

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 331.45:631.3

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.206-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.206-212)

О. Д. Деркач¹, доц., канд. техн. наук, Д. О. Макаренко¹, доц., канд. техн. наук,
С. П. Дмитрюк¹, В. Л. Горобець¹, д-р техн. наук, О. М. Лівіцький², канд. техн. наук.,
Д. О. Дяченко²

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

²Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: addsau@gmail.com

Охорона праці при експлуатації безпілотних мобільних автономних платформ в агропромисловому виробництві

Наведено аналіз стану питання щодо безпеки експлуатації безпілотних мобільних автономних платформ. Показано, що в Україні на даний момент не розроблено заходів з охорони праці при роботі з такими агрегатами. В даній роботі розроблено ключові вимоги з питань охорони праці при експлуатації безпілотних мобільних автономних платформ, а саме агророботів.

охорона праці, безпілотна мобільна автономна платформа, GPS-навігація, агроробот, критерії безпеки праці

Постановка проблеми. Злочинне вторгнення росії в Україну спричинило такі масштаби катастрофи, з наслідками яких сьогодні не можуть справитися будь-які міжнародні організації та фонди. Це стосується і аграрного виробництва, яке потерпає від здорожчання логістики, зменшення кількості людських ресурсів, обмеження доступу до енергоносіїв та ринків збуту. Менше з тим, Україна залишається потужним постачальником продовольства на світовий ринок, навіть тимчасово втративши доступ до майже 20 % своїх с.-г. угідь. Очевидно, що після закінчення бойових дій, на розмінованих та очищених від канцерогенів полях поряд із традиційними енергетичними засобами будуть застосовуватись і безпілотні мобільні автономні платформи (БМАП). Використання БМАП буде зумовлене, по-перше, дефіцитом механізаторів; по-друге – їх застосування забезпечить безпеку здоров'я та/або навіть життя механізаторів, адже навіть на допущених Державною службою України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) до використання полях буде існувати імовірність натрапляння на боєприпас чи його залишки; по-третє, БМАП забезпечать вищу продуктивність технологічних операцій. Слово "автономна" було додано виробниками таких засобів, як ознака того, що такі БМАП можуть працювати самостійно будь-де, де є доступ до інтернету та сигналу GPS, повністю виконуючи поставлене завдання, наприклад, в карті припису.

В Україні проводяться тестові випробування безпілотних тракторів компаній John Deere, CNH, CLAAS. Так, John Deere розробив автономний трактор на базі моделі 8R, оснащений GPS-навігацією та шістьма відеокамерами для забезпечення точного руху та безпеки. Ця система дозволяє трактору самостійно виконувати польові роботи без участі оператор [1]. Бренд Case IH розробив автономний концепт-трактор Magnum ACV, який був представлений на міжнародній виставці SIMA та отримав срібну нагороду за інновації [2].

CLAAS проводить дослідження та випробування автономних систем для своїх тракторів, прагнучи інтегрувати безпілотні технології у свою продукцію. Хоча

конкретні моделі безпілотних тракторів від CLAAS ще не представлені, компанія активно інвестує в цю сферу [3]. Однак, ця техніка має класичну конструкцію, притаманну тракторам, як таким. Іншу концепцію БМАП представила компанія SEED MASTER, яка згодом буда викуплена корпорацією RAVON – це аграрний робот OMNiPower (рис.1). Як бачимо, даний енергетичний засіб не має кабіни, органів керування та інших класичних засобів управління. OMNiPower оснащений дизельним двигуном Perkins та може агрегатуватись із сільськогосподарськими машинами виробництва SEED MASTER: сівалкою, розкидачем мінеральних добрив та обприскувачем. Керується БМАП дистанційно за допомогою спеціального планшета зі встановленим програми забезпеченням.



