний модуль, конструктивна схема якого наведена на рис. 2.6. Паралелограмна підвіска дає змогу забезпечити

копіювання модулем поверхні ґрунту з гарантією стабільного тиску колеса на ґрунт і відсутності пробуксовування.



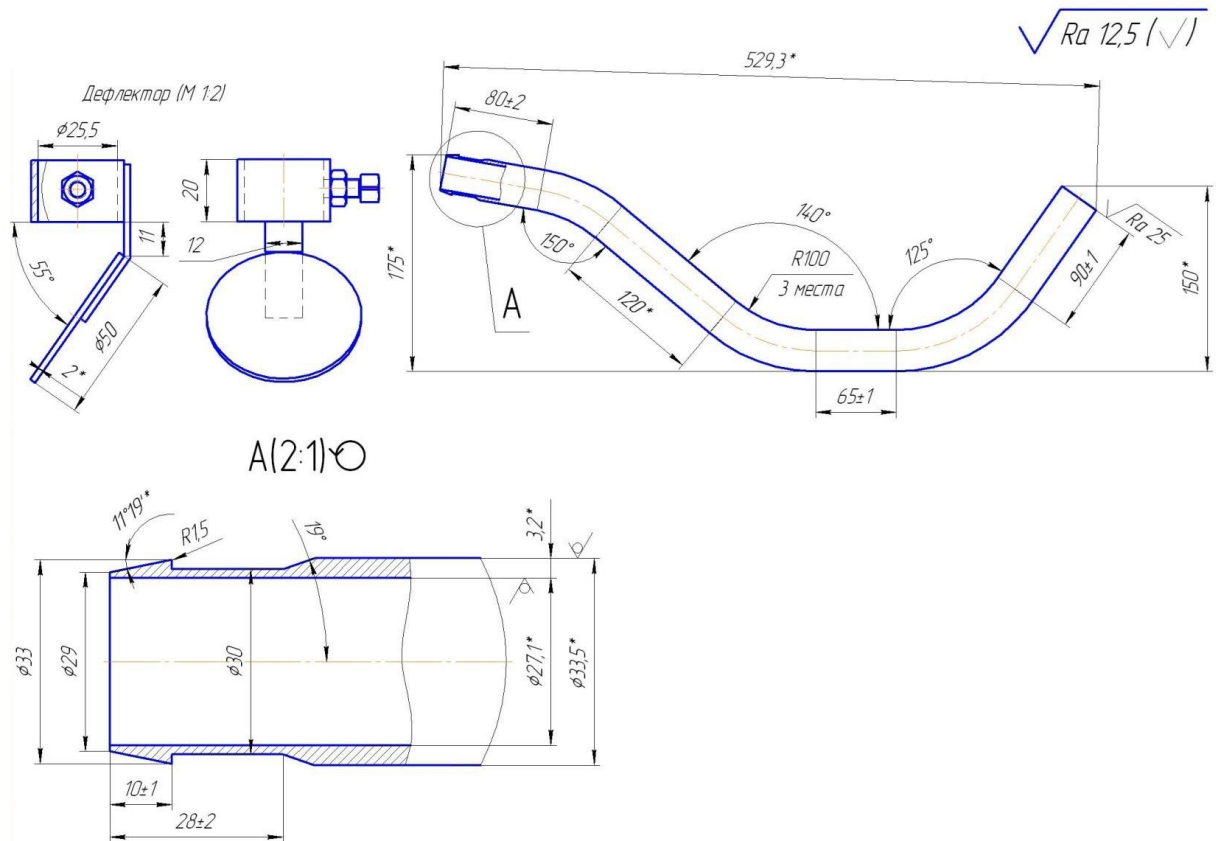


Рис. 2.6. Посівний модуль.

Сошники кріпляться на тензобрусі візка. Встановлено два типи дискових сошників: досліджуваний сферодисковий сошник і типовий дводисковий сошник від зернової сівалки типу СЗ-3,6 – найбільш поширеної в Україні, якою висівається до 90% зернових культур. Глибина ходу сошників регулюється за рахунок переміщення навантажувальної рамки гвинтовим механізмом.

Установка працює таким чином (рис. 2.5). Під час руху візка колесо висівного модуля котиться по поверхні ґрунту; шарнірно-паралелограма підвіска модуля дає змогу копіювати макрорельєф поверхні ґрунту та передавати сили опору на тензобрус, до якого модуль приєднаний (рис. 2.6). Висівний апарат, що приводиться в обертання від колеса через ланцюгову передачу та редуктор, отримує швидкість обертання, пропорційну швидкості руху, що гарантує незалежність норми висіву від швидкості. Насіння з бункера, дозоване висівним апаратом, надходить у насіннепроводи і падає на дефлекторний розподільник, а з нього – у сошники. Сошники виконують борозноутворення:

типовий дводисковий формує вузьку борозенку для рядкової сівби, а сферодисковий формує широку борозну, придатну для смугового посіву.

Перед проведенням дослідів здійснювали підготовку ґрунту в каналі: його розпушували та вирівнювали, а також рівномірно зволожували по всій поверхні. Після підсушування ґрунту та утворення ґрунтової кірки ґрунт у каналі розпушували лемішним розпушувачем на всю ширину каналу на глибину 15 см, вирівнювали планувальником і прикочували котком до досягнення необхідної щільності. Потім контролювали вологість ґрунту на глибині сівби за стандартною методикою. Дослідження проводили при встановленій вологості ґрунту, рекомендованій для сівби зернових, 19...23 %.

Головною метою експериментального дослідження вважали оцінювання ефективності широкосмугової сівби пшениці сферодисковим сошником за показником збільшення площі живлення.

Для дослідження використовувалася швидкісна факторна модель з трьома факторами: кут атаки (повороту) диска  $\alpha$ ; глибина ходу  $h$  та швидкість  $V$ , а також з чотирма відгуками: частка забезпеченості насіння площею живлення; нерівномірність цієї частки по довжині гону; середнє значення тягового опору та його відношення до опору дводискового сошника.

Під час проведення експерименту застосовувався метод планування трифакторного експерименту.

Одночасно з оцінюванням якості функціонування проводилися оцінки енергетичних показників сферодискового сошника. За записом коливань тягового опору протягом пробігу візка з заданою швидкістю тензостанція видавала середні значення тягового опору сферодискового сошника  $P_x$  та типового дводискового –  $P_{тип}$ , за якими визначався відносний показник.

Під час складання матриці планування експерименту використовувався центральньо-композиційний план другого порядку.

