

В. Д. Андрощук; В. А. Макаров, д-р техн. наук, проф.

АСПЕКТИ АНАЛІЗУ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ З ОГЛЯДУ НА СТАН ЕКОЛОГІЧНОСТІ ДОВКІЛЛЯ

У статті здійснено комплексний аналіз методів контролю екологічного стану під час здійснення автомобільних перевезень у сільськогосподарських регіонах України. Розглянуто специфіку впливу транспортних засобів на навколишнє середовище, зокрема на атмосферне повітря, ґрунтовий покрив, водні ресурси та біорізноманіття. Виокремлено основні джерела забруднення, серед яких визначено оксиди азоту (NO_x), вуглецю (CO , CO_2), сірки (SO_2), тверді частки ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}), а також важкі метали, що виникають внаслідок роботи автомобільного транспорту і негативно впливають на агроєкосистеми. Описано сучасні активні та пасивні методи контролю. Зокрема технічний контроль транспортних засобів, впровадження каталітичних нейтралізаторів, сажових фільтрів, застосування альтернативних екологічно безпечних палив (СПГ, ЗНГ, біодизель, етанол, водень), супутниковий моніторинг, біоіндикацію та автономні аеромобільні вимірювальні комплекси. Проведено порівняльну оцінку методів за критеріями точності, вартості, мобільності, ефективності та можливості практичного застосування в польових умовах. Окремо вказано на фіскальні інструменти впливу на транспортну політику, що базуються на рівні викидів, а також наведено приклади успішного використання GPS-моніторингу, впровадження електротранспорту в аграрній логістиці, створення інтелектуальних систем управління маршрутами та екологічними постами. Підкреслено важливість формування політики сталого розвитку сільських територій на основі інноваційних рішень і системного екологічного моніторингу. Робота демонструє актуальність інтеграції новітніх технологій задля зменшення техногенного навантаження та досягнення збалансованого функціонування агропромислових регіонів. Застосування комплексного підходу дозволяє досягти вищого рівня ефективності контролю. Особливої уваги потребує подальша цифровізація екологічного моніторингу. Це сприяє швидкому реагуванню на зміни стану довкілля в аграрних регіонах.

Ключові слова: автомобільні перевезення, екологічність, сільське господарство, забруднення, контроль, моніторинг, альтернативне паливо.

Вступ

Сучасний розвиток сільськогосподарської інфраструктури нерозривно пов'язаний з інтенсивним використанням автомобільного транспорту, який забезпечує логістичні операції на всіх етапах аграрного виробництва. Водночас, автоперевезення є одним із ключових факторів техногенного навантаження на довкілля в сільській місцевості, що виявляється у формі викидів шкідливих речовин в атмосферу, деградації ґрунтів, забруднення водних ресурсів і порушення екологічного системного балансу. У зв'язку з цим виникає нагальна проблема в розробці та впровадженні ефективних методів екологічного моніторингу й контролю автомобільних перевезень у сільськогосподарських регіонах.

Екологічність довкілля – це ступінь його відповідності нормативам щодо чистоти повітря, ґрунту і води, а також рівень збереження біорізноманіття під впливом автотранспортної активності.

Метою цього дослідження є аналіз наявних методів контролю екологічного стану в умовах автомобільних перевезень у сільськогосподарських районах з фокусом на мінімізацію техногенного впливу.

Характеристика автоперевезень у сільській місцевості

Автомобільний транспорт відіграє значущу роль у забезпеченні функціонування господарства та суспільства регіонів України. Означені регіони країни характеризуються розгалуженою мережею автомобільних доріг, які забезпечують перевезення продукції, постачання матеріалів та техніки. Інтенсивність руху на цих дорогах залежить від сезону. Під

час посівної та збиральної кампаній транспортне навантаження зростає. Особливістю сільських доріг є їх технічний стан, який часто не відповідає сучасним вимогам, що сприяє підвищенню викидів забруднюючих речовин через неефективну роботу двигунів автомобілів та систем «колесо-дорога» на нерівних покриттях [1].

