



УДК 631.331.5

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-6

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ ПОГІРШЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ПНЕВМАТИЧНИМИ СІВАЛКАМИ

Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник, професор
Безверхній Петро Євгенович, здобувач третього освітньо-наукового рівня вищої освіти
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Elchyn Aliiev, Doctor of Technical Sciences, senior researcher, professor
Petro Bezverkhniy, recipient of the third educational and scientific level
Dnipro State Agrarian and Economic University

Метою досліджень є встановлення чинників погіршення точності висіву пневматичними сівалками (на прикладі сівалки точного висіву John Deere 90 Series) в результаті спостережень за їх роботою в ході чисельного моделювання і польових експериментальних досліджень. Спостереження за роботою висівної секції пневматичної сівалки точного висіву було проведено в два етапи: чисельне моделювання і польові експериментальні дослідження. Чисельне моделювання передбачало використання програмного пакету Simcenter STAR-CCM+ і створені 3D-моделі основних елементів висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series. Польові експериментальні дослідження проводилися на зерно-паропросапній сівозміні на території АФГ «Ольвія». Сіяли горох сівалкою John Deere 90 Series. Міжряддя складало – 0,19 м, глибина посіву – 0,05 м. Норма висіву – 1,2 млн. шт./га. В результаті чисельного моделювання роботи висівної секції пневматичної сівалки точного висіву отримано візуалізацію розподілу агрегатів ґрунту та їх швидкостей. Порівнюючи отримані значення показників із нормованими встановлено, що розподіл насіння вздовж осі x відповідає зазначеним вимогам. Вздовж глибини посіву (вісь z) розподіл насіння є досить високий, що виходить за нормовані значення. Так, отримане середнє значення глибини посіву складає $0,041 \pm 0,03$ м, а нормоване – $0,05 \pm 0,01$. Наочний аналіз показує, що деякі насінини навіть не потрапляють у посівний шар (0,04–0,08 м) орного горизонту. Менше значення відстані між насінинами ($< 0,029$ м) пояснює виникнення «двійників», а більше ($> 0,059$ м) – виникненням «пропусків». В результаті польових експериментальних досліджень висівної секції пневматичної сівалки точного висіву з використанням екшн-камери зроблені фотографії моменту вилітання насіння з посівного ложе для різних конструкцій заспокоювача насіння. Після отримання сходів посіяного насіння гороху визначені відстані між рослинами і розраховані відповідні статистичні показники: мінімальне значення – 0,005 м, максимальне значення – 0,124 м, межа – 0,0595 м, середньоквадратичне відхилення – 0,031 м, середнє значення 0,045 м, коефіцієнт варіації – 0,688. Порівнюючи отримані експериментальні дані із результатними чисельного моделювання присутня достатня висока відповідність даних (94 %), що підтверджує чисельну модель, яка розроблена в програмному пакеті Simcenter STAR-CCM+. В результаті спостережень за роботою висівної секції пневматичної сівалки John Deere 90 Series в ході чисельного моделювання і польових експериментальних досліджень встановлені чинники погіршення точності висіву (висока швидкість повітряного потоку і відповідно насіння, недосконала форма насіннєвого каналу висівного башмака, недосконала форма заспокоювача насіння). Підвищення ефективності процесу сівби насіння культурних рослин можна досягти шляхом удосконалення конструкцій елементів системи подачі насіння пневматичної сівалки (сповільнювач насіння, насіннєвий канал висівного башмака, заспокоювач насіння) із обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами, що забезпечують точний висів, та конструкційними матеріалами, що забезпечують підвищений ресурс їх експлуатації.

Ключові слова: насіння, горох, точний висів, пневматична сівалка, висівний башмак, сповільнювач насіння, заспокоювач насіння чисельне моделювання, польові дослідження.

Рис. 10. Табл. 1. Літ. 22.

1. Постановка проблеми

У сучасному рослинництві велика увага приділяється використанню енергозберігаючих технологій для вирощування культурних рослин. Цей напрямок є одним з найважливіших і

перспективних, і передбачає використання сільськогосподарських машин нового покоління. Ці сучасні машини забезпечують високу якість і точність виконання робіт на всіх етапах технологічного процесу, зокрема під час сівби культурних рослин [1, 2].

Для досягнення цих цілей розробляються нові конструкції машин, які враховують вимоги до прецизійності, багатофункціональності, енергоємності та міцності конструктивних елементів. Особлива увага приділяється системам подачі насіння в універсальних пневматичних сівалках точного висіву, так як існуючі системи потребують доопрацювання [3, 4]. Сівалка John Deere 90 Series також не є винятком. Згідно з патентом US 7,168,376 B2 [5] висівна секція пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series складається з наступних основних елементів (рис. 1): висівний башмак, однодисковий сошник, насіннепровід, фіксує колесо, прикочувальне колесо, заспокоювач насіння.

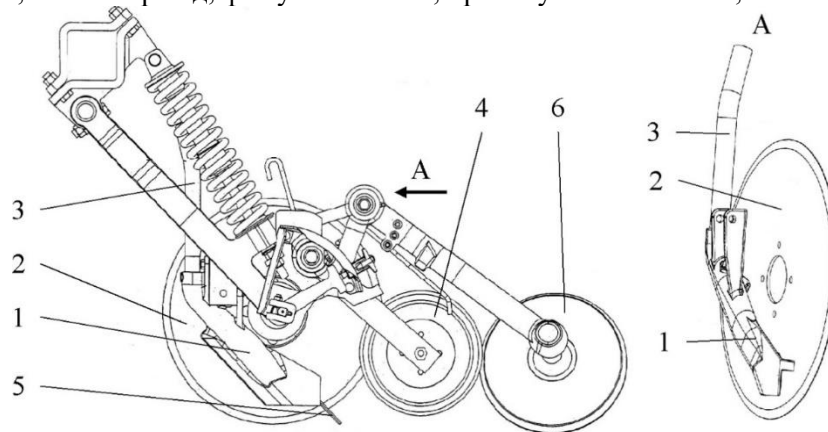


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series [5]: 1 – висівний башмак (Seed Boot); 2 – однодисковий сошник (Single Disc Furrow Opener); 3 – насіннепровід (Seed Tube); 4 – фіксує колесо (Seedlock Wheel); 5 – заспокоювач насіння (Seed Flap); 6 – прикочувальне колесо (Closing Wheel)

Детальніше розглянемо основні проблеми, пов'язані з висівною секцією даної сівалки, а також розглянемо можливі шляхи їх вирішення, враховуючи власний практичний досвід експлуатації та аналіз літературних джерел.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Точність висіву пневматичною сівалкою визначає головним чином процес переміщення насіння від дозуючого пристрою до місця безпосереднього їх потрапляння до борозни, яку формує сошник у ґрунті [6]. У випадку сівалки точного висіву John Deere 90 Series борозну формує висівний башмак і однодисковий сошник (Рис. 1).