Адекватність отриманих рівнянь перевірялася за критерієм Фішера при 95% рівні значущості та ступенях свободи  $k_1 = 4$ ,  $k_2 = 15$ . Табличне значення

квантіля  $F_{табл.} = 2,4$ . Розрахункові статистики Фішера склали: для функції частки забезпеченості –  $F_{розр.} = 0,189$ , для коефіцієнта варіації –  $F_{розр.} = 1,451$ . Оскільки виконується умова  $F_{розр.} < F_{теор.}$ , отримані рівняння регресії адекватно описують процес.

Розгляд графіків (рис. 2.7–2.10) показує, що частка забезпеченості сильно залежить від кута атаки. Зростання  $\lambda$  спостерігається до кутів  $\alpha = 27^\circ$ , а потім у широкому діапазоні аж до  $\alpha = 36^\circ$  залишається на рівні 0,78...0,82 %. Слабо виражений максимум спостерігається при  $\alpha = 32^\circ$ . Інакше поведуться графіки залежності частки забезпеченості від режимів роботи: швидкості та глибини.

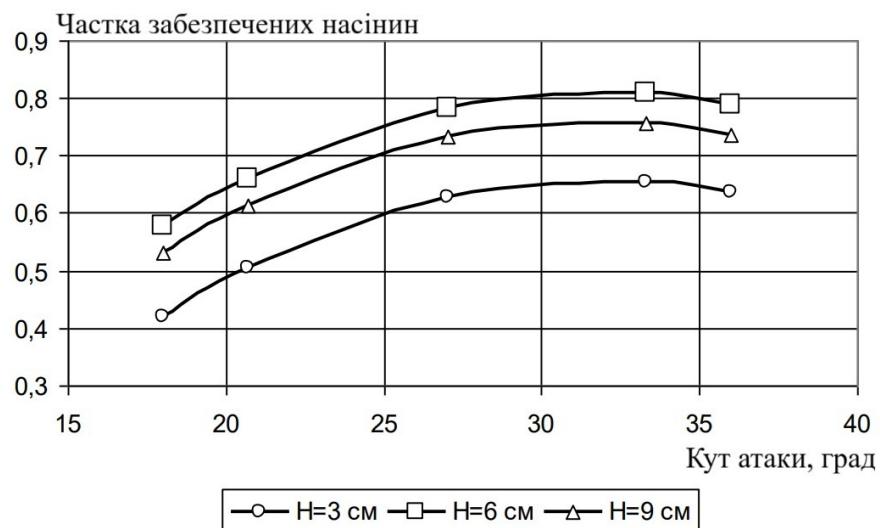


Рис. 2.7. Графіки  $\lambda(\alpha)$  за різних глибин  $h$ .

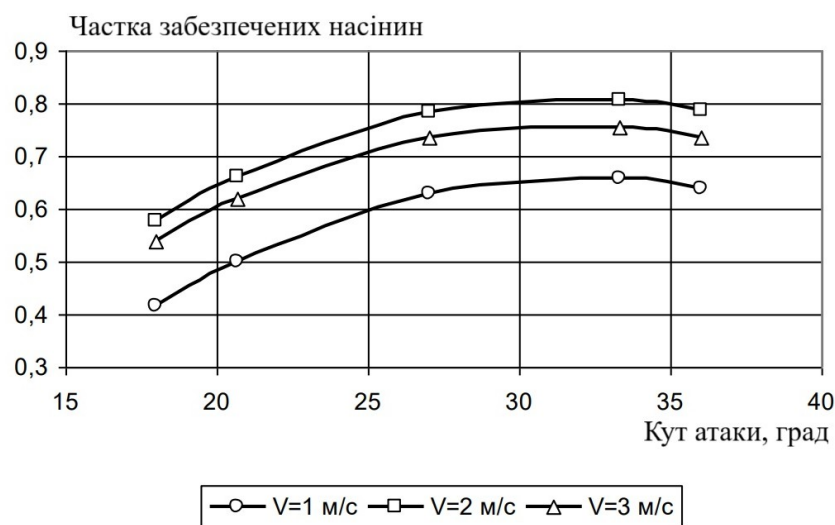


Рис. 2.8. Графіки  $\lambda(\alpha)$  за різних швидкостей  $V$ .

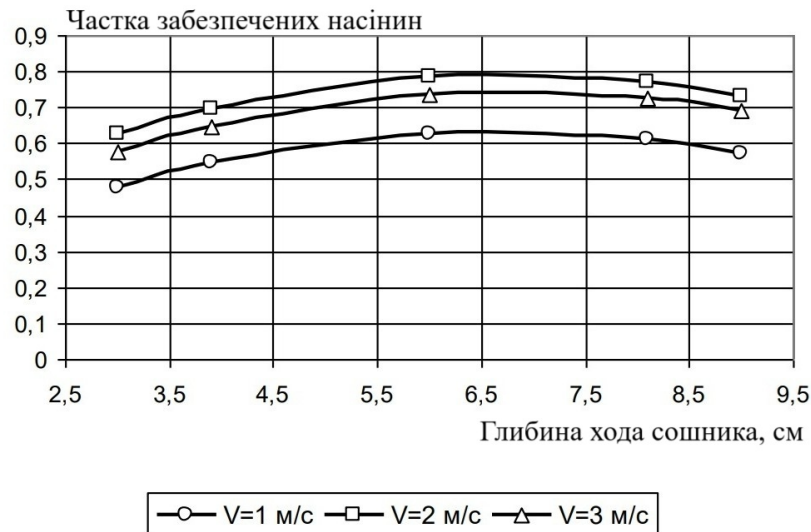


Рис. 2.9. Графіки  $\lambda(h)$  за різних швидкостей  $V$ .

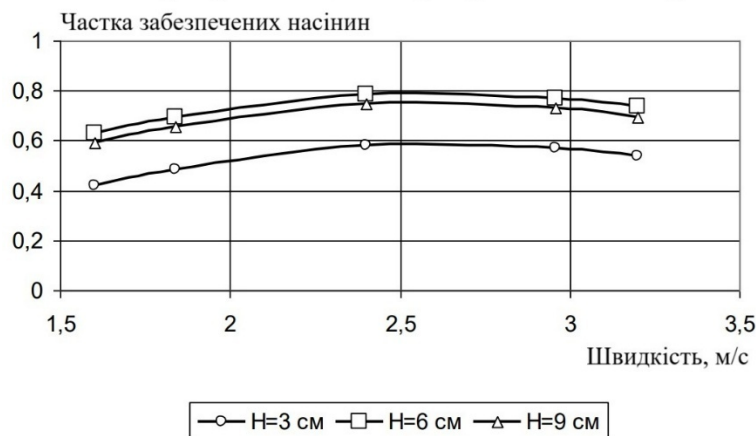


Рис. 2.10 Графіки  $\lambda(V)$  за різних глибин ходу  $h$

Слабо виражений максимум спостерігається при середніх глибинах  $h = 6$  см,  $V = 2$  м/с, що відповідає загальноприйнятим режимам посівних робіт. Інший важливий експлуатаційний показник – енергетика процесу роботи сферодискового сошника. Висока енергоємність може нівелювати всі переваги розкидного (смугового) посіву, тому її необхідно враховувати під час вибору кута атаки диска.

