

економічних систем різних рівнів функціонування : матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв; 26–28 листопада 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 27-28. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23929>.

7. Бацуровська І. В., Доценко Н. А. Інноваційні підходи підготовки інженера з харчових технологій // Світ дидактики: дидактика в сучасному світі : зб. матеріалів III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Київ, 07-08 листопада 2023 р.). Київ : Людмила, 2024. С. 281-283. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17105>.

8. Іваненко В. С., Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067>.

9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., & Kurepin, V. (2022). Development of methods for digital diagnostics of engines by electronic indication. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022, doi:10.1109/MEES58014.2022.10005758. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12643>.

10. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130>.

УДК 614.8:631.95

**ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН  
НА ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ПРИГОТУВАННІ ТА ВНЕСЕННІ РОБОЧИХ  
РОЗЧИНІВ ПЕСТИЦИДІВ**  
ENGINEERING SOLUTIONS FOR REDUCING WORKER EXPOSURE  
TO HAZARDOUS SUBSTANCES DURING THE PREPARATION AND APPLICATION OF  
PESTICIDE WORKING SOLUTIONS

*Станіслав Чемикос*

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
Дніпро, Україна*

Досліджено проблему професійного ризику працівників агропромислового комплексу під час роботи з пестицидами. Запропоновано математичну модель оцінки рівня експозиції та обґрунтовано комплекс інженерних рішень (закриті системи змішування, інжекторні технології, кабіни 4-ї категорії), що дозволяють знизити ризик інтоксикації на технологічному рівні. Обґрунтовано необхідність переходу від організаційних заходів до превентивних інженерних систем контролю небезпеки.

Сучасне агровиробництво характеризується інтенсивним використанням пестицидів та агрохімікатів, що є необхідною умовою забезпечення продовольчої безпеки та високої врожайності. Однак це обумовлює стабільно високий рівень професійного ризику для працівників галузі. Аналіз технологічного циклу застосування засобів захисту рослин (ЗЗР) показує, що найбільш небезпечними етапами є приготування робочих розчинів (змішування, заправка) та безпосередньо їх внесення. Ці процеси супроводжуються інтенсивним утворенням дрібнодисперсних аерозолів, випарів та високою ймовірністю прямого контактного впливу токсичних речовин на шкіру та слизові оболонки.

Відповідно до вимог Закону України «Про пестициди і агрохімікати» та Закону України «Про захист рослин», застосування ЗЗР повинно здійснюватися з урахуванням суворих вимог безпеки для працівників і довкілля [1, 2]. Водночас аналіз реальної агропромислової практики свідчить, що рівень інженерного забезпечення цих процесів залишається недостатнім. Традиційний підхід до охорони

праці в Україні здебільшого спирається на використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), тоді як світова практика (Hierarchy of Controls) визначає пріоритет інженерних методів зниження ризиків у джерелі їх утворення.

Основними джерелами небезпеки, що формують професійний ризик, є:

- відкриті системи змішування: ручне дозування та переливання концентрованих препаратів створює максимальний ризик дермальної експозиції (потрапляння на шкіру) та інгаляційного отруєння;

- недостатня герметизація обладнання: відсутність сучасних фільтраційних систем у кабінах тракторів-обприскувачів;

- недосконалі конструкції розпилювачів: використання стандартних щілинних форсунок, які генерують значну кількість крапель розміром менше 100 мкм, що призводить до неконтрольованого дрейфу аерозолу (Aerosol Drift).

Контроль за дотриманням вимог безпеки здійснюється в межах державного нагляду відповідно до законодавства [3], проте значна частина ризиків формується саме на технологічному рівні, що вимагає впровадження кількісних методів їх оцінки.