Насінини, маючи високу початкову швидкість, проходять достатньо довгий шлях по насіннепроводу і каналу висівного башмака. Під час руху вони зіштовхуються зі стінками насіннепроводу, змінюючи при цьому швидкість і траєкторію польоту. Це спричинено декількома чинниками. По-перше, високою початковою швидкістю насінин, і по-друге, наявною горизонтальною швидкістю переміщення насіннепроводу і висівного башмака у складі висівної секції [6]. Тому, навіть при ідеальному дозуванні у пневматичній сівалці, насінини нерівномірно розподіляються у посівному ложі по всім трьом напрямкам. Окрім цього можливе навіть вилітання насінин з борозни. Це все призводить до нерівномірного посіву, наявності «пропусків» і «двійників» [6, 7].

Рівномірність посіву визначається за трьома координатами простору: відстані між насінинами вздовж лінії посіву, розкиду насіння перпендикулярно цієї лінії і глибини посіву.

Відстань між насінинами вздовж лінії посіву головним чином визначає норму висіву. Для кожної культури в певних ґрунтово-кліматичних умовах норма висіву має раціональне значення, яке підтверджено багатьма науковцями-агрономами [8, 9, 10]. Нерівномірність відстані між насінинами призводить до неоднорідної норми висіву, що може зменшувати врожайність до 7 %.

Розкиду насіння перпендикулярно лінії посіву призводить до зменшення вільного простору між рядками. Таким чином в результаті міжрядкової культивування можливе зрізання рослин, що також зменшує врожайність.

Аналіз досліджень [11, 12, 13] показав, що глибина посіву відіграє важливу роль при

формуванні рівномірності сходів і однакового розвитку рослин під час вегетаційного періоду. Така нерівномірність призводить до зниження врожайності до 9 % і певної складності при збиранні.

Тому для встановлення конкретних чинників погіршення точності висіву пневматичними сівалками необхідно провести відповідні спостереження в ході чисельного моделювання і польових експериментальних досліджень.

3. Мета досліджень

Встановити чинники погіршення точності висіву пневматичними сівалками (на прикладі сівалки точного висіву John Deere 90 Series) в результаті спостережень за їх роботою в ході чисельного моделювання і польових експериментальних досліджень.

4. Виклад основного матеріалу

Спостереження за роботою висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series будемо проводити в два етапи: чисельне моделювання і польові експериментальні дослідження.

Чисельне моделювання передбачало використання програмного пакету Simcenter STAR-CCM+ і створені 3D-моделі основних елементів висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series (рис. 2) згідно даних [7, 14].

Для створення сіткових моделей в Simcenter STAR-CCM+ були вибрано наступне: генератор поверхневої сітки та модель тримірної сітки. Поверхнева сітка необхідна для забезпечення високоякісної тріангуляції на довільно складній геометрії елементів висівної секції. Модель тримірної сітки використовує шаблонну сітку, що складається з шестигранних комірок, відповідних до цільового розміру. Ця модель вирізає або обрізає основну сітку залежно від початкової поверхні введення. Базовий розмір сітки був встановлений на рівні 0,01 м.

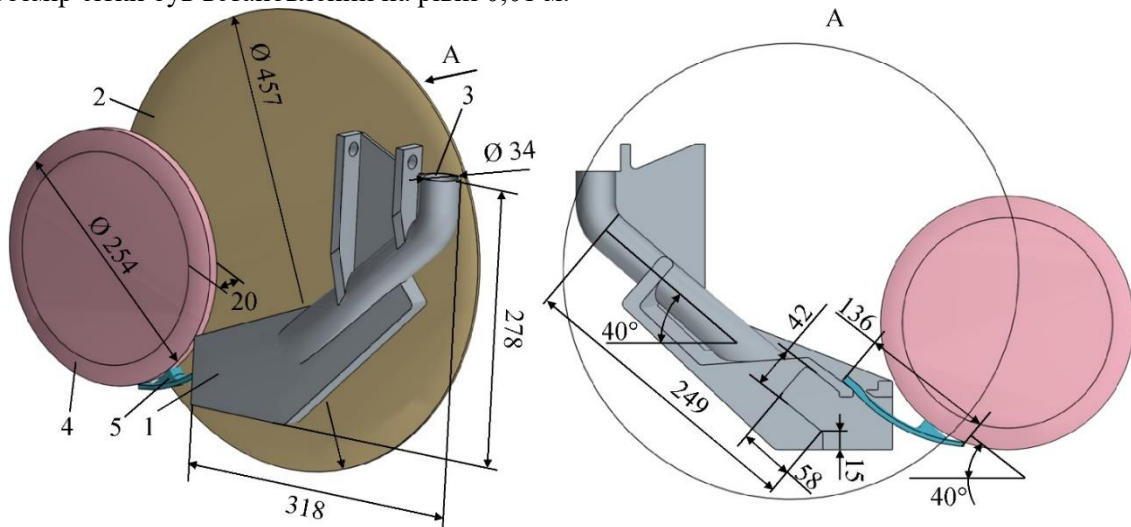


Рис. 2. Геометричні розміри 3D-моделі висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series: 1 – висівний башмак (Seed Boot); 2 – однодисковий сошник (Single Disc Furrow Opener); 3 – насіннєпровід (Seed Tube); 4 – фіксує колесо (Seedlock Wheel); 5 – заспокоювач насіння (Seed Flap)