Графіки дають уявлення про основні тенденції енергетики сферодискового сошника. Характер графіків на рисунках 2.11 і 2.12 показує, що сила опору зростає зі збільшенням кута атаки, глибини ходу та швидкості — монотонно, без наявності оптимуму. Тому постановка задачі оптимізації тягового опору не видається можливою.

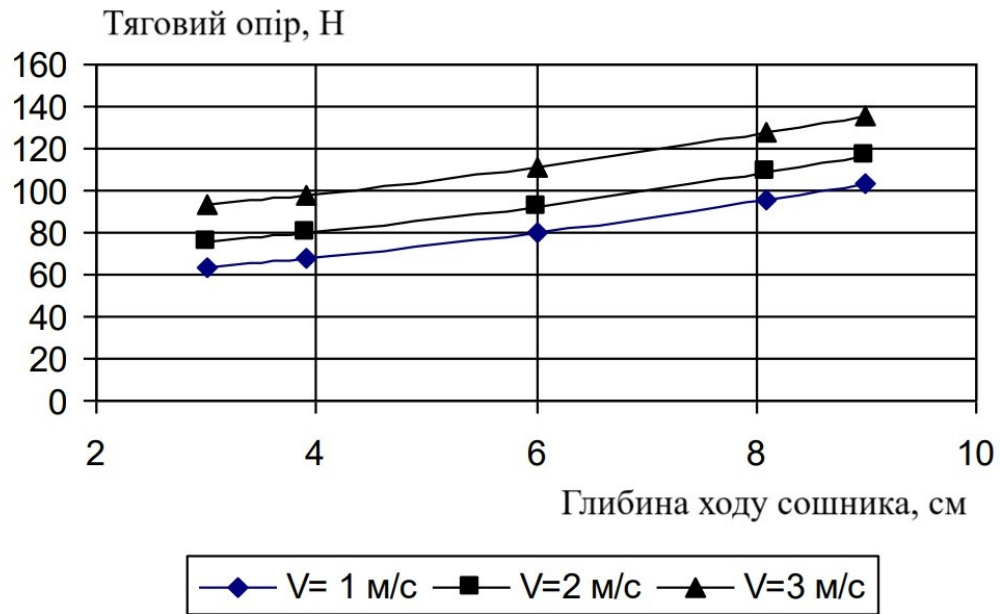


Рис. 2.12. Графіки залежності  $P_x = f(h)$  за різних швидкостей  $V$  та кута атаки  $\alpha = 24^\circ$

Надамо оцінку енергетики сферодискового сошника у порівнянні з типовим дводисковим. На рисунках 2.13 і 2.14 наведені залежності відносини тягових опорів від прийнятих факторів  $\eta = f(\alpha, h, V)$ .

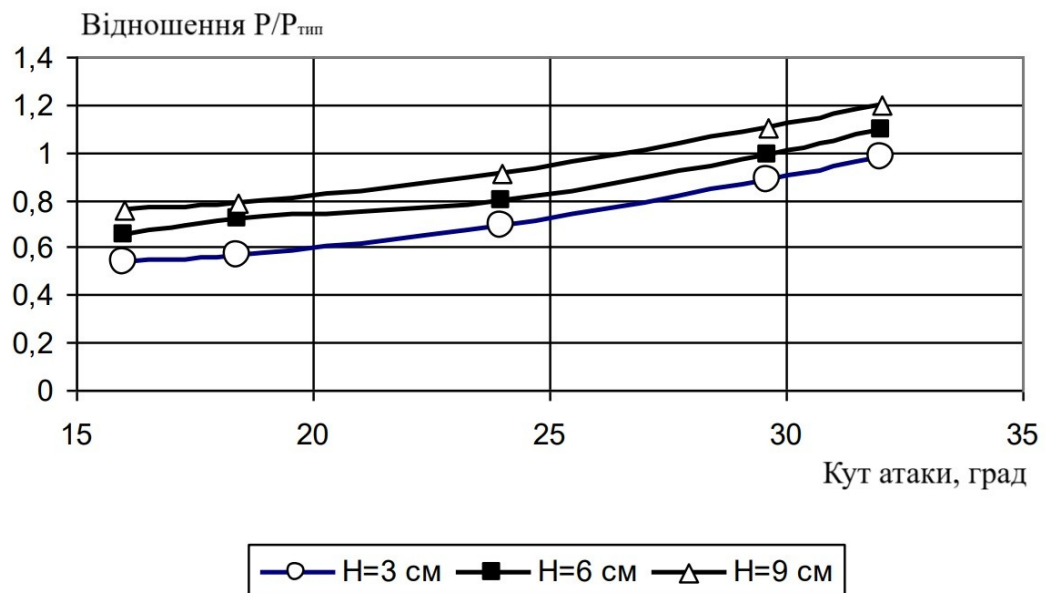


Рис. 2.13. Графіки залежності  $\eta = f(\alpha)$  за різних глибин  $h$  та максимальної швидкості

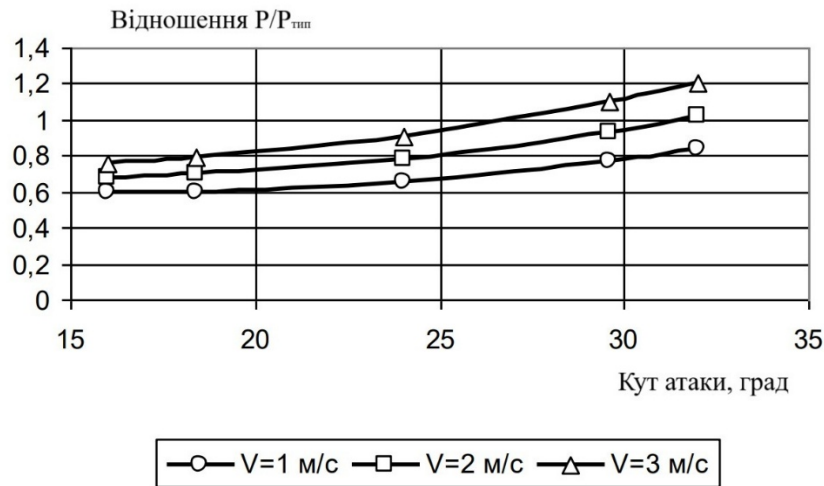


Рис. 2.14. Графіки залежності  $\eta = f(\alpha)$  за різних швидкостей  $V$  та максимальної глибини  $h$ .