Рисунок 1 – Безпілотна мобільна автономна платформа: агроробот OMNiPower

Джерело: розроблено [4]

Варто зазначити, що впровадження безпілотних енергетичних засобів стикається з певними викликами, такими як відсутність уніфікованих стандартів та нормативної бази. Очікується, що в Європейському Союзі відповідні стандарти будуть розроблені не раніше 2027 року [4].

Незважаючи на те, що безпілотні трактори мають значний потенціал для трансформації сільського господарства, їх широкомасштабне впровадження потребує подальших досліджень, випробувань та розробки відповідних нормативних актів. Особливо це стосується нормативно-правових актів з охорони праці та безпеки праці при експлуатації таких агрегатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На жаль, на даний момент існує вкрай обмежена кількість публікацій, які безпосередньо розглядають питання охорони праці при експлуатації безпілотних систем у сільському господарстві. Так у статті [5] розглядаються перспективи впровадження безпілотних тракторів у сільське господарство, а також питання безпеки їх експлуатації. Але будь-яких досліджень за темою статті проведено не було. В роботі [6] наведено аналіз використання безпілотних тракторів у сільському господарстві та піднято питання безпеки їх застосування. Наголошується, що "створення технології, яка залишається безпечною у всіх сценаріях, де може статися збій, потребує багато програмування та часу. Що стосується виявлення руху, трактори мають датчики, щоб зупинити їх, якщо вони виявляють об'єкти на своєму шляху, такі як люди, тварини, транспортні засоби або інші великі об'єкти" [5, с. 328]. Однак, авторами не запропоновані будь-які заходи, направлені на підвищення безпеки праці, а лише присутня констатація факту. Експлуатація таких систем не вважається безпечною. В роботі [7] акцентовано, що автономна робототехніка і мехатронні механізми [11-15] буде стимулювати ініціативи щодо забезпечення безпеки її експлуатації. У статті обговорюються соціальні наслідки, оцінка та управління ризиками, стандарти та державні постанови, а також охорона

праці при впровадженні безпілотних мобільних автономних платформ в сільське господарство. І, насамкінець, автори в роботі [8] доводять, що сьогодні існують "перешкоди для впровадження безпілотних машин у сільське господарство, зокрема невизначеність щодо правил безпеки та захисту даних". Проте, на момент написання статті, безпекові ініціативи не стали законодавчими актами і достеменно не розроблені для БМАП.

Метою роботи є обґрунтування критеріїв безпеки при експлуатації безпілотних мобільних автономних платформ в агропромисловому виробництві.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленого завдання було досліджено фактичні виникнення аварійних ситуацій, випадки відхилення від технологічних завдань БМАП. В якості об'єкту досліджень обрали БМАП-агроробот OMNiPower виробництва RAVON, у подальшому цю систему будемо називати його агроробот OMNiPower. Як було вказано вище, це БМАП нової конструктивної концепції. Для виконання технологічної операції в його бортовому комп'ютері завантажується карта припису і агрегат починає реалізацію завдання. Місцеположення він визначає за координатами в системі GPS. Має автономні камери, які інформують про ситуацію попереду агрегату та убезпечують наїзд на перешкоди, у разі відсутності сигналу GPS. Якщо до поля відстань велика, агрегат транспортується, як звичайний габаритний вантаж згідно правил дорожнього руху (рис. 2).



Рисунок 2 – Транспортування агроробота OMNiPower дорогою загального користування до місця виконання технологічної операції (Канада)

Джерело: розроблено [4]

Технологічна наладка, заправка технологічними матеріалами відбувається аналогічно, як і при застосуванні традиційних агрегатів. У подальшому, робот рухається по технологічних лініях навігації. Розвороти, переїзди здійснюються в автономному режимі. Контроль за процесом здійснюється дистанційно з будь-якої точки планети, де є доступ до інтернет. Аналіз можливостей функціонування БМАП та зазначена виробником RAVON агророботу OMNiPower специфіка його використання [9] дали можливість запропонувати наступні пункти безпеки праці при експлуатації:

1. Загальні вимоги безпеки. Правила безпеки при експлуатації агроробота OMNiPower.
2. Вимоги безпеки під час технічного обслуговування БМАП-агроробота OMNiPower.
3. Вимоги безпеки під час транспортування БМАП-агроробота OMNiPower.
4. Безпека праці при виникненні пожежі.