Для чисельної моделі в Simcenter STAR-CCM+ були використані наступні фізичні моделі: тривимірна, нестационарна неявна, Лагранжева багатофазність, багатофазна взаємодія та сила тяжіння. В якості Лагранжевої фази ґрунту було обрано частинки DEM з такими моделями: сферична частинка, суцільна, постійна щільність. Фізико-механічні властивості частинок ґрунту були прийняті відповідно до досліджень [15–17] і мають наступні значення: щільність – 1100 кг/м³, коефіцієнт Пуассона – 0,41, модуль пружності Юнга – 1,5 · 10⁷. Для взаємодії частинок між собою було прийнято наступні значення: коефіцієнт тертя спокою – 0,732, нормальний і дотичний коефіцієнти відновлення – 0,5, множник лінійного зчеплення – 1,5, робота когезії – 0,5 Н/м. Для взаємодії частинок зі стінкою сталевого органу було прийнято: коефіцієнт тертя спокою – 0,61, нормальний і дотичний коефіцієнти відновлення – 0,5, відсутність лінійного зчеплення. Відповідно до досліджень [15], фракційний склад ґрунту



підпорядковується нормальному розподілу Гауса в діапазоні від 10 мм до 36 мм. Розподіл частинок ґрунту в області досліджень (надпосівний, посівний і підпосівний шари) за розміром показано на рис. 3. Глибина ґрунту була розділена на 10 шарів товщиною 0,02 м.

Параметри нестационарного неявного вирішувача Simcenter STAR-CCM+ були наступні:

- інтервал часу між кроками – 0,01 с;
- максимальна кількість ітерацій на один крок – 5;
- дискретизація за часом – перший порядок точності;
- мінімальні і максимальні значення числа Куранта для Лагранжевої багатозначності – 0,2 і 0,5 відповідно;
- загальний час моделювання становив – 10 с.

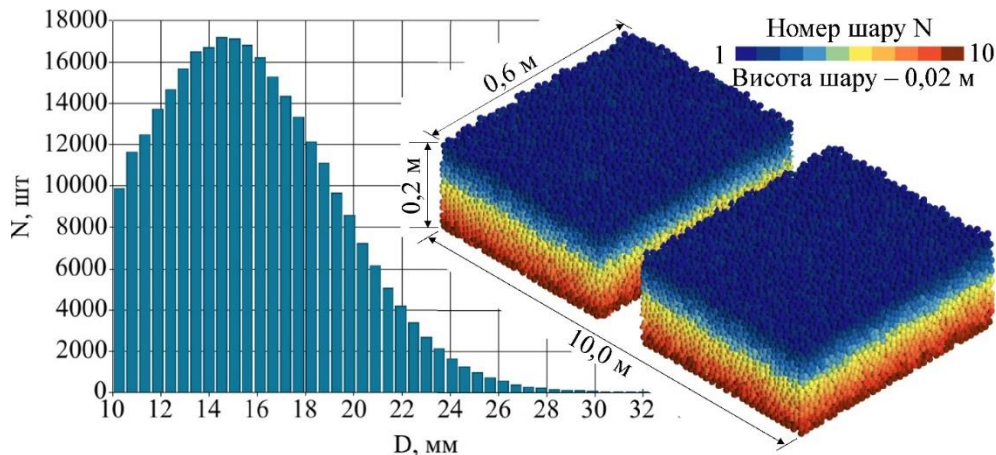


Рис. 3. Розподіл сферичних частинок DEM ґрунту за розміром в області досліджень

В якості моделі насінин прийняті наступні: суцільні сферичні частинки DEM із постійною щільністю. Фізико-механічні властивості насінин прийняті спираючись на лабораторні дослідження насіння гороху [18–20]: ефективний діаметр – 0,008 м; дійсна щільність – 1180 кг/м³; коефіцієнт Пуассона – 0,32; модуль пружності Юнга – 70 МПа. Для взаємодії частинок між собою було прийнято наступні значення: коефіцієнт тертя спокою – 0,62, нормальний і дотичний коефіцієнти відновлення – 0,3, відсутність лінійного зчеплення. Для взаємодії частинок зі стінкою сталевого органу було прийнято: коефіцієнт тертя спокою – 0,41, нормальний і дотичний коефіцієнти відновлення – 0,5, відсутність лінійного зчеплення.

Згідно досліджень [8, 21] норма висіву гороху по класичній технології складає 1,2 млн. шт./га. Враховуючи відстань між рядками – 0,19 м, отримуємо 22,8 шт./м або відстань між насінинами в рядку – 0,044 м. Швидкість руху сівалки приймаємо 1,5 м/с [22]. Тоді швидкість інжекції насінин в верхній частині насіннепроводу складає 34,09 шт./с. Спираючись на дані з [22] початкова швидкість насіння в повітряному потоці може складати 4 м/с. Глибина посіву – 0,05 м. Поперечний переріз області моделі ґрунту, де проходив висівний башмак і однодисковий сошник висівної секції пневматичної сівалки, наведений на рис. 4. На рис. 4 відмічені насіння, які потрапили у орний горизонт ґрунту, який складається з надпосівного (0-0,04 м), посівного (0,04-0,08 м) і підпосівного (0,08-0,24) шарів.

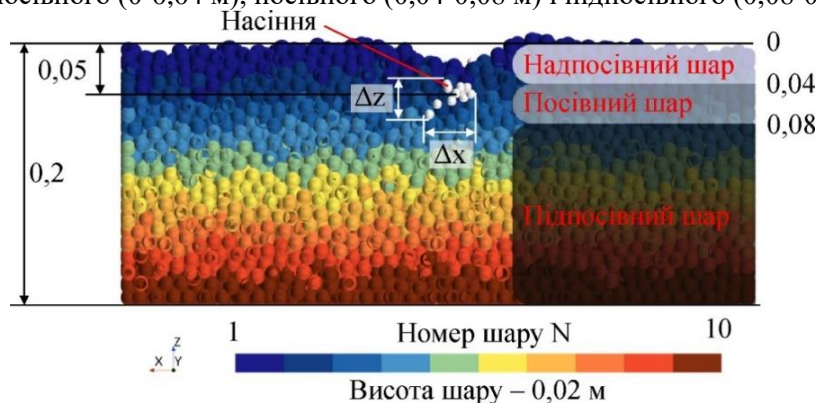


Рис. 4. Поперечний переріз області моделі ґрунту



За критерії оцінки якості посіву обрано рівномірність розподілу насіння вздовж лінії посіву $\epsilon_{\Delta y}$ і розкид насіння по глибині Δz і ширині Δx посіву.