Графіки показують, що енергоємність сферодискових сошників не перевищує енергоємність типових дводискових сошників лише до кутів атаки (повороту)  $25^\circ$ . При подальшому збільшенні кута атаки понад  $25^\circ$  тяговий опір сферодискового сошника починає перевищувати тяговий опір типового дводискового. При  $\alpha = 36^\circ$  це перевищення становить близько 20 %. Це слід враховувати під час вибору кута атаки. Чим він більший, тим більша ширина смуги розсіювання, але тим більшим стає тяговий опір – тому необхідний компроміс. У підсумку кут атаки слід встановлювати не вище  $30^\circ$ .

### 2.3 Результати лабораторних досліджень роботи сферодискового сошника

Аналіз отриманих графіків розсіювання насіння сферодисковим сошником по стрічці висіву показує стійку тенденцію до підвищення забезпеченості висіяного насіння площею живлення. Частка насіння, яке отримало площу живлення  $30 \times 30$  мм<sup>2</sup>, досягає 85 %. Це є сприятливим фактором для проростання та росту рослини, підвищення її продуктивності. Ефект збільшення площі живлення у сферодискового сошника принципово змінює топологію висіву порівняно з рядковим посівом. Отримані результати показують, що в діапазоні

досліджуваних швидкостей і глибин ширина смуги висіву в середньому досягала 120 мм, що дозволило забезпечити 80 % насіння площею живлення 9 см<sup>2</sup>.

Розгляд отриманих графіків показує, що частка забезпеченості залежить від режиму роботи сошника: на менших глибинах вона значно нижча — падає до 0,6. Далі зі збільшенням глибини загорання частка забезпеченості зростає, досягаючи при кутах атаки 25° високих значень — до 85 %, а потім приріст сповільнюється. Це пояснюється втручанням низки випадкових факторів — нерівномірністю ударів і відскоків у розподільнику, неоднорідностями ґрунту та осипанням борозни. Із зростанням швидкості понад 2,5 м/с і глибини понад 7 см ці явища спричиняють зниження частки на 0,05, що є некритичним.

Таким чином, для продуктивної роботи з часткою забезпеченості 80 % у діапазоні швидкостей 2,4–3,2 м/с та без погіршення енергетики сівалок рекомендується вибрати кут атаки сферодисків у межах 27–30°.

Рівномірність загорання насіння за глибиною в умовах ґрунтового каналу має свої особливості. Ширину смуги розсіювання попередньо встановлювали зміщенням розподільника так, щоб усі насінини розміщувалися на дні борозни в межах агродопуску за глибиною у 1 см. Норма забезпеченості насіння площами живлення враховувалася лише для тих насінин, які знаходилися на заданій глибині згідно з агродопуском. За таких умов визначення рівномірності висіву за глибиною було зайвим.

Більш достовірні визначення рівномірності розподілу за глибиною були перенесені до польових досліджень.

На рекомендації щодо підвищення частки забезпеченості насіння площею живлення впливають вимоги до енергозатрат сферодискового сошника. Це пояснюється наявністю суперечності між показниками якості та енергетики: збільшення кута атаки сферодиска підвищує ширину розсіювання та частку забезпеченості насіння, але водночас збільшує енергозатрати через зростання лобового опору.

Розгляд залежностей тягового опору на графіках показує, що в діапазоні збільшення швидкостей 1,6–3,2 м/с і глибини ходу з 3 до 9 см це зростання є значним — приблизно у 2 рази, що потребує внесення коректив щодо енергетики; сферодисковий сошник не повинен бути гіршим за типовий дводисковий. Енергозатрати оцінювалися у порівнянні з типовим дводисковим сошником. Встановлено, що суттєве перевищення енергозатрат настає починаючи з кута атаки  $30^\circ$  (рис. 2.15).

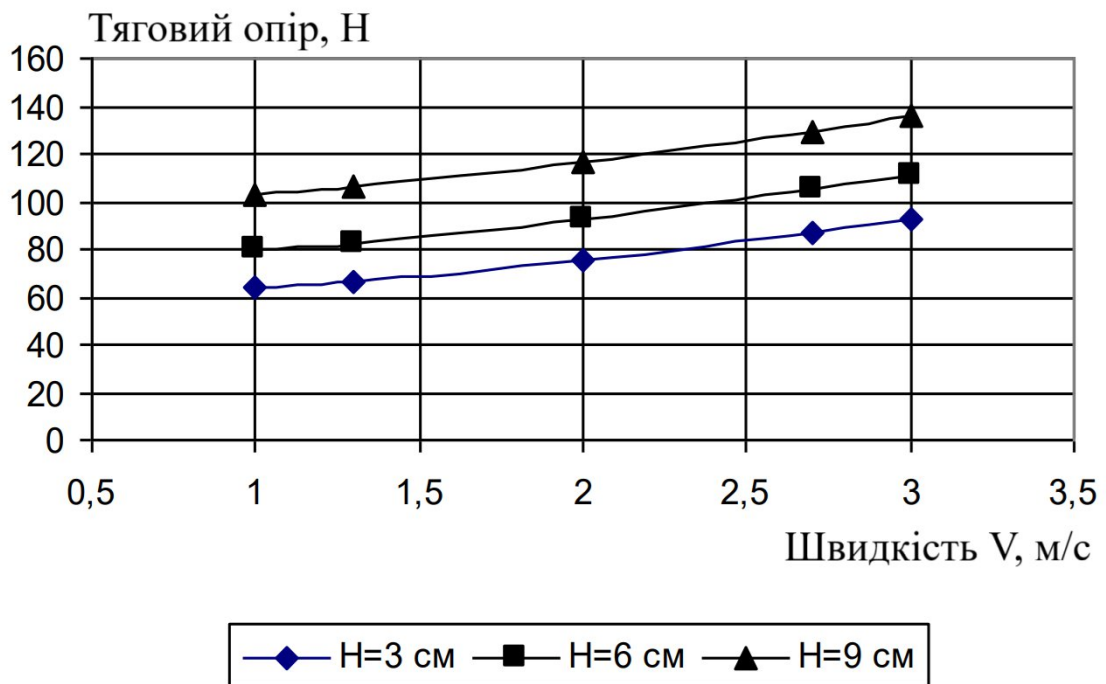


Рис. 2.15. Графіки зміни тягового опору від швидкості  $V$  за різних глибин ходу  $h$  та куті атаки  $30^\circ$

У результаті досліджень було встановлено, що оптимальним є кут атаки  $30^\circ$ , а швидкість руху посівного агрегату можна підвищувати до 3,2 м/с без істотного зниження частки забезпеченості насіння площею живлення. На основі отриманих значень були виготовлені дослідні зразки сошників для широкосмугової сівби, якими було укомплектовано посівну машину Р-4,2М під час польових досліджень.

