

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧНИХ СІВАЛОК НА РІВЕНЬ ДРЕЙФУ ПЕСТИЦИДНОГО ПИЛУ

Погорілий В., <https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

Майданович Н., канд. геогр. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>

Сидоренко С., <https://orcid.org/0000-0001-5046-117X>

Майданович В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

Ключай О., <https://orcid.org/0000-0001-8735-2209>

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Метою роботи є аналіз рівня викидів і дрейфу пестицидів у процесі застосування протруєного насіння, оцінка факторів, що впливають на їхню інтенсивність, і розробка рекомендацій щодо зниження екологічних ризиків.

Методи та матеріали. У роботі застосовано сучасні методи аналітичної хімії, математичного моделювання та польових експериментів. Використано новий методичний підхід до вимірювання викидів дрейфуючого пилу засобів захисту насіння у навколишнє середовище за спеціально розробленою методикою, що базується на застосуванні фотоколориметричного методу аналізу та порівнянні інтенсивності забарвлень розчинів різної концентрації (оптичної густини). Для вимірювання оптичної густини використовувався фотометр фотоелектричний «КФК-3». Перевірка технічних характеристик витяжної системи вентилятора посівного агрегату проводилася згідно з ДСТУ ISO 17962 під час роботи пневматичних сівалок «Horsch Maestro 24 SW AHL» та «Horsch Maestro 24 SX Liquid».

Результати. У польових і стаціонарних умовах встановлено, що загальні викиди пилу протруйника можуть сягати 3-5% від загальної маси нанесеного на насіння матеріалу. Дрейф пилу, який розноситься вітровими потоками за межі безпосередньої зони роботи сівалки, у середньому становить від 0,9% до 1,3%; максимальні зафіксовані значення – 1,26% для сівалки «Horsch Maestro 24 SW AHL» і 0,92% для «Horsch Maestro 24 SX Liquid». При цьому середній діаметр частинок пилу становить 0,5-1,5 мкм за оптичної густини розчину 0,3-0,5. Такі показники не перевищують вимоги ДСТУ ISO 17962 (1,5%), а також відповідають рекомендаціям щодо обмеження дрейфу пестицидів у ФРН (не більше 2,77% на відстані 1 м від робочого проходу).

Встановлено, що сівалка «Horsch Maestro 24 SX Liquid», що працює на принципі надлишкового тиску, завдяки конструкційним особливостям висівних апаратів і збільшеній кількості вихлопних отворів на 25% зменшує дрейф пилу МП порівняно з моделлю «Horsch Maestro 24 SW AHL» (вакуумний принцип). Визначено, що швидкість повітряних потоків у сівалок «Horsch Maestro 24 SW AHL» та «Horsch Maestro 24 SX Liquid» не перевищує 4 м/с на відстані 2 м від вихлопних отворів. У новій моделі мінімізація впливу на повітряні потоки додатково забезпечується рівномірним розподілом повітря за 24 отворами та тим, що значна частина надлишкового тиску розсіюється безпосередньо в ґрунті.

Висновки. Апробація запропонованої авторами методики визначення рівня викидів матеріалу протруйника та дрейфу пилу у ході роботи пневматичних сівалок «Horsch Maestro 24 SW AHL» та «Horsch Maestro 24 SX Liquid» засвідчила достатній рівень придатності для виконання поставлених завдань. Проаналізовано вплив конструктивних особливостей пневматичних сівалок і природно-кліматичних факторів на обсяг і розподіл пилу протруйника в зоні висіву, а також за межами робочого проходу сівалок. Надано рекомендації щодо зменшення негативного впливу пилу з протруйником на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Ключові слова: пестицидний пил, протруйувач насіння, пневматична сівалка, дрейф пилу

Вступ. Сучасне сільське господарство широко застосовує хімічні засоби захисту рослин для підвищення врожайності та зменшення втрат від хвороб і шкідників. Одним із ключових методів є протруювання насіння — обробка посівного матеріалу пестицидами перед висівом, що дає змогу забезпечити захист рослин на ранніх етапах їхнього розвитку. Однак використання протруєного насіння супроводжується ризиком викидів і дрейфу пестицидів у навколишнє середовище, що може спричинити забруднення ґрунту, водних ресурсів і повітря, а також негативно впливати на здоров'я людини та біорізноманіття [Hitaј et al., 2020; Маскау et al., 2023].

Моніторинг рівня викидів і дрейфу пестицидів під час висіву протруєного насіння є важливим для оцінки екологічних ризиків і розробки ефективних заходів щодо зменшення їхнього негативного впливу [Nuyttens et al., 2013; Халін та ін., 2024]. Дослідження в цій сфері спрямовані на визначення кількісних і якісних показників поширення хімічних речовин у повітряному та ґрунтовому середовищі, а також на вдосконалення технологій висіву, що сприяють мінімізації втрат активних речовин [Адамчук та ін., 2009; Ганженко, 2010; Тимошенко & Вечера, 2010; Біосса et al., 2015; Foqué et al., 2017].