Польові експериментальні дослідження проводилися на зерно-паропросапній сівозміні на території Акціонерного фермерського господарства «Ольвія». Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем звичайний важкосуглинковий малогумусний. Вміст гумусу в орному горизонті ґрунту становив від 3,4 % до 3,9 %, а рН водної витяжки коливався від 6,4 до 6,9. Загальні запаси поживних речовин склалися з таких компонентів: азоту – від 0,22 % до 0,25 %, фосфору – від 0,12 % до 0,17 %, калію – від 1,9 % до 2,4 %.

У польових дослідах горох був висіяний після попередника – пшениці озимої. Для проведення дослідів було використано мінеральні добрива (нітрофоску), які були внесені під час передпосівної культивування відповідно до розроблених схем. Для висіву були використано сорт гороху Соломон. Застосована технологія вирощування гороху в цих дослідах є загальноприйнятою для даної зони. Сіяли горох сівалкою John Deere 90 Series. Міжряддя складало – 0,19 м, глибина посіву – 0,05 м. Норма висіву – 1,2 млн. шт./га. Маса 1000 насінин складала 174 ± 2 г. Загальна зараженість хворобами – $1,2 \pm 0,5$ %. Схожість – $98,0 \pm 0,5$ %, енергія проростання – $96,0 \pm 0,5$ %.

За критерії оцінки якості посіву обрано рівномірність розподілу насіння вздовж лінії посіву $\epsilon_{\Delta y}$ після сходів (рис. 5). На рис. 5 відображені сходи гороху на дослідному полі.



Рис. 5. Сходи гороху на дослідному полі АФГ «Ольвія»

Під час висіву на сівалці на рівні висівного башмака було закріплено екшн-камеру Aspiring Repeat 4 Ultra HD 4K Dual Screen. З її допомогою фіксувався момент вилітання насіння у посівне ложе. Це необхідно для наочного порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

В результаті чисельного моделювання роботи висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series отримано візуалізацію розподілу агрегатів ґрунту та їх швидкостей, яка представлена на рис. 6. Максимальна швидкість переміщення агрегатів ґрунту складає 1,5 м/с. Враховуючи візуалізацію на рис. 5 видно розподіл насіння в орному горизонті ґрунту і отриману борозну в результаті прикочування фіксуючим колесом.

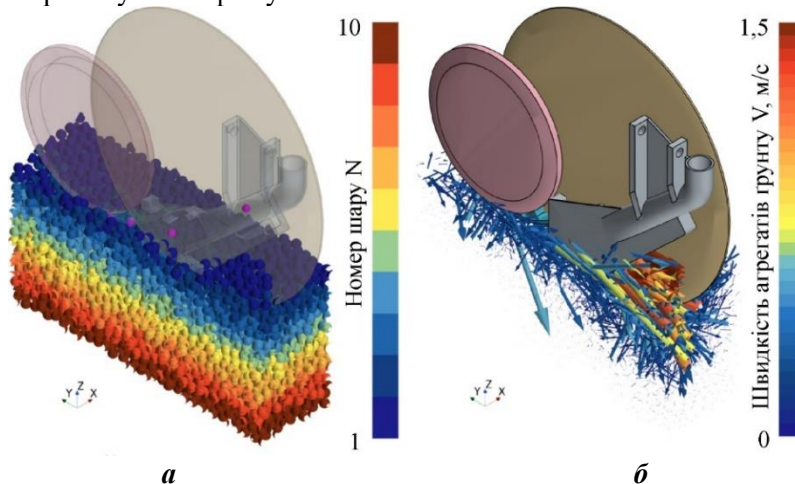


Рис. 6. Візуалізація розподілу агрегатів ґрунту (а) та їх швидкостей (б) під дією висівної секції пневматичної сівалки



Візуалізація розподілу насіння вздовж лінії посіву (y) і по глибині (z) наведено на рис. 7. Графічна інтерпретація розподілу насіння в області орного горизонту ґрунту представлено на рис. 8. З рис. 7 і 8 були визначені основні статистичні показники точності висіву в трьох координатах простору, такі як мінімальне, максимальне і середнє значення, межа, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації. Ці показники зведені в табл. 1.