## Висновки по розділу

Факторний аналіз процесу смугового висіву сферодисковим сошником дозволив виділити з великої кількості чинників сім незалежних керованих факторів:

- кути орієнтації сферичного диска:
  - кут атаки диска  $\alpha$ ,
  - кут нахилу диска  $\beta$ ;
- швидкість руху  $V$ ;
- положення сопла насіннепроводу відносно диска  $Yc$ ;
- висота сопла насіннепроводу над поверхнею ґрунту  $Hc$ ;
- кут нахилу насіннепроводу  $\theta$ ;
- кут орієнтації дефлекторної пластини на виході насіннепроводу  $\psi$ ;
- довжина пластини дефлектора  $L$ .

Вивчено топологію поля розсіювання насіння дефлекторним розподільником; при цьому поле розсіювання має форму еліпса, причому ширина розсіювання менша за довжину поля розсіювання.

Методами планування експерименту отримано регресійні математичні моделі процесу розсіювання. Встановлено залежності ширини, дальності та рівномірності поля розсіювання від висоти сопла та кута дефлектора.

Знайдено оптимальне значення кута дефлектора  $\psi_{opt} = 50^\circ$ . За отриманою залежністю можлива настройка ширини смуги розсіювання шляхом зміни висоти сопла дефлектора  $H$ .

Проведено дослідження роботи сферодискового сошника в умовах ґрунтового каналу. Встановлено, що сошник забезпечує смуговий висів, ширина якого визначається шириною борозни та шириною розсіювання насіння дефлектором; співвідношення між цими величинами не повинно порушувати агротехнічні вимоги за глибиною загортання насіння.

Розсіювання насіння дефлекторним розподільником збільшує частку насіння, яке отримує необхідну площу живлення  $30 \times 30$  мм, до 80 %, що значно перевищує забезпеченість насіння потрібною площею при рядковому посіві. Визначено розрахунковий кут атаки сферодиска  $\alpha = 30^\circ$  з кутом нахилу  $\beta = 20^\circ$ .

Установлено, що підвищення врожайності зернових культур можливе за рахунок збільшення забезпеченості насіння площею живлення під час смугової сівби сферодисковим сошником дискатора з дефлекторним розподільником шириною до 20 см.

### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СФЕРОДИСКОВИХ СОШНИКІВ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Як об'єкт упровадження інновації було обрано зернову сівалку А Р-4,2, яка фактично є ґрунтообробно-посівним комплексом.

Сферодискові сошники 9 встановлюються у два ряди жорстко на брусах рами 8. Рама спирається на два опорні колеса 1 та два опорно-привідні котки 10 і з'єднується з трактором за допомогою дишла 3. Таке рішення забезпечує стійкість руху – надійне копіювання просторового макрорельєфу та нечутливість до мікрорельєфу. Висота рами над ґрунтом, а відповідно й глибина ходу сферодисків, встановлюється гвинтовими талрепами котків і коліс. На кожному брусі жорстко встановлено по 16 сферодисків 9, лівих і правих, для урівноваження бокових навантажень (рис. 3.1). Кут атаки  $\alpha = 27^\circ$ , кут нахилу  $\beta = 20^\circ$ , кут заточування  $\delta = 25^\circ$ , а задній кут на рівні дна борозни  $\xi = 1^\circ$ . Бункер 14 для насіння розташований на висоті 1200 мм. У його нижній частині встановлено дозатор 13, що приводиться в дію від лівого приводного котка 10 через карданний вал. Норма висіву регулюється редуктором норми висіву насіння та добрив 13. Обертання дозаторів добрив здійснюється від правого приводного котка через власний механізм передач. Піднімання насіння і добрив, відміряних дозаторами, до розподільника насіння 6 виконується спільним ковшовим елеватором 7. Розподіл суміші по насіннєпроводах здійснюється спільним розподільником насіння і добрив 6. Диск розподільника отримує обертання від веденого вала елеватора через гнучкий привід. Насіння, спустившись по насіннєпроводах 5, потрапляє в борозну, нарізану сферодиском на глибину загортання; тут насіння накривається ґрунтом дрібнокомкуватої структури. Укривний шар ґрунту прикочується приводними 10 та транспортними шинними котками 11. Це забезпечує не лише добрий контакт із ґрунтовими капілярами, а й якісне надходження атмосферної вологи у точці роси. Саме в точку роси слід

висівати насіння. Це забезпечує сходи навіть за посухи, стає формування рослин та високі врожаї.

Змістом інновації є оснащення посівної машини Р-4,2 удосконаленими сферодисковими сошниками (рис. 3.1). Сферодиски встановлені на радіально-упорних, дворядних роликових закритих підшипниках (рис. 3.1, в). Сферодисковий сошник (рис. 3.1, а) включає сферодиск, на маточині якого закріплено металевий насіннепровід з дефлектором (рис. 3.1, б). Конструкція посівної машини має принципові відмінності від існуючих зернових сівалок. Широке борозноутворення у сферодискових сошників виключає необхідність індивідуального копіювання сошником поздовжнього рельєфу ґрунту.



Рис. 3.1. Сферодисковий сошник на машині: а – установка насіннепроводу з розподільником на сошнику; б – дефлектор на насіннепроводі; в – встановлення сферичного диска.

Копіювання має сенс тоді, коли сошник формує вузьку борозну і потрібно підтримувати глибину над стрічкою насіння. Але при широкій смузі розсіювання насіння така стрічка відсутня; незрозуміло, над якими саме насінинами у смузі треба копіювати поздовжній рельєф. А копіювати індивідуально над усіма неможливо. Щоб усунути це технічне протиріччя, під час конструювання машини було прийнято радикальне рішення – перейти до копіювання поперечного рельєфу поля опорними колесами сівалки, при якому копіюється вся смуга польового рельєфу шириною, рівною ширині захвату сівалки. У цьому разі сферодискові сошники слід кріпити до рами жорстко. Таким чином, у сівалці

усуваються шарнірно-важільні підпружинені механізми індивідуального копіювання, трудомісткі та примхливі у налаштуванні. Розроблена посівна машина Р-4,2М зі сферодисковими сошниками (далі – посівна машина) здатна обробляти ґрунт із одночасним висівом насіння та внесенням добрив, виконуючи водночас кілька агротехнічних операцій. Вона може працювати за такими схемами:

- класичною (як посівна машина, культиватор, дискатор);
- min-till (як дискатор, культиватор, посівна машина);
- no-till – як машина прямого висіву;
- strip-till – як знаряддя ґрунтообробки та сівби;
- суцільною або смуговою сівбою;
- здатна висівати бінарні культури з внесенням як рідких, так і гранульованих добрив, а також біопрепаратів.

