

ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.37:504.05:625.7

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.0.37

КОМПЛЕКСНЕ ЕКОЛОГО-АНАЛІТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СИСТЕМИ «АДС» НА СКЛАДНИКИ ДОВКІЛЛЯ В ПРОЦЕДУРІ ОВД

Адамова Г. В.

Науково-дослідна установа

«Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»

Анотація. Розглянуто можливість здійснення ОВД на основі системного аналізу та зазначено ефективний алгоритм дій у процесі оцінювання впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля. Проведено декомпозицію впливу автомобільних доріг на довкілля за рівнями, що узгоджуються з принципами структуризації МАІ. Проаналізовано наукові праці та нормативні документи й визначено необхідні параметри для оцінювання впливу автомобільної дороги на навколишнє природне середовище (НПС) та заходи зменшення цього впливу. Розроблено складну ієрархічну структуру оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС, відповідно до неї проведено комплексне еколого-аналітичне оцінювання для ділянки дороги М-29 Харків – Дніпро та перевірено адекватність розробленої ієрархічної структури з допомогою досліджень на обраній ділянці дороги.

Ключові слова: система «автомобіль – дорога – середовище» (АДС), оцінювання впливу на довкілля (ОВД), системний аналіз, експертно-аналітичне оцінювання, навколишнє природне середовище (НПС), метод аналізу ієрархій (МАІ).

Вступ

Відповідно до того, як дорожня мережа розширюється, більш значної уваги потребує її вплив на довкілля, а саме навколишнє природне середовище та умови життєдіяльності місцевого населення. Дороги є ключовим елементом критичної інфраструктури для життєдіяльності населених пунктів кожної країни, що забезпечують взаємодію людей між собою, переміщення товарів, доступ до природних ресурсів тощо. Експлуатація дорожніх мереж має здійснюватися таким чином, щоб забезпечувався нормативний стан природного середовища згідно з вимогами сталого розвитку.

Основний вплив доріг пов'язаний із рухом транспорту. Наприклад, на момент публікації [1] було спрогнозовано, що до 2030 р. річний пасажиропотік, порівняно з 2015 р., зросте на 50 % і становитиме понад 80 трильйонів пасажиро-кілометрів, на 70 % зростуть світові обсяги вантажоперевезень.

Рівень впливу від експлуатації автомобільної дороги на довкілля має комплексний характер і залежить від щільності дорожньої мережі, інтенсивності руху транспорту, інженерних особливостей влаштування доріг, природно-кліматичних умов експлуатації, ефективності діяльності експлуатаційних служб, дотримання нормативних характерис-

тик автомобілів і дорожніх комунікацій у частині екологічної безпеки тощо.

Тобто експлуатація доріг має широкий та багатокомпонентний вплив на навколишнє середовище, а саме на стан повітря, поверхневих вод, ґрунту, біоти, умов проживання людей, і має пряму та опосередковану природу та умови дії цього впливу. Недосконалість наявних правових, організаційних і методичних засад процедури оцінювання впливу на довкілля (ОВД) в автомобільній галузі створює значні екологічні проблеми, що потребують системного наукового підходу, планового впровадження та управління для зменшення негативних наслідків, сприяння екологічній рівновазі та забезпечення стратегій сталого розвитку екологічної безпеки, що спрямовані на запобігання шкоді довкіллю.

Аналіз публікацій

Екологічна безпека автомобільних доріг [2, 3] – це комплекс заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу під час їх експлуатації на довкілля.

Інформація про дороги в Україні, зокрема характеристики покриття, відомості про інженерні споруди, наявність небезпечних ділянок тощо, міститься в «технічному паспорті автомобільних доріг». В інших країнах світу також існують документи, схожі на

український технічний паспорт, або ті, що містять зазначену вище інформацію про автомобільні дороги. Перелічимо ці документи.

1. У Німеччині – *Technischen Infrastruktur-Pass* («Технічний паспорт дорожньої інфраструктури») [4]. Містить інформацію про технічний стан і особливості доріг. Він потрібний для проєктів громадської інфраструктури, таких як автомагістралі, мости й тунелі.

2. У Франції – *Diagnostic de la voirie* («Діагностика дороги») [5]. Цей документ містить технічну інформацію про дорогу, зокрема географічні координати, тип покриття, кількість і ширину смуг руху, кількість та характеристики вуличного освітлення, наявність додаткових елементів безпеки (наприклад, огорож) та іншу інформацію. Він складається з метою визначення необхідності ремонту, модернізації чи перебудови дороги.

3. У США – *Technical Roadway Inventory* («Технічна інвентаризація доріг»), *Roadway Engineering Documentation* («Інженерно-технічна документація на дорогу») або *Roadway Infrastructure Passport* («Паспорт дорожньої інфраструктури») [6]. Вони містять технічну інформацію про дороги (проєктування, будівництво та історію обслуговування), відомості про фізичні характеристики проїжджої частини, а також про будь-які елементи або споруди вздовж проїжджої частини.

4. В Італії – *Piano di Gestione del Traffico* («План організації дорожнього руху») [7]. Містить інформацію про місце розташування дороги, її параметри, технічні характеристики та використання.

5. В Іспанії – *Ficha Técnica de la Carretera* або *Ficha Técnica del Camino* («Технічний паспорт дороги») [8]. Він є обов'язковим документом для кожної дороги і містить інформацію про її геометричні та технічні характеристики, стан дорожнього покриття, наявність додаткових елементів (наприклад, відбійників і розмітки), схему розташування дороги тощо.

Згадані вище характеристики використовуються в процесі проведення ОВД автомагістралей, автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення, що мають чотири чи більше смуги руху, реконструкції та/або розширення наявних смуг руху до чотирьох і більше, автомобільних доріг першої категорії.

На сьогодні в Україні діє Закон «Про оцінку впливу на довкілля» [9], спрямований на мінімізацію / запобігання шкоді довкіллю,

забезпечення екологічної безпеки, раціонального використання природних ресурсів, у процесі прийняття рішень про проведення господарської діяльності.