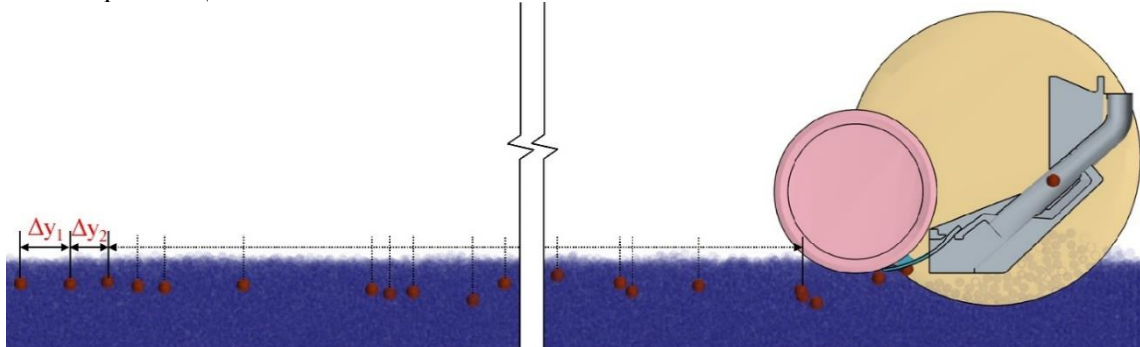


Рис. 7. Візуалізація розподілу насіння в результаті висіву пневматичною сівалкою

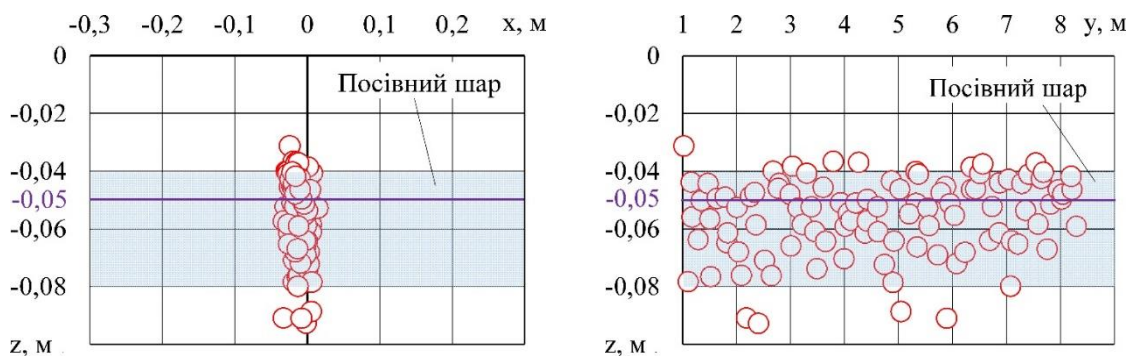


Рис. 8. Розподіл насіння в області орного горизонту ґрунту

Порівнюючи отримані значення показників із нормованими встановлено, що розподіл насіння вздовж осі x відповідає зазначеним вимогам. Вздовж глибини посіву (вісь z) розподіл насіння є досить високий, що виходить за нормовані значення. Так, отримане середнє значення глибини посіву складає $0,041 \pm 0,03$ м, а нормоване – $0,05 \pm 0,01$. Наочний аналіз рис. 8 показує, що деякі насінини навіть не потрапляють у посівний шар (0,04–0,08 м) орного горизонту. Ще гірша ситуація із відстанню між насінними вздовж лінії висіву. Аналіз табл. 1 і рис. 8–9 дає змогу стверджувати про достатньо високу нерівномірність посіву: відстань між насінинами знаходиться в межах від 0,0017 м до 0,1192 м, коефіцієнт варіації – 0,672. При цьому нормованим значенням є відстань $0,044 \pm 0,015$ м. Менше значення відстані між насінинами ($< 0,029$ м) пояснює виникнення «двійників», а більше ($> 0,059$ м) – виникненням «пропусків». Згідно рис. 9 лише 47,5 % насінин посіяно з нормованим значенням точності висіву.

Таблиця 1

Результати чисельного моделювання процесу висіву пневматичною сівалкою John Deere 90 Series

Показник	x	Δy	z
Мінімальне значення	- 0,03308	0,001752	- 0,09262
Максимальне значення	0,014296	0,119157	- 0,03118
Межа	0,023688	0,058703	0,030719
Середньоквадратичне відхилення	0,009868	0,029303	0,013423
Середнє значення	- 0,00851	0,043593	- 0,04164
Коефіцієнт варіації	- 1,15896	0,672183	- 0,32239
Нормоване значення	$\pm 0,025$	$0,044 \pm 0,015$	$- 0,05 \pm 0,01$

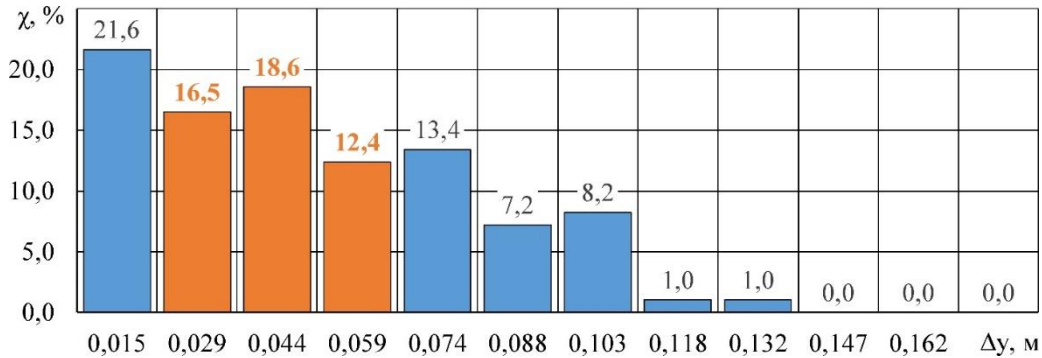


Рис. 9. Розподіл відстані між насінням вздовж лінії посіву

В результаті польових експериментальних досліджень висівної секції пневматичної сівалки точного висіву John Deere 90 Series з використанням ексн-камери зроблені фотографії моменту вилітання насіння з посівного ложе для різних конструкцій заспокоювача насіння (рис. 10).

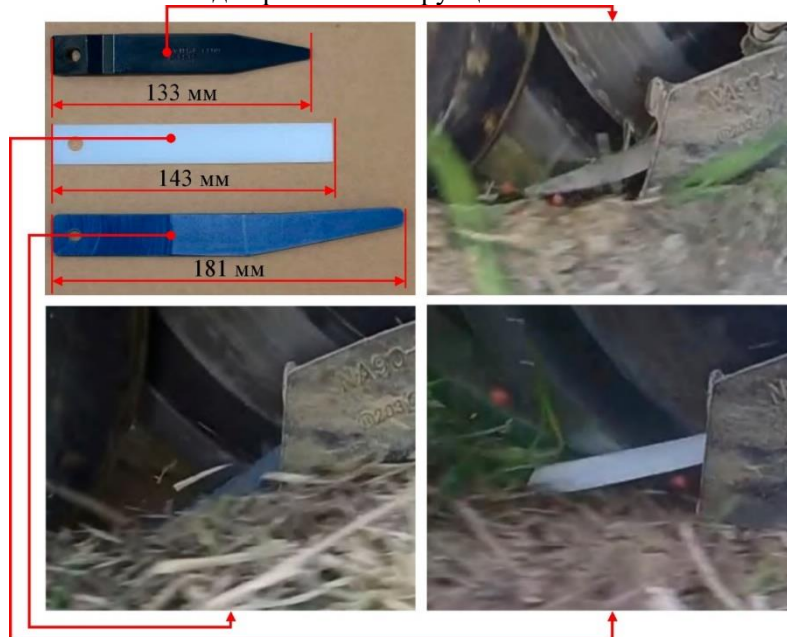


Рис. 10. Результати випробування заспокоювачів насіння різних конструкцій

Найефективнішою конструкцією є синій заспокоювач насіння довжиною 181 мм. Однак, через недосконалу конструкцію та необґрунтований вибір матеріалу, цей заспокоювач руйнується вже після обробки землі площею в межах 500-600 гектарів.

Після отримання сходів посіяного насіння гороху (рис. 5) визначені відстані між рослинами і розраховані відповідні статистичні показники: мінімальне значення – 0,005 м, максимальне значення – 0,124 м, межа – 0,0595 м, середньоквадратичне відхилення – 0,031 м, середнє значення 0,045 м, коефіцієнт варіації – 0,688. Порівнюючи отримані експериментальні дані із результатними чисельного моделювання присутня достатня висока відповідність даних (94 %), що підтверджує чисельну модель, яка розроблена в програмному пакеті Simcenter STAR-CCM+.