Для підтвердження ефективності ґрунтообробно-посівної машини Р-4,2М, а також перевірки результатів теоретичних досліджень роботи сошника, були проведені дослідження в польових умовах.

Програма польових досліджень модернізованої посівної машини складена з урахуванням особливостей смугового посіву, тому передбачала не лише агротехнічну та енергетичну оцінку роботи сівалки відповідно до стандартів, але й моніторинг нових специфічних показників: формування борозни, ширини розсіювання та забезпеченості площами живлення.

У підсумку повна програма досліджень передбачала таке:

- оцінювання показників якості обробітку ґрунту, визначення фракційного складу та щільності ґрунту до і після посіву;
- оцінювання показників борозноутворення — ширина та профіль борозни, щільність дна борозни;
- оцінка рівномірності загортання насіння вздовж борозни;
- визначення забезпеченості насіння площею живлення;

- визначення енергетичних показників смугової сівби зернових культур на стерньовому фоні;
- визначення стійкості показників якості при нульових технологіях підготовки ґрунту та різних агрофонах.

Досліджувалася робота ґрунтообробно-посівного комплексу у складі стерньової сівалки Р-4,2М з трактором МТЗ (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Ґрунтообробно-посівний комплекс Р-4,2М у роботі

Випробування проводилися на нульових агрофонах, що утворилися після збирання попередників: пшениці, кукурудзи, соняшнику.

Гранулометричні показники після поверхневого обробітку відповідали агротехнічним вимогам: вміст грудок ґрунту розміром до 10 мм збільшився у 2,5 раза, розміром 10,1...30 мм - залишився на попередньому рівні, а розміром 30,1...50 мм — зменшився на 71,7 %. Грудки ґрунту розміром понад 50 мм були відсутні.

Помітне збільшення дрібних фракцій і зменшення великих у вкривному шарі ґрунту після посіву свідчить про високу якість роботи сферодискових сошників сівалки.

Гранулометричні показники після поверхневого обробітку відповідали агротехнічним вимогам: вміст грудок ґрунту розміром до 10 мм збільшився у 2,5

раза, розміром 10,1...30 мм – залишився на попередньому рівні, а розміром 30,1...50 мм – зменшився на 71,7 %. Грудки ґрунту розміром понад 50 мм були відсутні. Помітне збільшення дрібних фракцій і зменшення великих у вкривному шарі ґрунту після посіву свідчить про високу якість роботи сферодискових сошників сівалки.

Для контролю глибини загорання насіння була проведена імітація розкриття ґрунту по ширині захвату зернової сівалки після її проходу. Вимірювання виконували лінійкою. Відхилення глибини посіву від заданого значення не перевищувало 1 см (рис. 3.3).

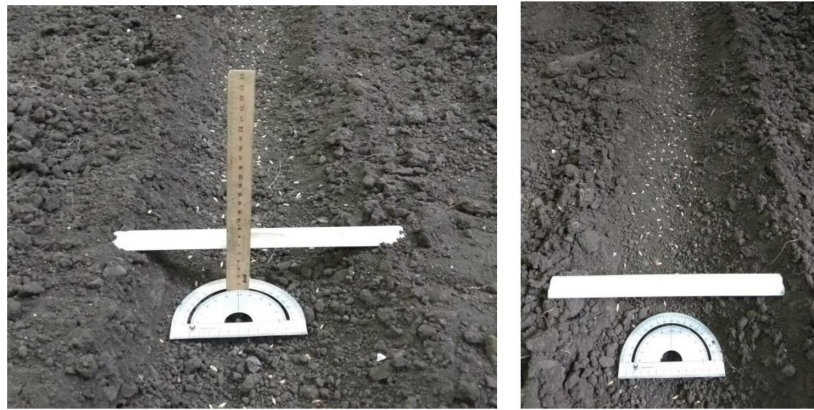


Рис. 3.3. Визначення глибини та ширини загорання насіння в ґрунт

Аналіз картини розсіювання насіння по дну борозни показує, що їх розподіл у смузі не має загущень, більшість насінин отримує достатню площу живлення. Встановлено, що сферодисковий сошник із дефлекторним розподільником забезпечує значне підвищення площ живлення насіння порівняно з рядковим посівом. Частка насіння, забезпеченого площею живлення 3×3 см, зростала до 80 % проти 17 %. Істотно підвищувалися схожість насіння та врожайність. Значення показників якості ґрунтообробітку, за яких була досягнута така забезпеченість: швидкість руху агрегату  $v = 2,8$  м/с.

Посів зернових культур по стерньовому фоні запропонованою сівалкою дає змогу знизити витрату дизельного пального у 2–2,5 раза порівняно з традиційним способом.

На рис. 3.4 показано, як змінюється агрофон після збирання кукурудзи після проходу посівної машини. Залишки стебел (пеньки) та кореневищ кукурудзи подрібнюються, кришаться і загортаються в ґрунт, а частина залишків на поверхні є корисною для захисту від вітрової ерозії та не створює перешкод для проростання.



Рис. 3.4. Фото поверхні поля: а – до проходу сферодискових сошників посівної машини; б – після проходу посівної машини.

Сферодискові сошники стабільно працюють і за підвищеної вологості, демонструючи відсутність значного налипання та добре виражене самоочищення, чого немає у лапових сошників. Сферодиски впевнено працюють і після дощу, залишаючи рівну смугу розпушеного ґрунту на полі з ущільненнями від проходу техніки. Надійно працюють сферодиски і по мокрій стерні, перетворюючи її на культурний агрофон. Типова сівалка з дводисковими сошниками, як і лаповий культиватор, так пройти й обробити стерню не здатні.

Посівна машина зі сферодисковими сошниками продемонструвала унікальну стабільність функціонування та витривалість. Під час дощу, на переущільненому та вологому ґрунті, який налипає на робочі органи, або на зарослому полі, або на полі з великою кількістю рослинних решток, чи навіть на ділянках із чагарником – посівна машина працювала впевнено та безперебійно.

Таким чином, польові дослідження показали, що розроблена посівна машина зі сферодисковими сошниками здатна здійснювати смуговий посів зернових культур шириною до 130 мм із забезпеченістю насіння площами

живлення до 80 %, що відповідає результатам теоретичних і лабораторних досліджень.

Виявлені переваги смугового посіву дають підстави порушувати питання про заміну не лише технологій, але й технічних засобів рядкового посіву на сучасну техніку.

Випробування проводили відповідно до ДСТУ з додатковим визначенням показників ширини смуги розсіювання та частки забезпеченості насіння площами живлення (рис. 3.5).

