

**Пархоменко Ю.М.**

<https://orcid.org/0000-0003-3492-3965>

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Пархоменко М.Д.**

<https://orcid.org/0009-0004-6728-9619>

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Мацуй А.М.**

<https://orcid.org/0000-0001-5544-0175>

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Бокій А.Р.**

<https://orcid.org/0009-0006-1426-261X>

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Комаров Д.Ю.**

<https://orcid.org/0009-0009-9929-4099>

Центральноукраїнський національний технічний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ТОЧНОСТІ РЕЄСТРАЦІЇ ДАТЧИКОМ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ КОТУШКОВИМ ВИСІВНИМ АПАРАТОМ

У статті представлено результати експериментальних досліджень параметрів зернового потоку, що формується катушковим висівним апаратом сівалки СЗ-3,6. Актуальність роботи зумовлена стратегічною важливістю зернового сектору України та необхідністю вдосконалення автоматизованих систем контролю висіву для підвищення врожайності. Основним завданням дослідження було визначення оптимального місця встановлення датчиків реєстрації та оцінка точності їхньої роботи в умовах реальної щільності потоку. Експерименти проводилися на універсальному стенді, що дозволяє моделювати різні норми висіву (від 90 до 250 кг/га) та швидкості руху агрегату (до 9,8 км/год). Встановлено, що щільність зернового потоку на виході висівного апарату в 2,5 рази вища, ніж на рівні дна борозни, що створює значні переешкоди для коректної реєстрації об'єктів через їхнє перекриття. Аналіз кратності проходження зернин через площину контролю показав, що при високих нормах висіву на виході апарату формується масовий рух зерна, де ймовірність появи поодиноких зернин знижується до 4,1%. Це призводить до злиття зображень декількох зернин і, як наслідок, до неприпустимих похибок реєстрації (до 5% і вище). Доведено, що найбільш придатним місцем для встановлення датчика є зона, наближена до дна борозни (на виході насіннепроводу), де потік стає більш розрідженим, а частка поодиноких зернин становить 51,3–84,9%. Використання розробленої системи комп'ютерної ідентифікації на базі двокоординатного оптико-електронного регістратора забезпечує високу точність: відносна похибка визначення кількості зернин не перевищує 2%, а відхилення при оцінці щільності розподілу — не більше 1%. Отримані дані підтверджують неможливість використання датчиків об'ємної дії через їхню нездатність розпізнавати паралельно пролітаючі об'єкти. Результати мають практичне значення для розробки нових систем точного землеробства та автоматизації керування нормою висіву пневматичних та механічних сівалок.

**Ключові слова:** зерновий потік, катушковий висівний апарат, автоматизована система контролю, точність реєстрації, оптико-електронний датчик, норма висіву, комп'ютерна ідентифікація.



**Постановка проблеми.** Зерновий сектор України є стратегічною галуззю, де підвищення якості сівби безпосередньо впливає на врожайність. Одним із ключових факторів тут є впровадження систем контролю висіву. Проте ефективність таких систем критично залежить від точності датчиків, які працюють в умовах високої щільності та пульсуючого характеру потоку насіння.