Водночас дедалі більшої уваги набуває проблема стійкості пестицидів у довкіллі, оскільки їхня пролонгована дія може негативно впливати на мікрофлору та мікрофауну ґрунтів, а також на корисні комахи-запилювачі [Pistorius et al., 2010]. Саме тому дослідження механізмів утворення пилу із залишками *матеріалу протруйника* (МП) насіння, його переміщення повітряними потоками та осідання на поверхні є актуальним завданням для агро-екологічних досліджень і розробок.

Метою цього дослідження є аналіз рівня викидів і дрейфу пестицидів у процесі застосування протруєного насіння, оцінка факторів, що впливають на їхню інтенсивність, і розробка рекомендацій щодо зниження екологічних ризиків. Для досягнення поставленої мети використо-

вуються сучасні методи аналітичної хімії, математичного моделювання та польових експериментів.

Постановка завдань. У більшості сучасних сівалок застосовуються пневматичні системи подачі насіння, однак вони можуть відрізнятися за принципом створення та використання потоку повітря:

Вакуумний принцип. У сівалках цього типу вентилятор створює зону зниженого тиску (розрідження) за висівним диском, завдяки чому насінини притягуються до отворів диска й утримуються до моменту скидання в сошник. При цьому повітря засмоктується ззовні через повітрозабірнич, захоплює пил із ґрунту чи решток, а також може зношувати протруйник на поверхні насіння. Якщо конструкція або умови експлуатації сівалки не передбачають ефективної фільтрації чи дефлектора повітря, то пил із залишками МП разом із відпрацьованим повітрям викидається в атмосферу через один або кілька вихлопних отворів.

Принцип надлишкового тиску. У цьому випадку вентилятор нагнітає стиснене повітря у висівальну систему, «притискаючи» насіння до отворів висівного диска зі зворотного боку. Коли отвір диска доходить до точки скидання, повітряний потік «виштовхує» насінину в насіннепровід і далі в сошник. Частина відпрацьованого повітря виходить безпосередньо в ґрунт через сошникову канавку або розподіляється через систему розсіювальних отворів на кожному висівальному апараті, що знижує швидкість локального повітряного потоку і, відповідно, зменшує ймовірність виносу пилу з протруйником на великі відстані.

Формування пилу з протруйником може відбуватися внаслідок:

- зношування оболонки насіння під дією повітряних потоків (ефект «піскоструминної» дії);
- відшаровування частинок МП при механічному терті насіння між собою чи об деталі пневмосистеми у ході транспортування;
- недосконалості конструктивних

техніко-технологічних рішень, застосованих у пневматичних сівалках.

Таким чином, пневматичні сівалки обох типів (вакуумного та надлишкового тиску) можуть суттєво відрізнятися за інтенсивністю викидів пилу протруйника у довкілля. Тому в межах цього дослідження поставлені такі завдання:

- оцінити вплив конструктивних особливостей сівалок вакуумного типу («Horsch Maestro 24 SW AHL») і сівалок із надлишковим тиском («Horsch Maestro 24 SX Liquid») на формування пилу з протруйником насіння;

- розробити й апробувати методику визначення рівня викидів і дрейфу матеріалів протруйника у польових і стаціонарних умовах для обох типів сівалок;

- проаналізувати вплив експлуатаційних і природно-кліматичних факторів на обсяг і розподіл пилу протруйника в зоні висіву, а також за межами робочого проходу сівалки;

- надати рекомендації щодо зменшення негативного впливу пилу з протруйником на навколишнє середовище та здоров'я людини (зокрема ризику для бджіл та інших корисних комах).

Реалізація зазначених завдань дасть змогу кількісно оцінити рівень викидів пилу з протруйником для різних конструкцій пневмосівалок, визначити умови, за яких ризик виносу та осідання небезпечних частинок є найвищим, і розробити відповідні заходи з мінімізації екологічних загроз.

Методи та матеріали. Нормування викидів дрейфуючого пилу засобів захисту насіння в Україні можна визначати та контролювати згідно з ДСТУ EN ISO 17962:2017. У цьому міжнародному стандарті пропонуються різні підходи з оцінки впливу на довкілля вентиляційних вихлопних систем пневматичних сівалок, які використовуються в сільському господарстві для сівки протруєного насіння. Однак у цьому стандарті передбачено досить трудомісткий і вартісний метод визначення дрейфуючого пилу протруйника за допомогою його опромінення спеці-

альним лабораторним обладнанням із флуоресцентним випромінюванням протягом 3,5 годин.

У наших дослідженнях для відбору проб та їхнього аналізу використовувалися нові методичні підходи вимірювання викидів дрейфуючого пилу засобів захисту насіння у навколишнє середовище за спеціально розробленою методикою, що базується на застосуванні фотоколориметричного методу аналізу та порівнянні інтенсивності забарвлень розчинів різної концентрації — так званої оптичної густини (D). У ході вимірювання оптичної густини використовувався фотометр фотоелектричний «КФК-3».