Поряд із загальноприйнятими правилами, можливо навести наступні заходи з безпеки праці, які стосуються саме автономної експлуатації агроробота OMNiPower [10]:

1. Особи, які знаходяться в зоні дії БМАП-агроробота OMNiPower повинні мати знання про можливості і характеристики силової платформи БМАП-агроробота OMNiPower і знарядь.

2. Будьте в курсі вашого оточення в полі чи поблизу БМАП-агроробота OMNiPower в будь-який час.

3. Обов'язково маєте оголосити наміри місії/шляху всім особам, що знаходяться у безпосередній близькості від БМАП-агроробота OMNiPower.

4. Переконайтеся, що захисне обладнання встановлено належним чином.

5. Активуйте стан аварійної зупинки під час роботи навколо або під енергетичною платформою чи знаряддям.

6. Не стійте та не знаходьтесь на БМАП-агроробота OMNiPower під час роботи.

Виробник [9] також радить, при експлуатації агроробота OMNiPower не слід знаходитись в кабіні автомобіля чи будь-якого іншого транспорту супроводу. Це необхідно для дотримання більш стійкого зв'язку між планшетом оператора та роботом.

Аналіз джерел [9, 10] не виявив правил з безпеки експлуатації агроробота OMNiPower при отриманні спотвореного сигналу GPS або його зникненні. Не наведені заходи з безпеки праці при виникненні аварійних ситуацій, пов'язаних автономною роботою агрегату. Однак, при експлуатації такого робота на навчальних полях, сталося 5 аварійних ситуацій, коли втрачався зв'язок робота із GPS. Це призводило до відхилення фактичної траєкторії руху від запланованої. Як наслідок, один раз агрегат виїхав за межі поля (рис. 3) та після заїзду в кювет, зупинився. Зупинку агрегату зумовила система нахилу його кута.



Рисунок 3 – Виїзд агрегату за межі виробничої зони поля при зникненні сигналу GPS

Джерело: розроблено авторами на підставі [4]

Слід зауважити, що в той момент проводилося розкидання гранульованих мінеральних добрив. Ширина розкидання 21 м. Але, як видно з рис. 3, агрегат виїхав за край поля. Тобто, він несанкціоновано подолав відстань, довжиною в половину робочої ширини захвату, тобто, більше 10 м. Якщо такий робот буде експлуатуватися в Україні під час воєнного стану, імовірність блокування сигналу GPS є високою. Технічно забезпечення безпечної експлуатації агроробота при зникненні сигналу GPS вирішується налаштуванням бортового комп'ютера на задані дії. Наприклад, при

настанні такого випадку агрегат програмується на зупинку або на доїзд до краю поля на поворотну смугу і зупинку.

Незважаючи на те, що даний агрегат оснащений декількома камерами, які мають забезпечувати автономний контроль за виникненням небезпечних факторів, вони не гарантовано виконують покладені функції. Імовірність неспрацювання їх осататочно не досліджена. Варто звернути увагу, що аналогічні системи вже впроваджені в електромобілях Tesla і могли б в даному агрегаті використовуватись. Фактором ризику може бути неточна карта припису. Наприклад, можна помилково не позначити ухил ділянки поля, щойно утворену штучну перешкоду тощо.

Проведений авторами дослідження свідчать, що при експлуатації агророботів в агропромисловому виробництві в Україні в межах розглянутої концепції мають бути вирішені такі питання:

1. Визначити дозволена відстань експлуатації БМАП від найближчого населеного пункту. Ця відстань буде залежати від імовірності появи сторонньої людини (дитини) в полі, в залежності від відстані до населеного пункту.