Автомобільний транспорт є значним джерелом викидів шкідливих речовин в атмосферу. До основних компонентів відпрацьованих газів належать:

- оксиди азоту (NO_x) утворюються при високотемпературному згорянні палива і сприяють утворенню фотохімічного смогу;
- діоксид сірки (SO_2) виникає при спалюванні сірковмісного палива і є причиною кислотних дощів;
- оксиди вуглецю (CO) чадний газ, який утворюється при неповному згорянні палива і є токсичним для живих організмів;
- тверді частки ($\text{PM}_{2.5}$ і PM_{10}) дрібнодисперсні частки, які проникають у дихальні шляхи і можуть спричиняти респіраторні захворювання;
- важкі метали (свинець, кадмій, хром) викидаються внаслідок зносу деталей, гальмівних колодок та шин, накопичуються в ґрунтах і водних об'єктах.

Викиди автотранспорту мають комплексний негативний вплив на різні компоненти довкілля:

- ґрунти – накопичення важких металів та нафтопродуктів призводить до деградації ґрунтового покриву, зниження родючості та забруднення сільськогосподарської продукції;
- повітря – підвищення концентрації шкідливих газів сприяє розвитку захворювань дихальної системи у населення та тварин, а також впливає на процеси фотосинтезу у рослин;
- вода – стічні води з доріг, що містять нафтопродукти та важкі метали, потрапляють у водні об'єкти, спричиняючи їх евтрофікацію та загибель водних організмів;
- біорізноманіття – забруднення середовища та фрагментація природних ландшафтів через будівництво доріг призводять до зменшення чисельності та видового складу флори і фауни.

Згідно з даними Державної служби статистики України [2] наведено рівень викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел (таблиця 1).

Таблиця 1

Найбільші показники викидів забруднюючих речовин

Регіон	Викиди (тонн) 2019 р.	Викиди на особу (кг) 2019 р.
Україна	1 648 827,0	39,2
Вінницька область	58 060,1	37,4
Волинська область	31 356,3	30,3
Дніпропетровська	131 346,3	41,2

Методи контролю екологічності автоперевезень

Ефективний контроль екологічності автоперевезень є критично важливим для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку аграрних територій.

Методи контролю екологічності автоперевезень поділяються на дві основні категорії:

- активні методи: передбачають безпосереднє втручання в процеси перевезень з метою зменшення викидів. До них належать: оптимізація маршрутів, контроль технічного стану транспортних засобів, використання екологічно чистих видів палива.
- пасивні методи: спрямовані на спостереження та аналіз впливу автоперевезень на довкілля без безпосереднього втручання в процеси перевезень. До них належать: моніторинг якості повітря, біоіндикація, дистанційне зондування.

Види технічного контролю транспортних засобів

Означений контроль передбачає перевірку технічного стану транспортних засобів з метою забезпечення їх відповідності екологічним стандартам. Під час такого контролю оцінюється рівень викидів забруднюючих речовин, зокрема оксиду вуглецю (CO) та вуглеводнів (CH), а також перевіряється наявність підтікань паливно-мастильних матеріалів, які можуть спричинити забруднення довкілля. Використання сучасних діагностичних приладів дозволяє точно вимірювати концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах і виявляти несправності, що впливають на екологічність транспорту.

Необхідно звернути увагу на використання каталітичних нейтралізаторів та сажових фільтрів, які є пристроями, що встановлюються в систему вихлопу автомобіля для зменшення викидів шкідливих речовин. Каталітичні нейтралізатори сприяють окисленню оксиду вуглецю та вуглеводнів, а також відновленню оксидів азоту до менш шкідливих компонентів. Сажові фільтри ефективно затримують тверді частки (PM), зокрема сажу, запобігаючи їх потраплянню в атмосферу.

Ефективно можна розв'язати проблему використання альтернативних видів палива, таких як стиснений природний газ (СПГ), зріджений нафтовий газ (ЗНГ), біологічне дизельне паливо, етанол або водень, дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин. Ці види палива характеризуються нижчим вмістом сірки та інших забруднювачів, що сприяє покращенню екологічних показників автотранспорту [3].

