

## МОЖЛИВОСТІ ЕКОЛОГО-ЕКСПЕРТНО-АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМИ «АДС»

Адамова Г.В.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»  
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків  
[abolmasova@niiep.kharkov.ua](mailto:abolmasova@niiep.kharkov.ua)

Автомобільний транспорт і, відповідно, дороги є однією зі сфер, яка має значний комплексний вплив на всі складові навколишнього середовища. Для забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг пропонується розглядати даний вплив за допомогою єдиного системного ієрархічного підходу, що надасть змогу більш повно та комплексно врахувати всі чинники впливу від системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) враховуючи їх просторовий (територіальний) розподіл. Оцінка впливу за допомогою експертно-аналітичних процедур забезпечить вибір більш дієвих (ефективних) заходів для зменшення негативного впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля та здоров'я населення. Для цього було проведено декомпозицію процесу впливу системи «АДС» на складові навколишнього природного середовища (НПС), що дозволило розглянути це питання у вигляді складових елементів, з'єднаних у вигляді ієрархічної структури.

Вперше отримано вагові коефіцієнти та пріоритети вкладу кожного з елементів розробленої ієрархії системи «АДС» у вплив на довкілля шляхом експертно-аналітичної оцінки за методом аналізу ієрархій Т. Сааті з використанням програми «PASSEA-ANP1.4», розробленої в УКРНДІЕП. Загальна узгодженість думок експертів для всієї схеми складає 0,05379, що задовольняє вимогам МАІ. На основі цієї оцінки визначено найбільш вразливі складові НПС, дієвість та пріоритетність комплексних заходів щодо зменшення впливу системи «АДС» (ділянка дороги М-29) на довкілля.

Проведення оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля за допомогою еколого-експертно-аналітичних досліджень (ЕЕАД) з використанням розробленої ієрархічної структури дають можливість розробити конкретні рекомендації щодо вдосконалення будівництва та експлуатації доріг з мінімізацією їхнього негативного впливу. Такий підхід важливий не лише для забезпечення екологічної стійкості та безпеки дорожнього руху, але й для збереження природних ресурсів та підвищення якості життя людей. *Ключові слова:* експертно-аналітичні дослідження, ієрархічна структура, дієві заходи захисту, декомпозиція, система «АДС».

### Determining the effectiveness of measures to mitigate impact in the “CRE” system through expert-analytical studies. Adamova H.

Road transport and, consequently, roads are one of the spheres that have a significant complex impact on all components of the environment. To ensure the ecological safety of roads, it is proposed to consider this impact using a unified systematic hierarchical approach, which will allow for a more comprehensive consideration of all factors influencing the “car-road-environment” (CRE) system, taking into account their spatial distribution. Impact assessment through expert-analytical procedures will enable the selection of more effective measures to reduce the negative impact of road traffic on the environment and public health. For this purpose, the process of the “CRE” system’s impact on the components of the environment was decomposed, allowing this issue to be considered as constituent elements connected in the form of a hierarchical structure.

For the first time, weight coefficients and priorities of the contribution of each element of the developed “CRE” system hierarchy to environmental impact were obtained through expert-analytical assessment using the Analytic Hierarchy Process method by T. Saaty, using the “PASSEA-ANP1.4” program developed at the Ukrainian Scientific Research Institute for Environmental Problems. The overall consensus of experts for the entire scheme is 0.05379, satisfying the requirements of the AHP. Based on this assessment, the most vulnerable components of the natural environment were identified, as well as the effectiveness and priority of comprehensive measures to reduce the impact of the «CRE» system (section of the M-29 road) on the environment.

Conducting an assessment of the impact of road operation on the environment using expert-analytical studies using the developed hierarchical structure allows for the development of specific recommendations for improving road construction and operation while minimizing their negative impact. This approach is important not only for ensuring ecological sustainability and road safety but also for preserving natural resources and improving the quality of life for people. *Key words:* expert-analytical studies, hierarchical structure, effective protective measures, decomposition, “CRE” system.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі питання екології та екологічної безпеки стають все актуальнішими. Автомобільний транспорт і, відповідно, дороги є однією зі сфер, яка має значний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. Експлуатація доріг здійснює комплексний вплив на стан повітря, поверхневих вод, ґрунту, біоти, умов проживання людей, тому для забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг необхідний системний підхід.