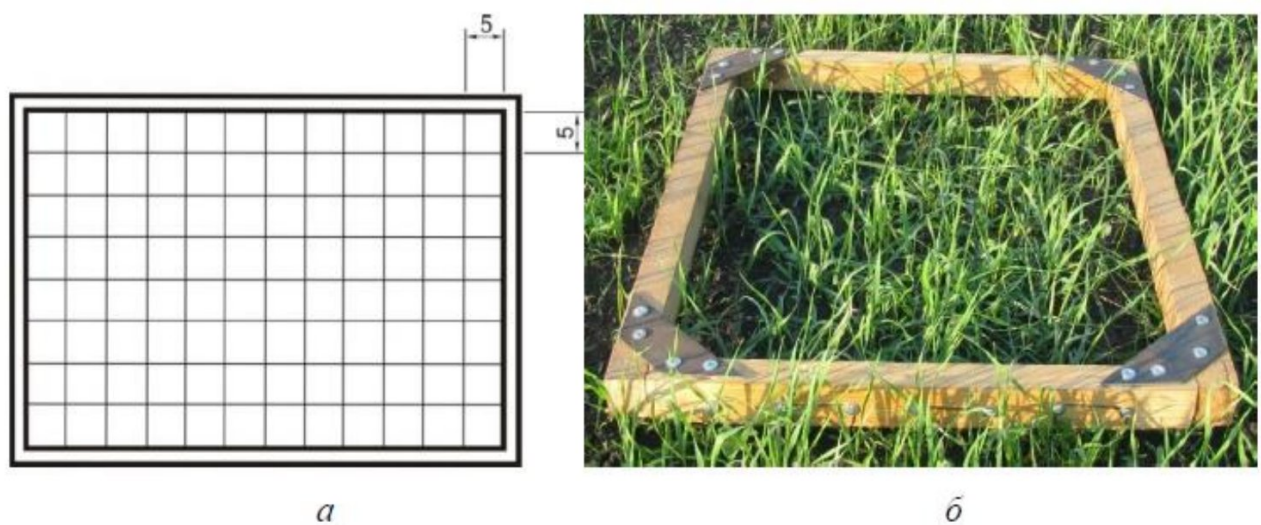


Рис. 3.5. Рамка для визначення нерівномірності розподілу рослин по площі посіву: а – схема рамки (з коміркою 5×5 см); б – рамка накладена на посів

Ефект підвищення забезпеченості насіння площами живлення створюється за рахунок збільшення використання площі поля, що особливо наочно проявляється під час порівняння розподілу насіння на дні борозни при смуговому та рядковому посіві.

Отримувані показники якості (табл. 3.1) посіву лише опосередковано пов'язані з кінцевим результатом – схожістю та вегетацією рослин.

Таблиця 3.1. Показники агротехнічної оцінки посівних агрегатів

	Показники	Значення показників	
1	Склад агрегату	MT3-82+C3-5,4   MT3-82+P-4,2M	
2	Культура	Озима пшениця сорга «Миронівська 98»	
3	Кількісна частка насіння, загорненого в шарі $H \pm 10$ мм, %	61,8	69,4
4	Кількість незагорненого в ґрунт насіння, шт/м <sup>2</sup>	10	0
5	Підрізання бур'янів, %	-	100
6	Гребнистість, см	2,4	3,6
7	Ширина полоси ррозкидання, мм	38	135
8	Частка насіння, забезпеченого площею живлення не менше ніж 30x30мм, %	20	85

Якість обробітку ґрунту в поєднанні з раціональним розподілом насіння по площі поля змінює умови для проростання сходів, за густотою та інтенсивністю вегетації яких можна судити про ефекти смугового посіву. Результати роботи розробленої смугової сівалки порівнювали з роботою рядкової сівалки не за абстрактними показниками якості посіву, а за впливом на кінцевий результат – схожість та вегетацію рослин.

Усі контрольовані стандартні показники якості посіву, рівномірність загортання за глибиною та рівномірність уздовж рядка, пов'язані з урожайністю лише опосередковано, прив'язані до рядкового способу сівби і не гарантують підвищення врожайності. Смуговий посів, збільшуючи площі живлення насіння, має реальні можливості для підвищення врожайності.

Головні фактори підвищення врожайності смугового посіву:

збільшення площі борозни дає змогу розмістити на смузі посіву більшу кількість рослин;

збільшення площі живлення спричиняє більш інтенсивну вегетацію і кращу продуктивність колоса кожної рослини.

Оцінимо можливості першого фактора.

Рядковий посів висипає насіння в одну стрічку, теоретично з нульовою поперечною шириною розсіювання. Розрахунок показує, що за рекомендованої агротехнічними вимогами кількості висіяного насіння зернових культур  $5 \times 10^6$  штук на гектар (або 500 шт/м<sup>2</sup>) і ширині міжряддя 15 см, один сошник повинен

висіяти ці 500 штук на довжині:  $L_{500} = 6,6$  м тоді крок між насінинами в рядку становитиме:  $L_1 = L_{500} / 500 = 660 \text{ см} / 500 = 1,2 \text{ см}$ , що теоретично взагалі унеможливило отримання площі живлення  $3 \times 3 \text{ см}^2$ . Хоча на практиці типовий дводисковий сошник формує борозенку шириною 12 мм і певний поперечний розкид усе ж існує. Його оцінюють величиною не більш ніж 15 %. Утворюється функціональне протиріччя: позитивний ефект при рядковому посіві досягається за рахунок порушення основної функції, що свідчить про принципову несумісність рядкового посіву з функцією забезпеченості насіння площами живлення.

Робота сферодискового сошника принципово відрізняється від роботи рядкового сошника; він спрямований на формування великої площі борозни й здатний розсіювати насіння по площі, а не лише вздовж рядка. Ширина борозни задається жорстко геометрією лобової поверхні сферодиска, а ширина смуги розсіювання – за рахунок дефлекторного розкидача.

Обчислимо кількість висіяного насіння з площею живлення  $3 \times 3 = 9 \text{ см}^2$ , яке висіє сівалка Р-4,2М зі сферодисковими сошниками на 1 га. За смуги розсіювання одного сферодискового сошника шириною 12 см, кількість ліній розміщення насіння становитиме:  $12 / 3 + 1 = 5$ , а кількість насіння на 1 м шляху:  $100 / 3 \times 5 = 166,5$  насінин.

На сівалці із шириною захвату 4,2 м сошники розташовані з міжряддям 20 см; усього 21 сошник. За один метр шляху сівалки всі 21 сошник розмістять:  $100/3 \times 5 \times 21 = 3500$  насінин з площею живлення  $9 \text{ см}^2$ .