Показники різних видів палива наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння впливу різних видів палива на довкілля

Вид палива	CO ₂ (г/км)	NO _x (г/км)	PM (г/км)	Вміст сірки	Загальна екологічна оцінка
Дизельне паливо	~170	~0.4	~0.02	Високий	Низька
Бензин	~155	~0.25	~0.015	Середній	Середня
Стиснений природний газ (СПГ)	~125	~0.05	~0.005	Низький	Висока
Зріджений нафтовий газ (ЗНГ)	~135	~0.08	~0.007	Низький	Висока
Біодизель (B20-B100)	~130	~0.2	~0.01	Дуже низький	Висока
Етанол (E85)	~100	~0.1	~0.008	Немає	Дуже висока
Водень (паливні елементи)	~0	~0	~0	Немає	Максимальна

Нижче розглянуто фіскальні методи регулювання.

Фіскальні інструменти, такі як податки на транспортні засоби залежно від рівня їх викидів CO₂, стимулюють власників обирати більш екологічні автомобілі. В Україні поки що відсутні такі механізми, однак досвід європейських країн демонструє їхню ефективність у зниженні загального рівня забруднення від транспорту.

Дієвими є біоіндикація та фітомоніторинг

Методи біоіндикації передбачають використання живих організмів, зокрема рослин, для оцінки рівня забруднення довкілля. Наприклад, аналіз вмісту аскорбінової кислоти та хлорофілу в листках кульбаби лікарської може свідчити про рівень забруднення повітря. Фітомоніторинг дозволяє отримати дані про накопичення шкідливих речовин у рослинах, що ростуть уздовж доріг, і оцінити вплив автотранспорту на екосистеми.

Супутниковий моніторинг транспортних потоків має перспективу розвитку.

Використання супутникових знімків для моніторингу руху вантажного транспорту дозволяє оцінювати інтенсивність транспортних потоків та їхній вплив на довкілля. Аналіз супутникових даних дає змогу виявляти перевантажені ділянки доріг і планувати заходи для зменшення заторів та пов'язаних з ними викидів.

Автономні аеромобільні вимірювальні комплекси є дієвими системами.

Використання безпілотних літальних апаратів, оснащених сенсорами для вимірювання концентрації забруднюючих речовин, дозволяє оперативно отримувати дані про стан атмосферного повітря в різних точках сільськогосподарських регіонів. Такі комплекси забезпечують мобільність та точність вимірювань, що є важливим для екологічного моніторингу.

Оцінки методів контролю наведено в таблиці 3.

Порівнявши наявні методи контролю екологічності стану довкілля, необхідно обрати методи, що найбільш ефективно дозволять контролювати рівень екологічності у сільськогосподарській місцевості.

Таблиця 3

Порівняльна таблиця методів контролю екологічності

№	Метод контролю	Ефективність	Вартість впровадження	Мобільність	Точність	Польове застосування
1	Технічний контроль	Висока	Середня	Низька	Висока	Обмежено
2	Каталітичні нейтралізатори та фільтри	Висока	Висока	Постійна	Висока	Так
3	Альтернативні види палива	Висока	Висока	Постійна	Висока	Так
4	Фіскальні методи	Середня	Низька	Постійна	Опосередкована	Ні
5	Біоіндикація та фітотестування	Середня	Низька	Висока	Середня	Так
6	Супутниковий моніторинг	Висока	Висока	Постійна	Висока	Ні
7	Аеромобільні вимірювальні комплекси	Висока	Висока	Висока	Висока	Так

Одним з таких є автоматизовані пости екологічного моніторингу, які оснащені сенсорами для безперервного вимірювання рівня забруднення повітря та інших параметрів. Наприклад, ПрАТ «Укрграфіт» впровадило систему, що інтегрована в європейську мережу моніторингу, дозволяючи отримувати дані в реальному часі та прогнозувати забруднення. Крім того, використання GPS-моніторингу транспорту дозволяє відстежувати маршрути перевезень та ідентифікувати зони з підвищеним рівнем забруднення. Державне підприємство «Ліси України» запровадило пілотний проект із GPS-моніторингу переміщення вантажного транспорту, що дозволяє контролювати маршрути лісовозів, пройдений кілометраж та витрати пального.