Особливості конкретних кроків і процедур ОВД, залежно від країни впровадження, мають свої особливості відповідно до місцевих законів і правил, але зберігають загальну мету збалансованого розвитку автомобільної мережі як інфраструктури, забезпечення та збереження НПС, розвитку добробуту місцевих громад та природних територій.

Автори роботи [10] зазначають, що в законі [9] не надано чітких рекомендацій щодо методик проведення ОВД з огляду на особливість цієї діяльності, і питання оцінювання впливу на довкілля під час будівництва та реконструкції автомобільних доріг на вимоги сучасного законодавства залишається відкритим. Саме на вирішення цього питання й спрямована ця публікація.

Мета та постановка завдання

Метою публікації є висвітлення результатів дослідження комплексної еколого-аналітичної оцінки впливу автомобільних доріг на НС, які доцільно використати у процедурі ОВД автомобільних доріг, що сприятиме завдяки системному підходу оцінювання, більш якісному прийняттю дієвих управлінських рішень у частині дотримання екологічної безпеки експлуатації автомобільних доріг, покращенню умов життя та здоров'я людей поблизу них, збереженню природних ландшафтів і стійкості рекреаційних зон до негативного впливу, підвищенню ефективності екологічного моніторингу та запобіжних заходів.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати особливості впровадження системного підходу в процедурі ОВД та розробити ефективний алгоритм дій процесу оцінювання впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля;

- виконати декомпозицію процесу впливу системи «АДС» на довкілля та заходів його зменшення за рівнями, що узгоджуються з принципами структуризації МАІ;

- узагальнити результати аналітичного огляду наукових публікацій і нормативних документів із визначенням необхідних і достатніх критеріїв для оцінювання впливу автомобільної дороги на довкілля;

- побудувати ієрархічну структуру оцінювання комплексного впливу системи

«АДС» на складники НПС з огляду на заходи мінімізації / усунення цього впливу;

- провести експертно-аналітичне оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС та визначити найбільш дієві комплексні заходи зменшення цього впливу;

- перевірити адекватність розробленої ієрархічної структури еколого-аналітичного оцінювання впливу системи «АДС» на складники довкілля способом експериментальних досліджень на обраній ділянці дороги М-29 Харків – Дніпро;

- сформулювати висновки й надати рекомендації щодо застосування результатів досліджень у процедурі ОВД автомобільних доріг України.

Виклад основного матеріалу

Оцінювання впливу на довкілля доцільно виконати в межах концепції систем, тобто на основі аналізу, що передбачає: поділ проблеми на складники (декомпозиція системи, декомпозиція цілей), застосування обґрунтованих методів для розв'язання окремих завдань та об'єднання окремих висновків у загальний підсумок [11]. У цьому разі всі елементи системи та всі операції в ній розглядаються комплексно, системно, у взаємозв'язку та взаємному впливі, що має ієрархічний характер. Інтегруючи системний аналіз у процес ОВД, зокрема для автомобільних доріг, можна забезпечити більш повну та обґрунтовану оцінку впливу на навколишнє середовище автомобільних доріг. Наукове

обґрунтування основ системи «АДС», започатковане в дослідженнях Н. Внукової [2, 12], дає змогу приймати обґрунтовані й оптимальні рішення щодо забезпечення екологічної безпеки як для окремих автомобілей, транспортної мережі (доріг), так і придорожного простору, де вони будуються та експлуатуються.

Отже, ефективний алгоритм дій у процесі оцінювання впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля має передбачати декомпозицію системи «автомобіль – дорога – середовище», зважаючи на взаємозв'язки всіх її складників із подальшим синтезом проміжних (часткових) висновків у загальний.

Так, для всебічного та комплексного оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС необхідно провести декомпозицію цього впливу, що дасть змогу розглянути це питання у вигляді складників, з'єднаних у вигляді ієрархічної структури. Такий підхід спрощує аналіз, а також дає змогу попарно порівняти елементи між собою та чисельно подати величини впливу кожного елемента ієрархічної структури для досягнення поставленої мети з оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС.

Декомпозиція узагальненої ієрархії впливу системи «АДС» на довкілля та заходів його зменшення за рівнями, що узгоджуються з принципами структуризації МАІ, для побудови ієрархічної структури у загальному формалізованому вигляді подано на рис. 1.

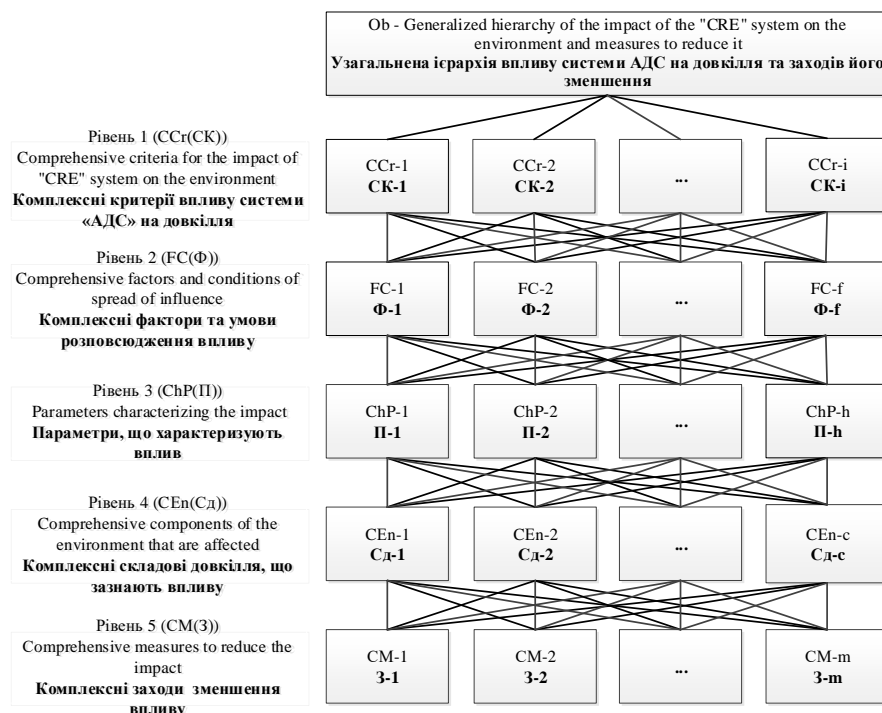


Рис. 1. Декомпозиція впливу системи «АДС» на довкілля та заходів його зменшення

Пояснимо позначки на рис. 1:

- на нульовому рівні *Ob (Overall objective)* ієрархії формується загальна мета завдання: оцінювання впливу системи «АДС» на складники навколишнього природного середовища;
- на першому рівні *CCr(CK) (Comprehensive criteria)* – комплексні критерії впливу системи «АДС» на довкілля («автотранспорт – дорога – середовище»);
- на другому рівні *FC(Φ) (Comprehensive factors and conditions of spread of influence)* – комплексні фактори впливу, умови його формування та поширення;
- на третьому рівні *ChP(Π) (Parameters characterizing the impact)* – параметри, що характеризують вплив і більш детально розкривають другий рівень структури;
- на четвертому рівні *CEн(Cδ) (Comprehensive components of the environment that are affected)* – комплексні складники довкілля, що зазнають вплив від експлуатації автомобільної дороги;
- на п'ятому рівні *CM(З) (Comprehensive measures to reduce the impact)* – комплексні заходи щодо зменшення впливу системи «АДС» на складники довкілля.

Вплив експлуатації автомобільної дороги на навколишнє середовище є безсумнівним і потребує ретельного аналізу.

Насамперед ми умовно поділили довкілля на дві частини: навколишнє природне середовище (НПС) і природно-техногенне середовище (ПТС) (рис. 2).

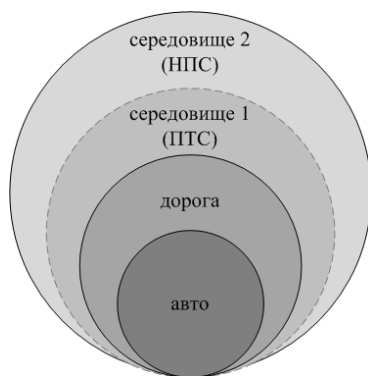


Рис. 2. Зонування поширення впливу в системі «АДС» (авторський підхід)

Логічним є розуміння, що природно-техногенне середовище – це штучно змінена чи створена частина середовища, яка містить саму автомобільну дорогу разом зі спорудами захисту (за наявності) і територію, що прилягає безпосередньо до автомобільної дороги

(так званий «придорожній простір») та зазнає основного негативного впливу.

Саме ПТС містить умови поширення впливу від автомобільної дороги та транспорту, на які необхідно зважати, аби зрозуміти цілісну картину впливу.

Завданням захисту довкілля від експлуатації автомобільної дороги є саме мінімізація впливу на ПТС для недопущення впливу на НПС, а також перенесення границі ПТС якомога ближче до автомобільної дороги.

Ми виокремили три критерії, що становитимуть перший рівень ієрархії, за якою буде проведено комплексне екологічне оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС, а саме «автотранспорт – дорога – придорожнє середовище (техногенне)».

Для оцінювання впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля, її екологічної безпеки необхідно використовувати низку екологічно вагомих показників і параметрів, що надають характеристики та властивості дороги як джерела впливу на довкілля та складників навколишнього середовища, на які вона чинить вплив. Наступним етапом побудови ієрархічної структури є виокремлення та включення до неї рівня факторів, параметрів та умов формування й поширення впливу в розрізі цих трьох критеріїв.

Для цього було проаналізовано попередні праці та нормативні документи, серед яких, зокрема:

- М 218-02071168-626:2007 Методика оцінки екологічного впливу автомобільної дороги загального користування на навколишнє середовище (найбільш повно описує екологічно значущі параметри);
- ПОР-218-141-2000 Порядок обліку руху транспортних засобів (нормує параметри, описані в М 218-02071168-626:2007);
- ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги (нормує параметри, описані в М 218-02071168-626:2007);
- ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування з доповненнями та уточненнями (нормує параметри, описані в М 218-02071168-626:2007).

Отже, ми виокремили необхідні та достатні параметри для оцінювання впливу автомобільної дороги на НПС:

- викиди двигунів, картерні гази, теплові викиди;
- шум і вібрація;
- наслідки ДТП, поломок, аварій;

- світло фар;
- хімічні випари з автотранспорту;
- хімічні випари з дороги;
- експлуатаційний пил з автотранспорту та ТПВ;
- експлуатаційний пил з дороги з домішками обслуговування (руйнація покриття, ремонтні матеріали);
- протижелезні та протипилові засоби;
- експлуатаційний стан автотранспорту (справність авто);
- температура повітря;
- вологість повітря;
- вітер і повітряні потоки;
- опади;
- рельєф;
- експлуатаційний стан дороги;
- кваліфікація водія;
- технічні характеристики дороги, зокрема ефективність дорожньої служби;
- бар'єри біонасадження, біоплато, біовловачі;
- біоміграція забруднень в придорожньому просторі та екологічний контроль.

Тож вплив експлуатації автомобільної дороги є складним і багатофакторним.

Для оцінювання цього впливу необхідно зважати на умови його поширення.

Наступним етапом побудови складної ієрархічної структури є виокремлення складників НПС, що зазнають впливу від системи «АДС».

Складники системи «АДС» (див. рис. 2) – «автомобіль», «дорога», «ПТС» – спричиняють на НПС різноплановий, багатофакторний, комплексний вплив на довкілля. Тому четвертий рівень комплексної структури містить: «Стан повітря», «Стан водних масивів», як частини гідросфери, «Стан ґрунту», «Стан біоти», «Стан здоров'я людини».