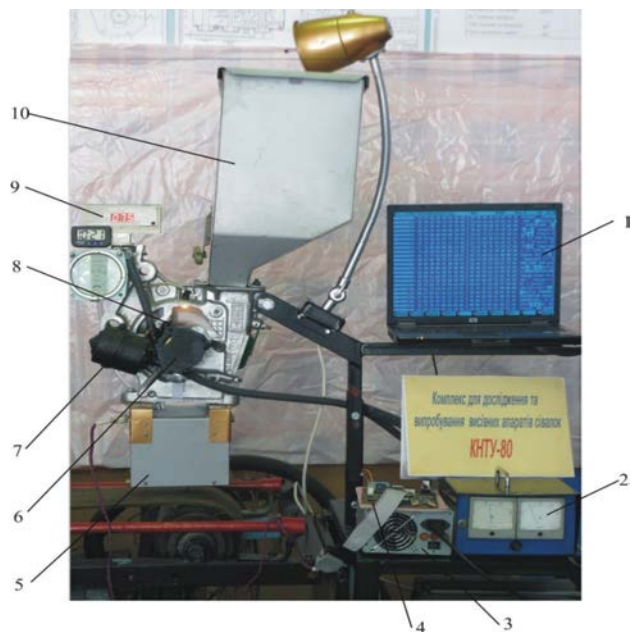
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зарубіжні дослідження зосереджені на впровадженні новітніх сенсорних технологій, зокрема 3D-сканування, лазерної діафотометрії та алгоритмів машинного навчання. Використання нейромережових моделей дозволяє підвищити точність розпізнавання групових проходжень зернин у зоні контролю та зменшити систематичну похибку обліку [1]. Окремі вітчизняні дослідження зосереджуються на математичному моделюванні процесів руху насіння в каналі висівного апарата. Так, у роботі Шевченка І.М. наведено чисельну модель формування зернового потоку в умовах впливу зовнішніх сил і геометрії каналу. Автор підкреслив, що параметри геометрії та руху значною мірою визначають ймовірність утворення групових поодиноких проходжень через площину контролю [2]. У дослідженнях Гнатюка О.В. адаптовано методи статистичної обробки сигналів для вітчизняних сівалок із урахуванням варіабельності якості насіння та робочих режимів агрегатів. Запропоновані алгоритми компенсації похибок враховують специфіку польових умов, що дозволяє підвищити точність розрахункового обліку висіву до рівня, прийняттого для практичних технологій точного землеробства [3].

Вітчизняні дослідження мають суттєвий прикладний характер та орієнтовані на адаптацію систем контролю до умов українського агропромислового комплексу. Проблеми ідентифікації насіння розглядалися в роботах Кондратця В.О. та Пархоменка Ю.М., де вказувалося на обмеження датчиків об'ємної дії. Більшість існуючих систем не враховують "зерна-двійники" або групове проходження насіння, що призводить до значних похибок. Невирішеною залишається частина проблеми, пов'язана з обґрунтуванням оптимальної точки встановлення датчика в насіннепроводі для мінімізації накладання об'єктів у площині контролю.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є визначення місця встановлення та точності реєстрації датчиком зернового потоку, що формується котушковим висівним апаратом, для забезпечення мінімальної похибки контролю.

**Виклад основного матеріалу.** Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки держави оскільки збільшення обсягів ВВП в аграрному секторі забезпечує вдвічі більший ефект порівняно з іншими сферами господарства. Відомо, що сівба є одним з основних технологічних процесів в рослинництві, яка вагомо впливає на врожайність посівних культур. Значним фактором підвищення продуктивності і якості сівби є впровадження автоматизованих систем контролю висіву, тому питання їх подальшого вдосконалення завжди є актуальним.

Метою експериментальних досліджень є визначення місця встановлення та точності реєстрації датчиком зернового потоку, що формується котушковим висівним апаратом зернової сівалки. Дослідження проводилися на стенді для випробування висівних апаратів сівалок кафедри сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету (рис. 1).



**Рис. 1.** Універсальний стенд для випробування висівних апаратів сівалок:

- 1 – ноутбук; 2 – блок живлення електропривода валу висівного апарата (0...24В); 3 – блок живлення засобів ідентифікації (-12В, +10В, +5В); 4 – вузол синхронізації, попередньої обробки та передачі даних; 5 – вузол реєстрації; 6 – висівний апарат; 7 – двигун постійного струму М914А; 8 – електронний датчик швидкості обертання валу висівного апарата; 9 – цифровий індикатор швидкості; 10 – бункер для насіння

Встановлений на стенді котушковий висівний апарат сівалки СЗ-3,6 налагоджувався на задані норми висіву  $Q = 90, 150, 175, 250 \frac{\text{кг}}{\text{га}}$  ( $Q_c = 90, 177, 224, 340 \frac{\text{шт}}{\text{с}}$ ) та швидкості руху сівалки  $V_c = 7.2, 8.5, 9.2, 9.8 \text{ км/год}$ ,

шляхом ручного регулювання робочої довжини котушки та частоти її обертання 1.05, 1.24, 1.32 та 1.46об/с. Плавне регулювання частоти обертання валу котушкового висівного апарата забезпечувалося зміною напруги живлення двигуна постійного струму Д125Б ( $U=0\dots 24В$ ).