Матеріали протруйника (МП) — це маса речовин, які входять до складу суміші, що застосовується у процесі протруєвання насіння (пестициди, клей, фарба тощо).

Викиди МП — це частинки та пил МП, що відділилися від насіння в процесі його завантаження, транспортування з центрального бункера до висівних апаратів і разом із відпрацьованим повітрям викинуті в навколишнє середовище, осідаючи на поверхні ґрунту в зоні проходу сівалки.

Дрейф пилу МП — це частка МП, яка під час посіву відноситься повітряним потоком із посівної площі та осідає на певну ділянку за межами безпосереднього робочого проходу сівалки.

Перевірка технічних характеристик витяжної системи вентилятора посівного агрегата проводилася за методами та відповідно до вимог ДСТУ ISO 17962. *Сільськогосподарська техніка. Посівні машини. Мінімізація впливу на навколишнє середовище вентиляційних вихлопів пневматичних пристроїв.*

Викиди МП та дрейф пилу визначалися за такою схемою:

1. *Підготовка еталонного розчину.* 100 насінин повністю відмиваються від МП у фіксованому об'ємі води (рис. 1). Утворений розчин заміряється на оптичну густину в обраному діапазоні кольору (490-500 нм).



Рисунок 1 – Отриманий розчин після відмивання 100 насінин для визначення оптичної густини

2. *Отримання співвідношення «оптична густина — маса сухої речовини».* Отриманий розчин випаровують і визначають вагу сухих речовин МП, нанесених на 100 насінин, після чого встановлюють перевідний коефіцієнт між оптичною густиною та масою сухої речовини.

3. *Стаціонарні та польові експерименти.* Викиди та дрейф МП фіксуються у лотках розміром 50 × 50 см, в яких розміщується зволожена поліетиленова плівка, а також у чашках Петрі з вологим папером (рис. 2). Схема розміщення лотків:

- у стаціонарному досліді — за спеціальною схемою;
- у польовому експерименті — згідно з вимогами ДСТУ 17962.



Рисунок 2 – Розміщення лотків на досліджуваній ділянці та під випускним отвором вентилятора сівалки

4. *Змивання та вимірювання.* Залишки МП із поліетиленової плівки змиваються фіксованим об'ємом води, визначається оптична густина отриманого розчину.

5. *Розрахунок масової частки викидів і дрейфу.* За допомогою перевідного коефіцієнта встановлюється масова частка викидів і дрейфу МП.

6. *Проведення додаткового аналізу зображень.* Папір із чашок Петрі сканується у визначеному діапазоні кольору, а отримане зображення обробляється за допомогою спеціальної комп'ютерної програми, що дає змогу класифікувати частки пилу МП за масово-медіанними параметрами.

Апробація методики визначення рівня викидів матеріалу протруйника та дрейфу пилу проводилася у ході роботи пневматичних сівалок «Horsch Maestro 24 SW AHL» та «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) (рис. 3).

Сівалки «Horsch Maestro 24 SW AHL» та «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) призначені для високопродуктивного посіву насіння пропашних культур із міжряддям 70 см і мають 24 ряди.

Особливості конструкцій сівалок:

- «Horsch Maestro 24 SW AHL». Викид повітря в атмосферу здійснюється через вихлопний отвір вентилятора, обладнаний фартухом із поперечним перерізом 26Ч15 см, який кріпиться до рами. Кіль-



Сівалка Horsch Maestro 24 SW AHL



Вихлопний отвір
вентилятора,
обладнаний
фартухом



Сівалка Horsch Maestro 24 SX Liquid (нова)



Вихлопний отвір
висівючого
апарата на кожній
посівній секції

Рисунок 3 – Пневматичні сівалки «Horsch Maestro» в процесі досліджень

кість точок викиду – 2.

• «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) оснащена пневматичними висівними апаратами принципово нового типу. Дозування насіння відбувається завдяки надлишковому тиску, який утримує насінину на диску при її переміщенні в точку скидання та використовується для транспортування насіння насіннепроводом.

Завдяки цьому відпрацьоване повітря переважно залишається в ґрунті (через сошникову канавку), а залишки розподіляються через 24 випускні отвори на висівальних апаратах, що сприяє зменшенню швидкості повітряних потоків.

Умови досліджень і режими налаштування сівалок подані в таблиці 1.