П'ятий рівень ієрархічної структури має передбачати комплексні заходи зменшення впливів у системі «АДС». Для оптимального вибору регулюючих важелів проаналізовано низку наукових праць, зокрема [13–15], та систематизовано їх у сім комплексних блоків щодо дієвості [3]:

- 3.1 – «Еколого-економічні важелі»;
- 3.2 – «Екологічний контроль та моніторинг у системі "АДС"»;
- 3.3 – «Технічний контроль та моніторинг у системі "АДС"»;
- 3.4 – «Екологізація дорожнього полотна»;
- 3.5 – «Екологізація транспортних засобів»;

- 3.6 – «Збереження цілісності дорожніх конструкцій»;

- 3.7 – «Технологічне забезпечення нормативної якості поверхневих стічних вод».

Отже, зважаючи одночасно на фактори й об'єкти впливу, умови його формування та поширення, автор розробив складну ієрархічну структуру оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС та відповідно до неї провів комплексне еколого-аналітичне оцінювання для ділянки дороги М-29 Харків – Дніпро (рис. 3) [3]. Оцінювання впливу досліджуваної ділянки автомобільної дороги проводилось експертно-аналітичним методом.

Сутність методу експертного оцінювання полягає в проведенні експертами аналізу досліджуваної проблеми з кількісним оцінюванням їх суджень та подальшим їх обробленням. Вирішенням проблеми вважається узагальнена думка експертної групи.

Для оцінювання було використано комп'ютерну програму «МАІ», що реалізує відомий метод аналізу ієрархій Томаса Сааті, з доопрацюваннями УКРНДІЕП.

За результатами експертно-аналітичного дослідження визначено як пріоритети кожного із складників ієрархічної структури, так і їх узагальнений вплив на всю ієрархію.

Так, на першому рівні внески за кожним критерієм розподілилися таким чином: 1) вплив за критерієм «Автотранспорт» становить 63,7 %; 2) вплив за критерієм «Дороги» – 25,8 %; 3) вплив за критерієм «Середовище» – 10,5 %.

За другим рівнем встановлено, що найбільший вплив серед факторів, що оцінюються, мають «Гази» й «Фізичний вплив» із значеннями 32,6 % і 27,9 % відповідно.

На четвертому рівні за результатами експертно-аналітичного дослідження виявлено, що загальний вплив на живі організми становить 45,1 %, з них: на «Біоту» – 26,5 %, на «Людину» – 18,6 %.

На п'ятому рівні ієрархічної структури було визначено найбільш дієві комплексні заходи зменшення впливу системи «АДС» на складники довкілля. Отримані значення узагальнених вагових коефіцієнтів та пріоритетів враховують значення впливів усіх елементів вищих рівнів, а саме: «Екологізація дорожнього полотна» – 29,3 %, «Еколого-економічні важелі» – 16,8 %, «Екологізація транспортних засобів» – 15,0 %, «Збереження цілісності дорожніх конструкцій» – 12,9 %, «Технологічне забезпечення нормативної якості поверхневих стічних вод» –

9,4 %, «Технічний контроль та моніторинг системи "АДС"» – 9,0 %, «Екологічний контроль і моніторинг системи "АДС"» – 8,1 %.

Перевірку адекватності розробленої ієрархічної структури еколого-аналітичного оцінювання впливу системи «АДС» на складники довкілля здійснювали способом експериментальних досліджень на обраній ділянці (обґрунтування вибору якої подано в роботі [16]) дороги М-29 Харків – Дніпро (20–22 км від перетину з М-03) шляхом використання станції прямих натурних вимірів, а

також з відбором проб ґрунту й рослинності для лабораторного хіміко-аналітичного аналізу накопичення важких металів та опрацювання результатів.

Відповідно до Директиви 2008/50/ЕС (у редакції Директиви 2015/1480 Європейської комісії від 28.08.2015) про якість атмосферного повітря для кожної країни необхідним є встановлення на всій території зон і агломерацій та подальше управління в цих зонах оцінюванням якості повітря.