Швидкість обертання валу висівного апарата, яку заміряли за допомогою електронного тахометра з цифровим індикатором, відповідала заданій швидкості руху сівалки, передаточній величині  $i$  та нормі висіву. Відстань до денця котушки задавалася регулювальним гвинтом і відповідала обраній фракції пшениці:  $A=25г/тис. шт.$  та  $A=40г/тис. шт.$  Для контролю зерна в потоці було задіяно дослідний зразок системи реєстрації та комп'ютерної ідентифікації зернового потоку, що включає: двохкоординатний оптико-електронний регістратор, вузол синхронізації, попередньої обробки та передачі даних та ноутбук. Вказана система дозволяла реєструвати до 7 зернин, які одночасно перетинають площину реєстрації датчика. Зареєстровані системою комп'ютерної ідентифікації зображення пшениці заносилися у вигляді цифрового коду в пам'ять комп'ютера.

Згідно агротехнічних вимог на кожні 5см рядка висіву повинно припадати по одній зернині, тобто на кожні 10 погонних метрів рядка необхідно висівати біля 200 зернин. При швидкостях руху сівалки  $V_c=2.0, 2.36, 2.56, 2.72$  м/с та вказаних нормах висіву задана кількість зернин може бути висіяна менше ніж за 5с. Для визначення точки формування незв'язаних рухомих об'єктів та параметрів потоку в площині реєстрації по кожній з встановлених норм висіву проводилося випробування тривалістю до 20с з розміщенням реєструючої рамки на рівні дна борозни та на виході висівного апарата. Дані реєстрації зображень зернового потоку по кожному досліді

накопичувалися в пам'яті комп'ютера. З часом цифрові зображення об'єктів послідовно виводилися на екран монітора де візуально визначалася кількість розділених зернин, які одночасно перетинали площину реєстрації датчика. При цьому виділялося по три ділянки зображень ємкістю біля 200 зернин. Даний стенд для дослідження роботи висівних апаратів сівалок повністю відповідав умовам роботи сівалки СЗ-3,6.

Результати контролю зернового потоку на рівні дна борозни, який формувався висівним апаратом сівалки при різних нормах висіву та швидкостях її руху, представлено в табл. 1.

З даних таблиці видно, що площину контролю регістратора, розміщеного на рівні дна борозни, здебільшого перетинають поодинокі зернини. Такий розподіл особливо притаманний усім нормам висіву. В залежності від норми висіву число поодиноких зернин коливається в межах  $84.9\div 51.3\%$ . При зростанні норми висіву спостерігається тенденція збільшення кількості (2, 3...7) насінин, які одночасно перетинають площину контролю датчика. Випадки з двома зернинами складають  $13.37\div 31,09\%$ . Імовірність перетину площини контролю одночасно трьома зернинами невелика  $1.74\div 12.6\%$  і зовсім мала стосовно чотирьох зернин –  $0.58\div 3.36\%$  на всьому діапазоні зміни умов сівби. Ймовірність одночасного проходження п'яти зернин при нормі висіву 175кг/га і навіть шести зернин при нормі висіву 250кг/га не перевищує 0.8%..

Значення вибіркового середнього  $x_{0j}$ , випадкових величин  $x_i$  та середнє квадратичне відхилення  $\delta_{0j}$  випадкових величин  $x_i$  від вибіркового середнього  $x_{0j}$  при різних нормах висіву, визначені за співвідношеннями (1) на підставі даних табл. 1, представлені в табл. 2.

Таблиця 1

**Кратність  $k_{ij}$  реєстрації випадків одночасного перетину площини контролю датчика  $x_i$ -тою кількістю насінин**

Кількість паралельних насінин $x_i$ , шт.	Умови сівби – норма висіву $Q, Q_c$ , швидкість руху сівалки $V_c$			
	$Q=90кг/га,$ $Q_c=90шт/с,$ $V_c=7,2км/год, j=1$	$Q=150кг/га,$ $Q_c=177шт/с,$ $V_c=8,5км/год, j=2$	$Q=175кг/га,$ $Q_c=224шт/с,$ $V_c=9,2км/год, j=3$	$Q=250кг/га,$ $Q_c=340шт/с,$ $V_c=9,8км/год, j=4$
1	146	108	92	61
2	23	33	36	37
3	3	7	9	15
4	0	1	2	4
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0

$$x_{0j} = \frac{\sum_{i=1}^8 x_i \cdot k_{ij}}{\sum_{i=1}^8 k_{ij}} \quad \delta_{0j} = \frac{(x_{0j} - x_i)^2 \cdot k_{ij}}{\sum_{i=1}^8 k_{ij}} \quad (1)$$