Результати. Результати виміру швид-

Таблиця 1 – Умови дослідів та режими налаштування сівалок

Назва показника	Сівалка «Horsch Maestro 24 SW AHL»	Сівалка «Horsch Maestro 24 SX Liquid»	Вимоги згідно з ДСТУ 17962
Місце проведення дослідів	с. Черняхівка Вінницька обл.	с. Велика Вулига Вінницька обл.	
Агрегаткування	Трактор «Фенд 936»	Трактор «Фенд 1000»	
Інформація про сівалку:			
- тип висівального апарата;	Пневматичні	Надлишкового тиску	
- рік випуску	2018	2021	
- напрацювання, га	8500	3850	
Умови дослідів			
Культура	Насіння кукурудзи		Відповідає. Насіння (зубовидної) кукурудзи

Продовження таблиці 1

Назва показника	Сівалка «Horsch Maestro 24 SW AHL»	Сівалка «Horsch Maestro 24 SX Liquid»	Вимоги згідно з ДСТУ 17962
Протруювач	ДКС 4351 (Пончо Вотіво 610FS B360; Редіго M 120 FS; DISCO AG Red)	Кукурудза «ВН 6763» оброблена так само, як і «ДК 315», завод добрів і дата доробки однак.	
Кількість протруйника (МП) на 100 насінинах, г	0,773	0,609	
Оптична густина розчину з МП, який змитий із 100 насінин, D	10,882	30,730	
Швидкість вітру, м/с	2-4 в середньому 3	2-5 в середньому 3,5	Відповідає. Не менше 1 і не більше 5
Температура повітря, °C	18	15	
Вологість повітря, %	42	46	
Вологість верхнього ґрунту, %	17-18	18-19	
Режими роботи			
Робоча швидкість в експерименті, км/год	7,6	8,2	
Напрямок руху агрегата відносно напрямку вітру	під кутом 35 градусів до напрямку руху сівалки, спереду на зад		Більше, ніж на 30 від прямого кута до напрямку руху
Норма висіву, тис ш/га	72		Відповідає 60-80
Глибина посіву, см	4-6		
Налаштування			
Розміщення вихлопного отвору вентилятора над поверхнею ґрунту:			
- в робочому положенні;	Фартух -5 см, вихлоп. отвір - 40см	60	
- при повороті агрегата	+40-50 см від робочого положення	+30-40 см від робочого положення	
Обороти вентилятора транспортної системи, об/хв.	2200	2200	
Обороти вентилятора висівальних апаратів, об/хв	2500	2300	

кості вітру на відстані 2 м від вихлопного отвору вентилятора та вихлопних отворів висівальних апаратів обох сівалок наведено у таблиці 2. При цьому природний напрямок вітру (природний фон) відмічався під кутом 15° до умовного напрямку руху

сівалки, ззаду наперед.

За результатами перевірки витяжні системи вентиляторів сівалки «Horsch Maestro 24 SW AHL» не спричинили суттєвого приросту швидкості повітряних потоків на відстані 2 м від вихлопних отво-

Таблиця 2 – Результати виміру швидкості вітру

Відстань над землею, см	Сівалка «Horsch Maestro 24 SW AHL»				Сівалка «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова)			
	Вимкнена (природний фон), м/с	Робоче положення / приріст відносно фону, м/с	Положення розвороту / приріст відносно фону, м/с	Відповідність вимогам ДСТУ 17962	Вимкнена (природний фон), м/с	Робоче положення / приріст відносно фону, м/с	Положення розвороту / приріст відносно фону, м/с	Відповідність вимогам ДСТУ 17962
0	2,0	2,3/+0,3	2,1/+0,1	Задовільна, швидкість вітру не вище 4 м/с	2,0	2,0/+0	2,0/+0	Задовільна, швидкість вітру не вище 4 м/с
25	2,0	2,2/+0,2	2,1/+0,1		2,0	2,0/+0	2,0/+0	
50	2,1	2,2/+0,1	2,4/+0,3	Природний фон вітру вище 2 м/с, але приріст незначний (0,1-0,4 м/с)	2,2	2,2/+0	2,2/+0	Природний фон вітру вище 2 м/с; приріст відсутній
75	2,2	2,2/+0	2,6/+0,4		2,2	2,2/+0	2,2/+0	
100	2,3	2,3/+0	2,4/+0,1		2,4	2,4/+0	2,4/+0	
125	2,6	2,6/+0	2,6/+0		2,4	2,4/+0	2,4/+0	
150	4,0	4,0/+0	4,0/+0		4,6	4,6/+0	4,6/+0	
175	4,2	4,2/+0	4,2/+0		4,6	4,6/+0	4,6/+0	
200	4,8	4,8/+0	4,8/+0		5,0	5,0/+0	5,6/+0	

рів вентилятора та висівальних апаратів як у робочому положенні сівалки, так і на поворотах. Швидкість повітряних потоків у приземних горизонтах не перевищувала граничний рівень, установлений ДСТУ ISO 17962 (не більше 4 м/с між поверхнею землі та висотою 25 см), що мінімізує вплив вентиляторів на дрейф пилу МП.

У сівалці «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) завдяки низькій швидкості викидів відпрацьованого повітря через 24 отвори взагалі не спостерігається зміни повітряних потоків при роботі сівалки в робочому положенні та на поворотах.

Результати вимірювання викидів МП у стаціонарних умовах (фізичне моделювання процесу висіву при нерухомому положенні сівалки, увімкнених пневматичних системах транспорту насіння та висівній системі в режимі калібрування) наведено в таблиці 3.