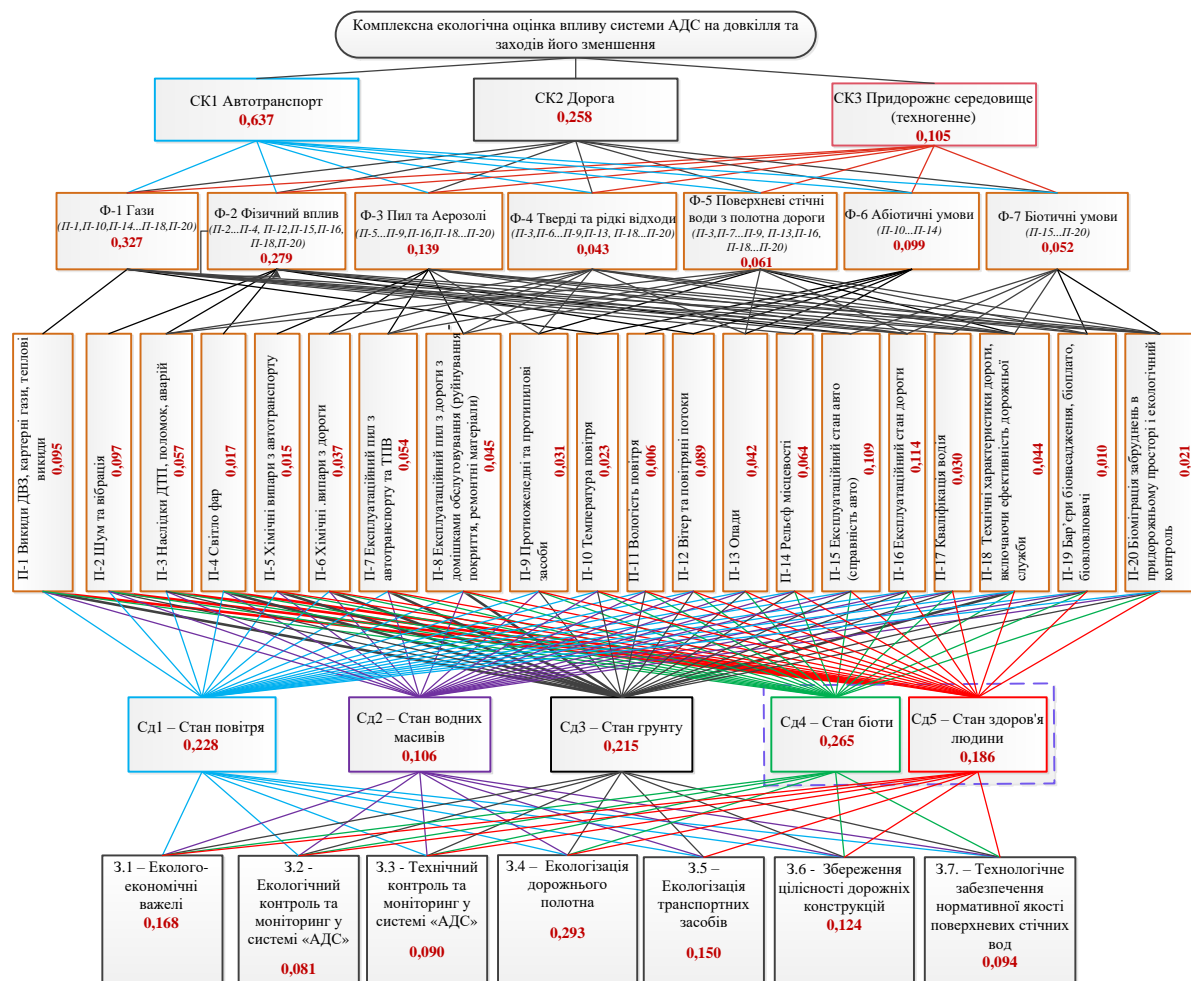


Рис. 3. Результати комплексного еколого-аналітичного оцінювання впливу системи «АДС» на складники НПС (розроблено автором та опубліковано в роботі [3])

Директива зобов'язує держави-члени вчасно та адекватно інформувати громадськість щодо стану якості повітря. Для цього, а також для прогнозування забруднення повітря в усіх світових екологічних державних органах використовується значення *AQI* (*air quality index*). Саме принцип *AQI* закладено в основу роботи комплексної станції прямих вимірів, яка використовувалась у дослідженні.

За допомогою цієї станції на відстані 0–50 м та 50–100 м від полотна дороги, в точках, де було зафіксовано зміни стану атмосферного повітря (динаміку наявного складу речовин-забруднювачів – РЗ), відбиралися проби рослинності та ґрунту. Контрольні зразки було відібрано на відстані 450 м, оскільки ця ділянка мінімально зазнає впливу АДС унаслідок свого географічного розта-

шування, урахування метеорологічних умов та наявності лісу.

Загальновідомо, що рослини мають здатність до накопичення речовин-забруднювачів (РЗ), тому застосовуються як індикатори забруднення довкілля важкими металами (ВМ) у зоні впливу автомобільних доріг.

Типовими «мешканцями» серед рослинності, яка поширена на узбіччях доріг, є лікарські трави – найбільш доступні для масового збору. Тому для дослідження відбиралися зразки типової для прилеглої до дороги місцевості рослинності. Тож, як лікарська рослинна сировина можуть застосовуватися: *salix alba* (верба біла), *betula pendula* (береза бородавчата), *alnus glutinosa* (вільха клейка), *pinus sylvestris* (сосна звичайна), *populus tremula*

(осика звичайна), *achillea setacea* (деревій щетинистий), *eupatoria* (парило звичайне).

Відбір та аналіз проб на вміст ВМ здійснювалися з трикратною повторюваністю протягом вегетаційного періоду рослинності. На тих самих ділянках було відібрано проби ґрунту методом «конверту» з шарів 0–5 см та 5–10 см. Оцінювання наявності ВМ у відібраних зразках проводилося в лабораторії «Еколого-аналітичних досліджень» УКРНДІЕП на атестованому оптико-емісійному спектрометрі високої роздільної здатності з індуктивно-зв'язаною плазмою *PlasmaQuant PQ 9000 Elite*.

За результатами лабораторних досліджень у експериментальних зразках рослинності виявлено накопичення важких металів понад ГДК, побудовано рангові ряди їх накопичення (табл. 1) та рангові ряди рослинності за накопиченням у них різних ВМ (табл. 2).

Таблиця 1 – Рангові ряди накопичення важких металів у зразках рослинності

Зразок рослинності	Ранговий ряд
<i>salix alba</i> (верба біла)	Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Pb
<i>betula pendula</i> (береза бородавчата)	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb > Co
<i>alnus glutinosa</i> (вільха клейка)	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co
<i>pinus sylvestris</i> (сосна звичайна)	Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb > Co
<i>populus tremula</i> (осика звичайна)	Zn > Mn > Fe > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Pb
<i>achillea setacea</i> (деревій щетинистий)	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co
<i>eupatoria</i> (парило звичайне)	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co

Здобуті результати дали змогу виявити наявність певних видових особливостей у рослинності в разі накопичення в них важких металів. Так, *Cu* більше накопичилось у деревій щетинистому та вербі білій, *Co*, *Cd*, *Ni*, *Zn* – осики звичайній та вербі білій, *Pb* – осики звичайній та парилі звичайному, *Cr* – у березі бородавчастій та осики звичайній, *Mn* – у сосні звичайній та вільсі клейкій, *Fe* – у парилі звичайному та вільсі клейкій (табл. 2).

Перевищення ГДК ВМ встановлено також і в зразках ґрунту. Ряд накопичення ВМ для ґрунту виглядає таким чином: *Fe* > *Mn* > *Cr* > *Zn* > *Cu* > *Ni* > > *Co* > *Pb* > *Cd*.