2. Сформулювати обов'язкову умову експлуатації БМАП в зоні дії базової станції RTK. Ув'язка системи навігації агроробота OMNiPower зі станцією RTK підвищить точність лінії руху, а оператор буде вчасно отримувати сповіщення про відхилення від траєкторії. Також можливо забезпечити додаткову функцію зупинки БМАП при відхилення від траєкторії на певну величину.

3. Робот OMNiPower дооснащити дистанційним металошукачем. Це необхідно для того, щоб вчасно виявляти можливі металеві уламки, залишки боєприпасів тощо, які, з великою імовірністю, будуть траплятися при експлуатації агрегату на розмінованих полях.

Основні вимоги до експлуатації БМАП в агропромисловому виробництві з охорони та безпеки праці мають бути розроблені та затверджені на законодавчому рівні при експлуатації агророботів в Україні. Вивчення конструкції, технології використання та обслуговування БМАП, а також безпеки праці при експлуатації агроробота OMNiPower вже включено в робочу програму з дисципліни "Технології цифрового землеробства" та "Експлуатаційна надійність БМАП в сільськогосподарському машинобудуванні", яка викладається здобувачам другого (магістерського) рівня освіти за спеціальностями "Агроінженерія" та "Галузеве машинобудування".

Висновки

1. Впровадження безпілотних мобільних автономних платформ, а саме агророботів затримується відсутністю уніфікованих стандартів та нормативної бази в Європейському Союзі в Україні. Очікується, що в Європейському Союзі відповідні стандарти будуть розроблені не раніше 2027 року.

2. З'ясовано, що наведені в наукових і популярних статтях, безпекові ініціативи щодо експлуатації безпілотних мобільних автономних платформ і конкретно агророботів не стали законодавчими актами і достеменно немає чітких критерії оцінки безпечної їх роботи.

3. Встановлено, що при експлуатації агророботів в агропромисловому виробництві існують прямі небезпеки у вигляді фізичного з'їзду безпілотних мобільних автономних платформ із запланованої траєкторії.

4. Запропоновано наступні критерії обґрунтованих вимог безпеки праці при експлуатації агророботів OMNiPower: безпечна відстань експлуатації агроробота від населеного пункту; обов'язкова експлуатація в зоні дії RTK-станції; наявність оптичних та хвильових засобів виявлення сторонніх предметів на шляху руху.

Список літератури

1. John Deere анонсував випуск безпілотного трактора. *IAC "Аграрії разом"*. URL: <http://agrarii-razom.com.ua> (дата звернення 15.02.2025).