Для оцінки рівня впливу небезпечних факторів у рамках нашого дослідження запропоновано модифікований інтегральний показник експозиції шкідливих речовин:

$$E = \sum_{i=1}^n \left( C_i \cdot t_i \cdot \prod_{j=1}^m k_{ij} \right)$$

де:

$E$  – відносна величина експозиції шкідливих речовин на одиницю маси тіла працівника за зміну (мг/кг маси тіла);

$C_i$  – концентрація небезпечної речовини в робочій зоні (інгаляційна або дермальна) на  $i$ -му етапі робіт;

$t_i$  – тривалість впливу на  $i$ -му етапі;

$k_{ij}$  – система коригуючих коефіцієнтів, що враховують умови виконання робіт (де  $k_1$  – ступінь герметичності системи,  $k_2$  – рівень автоматизації дозування,  $k_3$  – ефективність фільтрації кабіни,  $k_4$  – використання ЗІЗ).

Запропонована модель дозволяє кількісно оцінювати ефективність впроваджених превентивних заходів, моделюючи сценарії "до" та "після" модернізації обладнання.

Для мінімізації професійних ризиків обґрунтовано необхідність впровадження комплексу інженерних рішень за такими напрямками:

- герметизація процесів приготування (Closed Transfer Systems – CTS), де найвищий рівень експозиції фіксується під час відкриття та промивання тари з препаратом. Використання закритих систем приготування розчинів та індукційних змішувачів дозволяє повністю ізолювати працівника від контакту з концентратом. ЗЗР подаються у бак обприскувача за допомогою вакуумного всмоктування через спеціальні адаптери, що виключає розбризкування;

- автоматизація технологічних операцій. Впровадження електронних систем дозування (Direct Injection Systems) та дистанційного керування промиванням бака скорочує час перебування працівника в зоні потенційного хімічного забруднення. Це дозволяє змішувати препарати безпосередньо в магістралі перед розпилювачем, а не в основному баці;

- Модернізація обприскувачів (контроль дрейфу). Для зменшення дрейфу аерозолу критично важливим є застосування інжекторних (повітряно-краплинних) форсунок. У них краплі рідини змішуються з повітрям, стаючи більшими за розміром та важчими, що знижує їх знесення вітром на 50–90%. Оптимізація розміру крапель (Volume Median Diameter) та систем автоматичного утримання висоти штанги над рівнем культури є ключовим інженерним бар'єром;

- локальні вентиляційні рішення та захист кабін. Обладнання стаціонарних пунктів

приготування розчинів витяжною вентиляцією. Трактори та самохідні обприскувачі повинні бути обладнані герметичними кабінами 4-ї категорії (за стандартом EN 15695-1), які забезпечують надлишковий тиск та мають багатоступеневу систему фільтрації повітря (включно з вугільними фільтрами для затримання випарів);

- цифрові технології та моніторинг. Використання систем моніторингу мікрокліматичних умов (встановлення метеостанцій безпосередньо на штанзі обприскувача) та GPS-контролю. Це дозволяє бортовому комп'ютеру автоматично блокувати подачу розчину при перевищенні допустимої швидкості вітру (понад 4-5 м/с) або зміні температурного режиму, що запобігає температурній інверсії та неконтрольованому випаровуванню.

Застосування зазначених інженерних заходів дозволяє суттєво знизити рівень експозиції. Для підтвердження ефективності розроблених рішень було проведено аналітичне моделювання зниження ризиків (Таблиця 1).

Таблиця 1. Порівняльна оцінка рівня зниження експозиції працівників при впровадженні інженерних рішень

| Етап технологічного процесу           | Традиційна технологія (відкритий тип)                 | Модернізована технологія (інженерний контроль)            | Зниження експозиції, % | Основний фактор зниження ризику              |
|---------------------------------------|---|---|------------------------|--|
| Приготування розчину (дозування)      | Ручне переливання, мірний посуд                       | Закрита система змішування (CTS)                          | 85 - 95 %              | Виключення прямого дермального контакту      |
| Промивання тари                       | Ручне промивання водою                                | Інтегрована форсунка під тиском у CTS                     | до 90 %                | Ізоляція від бризок та аерозолу              |
| Внесення препаратів (водій-оператор)  | Кабіна 2-ї категорії (пиловий фільтр), відкриті вікна | Кабіна 4-ї категорії (вугільний фільтр, надлишковий тиск) | 70 - 85 %              | Усунення інгаляційної небезпеки              |
| Вплив дрейфу на допоміжних робітників | Стандартні щілинні форсунки                           | Інжекторні форсунки, контроль висоти штанги               | 50 - 75 %              | Зменшення дрібної фракції крапель (<100 мкм) |