Перейдемо до визначення основних чинників, що спричиняють незадовільну роботи висівної секції пневматичної сівалки з точки зору забезпечення високої точності висіву.

Перший чинник пов'язаний із високою швидкістю повітряного потоку. Через нього підвищується ризик того, що насіння вилетять із висівного башмака і потраплять не у посівне ложе. Рішенням даної проблеми є використання сповільнювача насіння, який встановлюється вертикально над висівним башмаком. Він має різноманітну форму, що дозволяє йому бути розташованими ергономічно під елементами рами зберігаючи близьку вертикальну орієнтацію, що сприяє хорошему потоку насіння. Проте, конструкція сповільнювачів насіння повинна забезпечувати не лише зниження швидкості повітряного потоку, але й вільний потік насіння до сошника без утворення заторів. Крім того, враховуючи постійне коливання рами сівалки, вона також повинна запобігати травмуванню



насіння під час його переміщення.

Другий чинник – недосконала форма насінневого каналу висівного башмака. Розробники сівалок вирішуючи задачу створення «ідеального» посівного ложе в орному горизонті ґрунту, недостатньо уваги приділяють формі насінневого каналу. Через те, що сучасні пневматичні сівалки переміщуються з достатньо високими швидкостями (1,5–4,2 м/с), насіння яке рухається у насінневому каналі висівного башмака постійно стикаються із стінками, змінюючи свій напрям і швидкість руху. Такий хаотичний рух насіння призводить до погіршення точності висіву. Тому удосконалення форми насінневого каналу висівного башмака та/або матеріалу обробки його поверхні є актуальною задачею.

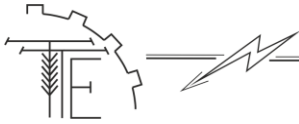
Третій чинник пов'язаний із формою заспокоювача насіння. Як вже було зазначено, його форма сильно впливає на наявність випадкового вилітання насіння із посівного ложе. Спостереження, які були проведені, підтверджують необхідність розробки нової конструкції заспокоювача насіння, використовуючи нові матеріали, що дозволять виконувати технологічні функції для запобігання випаданню насіння з посівного ложе і матимуть довгий термін експлуатації при низьких виробничих витратах.

6. Висновки

В результаті спостережень за роботою висівної секції пневматичної сівалки John Deere 90 Series в ході чисельного моделювання і польових експериментальних досліджень встановлені чинники погіршення точності висіву (висока швидкість повітряного потоку і відповідно насіння, недосконала форма насінневого каналу висівного башмака, недосконала форма заспокоювача насіння). Підвищення ефективності процесу сівби насіння культурних рослин можна досягти шляхом удосконалення конструкцій елементів системи подачі насіння пневматичної сівалки (сповільнювач насіння, насінневий канал висівного башмака, заспокоювач насіння) із обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами, що забезпечують точний висів, та конструкційними матеріалами, що забезпечують підвищений ресурс їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Aulin V. V., Chernovol M. I., Pankov A. O., Zamota T. M., Panayotov K. K. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 53 (3). P. 21–28. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/158807029.pdf>
2. Szczepaniak J., Pawlowski T., Rogacki R., Wojciechowski J., Dudziński P. Mechatronic control system in a tilling-and-sowing combined machine. *YEAR LX*. 2014. Vol. 5. P. 22–24. URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2014/5/22.full.pdf>
3. Xiong D., Wu M., Xie W., Liu R., Luo H. Design and Experimental Study of the General Mechanical Pneumatic Combined Seed Metering Device. *Appl. Sci.* 2021. Vol. 11. 7223. DOI: 10.3390/app11167223.
4. Liu L. J., Yang H., Ma S. C. Experimental study on performance of pneumatic seeding system. *Int J Agric & Biol Eng*, 2016. Vol. 9 (6). P. 84–90.
5. Johnston M. United States Patent US 7,168,376 B2, Int. Cl. AOIC 7700 (2006.01). U.S. Cl 111A167: 111 f150. Seed boot for a seeding machine. Assignee: Deere & Company, Moline, IL (US). Appl. No.: 10/632,370. Filed: Aug. 1, 2003. Date of Patent: Jan. 30, 2007.
6. Kravtsov A., Konovalov V., Zaitsev V., Petrov A., Petrova S. Results of seeder pneumatic system distributor and aero-product stream flow in the pipeline numerical studies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 422. P. 012111. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012111
7. Needham Ag Technologies. Product Guide. 2022. 88 p. URL: https://store.needhamag.com/wp-content/uploads/Needham_Ag_2022_Product_Guide.pdf
8. Гирка А. Д., Ткаліч І. Д., Сидоренко Ю. Я., Бочевар О. В., Ільєнко О. В. Актуальні аспекти технології вирощування гороху в умовах Північного Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 2 (779). С. 31–35.
9. Поляков О. І., Нікітенко О. В., Вендель В. В. Вплив мінерального живлення на продуктивність гірчиці ярої за різних норм висіву. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України*. 2018. № 26. С. 89–97. DOI: 10.36710/іос-2018-26-10.
10. Singh Dhillon G., Baarda L., Gretzinger M., Coles K. Effect of precision planting and seeding rates on canola plant density and seed yield in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*. 2022. Vol. 102 (3). P. 698–709. DOI: 10.1139/CJPS-2020-0186.