Для засіву одного гектара сівалка шириною 4,2 м має пройти:  $100 \times 100 / 4,2 = 2381$  м, розмістивши на гектарі:  $3500 \times 2381 = 8,3335 \times 10^6$  насінин.

Це суттєво більше, ніж норма висіву для рядкового посіву —  $5 \times 10^6$  насінин.

Таким чином, смуговий посів сівалкою Р-4,2М, збільшуючи кількість насіння на площі посіву на 66 %, підвищує потенційну врожайність також на 66 %.

Збільшення кількості рослин демонструє поле сходів озимої пшениці у Житомирській області, висіяної по соняшнику за допомогою комплексу Р-4,2М (рис. 3.6, а). Добре видно, що площа поля використовується значно повніше, міжряддя не проглядаються. Натомість посіви, висіяні рядковим способом, виглядають загущеними в рядках із великими смугами невикористаної землі в міжряддях (рис. 3.6, б).



Рис. 3.6. Сходи озимої пшениці, висіяної після соняшнику: а – сходи, висіяні Р-4,2М смуговим способом; б – сходи, висіяні рядковим способом.

Урожайність пшениці, висіяної запропонованою сівалкою за нульовою технологією в посушливих умовах 2025 р., виявилася на 32% вищою порівняно з урожайністю цієї культури на контрольних ділянках і становила в середньому близько 80 ц/га (за посіву серійною сівалкою – 55 ц/га).

### **Висновки на розділ**

Найголовною перевагою функціонування посівної машини зі сферодисковим сошником і дефлекторним розкидачем є підвищення забезпеченості насіння площами живлення до 85 % проти 15...20 % у типового рядкового посіву, що позитивно впливає на ріст, колосіння та врожайність.

Смуговий посів машиною Р-4,2М із біодобавками здатний підвищувати головний підсумковий показник процесу вирощування урожайність на 30-60%

відсотків, залежно від умов і попередника. Такий ефект дає можливість вважати запропоновані інновації проривними.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Перспективним способом сівби в умовах сучасних мінімальних технологій обробітку ґрунту в Україні з невеликою кількістю опадів є смуговий посів, який дає змогу більш раціонально використовувати площу поля, розширюючи зони живлення рослин і тим самим підвищуючи урожайність зернових культур.

Для реалізації смугового посіву придатний простий сферодисковий сошник, що складається з косо встановленого сферичного диска великого діаметра та дефлекторного розсіювача. Такий сошник формує борозну еліптичного профілю, у нижній частині якої в межах агродопуску можна виділити смугу, придатну для смугового посіву, шириною понад 200 мм, що на порядок більше за смугу розсіювання типового дводискового сошника зернової рядкової сівалки.

Аналіз показує, що для розсіювання насіння на всю ширину посівної смуги ефективно застосовувати дефлекторний розподільник на соплі насіннепроводу; при цьому налаштування ширини смуги розсіювання слід виконувати шляхом зміни висоти сопла дефлекторного розсіювача згідно з отриманою залежністю, а для ущільнення посівного ложа – використовувати задній кут різання леза диска.

Дослідження роботи сферодискового сошника в умовах ґрунтового каналу дозволило обґрунтувати конструктивні параметри дискового сошника: діаметр диска 0,66 м, кут атаки  $\alpha = 30^\circ$ , кут нахилу  $\beta = 20^\circ$ , кут нахилу розсіювача  $\psi = 50^\circ$ , кут заточування  $\delta = 25^\circ$ , задній кут на рівні дна борозни  $\xi = -1^\circ$ .

Розсіювання насіння дефлекторним розподільником збільшує частку насіння, яке отримує необхідну площу живлення  $30 \times 30$  мм, до 85 %, що значно перевищує забезпеченість насіння площею живлення при рядковому посіві (30 %) і є потужним фактором підвищення урожайності.

Упровадження у виробництво сферодискових сошників для смугового посіву дозволило створити компактний ґрунтообробно-посівний комплекс Р-4,2М, уніфікований із дискаторами, здатний здійснювати повноцінний смуговий

посів за мінімальними та нульовими технологіями без попереднього обробітку ґрунту. Комплекс Р-4,2М агрегується з трактором класу 1,4 т, демонструє високу продуктивність, маневровість, енергозбереження та низьку питому витрату пального.

Аналіз застосування ґрунтообробно-посівного комплексу Р-4,2М із новими сошниками для смугового посіву показав, що він забезпечує реальне підвищення урожайності порівняно з рядковим посівом за мінімальних і нульових технологій вирощування, а також здатний забезпечувати ефект у посушливих зонах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чередник С., Кусковський О., Грабар І. Способи та засоби механізації знезараження зерна. Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. С. 156-163.
2. Derevyanko D.A., Kinert V.V., Kuskovsky O.P., Parkhomchuk M.P., Razmakhin D.V. Methods Of Mechanized Distribution Of Sown Seeds Across The Sowing Area. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 175-176.
3. Куликівський В.Л., Дармограй М.М., Кусковський О.П., Пархомчук М.П. Аналіз конструкцій сівалок для просапних культур. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). НУБІП України. URL : <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.
4. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
5. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
6. Бондаренко М. Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві : підручник. Київ : Вища школа, 1995. – 237 с.
7. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2004. – 552 с.

8. Марченко В. В. Механізація технологічних процесів у рослинництві : посібник. Київ : Кондор, 2007. 334 с.
9. Мінімальний обробіток ґрунту : практичний посібник для органічного виробництва. Науково-дослідний інститут органічного сільського господарства (FiBL). Фрік, 2015. 56 с.
10. Lv, Xuemei; Zhang, Yunxiu; Li, Huawei; Fan, Shoujin; Feng, Bo; Kong, Ligan. Wheat belt-planting in China: an innovative strategy to improve production. *Plant Production Science*. 2020. DOI: 10.1080/1343943X.2019.1698972.
11. Jaskulski, Dariusz; Jaskulska, Iwona; Różniak, Emilian; Radziemska, Maja; Klik, Barbara; Brtnický, Martin. Smart Strip-Till One-Pass Machine: Winter Wheat Sowing Accuracy Assessment. *Agriculture*. 2025, 15(4):411. DOI: 10.3390/agriculture15040411.
12. Różewicz, M.; et al. Review of current knowledge on strip-till cultivation and crop responses. *Polish Journal of Agronomy*. 2022.
13. Li, C.; et al. Strip Tillage Improves Productivity of Direct-Seeded Oilseed Rape. *Agriculture*. 2024, 14(8):1356.
14. Benincasa, P.; Farneselli, M.; Tosti, G.; Bonciarelli, U.; Lorenzetti, M.C.; Guiducci, M. Wide-belt sowing of winter wheat: Higher Seed Rates Enlarge Effects of Wide-Belt Sowing on Yield. 2024. PMC.