Як видно з таблиці 3, загальні викиди МП при фізичному моделюванні висіву на стаціонарі свідчать, що:

- в «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) загальні викиди в середньому на

25% менші (2,97% проти 3,98% у «Horsch Maestro 24 SW AHL»);

- у «Horsch Maestro 24 SW AHL» близько 70% викидів сконцентровано в зоні вихлопного отвору, водночас у «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) близько 60% викидів припадає на підсошниковий простір;

- завдяки конструкційним особливостям сівалки «Horsch Maestro 24 SX Liquid» основна частина викидів (під сошниками) потенційно може бути частково “зафіксована” в ґрунті у процесі реального польового посіву, що може зменшувати фактичний дрейф пилу.

У таблиці 4 наведено результати дрейфу пилу МП у польових дослідках. Кількість насінин, висіяних при проході сівалки біля облікової ділянки, становить 606 штук. За результатами дослідів визначено, що:

- прямий дрейф МП на обліковій ділянці в «Horsch Maestro 24 SW AHL» становить 1,26%, а в «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) – 0,92%;

- в обох сівалок значення дрейфу пилу МП не перевищує встановлений у

Таблиця 3 – Фізичне моделювання процесу висіву при нерухомому положенні сівалки

Назва показника	«Horsch Maestro 24 SW AHL»			«Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова)			Нормативні значення
	Мінімум	Максимум	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Середнє значення	
Викиди в зоні вихлопного отвору вентилятора (облікова площа 5,5 м², 20 лотків), %	1,75	3,22	2,75	0,80	1,20	1,01	Не регламентуються. Інформація щодо наявності нормативних вимог відсутня
Викиди в зоні розміщення сошників, (облікова площа 4,2 м², 12 лотків), %	0,98	1,44	1,23	1,60	2,30	1,96	
Всього викидів, %	-	-	3,98	-	-	2,97	

ДСТУ ISO 17962 поріг 1,5%.

Ці результати підтверджують відповідність обох сівалок загальним європейським рекомендаціям із обмеження дрейфу пестицидів у польових умовах. При цьому «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) виявилася ефективнішою у мінімізації дрейфу пилу МП, що можна пояснити конструктивними особливостями висівних апаратів і збільшеною кількістю вихлопних отворів.

Обговорення. Основним документом, що встановлює нормативно-правові вимоги до безпеки використання сільськогосподарської техніки, є Технічний регламент (ТР) безпеки машин (повністю гармонізований з Європейською директивою безпеки машин) [Постанова..., 2013]. В означеному ТР є окремий розділ щодо додаткових вимог стосовно використання машин для внесення пестицидів, однак жодних чітких обмежень щодо дрейфу пестицидів там не передбачено. Ця характеристика не нормується, лише задекларовано необхідність постійного навчання персоналу та поліпшення рівня безпеки у ході експлуатації таких машин.

В Україні чинний ДСТУ ISO 17962 містить обмеження щодо дрейфу не протруйника насіння, а спеціальної речовини-імітатора (не більше 1,5%). Однак отримані в дослідженнях значення дрейфу пилу МП у ході роботи обох сівалок не перевищують цього показника. У Ні-

меччині є рекомендовані норми, згідно з якими придонні відкладення пестицидів у польовому варіанті використання машин на відстані 1 м від робочого проходу не мають перевищувати 2,77% від норми внесення (90-ий перцентиль) [Kemmerling et al., 2018]. Результати наших дослідів свідчать, що обидві сівалки відповідають і цим рекомендаціям.

Аналіз та оцінка небезпек (ризиків) викидів протруйника насіння в атмосферу проведені за результатами аналітичного огляду наукових і технічних досягнень в означеній галузі та із застосуванням положень ДСТУ EN ISO 12100, ISO 14121-1 і ISO 14121-2 (стандарти з оцінки ризиків машин). При цьому встановлено:

– *Вплив на бджіл та інших корисних комах.* Робота сівалки в польових умовах є завершальним етапом можливого прояву небезпек отруєння комах-запилювачів. Протруйник, який частково обсіпається в процесі висіву (через пилоутворення і дрейф), може переноситися на прилеглі території, де розміщені медоносні культури чи дикорослі квіти. Це створює ризик для бджіл та інших корисних комах, особливо у поєднанні з іншими потенційними шляхами потрапляння пестицидів у довкілля [Pistorius et al., 2010; Tosi et al., 2022].

– *Індекс ризику від роботи сівалки.* Якщо розглядати сумарний індекс небезпек у всій технологічній системі «протру-

ення — транспортування насіння — посів», то безпосередній вплив сівалки є порівняно невеликим складником загального ризику. Якість протруєння та умови зберігання насіння можуть генерувати потенційно більший ризик. Однак саме висів є тією стадією, коли відбувається безпосередній контакт зерна з навколишнім середовищем. Тому за відсутності належного технічного забезпечення або недотримання правил експлуатації саме сівалка може стати джерелом значних викидів [Nuyttens et al., 2013].