11. Cao H. Y., Wang D. B., Shi J. G., Zhu K. L., Dong S. T., Liu P., Zhao B., Zhang J.W. Effects of sowing depth on seedling traits and root characteristics of summer maize. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 2015. Vol. 26 (8). P. 397–404.
12. Özköse A. Effect of sowing depth on yield and some yield components of pea genotypes. *Sakarya University Journal of Science*. 2017. Vol. 21 (6). P. 1188–1200. DOI: 10.16984/saufenbilder.306457
13. Dozet G., Đukić V., Miladinov Z., Cvijanović G., Randelović P., Todorović M. J., Cvijanović M. Sowing Depth – A Significant Factor for Establishing the Optimal Number of Plants Per Unit Area of Soybean. *J. Agron Technol Eng Manag.* 2020. Vol. 3 (6). P. 516–522. URL: [https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v3_6/03-\(3\).Dozet_et_al_2020_3\(6\)_516-522.pdf](https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v3_6/03-(3).Dozet_et_al_2020_3(6)_516-522.pdf)
14. Research Report Summary 688. Spread Pattern of Air Seeder Seed Boots Part II. Tested at Lethbridge. 1993. 4 p. URL: [https://pami.ca/pdfs/reports_research_updates/\(9f\)%20Miscellaneous/688.PDF](https://pami.ca/pdfs/reports_research_updates/(9f)%20Miscellaneous/688.PDF)
15. Шевченко І. А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища. К.: Видавничий дім «Вінніченко», 2016. 320 с. ISBN 978-966-2622-22-5
16. Гуцол О. П., Ковбаса В. П. Обґрунтування параметрів і режимів руху ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами: монографія. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ; Ніжин: Лисенко М. М. 2016. 145 с. ISBN 978-617-640-306-7
17. Ковбаса В. П. Механіка взаємодії робочих органів із ґрунтом: монографія. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ; Ніжин: Лисенко М. М. 2016. 297 с. ISBN 978-617-640-307-4
18. Paksoy M., Aydin C. Determination of Some Physical and Mechanical Properties of Pea (*Pisum sativum* L.) Seeds. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2006. Vol. 9 (1). P. 26–29. DOI: 10.3923/pjbs.2006.26.29
19. Yalçın İ., Özarslan C., Akbaş T. Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol. 79 (2). P. 731–735. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.02.039
20. Manoj Kumar Mahawar, Samuel D. V. K., Sinha J. P., Kirti Jalgaonkar. Moisture-dependent physical and physiological properties of accelerated aged pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Current Science*. 2018. Vol. 114 (4). P. 909–915. DOI: 10.18520/cs/v114/i04/909-915
21. Popov S. I., Hlubokyi O. M., Avramenko S. V. Sowing rate effect the performance and seed quality of pea cultivars in the eastern Forest-steppe of Ukraine. *Селекція і насінництво*. 2022. № 121. С. 94–104. DOI: 10.30835/2413-7510.2022.261001
22. Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами : Начальний посібник. ЦНТУ. Кропивницький. 2022. 220 с.

References

- [1] Aulin, V.V., Chernovol, M.I., Pankov, A.O., Zamota, T.M., Panayotov, K.K. (2017). Sowing machines and systems based on the elements of fluidics. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 53 (3), 21–28. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/158807029.pdf> [in English].
- [2] Szczepaniak, J., Pawlowski, T., Rogacki, R., Wojciechowski, J., Dudziński, P. (2014). Mechatronic control system in a tilling-and-sowing combined machine. *YEAR LX*, 5, 22-24. URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2014/5/22.full.pdf>. [in English].
- [3] Xiong, D., Wu, M., Xie, W., Liu, R., Luo, H. (2021). Design and Experimental Study of the General Mechanical Pneumatic Combined Seed Metering Device. *Appl. Sci.*, 11, 7223. DOI: 10.3390/app11167223. [in English].
- [4] Liu, L J, Yang, H, Ma, S C. (2016). Experimental study on performance of pneumatic seeding system. *Int J Agric & Biol Eng*, 9(6), 84–90. [in English].
- [5] Johnston, M. (2007). United States Patent US 7,168,376 B2, Int. Cl. AOIC 7700 (2006.01). U.S. Cl 111A167: 111 f150. Seed boot for a seeding machine. Assignee: Deere & Company, Moline, IL (US). Appl. No.: 10/632,370. Filed: Aug. 1, 2003. Date of Patent: Jan. 30, 2007. [in English].
- [6] Kravtsov, A., Konovalov, V., Zaitsev, V., Petrov, A., Petrova, S. (2020). Results of seeder pneumatic system distributor and aero-product stream flow in the pipeline numerical studies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 422, 012111. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012111. [in English].
- [7] Needham Ag Technologies. (2022). *Product Guide*. URL: https://store.needhamag.com/wp-content/uploads/Needham_Ag_2022_Product_Guide.pdf. [in English].
- [8] Hyrka, A.D., Tklich, I.D., Sydorenko, Yu.Ya., Bochevar, O.V., Il'yenko, O.V. (2018). Aktual'ni