Біоіндикація також є ефективним методом оцінки екологічного стану територій, зокрема придорожніх смуг. Використання лишайників як біоіндикаторів дозволяє визначити рівень забруднення повітря важкими металами та іншими токсикантами. Дослідження, проведене в місті Чернігові, показало, що коефіцієнт покриття дерев лишайниками корелює з рівнем забруднення повітря, що підтверджує доцільність використання цього методу. Крім того, застосування равликів для біоіндикації забруднення території токсикантами дозволяє оцінити вплив забруднення на живі організми. Грунтові сенсори також відіграють важливу роль у моніторингу екологічності автоперевезень. Вони дозволяють вимірювати концентрацію забруднюючих речовин у ґрунті, що є особливо важливим для сільськогосподарських регіонів. Використання таких сенсорів у поєднанні з роботизованими платформами дозволяє створювати детальні карти забруднення та оцінювати вплив автоперевезень на ґрунтовий покрив.

Практичні приклади впровадження екологічного контролю

Система «Зелений маршрут» у фермерських господарствах – передбачає оптимізацію логістичних процесів у фермерських господарствах з метою зниження екологічного впливу автоперевезень. Вона включає планування маршрутів з урахуванням мінімізації відстані та часу в дорозі, використання екологічно чистих транспортних засобів та впровадження технологій моніторингу викидів. Наприклад, у деяких європейських країнах фермери об'єднуються для спільного використання транспорту, що зменшує кількість поїздок і, відповідно, викидів шкідливих речовин. Використання GPS-навігації та програмного забезпечення для оптимізації маршрутів дозволяє знизити споживання пального та зменшити викиди CO₂.

Використання електротранспорту – Європейський Союз активно впроваджує електротранспорт як засіб зниження викидів парникових газів та покращення якості повітря. Наприклад, у Польщі реалізуються програми субсидування закупівлі електробусів для міських перевезень, що сприяє зменшенню залежності від викопних видів палива та зниженню рівня шуму в містах. Вчені Технічного університету Дрездена провели дослідження шуму при коченні коліс [4]. В Україні також спостерігається тенденція до переходу на електротранспорт. Зокрема, у Луцьку в рамках міжнародного проєкту було встановлено «розумні зупинки» та інформаційні табло, що сприяє підвищенню привабливості громадського транспорту та зменшенню використання приватних автомобілів, а отже, і викидів шкідливих речовин.

Висновки

У ході дослідження встановлено, що автотранспорт у сільськогосподарських регіонах є вагомим джерелом екологічного навантаження довкілля, зокрема через викиди оксидів азоту, вуглецю та твердих часток. Аналіз наявних методів контролю показав, що найбільш ефективними є комплексні підходи, які поєднують технічний огляд, використання екологічних фільтрів, альтернативних палив, а також сучасні засоби моніторингу: супутниковий контроль, біологічну індикацію та автономні вимірювальні платформи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ємець О., Мельничук О. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. *Львів : Львівська політехніка*. 2009. Вип. 1 (17). С. 296–300.
2. Волков Д. В. Метод оцінки екологічної ефективності транспорту в умовах температурних змін навколишнього середовища. *Екологічні науки*. Київ : Держ. екол. акад. післядипломної освіти та управ. 2020. №1. С. 311–315. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolnauk_2020_1_52.
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. МЗДПРУ. Київ, 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnoho-seredovyssha-v-ukrayini/>.
4. Schubert J. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Reifen, Doktor-Ingenieurs Dissertation: *Fahrbahn-Rollgeräusch*. Dresden, 2003. 113 p.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2025.

Стаття пройшла рецензування 17.06.2025.

Андрощук Віктор Дмитрович – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: androshchukvicktor@gmail.com.

Макаров Володимир Андрійович – д-р техн. наук, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту.

Вінницький національний технічний університет.