— *Технологічні фактори зменшення ризиків.* Коректний вибір моделі сівалки (вакуумна чи надлишкового тиску, кількість вихлопних отворів), додаткове обладнання (фільтри, дефлектори), належне налаштування параметрів роботи вентилятора (швидкість обертання, розміщення вихлопного отвору) та досить висока якість протруєння насіння (адгезія препарату) здатні суттєво зменшити викиди пилу протруйника й, відповідно, екологічні ризики.

— *Вплив природно-кліматичних умов.* Умови, за яких проводиться посів (вологість ґрунту, вологість повітря, швидкість і напрямок вітру, температура), можуть підсилювати або послаблювати дрейф пилу. Дотримання оптимальних параметрів метеорологічних умов при посіві (середня швидкість вітру не більш як 5 м/с, незначна сухість ґрунту) знижує ризик поширення пестицидів.

— *Експлуатаційний рівень безпеки.* Навчання оператора, його обізнаність про ризики, регулярне технічне обслуговування й перевірка стану сівалки також є вагомими факторами мінімізації викидів протруйника. Навіть найсучасніша конструкція сівалки може бути джерелом підвищених викидів за неналежної експлуатації (зношені ущільнювачі, порушення герметичності пневмосистеми, надмірна швидкість роботи вентилятора тощо).

Таким чином, «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова) порівняно з попередньою моделлю «Horsch Maestro 24 SW AHL» завдяки новій конструкції висівних апа-

ратів і суттєвому збільшенню вихлопних отворів ефективніше знижує дрейф пилу МП (на 25%). Однак повне виключення ризику викидів протруйника залежить від комплексу чинників: якості протруєння насіння, своєчасної заміни зношених деталей, вибору оптимальних робочих режимів і відповідних метеорологічних умов.

Висновки. Авторами розроблено й апробовано методику визначення викидів і дрейфу матеріалів протруйника у процесі посіву протруєного насіння кукурудзи. Методика базується на фотоколориметричному аналізі та дає змогу кількісно оцінити обсяг пилу, що відділяється від насіння. Показано, що відбір проб пилу із застосуванням лотків і чашок Петрі разом із зволоженими поверхнями є дієвим способом фіксації частинок МП, що дрейфують у повітрі. При цьому середній діаметр частинок пилу становить 0,5-1,5 мкм за оптичної густини розчину 0,3-0,5 D.

За результатами дослідів у польових і стаціонарних умовах встановлено, що загальні викиди пилу протруйника можуть сягати 3-5% від загальної маси нанесеного на насіння матеріалу. Дрейф пилу, який розноситься вітровими потоками за межі безпосередньої зони роботи сівалки, у середньому становить від 0,9% до 1,3%; максимальні зафіксовані значення — 1,26% для сівалки «Horsch Maestro 24 SW AHL» і 0,92% для «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова). Такі показники не перевищують вимоги ДСТУ ISO 17962 (1,5%), а також відповідають рекомендаціям щодо обмеження дрейфу пестицидів у ФРН (не більше 2,77% на відстані 1 м від робочого проходу).

Встановлено, що сівалка «Horsch Maestro 24 SX Liquid» (нова), що працює на принципі надлишкового тиску, завдяки конструкційним особливостям висівних апаратів і збільшеній кількості вихлопних отворів на 25% зменшує дрейф пилу МП порівняно з моделлю «Horsch Maestro 24 SW AHL» (вакуумний принцип). Визначено, що швидкість повітряних потоків у сівалок «Horsch Maestro 24 SW AHL» та «Horsch Maestro 24 SX Liquid» не переви-

щує 4 м/с на відстані 2 м від вихлопних отворів. У новій моделі мінімізація впливу на повітряні потоки додатково забезпечується рівномірним розподілом повітря за 24 отворами та тим, що значна частина надлишкового тиску розсіюється безпосередньо в ґрунті.

Доведено, що залишковий пил із протруйника, що утворюється в процесі пневматичного транспортування насіння, може переноситися на значні відстані. Це особливо актуально за умов низької вологості ґрунту й повітря, а також швидкості вітру понад 4 м/с. Суттєве зменшення ризику забруднення довкілля (зокрема потенційного отруєння бджіл та інших корисних комах) досягається застосуванням нових конструктивних рішень у сівалках, оптимізацією параметрів швидкості посіву та рівня обертів вентилятора, а також якісною обробкою насіння (висока адгезія протруйника).

На основі практичних рекомендацій доцільно впроваджувати систему навчання операторів, яка б охоплювала питання правильної експлуатації пневматичної сівалки, контролю стану фільтрів і зношування деталей, а також застосовувала б оптимальні режими роботи (швидкість вентилятора, положення вихлопного отвору). Також для додаткового зниження екологічних ризиків у період цвітіння медоносних культур рекомендовано інформувати пасічників про час проведення посівних робіт із протруєним насінням і, за можливості, планувати роботу в умовах слабких вітрів (до 4 м/с) та достатньої вологості поверхні ґрунту.

Подальші дослідження можуть зосереджуватися на створенні інтегрованих моделей поширення дрейфу пестицидів із урахуванням гідрометеорологічних і географічних особливостей поля, що дасть змогу оптимізувати логістику посівних робіт і підвищити екологічну безпеку агровиробництва.