Вміст *Fe* в ґрунтах не нормується, однак у дослідних зразках, відібраних на відстані 0–50 м від полотна дороги, визначено вміст заліза до 9 860 мг/кг; у відібраних контрольних зразках він становить 2 828,00 мг/кг, тобто майже в 3,5 рази менше.

З табл. 2 видно, що в зразках придорожньої рослинності переважає накопичення *Mn*, *Fe* та *Zn*, а найменшу інтенсивність накопичення має *Co*. У ґрунті придорожного простору серед важких металів найбільшу інтенсивність накопичення має *Fe*, а найменшу *Cd*.

Таблиця 2 – Рангові ряди рослинності за рівнем накопичення в них ВМ

Елемент	Ранговий ряд
Cu	<i>achillea setacea</i> > <i>salix alba</i> > <i>pinus sylvestris</i> > <i>betula pendula</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>populus tremula</i> > <i>eupatoria</i> .
Co	<i>populus tremula</i> > <i>salix alba</i> > <i>betula pendula</i> ≥ <i>eupatoria</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>pinus sylvestris</i> > <i>achillea setacea</i> .
Cd	<i>salix alba</i> > <i>populus tremula</i> > <i>betula pendula</i> > <i>eupatoria</i> > <i>achillea setacea</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>pinus sylvestris</i> .
Ni	<i>salix alba</i> > <i>populus tremula</i> > <i>betula pendula</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>achillea setacea</i> > <i>eupatoria</i> > <i>pinus sylvestris</i> .
Pb	<i>populus tremula</i> ≥ <i>eupatoria</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>achillea setacea</i> > <i>betula pendula</i> > <i>salix alba</i> > <i>pinus sylvestris</i> .
Cr	<i>betula pendula</i> > <i>populus tremula</i> > <i>pinus sylvestris</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>achillea setacea</i> > <i>eupatoria</i> > <i>salix alba</i>
Mn	<i>alnus glutinosa</i> > <i>pinus sylvestris</i> > <i>populus tremula</i> > <i>achillea setacea</i> > <i>betula pendula</i> > <i>salix alba</i> > <i>eupatoria</i> .
Fe	<i>eupatoria</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>achillea setacea</i> > <i>salix alba</i> > <i>betula pendula</i> > <i>pinus sylvestris</i> > <i>populus tremula</i> .
Zn	<i>populus tremula</i> > <i>salix alba</i> > <i>betula pendula</i> > <i>pinus sylvestris</i> > <i>alnus glutinosa</i> > <i>eupatoria</i> > <i>achillea setacea</i> .

Результати лабораторних досліджень вказують на те, що вміст ВМ у рослинності та ґрунтах придорожного простору мають тенденцію до зниження, залежно від збільшення відстані від полотна дороги до точки відбору проб у весняно-літній період. Проте восени спостерігається протилежна тенденція: накопичення ВМ збільшується, що може свідчити про їх акумуляцію в рослинах упродовж усього вегетаційного періоду, а зрідження крон дерев і чагарників посилює перенесення речовин-забруднювачів на більші відстані від дороги.

Висновки

Системний підхід, реалізований у процесі комплексного еколого-аналітичного оцінювання впливу системи «АДС» на складники довкілля, як результат планованої діяльності згідно з процедурою ОВД, може бути використаний на будь-якому етапі проектування, планування, реконструкції, моніторингу автомобільної дороги, що охоплює необхідні та достатні дослідження за рівнями деталізації інформації щодо впливу на довкілля та вибору дієвих заходів щодо його зменшення.

Узагальнені результати аналітичного огляду нормативних документів і наукових публікацій щодо визначення необхідних і достатніх критеріїв та параметрів для оцінювання впливу автомобільної дороги на довкілля в Україні та країнах ЄС аналогічні та мають системний характер. Тобто оцінюються комплексно й багатofакторно із застосуванням декомпозиції впливу для конкретної дороги з огляду на географічні умови її розташування.

Проведена декомпозиція процесу впливу системи «АДС» на довкілля та заходів його зменшення за рівнями, що узгоджуються з принципами структуризації МАІ, дала змогу розробити ієрархічну структуру оцінювання впливу системи «АДС» на навколишнє середовище, яку можливо та доцільно використати в процедурі ОВД. Це допоможе зменшити рівень впливу від експлуатації автомобільних доріг і сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки. Використання ієрархічної структури впливу АДС на складники довкілля для конкретної дороги або її ділянки дасть змогу комплексно оцінити пріоритети заходів зі зниження впливу, що ґрунтуються на результатах оцінювання, і обрати найбільш дієві, що забезпечить ефективне використання бюджетних коштів.

За результатами експертно-аналітичного оцінювання визначено вплив кожного із складників складної ієрархічної структури, а саме:

- вагомість критеріїв у системі «АДС» становлять для «Автотранспорту» – 63,7 %, «Дороги» – 25,8 %; «Середовища» – 10,5 %.

- найбільшу значущість серед оцінюваних факторів мають «Гази» та «Фізичний вплив» зі значеннями 32,6 % та 27,9 %;

- загальний вплив на живі організми становить 45,1%, з них на «Біоту» – 26,5 %, на «Людину» – 18,6 %;

- найбільш дієві комплексні заходи зменшення впливу системи «АДС» на складники довкілля: «Екологізація дорожнього полотна» – 29,3 %, «Еколого-економічні важелі» – 16,8 %, «Екологізація транспортних засобів» – 15,0 %.