2. Безпілотні трактори. Коли вихід в поле? *Traktorist.ua*. URL: <http://traktorist.ua> (дата звернення: 15.02.2025).
3. Цифрові рішення від CLAAS. *Claas.com*. URL: <http://claas.com> (дата звернення 15.02.2025).
4. Безпілотні машини поки що не здатні замінити звичайний трактор – дослідження. *SuperAgronom.com*. URL: <http://superagronom.com> (дата звернення: [вказати дату]).
5. Кісь О.В., Мішньов Д.В., Антощенко Р.В., Антощенко В.М. (2022). Безпілотні трактори для сільського господарства. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація»*. Харків: ДБТУ, с. 168-171.
6. Кісь О.В., Сметана А.Ю., Антощенко Р.В., Антощенко В.М. (2023). Безпілотні трактори: перспективи розвитку. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація»*. Харків: ДБТУ, с. 325-328.
7. Автономна робототехніка стимулює ініціативи щодо забезпечення безпеки сільського господарства. *Аграрії разом*. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/news-agro/avtonomna-robototekhnika-stimulyue-incipiati-vi-shodo-zabezpechennya-bezpeki-sil'skogo> (дата звернення 15.02.2025).
8. Роботи не зможуть найближчим часом замінити нинішні сільськогосподарські машини – дослідження. Значною перешкодою для впровадження безпілотних машин в агро є невизначеність щодо правил безпеки — дослідження. *SuperAgronom.com*. URL: <https://superagronom.com/news/19311-roboti-ne-zmojut-nayblizhchim-chasom-zaminiti-ninishni-sil'skogospodarski-mashini--doslidjennya> (дата звернення 15.02.2025).
9. Internal Training: HRI and Manual operation of Dot Power Platform. *SeeDotRun.com*. URL: <http://www.SeeDotRun.com> (дата звернення 15.02.2025).
10. DOT operator's manual 2019. *Farming Reimagined. SeeDotRun.com*. URL: <http://www.seedotrun.com> (дата звернення 15.02.2025).
11. Аулін В.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки : міжвуз. зб.* 2018. №62. С.17-20.
12. Аулін В.В., Голуб Д.В. Обґрунтування механізму функціонування мехатронної системи склоочищення автомобіля. *Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2023. Вип. 7(38). Ч.1. С. 167-176.
13. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С. Розробка математичної моделі мехатронного модуля системи рульового управління вантажних автомобілів. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем: V Міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 квіт. 2023 р., м. Кропивницький: матеріали конф. / М-во освіти і науки України, Центральнoукраїно нац. техн. ун-тЮ каф. експлуатації та ремонту машин. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.9-11.
14. Голуб Д.В., Аулін В.В. Математична модель підвищення якості управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля. Кропивницький: ЦНТУ, Вип. 9(40). Ч.2, 2024. С.186-197.
15. Мигаль В.Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Харків: Майдан, 2018. 262 с.

References

1. IAS "Agrarii razom". (2025, February 15). John Deere announced the release of an autonomous tractor. *Agrarii razom*. <http://agrarii-razom.com.ua> [in Ukrainian].
2. Traktorist.ua. (2025, February 15). Autonomous tractors. When will they hit the field? *Traktorist.ua*. <http://traktorist.ua> [in Ukrainian].
3. Claas.com. (2025, February 15). Digital solutions from CLAAS. *Claas.com*. <http://claas.com> [in Ukrainian].
4. SuperAgronom.com. (n.d.). Autonomous machines are not yet able to replace conventional tractors – research. *SuperAgronom.com*. <http://superagronom.com> [in Ukrainian].
5. Kis, O. V., Mishniiov, D. V., Antoshchenkov, R. V., & Antoshchenkov, V. M. (2022). Autonomous tractors for agriculture. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Automobile Transport in the Agricultural Sector: Design, Design, and Technological Operation"* (pp. 168-171). DBTU. [in Ukrainian].
6. Kis, O. V., Smetana, A. Yu., Antoshchenkov, R. V., & Antoshchenkov, V. M. (2023). Autonomous tractors: Development prospects. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Automobile Transport in the Agricultural Sector: Design, Design, and Technological Operation"* (pp. 325-328). DBTU. [in Ukrainian].
7. IAS "Agrarii razom". (2025, February 15). Autonomous robotics stimulates initiatives to ensure agricultural safety. *Agrarii razom*. <https://agrarii-razom.com.ua/news-agro/avtonomna-robototekhnika-stimulyue-incipiati-vi-shodo-zabezpechennya-bezpeki-sil'skogo> [in Ukrainian].
8. SuperAgronom.com. (2025, February 15). Robots will not be able to replace current agricultural machinery anytime soon – research. The uncertainty of safety regulations is a significant obstacle to the introduction of