Як видно з даних табл. 2 середньо статистичні значення  $x_{0j}$  кількості паралельних зернин, які одночасно перетинають площину контролю датчика, при збільшенні норми висіву зростає, але змінюється порівняно у вузьких межах від 1,17 до 1,74шт, складаючи практично 1,5 насінини. З ростом норми висіву збільшуються і середні квадратичні відхилення  $\delta_{0j}$ , однак зростання тут більш суттєве і знаходиться в межах 0.175...0.92шт. Отримані результати експериментальних даних підтверджують, що навіть при встановленні регістратора на рівні дна борозни, використання датчиків об'ємної дії для дослідження зернового потоку не можливе, так як вони не розпізнають і не реєструють навіть зерна двійники, які одночасно перетирають площину їх контролю, не кажучи уже по 3 і більше паралельно пролітаючих насінини [4].

Аналогічні дослідження параметрів зернового потоку були проведені і на виході висівного апарату. Кратність фіксації випадків пролітання паралельних насінин через площину реєстрації датчика, встановленого на виході висівного апарату та на рівні дна борозни при нормах висіву  $Q = 90, 150, 175, 250 \frac{кг}{га}$  наочно відображається графіками, представленими на рис. 2.

Аналіз цих графіків показує, що кратність реєстрації поодиноких зернин в потоці на виході висівного апарату складає лише 70 випадків (рис. 2а) проти 146 – при реєстрації на рівні дна борозни (рис. 2б). Ймовірність появи поодиноких зернин на виході висівного апарату коливається в діапазоні 4,1÷49%. При збільшенні норми висіву число поодиноких зернин різко зменшується, а число 2-х паралельних зернин складає уже 31.25÷10.4%, 3-х зернин – 13.9÷16.7%, 4-х – 4.9÷20.83%, 5-ти – 1.4÷20.83%. При нормах висіву 175кг/га та 250кг/га по 6-ть паралельних зернин було зареєстровано в 7.6÷14.6% випадків, по 7 паралельних зернин – в 8.3÷2.53% випадків і лише при нормі висіву 250кг/га було зареєстровано в 4.15% випадків по 8 паралельних зернин.

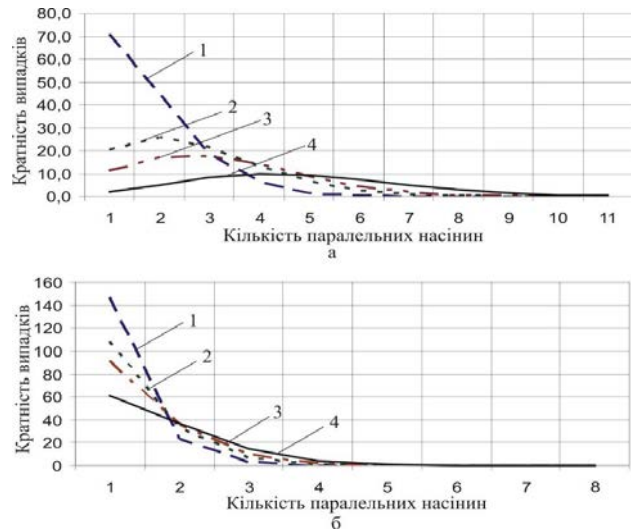


Рис. 2. Кратність появи паралельних насінин на виході висівного апарату (а) та на рівні дна борозни (б): 1 –  $Q_c=90 \text{ шт/с}$ ; 2 –  $Q_c=177 \text{ шт/с}$ ; 3 –  $Q_c=224 \text{ шт/с}$ ; 4 –  $Q_c=340 \text{ шт/с}$

В табл. 3 представлені значення вибірових середніх  $\bar{x}_{0j}$  випадкових величин  $x_i$  та середнє квадратичне відхилення  $\delta_{0j}$  випадкових величин  $x_i$  від вибірових середніх  $\bar{x}_{0j}$  при різних нормах висіву, визначені на підставі даних реєстрації зернового потоку на виході висівного апарату за співвідношеннями (1).