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 458, до виконання робіт із пестицидами допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання та отримали посвідчення [4]. Крім того, ведеться обов'язковий державний облік використання пестицидів, що регламентується Постановою КМУ № 881 [5]. Однак організаційних заходів недостатньо. У європейській практиці вимоги до безпеки та оцінки ризиків жорстко регламентуються Регламентом (ЄС) № 1107/2009 [6], який прямо вимагає відмовитися від ручних операцій там, де існують технічні альтернативи, впроваджуючи превентивні інженерні заходи як обов'язковий стандарт.

Незважаючи на доведену ефективність, основними викликами впровадження інженерних рішень в Україні є недостатній рівень технічної модернізації багатьох середніх та малих агропідприємств, висока вартість обладнання (кабін 4-ї категорії, систем CTS), а також формальний підхід до охорони праці, який обмежується лише видачею базових ЗІЗ.

Перспективними напрямками подальших досліджень є:

1. Впровадження smart-технологій (інтелектуальних систем розпізнавання бур'янів для точкового внесення ЗЗР), що радикально зменшує загальний обсяг використання хімікатів.
2. Розробка доступних вітчизняних модулів закритих систем змішування для дообладнання застарілого парку техніки.
3. Гармонізація національних санітарних норм із європейськими стандартами безпеки.

Оцінка професійних ризиків у сільському господарстві доводить, що традиційні методи захисту працівників від впливу пестицидів вичерпали свою ефективність. Застосування запропонованого комплексу інженерних рішень (СТS-системи, інжекторні розпилювачі, герметизація кабін) дозволяє знизити експозицію шкідливих речовин на 30–95 % залежно від етапу робіт. Пріоритетним завданням для аграрного сектору України має стати перехід від політики ліквідації наслідків та використання ЗЗ до управління ризиками безпосередньо на джерелі їх утворення (технологічному рівні).

### Список використаної джерел

1. Закон України «Про пестициди і агрохімікати» від 02.03.1995 р. № 86/95-ВР. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
2. Закон України «Про захист рослин» від 14.10.1998 р. № 180-XIV. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/180-14#Text>.
3. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 05.04.2007 р. № 877-V. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/877-16#Text>.
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання одержання посвідчення про право роботи з пестицидами» від 09.05.2023 р. № 458. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/458-2023-%D0%BF#Text>.
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку державного обліку наявності та використання пестицидів і агрохімікатів» від 02.11.1995 р. № 881. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/881-95-%D0%BF#Text>.
6. Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32009R1107>.

*Науковий керівник: Голінько В.І., д.т.н.,  
завідувач кафедри охорони праці та цивільної безпеки  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» м. Дніпро, Україна*

УДК 635.25:631.3:57.085:331.45

### ОСОБЛИВОСТІ УМОВ ПРАЦІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЦИБУЛІ МЕТОДОМ МІКРОЗМНОЖЕННЯ В УМОВАХ ІННОВАЦІЙ АГРОІНЖЕНЕРІЇ

FEATURES OF WORKING CONDITIONS WHEN GROWING ONIONS BY MICROPROPAGATION  
METHOD IN THE CONDITIONS OF AGRICULTURAL ENGINEERING INNOVATIONS

**Олександр Шестопапов, Вячеслав Курепін,**  
*Миколаївський національний аграрний університет  
Миколаїв, Україна*

Особливості умов праці при вирощуванні цибулі за технологією мікрозрошення в Навчально-науково-практичному центрі Миколаївського національного аграрного університету визначаються специфікою агротехнологічного процесу та організацією виробничої діяльності в умовах відкритого ґрунту. Виконання основних технологічних операцій здійснюється за допомогою сучасних систем мікрозрошення, що зумовлює необхідність постійного контролю за їх технічним станом, регулюванням режимів водоподачі та внесенням питних речовин відповідно до потреб рослин.