Перелік літератури

Адамчук, О. В., Ратушний, В. В., Тимошенко, С. П., Вечера, О. М., & Сtimbель, І. В. (2009). Шляхи вдосконалення робочого процесу протруювачів насіння. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Вип. 93.

Ганженко, О. М. (2010). Удосконалення пристрою для протруювання малих порцій селекційного насіння цукрових буряків. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*, (18), 505-508.

Постанова Кабінету Міністрів України; Технічний регламент, Вимоги, Перелік, Порядок, Критерії, План, Заходи від 30.01.2013 № 62 «Про затвердження Технічного регламенту безпеки машин» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-%D0%BF#Text>

Ратушний, В. В. (2017). Дослідження параметрів плівки робочої рідини на поверхні обертового органу універсального протруювача насіння. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, (6), 65-73.

Тимошенко, С. П., & Вечера, О. М. (2010). Протруювання насіння — стан, проблеми і досягнення. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, (94), 196-206.

Халін, С., Новохацький, М., Погорілий, В., Сидоренко, С., Майданович, В., & Клочай, О. (2024). проблеми викидів і дрейфу пилу засобів протруювання насіння в процесі висівання: огляд. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та впробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, 34(48). [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-1-34\(48\)-13](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-1-34(48)-13)

Biocca, M., Pochi, D., Fanigliulo, R., & Gallo, P. (2015). Dust emissions during the sowing of maize dressed seeds and drift reducing devices. *The Open Agriculture Journal*, 9(1). <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOASJ/TOASJ-9-42.pdf>

Foqué, D., Beck, B., Devarrewaere, W., Verboven, P., & Nuytens, D. (2017). Com-

paring different techniques to assess the risk of dust drift from pesticide-coated seeds. *Pest Management Science*, 73(9), 1908-1920. DOI:10.1002/ps.4557

Hitaj, C., Smith, D. J., Code, A., Wechsler, S., Esker, P. D., & Douglas, M. R. (2020). Sowing uncertainty: what we do and don't know about the planting of pesticide-treated seed. *Bioscience*, 70(5), 390-403. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa019>

Kemmerling, M., Wegener, J. K., Rautmann, D., Pohl, J. P., Immenroth, E., & von Hörsten, D. (2018). Berichte aus dem Julius Kühn-Institut. DOI:10.5073/berjki.2018.202.000

Mackay, J. E., Bernhardt, L. T., Smith, R. G., & Ernakovich, J. G. (2023). Tillage and pesticide seed treatments have distinct effects on soil microbial diversity and function. *Soil Biology and Biochemistry*, 176, 108860. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108860>

Nuyttens, D., Devarrewaere, W., Verboven, P., & Foquй, D. (2013). Pesticide-laden dust emission and drift from treated seeds during seed drilling: a review. *Pest management science*, 69(5), 564-575. Doi:10.1002/ps.3485

Pistorius J., Bischoff G., Heimbach U., & Stдhler M. (2010). Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. *Julius-Kühn-Archiv*, (423), 118. <https://core.ac.uk/download/pdf/235685975.pdf>

Pistorius, J., Bischoff, G., Heimbach, U., & Stдhler, M. (2010). Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. *Julius-Kühn-Archiv*, (423), 118. <https://core.ac.uk/download/pdf/235685975.pdf>

Tosi, S., Sfeir, C., Carnesecchi, E., & Chauzat, M. P. (2022). Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools. *Science of the Total Environment*, 844, 156857.

References

Adamchuk, O. V., Ratushnyi, V. V., Timoshenko, S. P., Vechera, O. M., & Stibel, I. V. (2009). Ways to improve the working process of seed treaters. *Mechanization and Electrification of Agriculture*, (93).

Biocca, M., Pochi, D., Fanigliulo, R., & Gallo, P. (2015). Dust emissions during the sowing of maize dressed seeds and drift reducing devices. *The Open Agriculture Journal*, 9(1). <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOASJ/TOASJ-9-42.pdf>

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2013, January 30). Resolution No. 62 «On Approval of the Technical Regulation on Machine Safety.» Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-%D0%BF#Text>

Foqué, D., Beck, B., Devarrewaere, W., Verboven, P., & Nuyttens, D. (2017). Comparing different techniques to assess the risk of dust drift from pesticide-coated seeds. *Pest Management Science*, 73(9), 1908-1920. DOI:10.1002/ps.4557

Hanzhenko, O. M. (2010). Improvement of a device for treating small portions of sugar beet breeding seeds. *Collection of Scientific Papers of the Podillia State Agrarian and Technical University*, (18), 505-508.