Порівняння вибірових середніх табл. 2 і табл. 3 показує, що щільність зернового потоку на виході висівного апарату в 2,5 рази вища, ніж на рівні дна борозни. Результати цих досліджень на практиці підтверджують теоретично обґрунтовану динаміку розподілу зернового потоку на виході котушкового висівного апарату та її пульсуючий характер [5]. При великих нормах висіву на виході висівного апарату формується практично масовий рух зерна, що ускладнює їх розділну реєстрацію.

На вибір точки ідентифікації зернового потоку значний вплив здійснює і можливість розпізнавання кожної з паралельних зернин в площині контролю датчика і точність їх реєстрації. Найбільше значення довірчого інтервалу  $x_{04} + \Delta x$  при нормі висіву  $Q_c = 340 \frac{шт}{с}$ , до якого з імовірністю, наприклад  $\alpha=0.997$ , попадають значення

Таблиця 2

Статистичні параметри зернового потоку зареєстровані на рівні дна борозни

Параметри	Умови сівби			
	$Q_c=90 \text{ шт/с}$	$Q_c=177 \text{ шт/с}$	$Q_c=224 \text{ шт/с}$	$Q_c=340 \text{ шт/с}$
Вибіркові середні $x_{0j}$ шт	1,17	1,35	1,46	1,74
Середні квадратичні відхилення $\delta_{0j}$ шт	0,175	0,36	0,55	0,92
Кількість вимірів $N_j$	172	149	140	119

Статистичні параметри зернового потоку зареєстровані на виході висівного апарату

Параметри	Умови сівби			
	$Q_c=90$ шт/с	$Q_c=177$ шт/с	$Q_c=224$ шт/с	$Q_c=340$ шт/с
Вибіркові середні $\bar{x}_{0j}$ т	2,08	2,31	3,24	
Середні квадратичні відхилення $\delta_{0j}$	0,99	2,57	2,54	1,76
Кількість вимірів $N_j$		83	79	48

випадкових величин  $x_{ij}$  зареєстрованих на рівні дна борозни, визначається співвідношенням  $P(x_{ij} \leq x_{04} + \Delta x) = P(x_{ij} \leq x_{04} + 3\delta_{04})$ .  $x_{04} + 3\delta_{04} = 1.71 + 3 \cdot 0.92 = 4.5$  (див. табл. 2). Тобто, майже в 99,7% випадків реєстрації зернового потоку на рівні дна борозни число паралельно пролітаючих зернин не буде перевищувати 4÷5 одиниць, ймовірність появи яких менше 0.8%. Найбільше значення довірчого інтервалу  $x_{04} + \Delta x$  при тій же нормі висіву, до якого з імовірністю  $\alpha=0.997$  попадають значення випадкових величин  $x_{ij}$  зареєстрованих на виході висівного апарату дорівнює  $x_{04} + 3\delta_{04} = 4.42 + 3 \cdot 1.76 = 9.71$  (див. табл. 3). В цьому випадку число паралельно пролітаючих зернин не буде перевищувати 9÷10 одиниць. Ймовірність появи від 8 до 10 паралельно пролітаючих зернин знаходиться в межах 2÷4.15%. Похибка розпізнавання та реєстрації зернового потоку на виході висівного апарату з використанням двох координатного оптико-електронного скануючого датчика може знаходитися в межах 2...5%, що недопустимо. Це пояснюється наступними причинами. По – перше, принцип роботи цього датчика розрахований на розпізнавання та реєстрацію до 7 паралельно пролітаючих зернин [6]. Згідно даних графіка (рис. 2а), при нормі висіву  $Q_c = 340 \frac{\text{шт}}{\text{с}}$  фіксуються непоодинокі випадки реєстрації більше 8 паралельно пролітаючих насінин. По – друге, при швидкості зернин 0.7...2м/с і значній щільності їх одночасного прольоту через площину реєстрації, проекції зображення 2...3 і більше насінин вздовж координат X і Y можуть зливатися і бути зареєстрованими як один об'єкт. Число таких випадків при збільшенні інтенсивності зернового потоку та практично незмінній швидкості насінин пропорційно збільшується. В той же час, ймовірність появи таких випадків на рівні дна борозни не перевищує 0,8%, що допустимо.

В результаті аналізу отриманих експериментальних даних, приходимо до висновку, що найбільш придатним місцем для реєстрації зернового потоку та оцінки якості сівби є наближена до дна борозни зона пролітання зерна: на виході насін-

непроводу – при автоматизації процесів керування висівом зернових культур або на рівні дна борозни – при лабораторних дослідженнях.