За результатами експертно-аналітичного оцінювання перевірено адекватність розробленої ієрархічної структури еколого-аналітичного оцінювання впливу системи «АДС» на складники довкілля з допомогою експериментальних досліджень на обраній ділянці дороги М-29 Харків – Дніпро (20–22 км від перетину з М-03). Підтверджено накопичення важких металів у придорожному просторі, зокрема виявлено забруднення рослинності придорожного простору з перевищенням ГДК: *salix alba* (верба біла) – *Cu, Mn, Co, Cd, Cr*; *populus tremula* (осика звичайна) – *Mn, Co, Zn, Cr*; *achillea setacea* (деревій щетинистий) – *Cu, Mn, Cr*; *eupatoria* (парило звичайне), *pinus sylvestris* (сосна звичайна), *betula pendula* (береза бородавчаста), *alnus glutinosa* (вільха клейка) – *Mn, Cr*. Також виявлено перевищення норм ГДК важких металів у зразках ґрунту *Cu, Mn, Cd, Cr, Ni* та *Pb*.

За результатами лабораторних експериментів побудовано рангові ряди накопичення важких металів у зразках рослинності та ґрунтів придорожного простору досліджуваної ділянки дороги та рангові ряди рослинності за властивістю до накопичення в них різних ВМ.

Отже, запропоноване комплексне еколого-аналітичне оцінювання впливу системи «АДС» на складники довкілля може бути використане як методичний підхід дослідження автомобільної дороги або її ділянки для запровадження в матеріалах звіту з ОВД.

Перспективним є подальше опрацювання результатів дослідження в частині уточнення

рівня впливу та дієвості заходів на конкретному об'єкті дослідження.

Література

- Transitions at the Heart of the Climate Challenge. 2021 URL: <http://surl.li/mbind> (дата звернення: 21.10.2023).
- Внукова Н.В. Науково-методологічні основи екологічної безпеки комплексу автомобіль–дорога–середовище: дис. ... доктора техн. наук / НДУ «Український НДІ екологічних проблем» Міністерства екології та природних ресурсів України; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна МОН України. Харків, 2015. 450 с.
- Adamova G.V., Pisnya L.A. Environmental safety of operation of motor roads of Ukraine. Assessment methods and tools and cyber security. Challenges and threats to critical infrastructure. Collective monograph – NGO Institute for Cyberspace Research (Detroit, Michigan, USA), 2023. P. 284–302. URL: <http://surl.li/mhuka>. ISBN-10/979-8-218-22315-1 (дата звернення: 21.10.2023).
- Baugesetzbuch. In der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (zuletzt geändert durch Gesetz vom 28.07.2023 m.W.v. 01.10.2023). URL: <https://dejure.org/gesetze/BauGB> (дата звернення: 21.10.2023).
- Code de la route. Version en vigueur au 30 mars 2023. URL: <http://surl.li/mhuwc> (дата звернення: 21.10.2023).
- Highway Design Manual (HDM). URL: <http://surl.li/mltxx> (дата звернення: 21.10.2023).
- Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni". URL: <http://surl.li/mhvgr> (дата звернення: 21.10.2023).
- Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras. URL: <http://surl.li/mhvhh> (дата звернення: 21.10.2023).
- Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 р. N 2059-VIII, чинна редакція від 09.08.2023 N 3302-IX.
- Зюсюн В.І., Морозова Т.В., Морозов А.В. Оцінювання впливу на довкілля при будівництві та реконструкції автомобільних доріг. *Дороги і мости*. Київ, 2022. Вип. 26. С. 285–299. URL: <http://surl.li/mckst> (дата звернення: 21.10.2023).
- Барна І. Концепт оцінки впливу на довкілля через призму системного аналізу. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія «Географія»*. 2021. Т. 51. № 2. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.2> (дата звернення: 21.10.2023).
- Vnukova N.V., Zhelnovach G.M., Kozlovskiy O.V. "Green" principles of sustainable development of road and transport infrastructure of the cities of Ukraine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. DOI: 10.1088/1757-899X/907/1/012068 (дата звернення: 21.10.2023).
- Денисюк Н.В. Середовищевірна ефективність зелених насаджень загального користування міста Рівне: дис. на здобуття наук. ступ. к.б.н.: спец. 03.00.16 «Екологія» / Рівненський державний гуманітарний університет, Інститут екології Карпат НАН України. Львів, 2021. 313 с.
URL: <https://www.ecoinst.org.ua/pdf/DenysyukN-Dysertatsiia.pdf> (дата звернення: 21.10.2023).
- Морозов А.В., Морозова Т.В., Рутковська І.А. Принцип забезпечення екологічного континуїтету в зонах впливу автомобільних доріг загального користування. *Дороги і мости: збірник наукових праць*. 2021. № 23. С. 237–250. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.237> (дата звернення: 21.10.2023).
- Шелудченко Л.С., Шмандій В.М., Ригас Т.Є. Екологічна небезпека експлуатаційного руйнування автомобільних доріг: монографія. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 93 с.
- Адамова Г.В. Комплексна еколого-аналітична оцінка системи «Автомобіль-Дорога-Середовище» на прикладі ділянки дороги М-29. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2021. № 25. С. 55–69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05> (дата звернення: 21.10.2023).

References

- Transitions at the Heart of the Climate Challenge. (2021). Retrieved from: <http://surl.li/mbind> (accessed: 21.10.2023) [in English].
- Vnukova, N.V. (2015). Naukovo-metodolohichni osnovy ekolohichnoi bezpeky kompleksu avtomobil–doroha–seredovyshche: dys. ... doktora tekhn. nauk / NDU "Ukrainskyi NDI ekolohichnykh problem" Ministerstva eko-lohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy; Kharkivskiy natsionalnyi universytet im. V.N. Karazina MON Ukrainy. Kharkiv. 450 [in Ukrainian].
- Adamova, G.V., Pisnya, L.A. (2023) Environmental safety of operation of motor roads of Ukraine. Assessment methods and tools and cyber security. Challenges and threats to critical infrastructure. Collective monograph – NGO Institute for Cyberspace Research (Detroit, Michigan, USA), 284–302. Retrieved from: <http://surl.li/mhuka>. ISBN-10/979-8-218-22315-1 (accessed: 21.10.2023) [in Ukrainian].
- Baugesetzbuch. In der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (zuletzt geändert durch Gesetz vom 28.07.2023 m.W.v. 01.10.2023). Retrieved from: <https://dejure.org/gesetze/BauGB> (accessed: 21.10.2023) [in German].
- Code de la route. Version en vigueur au 30 mars 2023. Retrieved from: <http://surl.li/mhuwc> (accessed: 21.10.2023) [in French].