Hitaj, C., Smith, D. J., Code, A., Wechsler, S., Esker, P. D., & Douglas, M. R. (2020). Sowing uncertainty: what we do and don't know about the planting of pesticide-treated seed. *Bioscience*, 70(5), 390-403. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa019>

Kemmerling, M., Wegener, J. K., Rautmann, D., Pohl, J. P., Immenroth, E., & von Hürsten, D. (2018). Berichte aus dem Julius Kühn-Institut. DOI:10.5073/berjki.2018.202.000

Khalin, S., Novokhatskyi, M., Pohorilyi, V., Sydorenko, S., Maidnovych, V., & Klochay, O. (2024). Issues of emissions and dust drift of seed treatment agents during sowing: a review. *Technical and Technological Aspects of the Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine*, 34(48). [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-1-34\(48\)-13](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2024-1-34(48)-13)

Mackay, J. E., Bernhardt, L. T., Smith,

- R. G., & Ernakovich, J. G. (2023). Tillage and pesticide seed treatments have distinct effects on soil microbial diversity and function. *Soil Biology and Biochemistry*, 176, 108860. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108860>
- Nuytens, D., Devarrewaere, W., Verboven, P., & Foquй, D. (2013). Pesticide-laden dust emission and drift from treated seeds during seed drilling: a review. *Pest management science*, 69(5), 564-575. Doi:10.1002/ps.3485
- Pistorius J., Bischoff G., Heimbach U., & Stдhler M. (2010). Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. *Julius-Kьhn-Archiv*, (423), 118. <https://core.ac.uk/download/pdf/235685975.pdf>
- Pistorius, J., Bischoff, G., Heimbach, U., & Stдhler, M. (2010). Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. *Julius-Kьhn-Archiv*, (423), 118. <https://core.ac.uk/download/pdf/235685975.pdf>
- Ratushnyi, V. V. (2017). Study of the parameters of the working fluid film on the surface of the rotating element of a universal seed treater. *Mechanization and Electrification of Agriculture*, (6), 65-73.
- Timoshenko, S. P., & Vechera, O. M. (2010). Seed treatment – status, issues, and achievements. *Mechanization and Electrification of Agriculture*, (94), 196-206.
- Tosi, S., Sfeir, C., Carnesecchi, E., & Chauzat, M. P. (2022). Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools. *Science of the Total Environment*, 844, 156857.

UDC 631.331

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES OF PNEUMATIC SEEDERS ON THE LEVEL OF PESTICIDE DUST DRIFT

Pogorilyy V., <https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

Maidanovych N., Ph. D. of Geogr. Sc., <https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>

Sidorenko S., <https://orcid.org/0000-0001-5046-117X>

Maidanovych V., Ph. D. Tech. Sc., <https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

Klochay O., <https://orcid.org/0000-0001-8735-2209>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

This study aims to analyze the level of emissions and pesticide drift during the use of treated seeds, assess the factors influencing their intensity, and develop recommendations for reducing environmental risks.

Methods and Materials. The study employs modern methods of analytical chemistry, mathematical modeling, and field experiments. A new methodological approach was used to measure emissions of drifting seed protection agents into the environment. This method is based on photo colorimetric analysis and compares the intensity of color solutions of different concentrations (optical density). A KFK-3 photoelectric photometer was used to measure optical density. The technical characteristics of the seeder fan's exhaust system were tested per DSTU ISO 17962 during the operation of pneumatic seeders Horsch Maestro 24 SW AHL and Horsch Maestro 24 SX Liquid.

Results. Field and stationary experiments established that the total dust emissions from seed treatment agents can reach 3-5% of the total applied material. Pesticide dust drift, carried by wind currents

beyond the immediate working zone of the seeder, averaged between 0.9% and 1.3%, with maximum recorded values of 1.26% for the Horsch Maestro 24 SW AHL and 0.92% for the Horsch Maestro 24 SX Liquid. The average particle diameter of the dust ranged from 0.5 to 1.5 μm at an optical density of 0.3-0.5. These values do not exceed the DSTU ISO 17962 requirements (1.5%) and comply with the German recommendations on pesticide drift limitation (not more than 2.77% at a distance of 1 m from the working path).

It was found that the Horsch Maestro 24 SX Liquid, which operates on the principle of overpressure, reduces dust drift by 25% compared to the vacuum-based Horsch Maestro 24 SW AHL due to the design features of the metering system and the increased number of exhaust outlets. The air velocity of the Horsch Maestro 24 SW AHL and Horsch Maestro 24 SX Liquid seeders does not exceed 4 m/s at a distance of 2 m from the exhaust outlets. In the new model, the minimization of airflow impact is further ensured by the uniform distribution of air across 24 outlets and the dissipation of a significant portion of excess pressure directly into the soil.

Conclusions. The proposed methodology for determining pesticide seed treatment material emissions and dust drift during the operation of pneumatic seeders Horsch Maestro 24 SW AHL and Horsch Maestro 24 SX Liquid has demonstrated sufficient suitability for achieving the research objectives. The study analyzed the impact of design features of pneumatic seeders and environmental factors on the volume and distribution of seed treatment dust within and beyond the seeding zone. Recommendations have been provided to mitigate the negative impact of treated seed dust on the environment and human health.

Keywords: pesticide dust, seed treatment, pneumatic seeder, dust drift.