В процесі експериментального дослідження точності реєстрації зернового потоку за допомогою системи комп'ютерної ідентифікації виконано 103 експерименти на рівні дна борозни при висіві пшениці на липку стрічку. Зерновий потік перетинав площину контролю датчика і розподілявся на липкій стрічці, яка рухалася з заданою швидкістю. Отримані в процесі дослідження при різних нормах висіву і швидкостях руху сівалки результати ручного (на липкій стрічці) та автоматичного (при реєстрації датчиком) контролю кількості висівних насінин представлені в табл. 4.

В ході обробки експериментальних даних встановлено, що відносна похибка визначення кількості зернин, зареєстрованих системою комп'ютерної ідентифікації на рівні дна борозни не перевищує 2%. Ця похибка може бути меншою, оскільки тривалість випробування, з метою зменшення обсягу ручної роботи, була значно знижена відносно визначених 30с. При цьому певна похибка допускалася і при переключенні зернового потоку.

При оцінці якості висіву пшениці катушковим висівним апаратом сівалки СЗ-3,6 за щільністю в заданому заліковому інтервалі з використанням системи комп'ютерної ідентифікації та липкої стрічки було виконано п'ять дослідів по 100 залікових інтервалів довжиною 5м при нормах висіву 90 кг/га і п'ять дослідів по 60 залікових інтервалів довжиною три метри за умов норми висіву 175кг/га. Показники розподілу зернового потоку за щільністю в п'яти сантиметровому інтервалі при швидкості руху сівалки 9,2км/год представлені в табл. 5.

Як видно з даних табл. 5. в експериментах фактична норма висіву була меншою заданої, що викликано дещо крупнішими зернами у використаному посівному матеріалі порівняно з теоретично прийнятими. Кількість зареєстрованих зернин достатньо точно співпадає. Системою ідентифікації фіксувалася менша кількість зернин

Таблиця 4

## Порівняльна таблиця ручної та автоматичної реєстрації потоку насіння

№ досліджу	Умови проведення експерименту – норма висіву $Q$ , тривалість випробування $T$ , швидкість руху сівалки $V_c$					
	$Q=90\text{кг/га}$ , $T=2\text{с}$ , $V_c=7,2\text{км/год}$		$Q=175\text{кг/га}$ , $T=1\text{с}$ , $V_c=8,5\text{км/год}$		$Q=250\text{кг/га}$ , $T=1\text{с}$ , $V_c=9,8\text{км/год}$	
	авт.	ручн.	авт.	ручн.	авт.	ручн.
1	174	176	225	228	344	351
2	178	181	218	221	343	348
3	175	177	225	230	347	353
4	180	183	214	218	335	341
5	181	182	221	225	332	337

Таблиця 5

## Ручна і автоматична оцінка якості розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву

№ п/п	Найменування показників виміру	Джерело інформації			
		Липка стрічка	Система ідентиф.	Липка стрічка	Система ідентиф.
1	Задана норма висіву	$Q$ кг/га		175	
		$Q_M$ шт/м		87,5	
2	Розрахункова щільність $\bar{k}_p$ , шт/5см	2,25		4,38	
3	Розрахункова відстань між сусідніми зернинами $\bar{x}_p$ , см	2,27		1,16	
4	Довжина борозни в експерименті, м	5	5	3	3
5	Кількість зареєстрованих насінин, шт	216	215	251	250
6	Фактична норма висіву, шт/м	43,36	43,14	83,65	83,34
7	Вибіркова середня щільність $\bar{k}_e$ , шт/5см	2,17	2,16	4,18	4,17
8	Середнє квадрат. відхилення $\sigma_k$ , шт	1,93	1,91	1,97	1,95
9	Вибіркове середнє значення відстані між зернинами, см	2,316	2,328	1,195	1,2

порівняно з еталоном, що підтверджує малоймовірне неврахування певної кількості дискретних об'єктів.