- autonomous machines in agriculture – research. SuperAgronom.com. <https://superagronom.com/news/19311-roboti-ne-zmojut-nayblizhchim-chasom-zaminiti-ninishni-silskogospodarski-mashini--doslidjennya> [in Ukrainian].
9. SeeDotRun.com. (2025, February 15). Internal Training: HRI and Manual Operation of Dot Power Platform. SeeDotRun.com. <http://www.SeeDotRun.com> [in English].
 10. SeeDotRun.com. (2019). DOT operator’s manual. Farming Reimagined. <http://www.seedotrun.com> [in English].
 11. Aulin, V.V., Golub, D.V. & Agaponenko, M.I. (2018). Rozrobka kryteriiu vdoskonalennia systemy tekhnichnoi ekspluatatsii zasobiv transportu z vrakhuvanniam neobkhidnoi diahnostychnoi informatsii. [Development of criteria for improving the system of technical operation of means of transport, taking into account the necessary diagnostic information]. Naukovi notatky : mizhvuz. zb. Scientific notes: an interuniversity collection, 62, 17-20 [in Ukrainian].
 12. Aulin, V. V., & Holub, D. V. (2023). Justification of the mechanism for the functioning of the mechatronic system of car windshield wipers. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 7(38), 167–176. Kropyvnytskyi: CNTU [in Ukrainian].
 13. Aulin, V. V., Holub, D. V., & Zamurenko, A. S. (2023). Development of a mathematical model of the mechatronic module of the steering system for heavy trucks. In Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference on Reliability and Efficiency of Machines, Processes and Systems (pp. 9–11) . Kropyvnytskyi: Ministry of Education and Science of Ukraine, Central Ukrainian National Technical University. [in Ukrainian].
 14. Holub, D. V., & Aulin, V. V. (2024). Mathematical model for improving the quality of management of the mechatronic climate control system in a car cabin. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 9(40), 186–197. Kropyvnytskyi: CNTU. [in Ukrainian].
 15. Myhal, V. D. (2018). Intelligent systems in technical operation of vehicles (Monograph). Kharkiv: Maidan. [in Ukrainian].

Oleksii Derkach¹, Assoc. Prof., PhD tech. Sci., **Dmytro Makarenko**¹, Assoc. Prof., PhD tech. Sci., **Svitlana Dmytryuk**¹, **Volodymyr Horobets**¹, Dr. tech. Sci., **Oleksandr Livitskyi**², PhD tech. Sci., **Denys Dyachenko**²

¹ Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

² Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Occupational Safety in the Operation of Agro-Robots in Crop Production

This paper provides an analysis of the current state of occupational safety in the operation of unmanned mobile autonomous platforms. It demonstrates that, to date, no specific occupational safety measures have been developed in Ukraine for working with such platforms. The paper also outlines key occupational safety requirements for the operation of unmanned mobile autonomous platforms.

The article asserts that agricultural robots are expected to be implemented in Ukraine in the future. An analysis of occupational safety issues has revealed that, even within the European Union, no standardized regulations for the safe operation of agricultural robots currently exist. It has been established that Ukraine also lacks legislative initiatives to regulate the use of agricultural robots in production settings. A review of the existing literature shows that while some publications address the challenges associated with the safe operation of agricultural robots, no proposals or recommendations have been developed or implemented.

Using the example of the OMNiPower agricultural robot, the paper demonstrates one of five hazardous incidents where the machine deviated from its planned trajectory due to the loss of a GPS signal. The authors propose measures to regulate the operation of agricultural robots in the event of GPS signal loss. Based on their research, they identify the key criteria necessary for developing guidelines and regulations for the safe operation of agricultural robots in Ukraine. The paper concludes with a summary of these findings.

The implementation of agro-robots is currently hindered by the absence of standardized regulations and a unified legal framework. It is expected that the European Union will not develop the relevant standards before 2027. The paper highlights that safety initiatives presented in scientific and popular articles have not been formalized into legislation, and there are no clearly defined criteria for assessing the safe operation of agro-robots. It is demonstrated that the operation of agro-robots involves direct hazards, such as unintended deviations from the planned trajectory. The following criteria are proposed to justify occupational safety requirements: a safe operational distance of the agro-robot from residential areas, mandatory operation within the coverage area of an RTK station, and the use of optical and wave-based detection systems for identifying foreign objects in the robot's path.

labor protection, unmanned mobile autonomous platform, GPS navigation, agricultural robot, labor safety criteria

Одержано (Received) 10.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 14.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 21.03.2025