- aspekty tekhnolohiyi vyroshchuvannya horokhu v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrayiny [Current aspects of the technology of growing peas in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoyi nauky – Bulletin of Agrarian Science*, 2 (779), 31–35 [in Ukrainian].
- [9] Polyakov, O.I., Nikitenko, O.V., Vendel', V.V. (2018). Vplyv mineral'noho zhyvlennya na produktyvnist' hirschytsi yaroyi za riznykh norm vysivu [The influence of mineral nutrition on the productivity of spring mustard under different sowing rates]. *Naukovo-tekhnichnyy byuleten' Instytutu oliynykh kul'tur Natsional'noyi akademiyi ahrarnykh nauk Ukrayiny – Scientific and technical bulletin of the Institute of Oil Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*, 26, 89–97. DOI: 10.36710/ioc-2018-26-10. [in Ukrainian].
- [10] Singh Dhillon, G., Baarda, L., Gretzinger, M., Coles, K. (2022). Effect of precision planting and seeding rates on canola plant density and seed yield in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 102 (3), 698–709. DOI: 10.1139/CJPS-2020-0186. [in English].
- [11] Cao, H.Y., Wang, D.B., Shi, J.G., Zhu, K.L., Dong, S.T., Liu, P. et al. (2015). Effects of sowing depth on seedling traits and root characteristics of summer maize. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 26(8), 2397–404. [in English].
- [12] Özköse, A. (2017). Effect of sowing depth on yield and some yield components of pea genotypes. *Sakarya University Journal of Science*, 21 (6), 1188–1200. DOI: 10.16984/aufenbilder.306457. [in English].
- [13] Dozet, G., Đukić, V., Miladinov, Z., Cvijanović, G., Randelović, P., Todorović, M. J. (2020). Sowing Depth – A Significant Factor for Establishing the Optimal Number of Plants Per Unit Area of Soybean. *J. Agron Technol Eng Manag*, 3 (6), 516–522. URL: [https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v3_6/03-\(3\).Dozet_et_al_2020_3\(6\)_516-522.pdf](https://www.fimek.edu.rs/downloads/casopisi/jatem/issue/v3_6/03-(3).Dozet_et_al_2020_3(6)_516-522.pdf). [in English].
- [14] Research Report Summary 688. (1993). Spread Pattern of Air Seeder Seed Boots Part II. *Tested at Lethbridge*. 4 p. URL: [https://pami.ca/pdfs/reports_research_updates/\(9f\)%20Miscellaneous/688.PDF](https://pami.ca/pdfs/reports_research_updates/(9f)%20Miscellaneous/688.PDF). [in English].
- [15] Shevchenko, I.A. (2016). *Keruvannya ahrofizychnym stanom gruntovoho seredovyscha [Management of the agrophysical state of the soil environment]*. K.: Vydavnychyy dim «Vinichenko». ISBN 978-966-2622-22-5 [in Ukrainian].
- [16] Hutsol, O.P., Kovbasa, V.P. (2016). *Obgruntuvannya parametriv i rezhymiv rukhu gruntoobrobnykh mashyn z dyskovymy robochymy orhanamy: monohrafiya [Justification of parameters and modes of movement of soil tillage machines with disk working bodies: monograph]*. Natsional'nyy universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. Kyiv; Nizhyn: Lysenko M.M. ISBN 978-617-640-306-7 [in Ukrainian].
- [17] Kovbasa, V.P. (2016). *Mekhanika vzayemodiyi robochykh orhaniv iz gruntom: monohrafiya [Mechanics of the interaction of working bodies with the soil: a monograph] // Natsional'nyy universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. Kyiv; Nizhyn: Lysenko M.M. ISBN 978-617-640-307-4 [in Ukrainian]*.
- [18] Paksoy, M., Aydin, C. (2006). Determination of Some Physical and Mechanical Properties of Pea (*Pisum sativum* L.) Seeds. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9 (1), 26–29. DOI: 10.3923/pjbs.2006.26.29. [in English].
- [19] Yalçın, İ., Özarslan, C., Akbaş, T. (2007). Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. *Journal of Food Engineering*, 79 (2), 731–735. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.02.039. [in English].
- [20] Mahawar, M.K., Samuel, D.V.K., Sinha, J.P., Jalgaonkar, K. (2018). Moisture-dependent physical and physiological properties of accelerated aged pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Current Science*, 114 (4), 909–915. DOI: 10.18520/cs/v114/i04/909-915. [in English].
- [21] Popov, S.I., Hlubokyi O.M., Avramenko, S.V. (2022). Sowing rate effect the performance and seed quality of pea cultivars in the eastern Forest-steppe of Ukraine. *Breeding and seed production*, 121, 94–104. DOI: 10.30835/2413-7510.2022.261001. [in English].
- [22] Salo, V., Leshchenko, S., Luzan, P., Salo, L. (2022). *Mashyny dlya sivby, sadinnya ta dohlyadu za posivamy [Machines for sowing, planting and caring for crops]*. Nachal'nyy posibnyk. TSNTU. Kropyvnyts'kyi. [in Ukrainian].

STUDY OF THE FACTORS OF THE DETERIORATION OF SOWING ACCURACY WITH PNEUMATIC SEEDERS

The purpose of the research is to establish the factors of deterioration of sowing accuracy by



pneumatic seeders (using the John Deere 90 Series precision seeding seeder as an example) as a result of observations of their operation during numerical modeling and field experimental studies. Observation of the operation of the sowing section of the pneumatic precision seed drill was carried out in two stages: numerical modeling and field experimental studies. Numerical simulation involved the use of the Simcenter STAR-CCM+ software package and created 3D models of the main elements of the seeding section of the John Deere 90 Series precision sowing machine. Field experimental studies were carried out on grain-steam crop rotation on the territory of AFG "Olvia". Peas were sown with a John Deere 90 Series planter. The row spacing was 0.19 m, the sowing depth was 0.05 m. The sowing rate was 1.2 million units/ha. As a result of the numerical simulation of the operation of the seeding section of the precision seeding pneumatic seeder, a visualization of the distribution of soil aggregates and their velocities was obtained. Comparing the obtained values of the indicators with the normalized ones, it was established that the distribution of seeds along the x-axis meets the specified requirements. Along the seeding depth (z-axis), the distribution of seeds is quite high, which exceeds the normalized values. Thus, the obtained average value of sowing depth is 0.041 ± 0.03 m, and the normalized value is 0.05 ± 0.01 . Visual analysis shows that some seeds do not even fall into the seed layer (0.04–0.08 m) of the arable horizon. A smaller value of the distance between seeds (< 0.029 m) explains the occurrence of "twins", and a larger value (> 0.059 m) - the occurrence of "skips". As a result of field experimental studies of the seeding section of the precision seeding pneumatic seeder, photographs were taken of the moment the seeds fly out of the seedbed for various designs of the seed pacifier using an action camera. After receiving seedlings of sown pea seeds, the distances between plants were determined and the corresponding statistical indicators were calculated: minimum value - 0.005 m, maximum value - 0.124 m, limit - 0.0595 m, root mean square deviation - 0.031 m, average value 0.045 m, coefficient of variation - 0.688. Comparing the obtained experimental data with the results of numerical simulation, there is a sufficiently high agreement of the data (94%), which confirms the numerical model developed in the Simcenter STAR-CCM+ software package. As a result of observations of the operation of the seeding section of the John Deere 90 Series pneumatic seeder in the course of numerical modeling and field experimental studies, the factors of deterioration of seeding accuracy were established (high speed of the air flow and, accordingly, seeds, imperfect shape of the seed channel of the sowing shoe, imperfect shape of the seed stabilizer). Increasing the efficiency of the process of sowing seeds of cultivated plants can be achieved by improving the designs of the elements of the seed supply system of the pneumatic seeder (seed retarder, seed channel of the sowing shoe, seed pacifier) with justified structural and technological parameters that ensure accurate sowing, and structural materials that provide an increased resource their exploitation.

Key words: seeds, peas, precision sowing, pneumatic seeder, sowing shoe, seed retarder, seed pacifier, numerical simulation, field studies.

Fig. 10. Table. 1. Ref. 22.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алієв Ельчин Бахтияр огли – доктор технічних наук, старший дослідник, професор кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>)

Безверхній Петро Євгенович, здобувач третього освітньо-наукового рівня Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail:)

Elchyn Aliiev – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Departments of Mechanization of Production Processes in Animal Husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

Petro Bezverkhniy, recipient of the third educational and scientific level of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail:).