Деяке неспівпадіння заданих показників з фактичними спостерігається і по щільності, і по відстані між зернинами. Однак, результати отримані комп'ютеризованою системою ідентифікації зернового потоку достатньо близько співпадають з даними, зареєстрованими еталоном конвеєром з липкою стрічкою. Результати на різних нормах висіву близькі між собою. При більших нормах висіву вони дещо кращі. В цілому розбіжність фактичних норм висіву, середніх щільностей,

середніх відстаней між зернинами не перевищує 0,5%. Середні квадратичні відхилення щільності розподілу зернин на п'яти сантиметровому інтервалі також практично однакові, невідповідність їх не виходить за межі 1%.

**Висновки.** В результаті оцінки точності реєстрації неупорядкованого потоку зерна системою комп'ютерної ідентифікації було встановлено, що похибка реєстрації зернового потоку сформованого катушковим висівним апаратом зернової сівалки не перевищує 2%, а відхилення при оцінці щільності розподілу зернового потоку не виходить за межі 1%.

## Список літератури:

1. Smith J., Brown P. Optical and 3D sensing technologies for seed flow monitoring in precision agriculture. Precision Agriculture. 2017. Vol. 18(4). P. 455–472.
2. Шевченко І. М. Математичне моделювання процесу формування зернового потоку у висівних апаратах зернових сівалок. Вісник аграрної науки України. Київ, 2021. №6. С. 45–52.
3. Гнатюк О. В., Мельник С. І., Бондаренко Р. Л. Статистичні методи обробки сигналів у системах контролю висіву зернових культур. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ, 2022. № 289. С. 112–119.
4. Пархоменко Ю.М. Аналіз можливостей датчиків об'ємної дії, що застосовуються в діючих системах контролю висіву./Ю.М. Пархоменко, М.Д. Пархоменко, А.Р. Бокій. Конструювання, виробництво та экс-

плуатація сільськогосподарських машин. Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб-к, вип. №48, Кропивницький: ЦНТУ, 2018.- с.79 – 88

5. Пархоменко Ю.М. Визначення математичної моделі процесу формування зернового потоку на виході катушкового висівного апарата. /Ю.М. Пархоменко, В.О Кондратець, М.Д. Пархоменко, Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин”, Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб-к , вип. №41, Кіровоград: КНТУ, 2011.-с.62-68.

6. Кондратець В.О. Підвищення дозволяючої здатності пристрою ідентифікації потоку насіння в зернових сівалках. /В.О. Кондратець, Ю.М. Пархоменко. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Вістник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип.117. – 2011. – с. 47-49

**Parkhomenko Yu.M., Parkhomenko M.D., Matsui A.M., Bokii A.R., Komarov D.Yu.**

**DETERMINATION OF THE INSTALLATION PLACE AND THE ACCURACY OF REGISTRATION BY THE GRAIN FLOW SENSOR FORMED BY A REEL SEEDER**

*The article presents the results of experimental studies of the parameters of the grain flow formed by the reel sowing device of the SZ-3.6 seeder. The relevance of the work is due to the strategic importance of the grain sector of Ukraine and the need to improve automated sowing control systems to increase yields. The main task of the study was to determine the optimal location for installing registration sensors and assess the accuracy of their operation in conditions of real flow density. The experiments were conducted on a universal stand that allows modeling different seeding rates (from 90 to 250 kg/ha) and unit speed (up to 9.8 km/h). It was established that the density of the grain flow at the exit of the sowing device is 2.5 times higher than at the level of the bottom of the furrow, which creates significant obstacles to the correct registration of objects due to their overlap. Analysis of the frequency of grain passage through the control plane showed that at high seeding rates, a mass movement of grain is formed at the exit of the device, where the probability of single grains is reduced to 4.1%. This leads to the merging of images of several grains and, as a result, to unacceptable registration errors (up to 5% and above). It has been proven that the most suitable place for installing the sensor is the zone close to the bottom of the furrow (at the exit of the seed tube), where the flow becomes more rarefied, and the proportion of single grains is 51.3–84.9%. The use of the developed computer identification system based on a two-coordinate optical-electronic recorder provides high accuracy: the relative error in determining the number of grains does not exceed 2%, and the deviation in estimating the distribution density is no more than 1%. The obtained data confirm the impossibility of using volumetric sensors due to their inability to recognize parallel flying objects. The results have practical significance for the development of new precision farming systems and automation of seeding rate control of pneumatic and mechanical seeders.*

**Keywords:** grain flow, reel seeding machine, automated control system, registration accuracy, optoelectronic sensor, seeding rate, computer identification.

Дата першого надходження статті до видання: 03.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026