6. Highway Design Manual (HDM). Retrieved from: <http://surl.li/mltxx> (accessed: 21.10.2023) [in English].
7. Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni". Retrieved from: <http://surl.li/mhvgp> (accessed: 21.10.2023) [in Italian].
8. Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras. Retrieved from: <http://surl.li/mhvhv> (accessed: 21.10.2023) [in Spanish].
9. Zakon Ukrainy "Pro otsinku vplyvu na dovkillia" vid 23.05.2017 r. N 2059-VIII, chynna redaktsiia vid 09.08.2023 N 3302-IX [Law of Ukraine "On Environmental Impact Assessment" of August 09, 2023 No 3302]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/2059-19?lang=en#Text> [in Ukrainian].
10. Ziuziun, V.I., Morozova, T.V., Morozov, A.V. (2022). Otsiniuvannia vplyvu na dovkillia pry budivnytstvi ta rekonstruktsii avtomobilnykh dorih. *Dorohy i mosty*. Kyiv, vyp. 26, 285–299. Retrieved from: <http://surl.li/mckst> (accessed: 21.10.2023) [in Ukrainian].
11. Barna I. (2021). Kontsept otsinky vplyvu na dovkillia cherez pryzmu sy-stemnoho analizu. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii "Heohrafiia"*. [The concept of environmental impact assessment from the perspective of systematic analysis] T. 51, 2, 15–23. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.2> (accessed: 21.10.2023) [in Ukrainian].
12. Vnukova, N.V., Zhelnovach, G.M., Kozlovskiy, O.V. "Green" principles of sustainable development of road and transport infrastructure of the cities of Ukraine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. DOI: 10.1088/1757-899X/907/1/012068 (accessed: 21.10.2023) [in English].
13. Denysiuk, N.V. (2021). Seredovyshchetvirna efektyvnist zelenykh nasadzen zahalnoho korystuvannia mista Rivne: dys. na zdobuttia nauk. stup. k.b.n.: spets. 03.00.16 "Ekolohiia" [Environment-forming efficiency of greenery of common use in Rivne. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts]. Rivnenskyi derzhavnyi humanitarnyi universytet, Instytut ekolohii Karpat NAN Ukrainy. Lviv, 313. Retrieved from: <https://www.ecoinst.org.ua/pdf/DenysykN-Dysertatsiia.pdf> (accessed: 21.10.2023) [in Ukrainian].
14. Morozov, A.V., Morozova, T.V., Rutkovska, I.A. (2021). Pryntsyp zabezpe-chennia ekolohichnoho kontynuitetu u zonakh vplyvu avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia [The principle of ensuring ecological continuity in the areas of influence of roads]. *Dorohy i mosty. Zbirnyk naukovykh prats*, 23. 237–250. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.237> (accessed: 21.10.2023) [in Ukrainian].
15. Sheludchenko, L.S., Shmandii, V.M., Ryhas, T.Ie. (2017). Ekolohichna nebezpeka ekspluatatsiinoho ruinuвання avtomobi-lnykh dorih. Monohrafiia – LAP LAMBERT Academic Publishing, 93. ISBN: 978-620-2-07234-2. [in Ukrainian].
16. Adamova, H.V. (2021). Kompleksna ekoloho-analitychna otsinka systemy "Avtomobil-Doroha-Seredovyshche" na prykladi dilianky dorohy M-29. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina. Serii "Ekolohiia"*, 25, 55–69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05> (accessed: 21.10.2023) [in Ukrainian].

Адамова Ганна Вячеславівна – науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, abolmasova@niiep.kharkov.ua, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків.

The place of comprehensive environmental and analytical assessment of the impact of the "CRE" system on environmental components in the EIA procedure

Abstract. Problem. *The operation of highways has a wide and multi-component impact on all components of the environment. Environmental Impact Assessment of roads is crucial for assessing the potential environmental consequences of road construction and operation. It is advisable to conduct this assessment based on a systemic analysis using a hierarchical structure for a comprehensive evaluation of the impact of the "CRE" system on the environment.* **Goal.** *The goal is to present the results of a comprehensive ecological-analytical assessment of the impact of roads on environment, which can be effectively used in the EIA procedure.* **Methodology.** *The 'CRE' system was analyzed using system analysis. Prioritization and weight coefficients for each element of the hierarchy were determined using expert-analytical assessments with the use of the MAI software complex. For a rapid assessment of the impact of road operation on the state of environment and the accumulation of heavy metals (HM) in vegetation and roadside soils, natural measurements and atomic absorption spectrometry methods were employed.* **Results.** *The expert-analytical research results revealed the contributions of each component within the complex hierarchical structure. Accumulation of HM in the roadside areas, including pollution of vegetation and soil, exceeding the permissible levels, was confirmed. Rank series were constructed: accumulation of HM in vegetation and soil samples, vegetation according to the property of accumulation of different HM in them.* **Originality.** *The study proposed a comprehensive assessment of the impact of road operation on the components of environment through an ecological-analytical evaluation of the developed hierarchical 'CRE' structure, resulting in the determination of weight coefficients and priorities of each element in the hierarchy's contribution to the environmental impact through expert-analytical*

assessment using the T. Saaty AHP method. **Practical value.** Using the proposed systematic approach in the EIA procedure for roads at every stage of their life cycle can improve control quality and the effectiveness of environmental protection measures, reducing environmental impact.

Keywords: "Car-Road-Environment" system, environmental impact assessment, system analysis,

expert-analytical assessment, hierarchy analysis method.

Adamova Hanna Vyacheslavivna – researcher, Laboratory of ecological and analytical research, abolmasova@niiep.kharkov.ua, Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems", Bakulina ave, 6, Kharkiv, Ukraine, 61166.