**Актуальність дослідження.** В умовах нинішнього військового стану всі дороги, мости, інфраструктурні об'єкти – це об'єкти спеціального призначення, які зараз вже видозмінені до умов війни і, відповідно, кількість навантаження на НПС змінилась. Наразі це відслідкувати неможливо, тому питання екологічного значення щодо контролю відбудови, перебудови та експлуатації цих інфраструктурних об'єктів буде надалі тільки зростати. Оскільки експлуатація автомобільних доріг здійс-

нює широкий та багатокомпонентний вплив на НПС доцільно розглядати його за допомогою єдиного системного ієрархічного підходу, що надасть змогу більш повно та комплексно врахувати всі чинники впливу від системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) враховуючи їх просторовий (територіальний) розподіл. Такий підхід до оцінки впливу забезпечить вибір більш дієвих заходів (рекомендацій) щодо повного уникнення чи зменшення впливу при будові, реконструкції автомобільної дороги або ж його мінімізації на дорозі, що вже експлуатується.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** На сьогодні безперервно відбувається робота над відбудовою критично важливих зруйнованих інфраструктурних об'єктів. Це є необхідним кроком, щоб країна в умовах війни продовжувала працювати, отримувати необхідні вантажі, логістику, медичну допомогу і т.д. Безперечно, після її завершення, почнеться і масштабне будівництво нових автомобільних доріг та мостів, а також реконструкція та ремонт існуючих. Поряд з цим необхідно пам'ятати про негативний вплив цих споруд на НПС, яке на цей час і так зазнає великого навантаження. Запропонований новий системний підхід до комплексної оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на НПС може бути використаний як рекомендації для більш якісної оцінки внеску кожного виду впливів факторів забруднювачів так і відповідно для зменшення цього впливу шляхом визначення дієвих заходів, а також більш ефективного застосування заходів контролю та моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Використання методів багатокритеріальної екологічної оцінки для вирішення проблемних питань у екологічній сфері стають все популярнішими. Серед цих методів дослідження особливої уваги заслуговують експертно аналітичні методи, що призначені для прогнозування якісних і кількісних характеристик, розвиток яких, через відсутність достатньої і достовірної статистики, повністю або частково не підлягає математичній формалізації [1].

Для вирішення складно-структурованих завдань експертно-аналітичне оцінювання передбачає підбір експертів. Питання формування складу експертно-аналітичної групи для проведення досліджень із зазначенням, зокрема, характеристик, які необхідно врахувати під час вибору фахівців детально розглянуто в [2-4].

Серед методів багатокритеріальної оцінки, для отримання більш обґрунтованих результатів порівняння, з ранжуванням альтернатив за перевагою, та кількісними оцінками цих переваг, доцільніше використовувати метод аналізу ієрархій (МАІ Томаса Сааті). Крім того, зазначений груповий підхід, заснований на аналітичному ієрархічному процесі, вирішує проблему узгодженості думок експертів [1]. Використання процедури МАІ для еко-

логічної оцінки об'єктів та, зокрема, обґрунтованого вибору найкращих технологічних заходів захисту довкілля детально описані в [5-6]. Також застосування експертно-аналітичного оцінювання за МАІ дуже широко використовується, зокрема в Україні, для забезпечення екологічної безпеки держави, що висвітлено в наукових працях [7-9].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна.** У Законі України «Про оцінку впливу на довкілля» в якому, зокрема, розглядається необхідність проведення процедури ОВД під час будівництва та реконструкції автомобільних доріг, не надано чітких рекомендацій щодо методик її проведення, тому це питання залишається відкритим. Також за рахунок комплексності, системності та узгодженості нового запропонованого підходу до завдань вивчення та контролю зменшення впливу системи «АДС» на НПС їх можна буде вирішувати більш ефективно як в нашій країні так і за її межами.

Вперше отримано вагові коефіцієнти та пріоритети вкладу кожного з елементів розробленої ієрархії системи «АДС» у вплив на довкілля шляхом експертно-аналітичної оцінки за методом аналізу ієрархій Т. Сааті. На основі цієї оцінки визначено дієвість та пріоритетність існуючих та перспективних заходів щодо зменшення впливу системи «АДС» на довкілля.

**Мета дослідження:** застосування експертно-аналітичного підходу для дослідження впливу системи «АДС» на довкілля та визначення за його допомогою ефективних (дієвих) заходів зменшення впливу.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Проведення оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля за допомогою ЕЕАД з використанням розробленої ієрархічної структури дозволить виокремити складові НПС, які зазнають найбільшого впливу та визначити і в подальшому розробити найбільш дієві заходи зменшення такого впливу, необхідні саме для конкретної дороги або її ділянки, що забезпечить більш ефективне використання бюджетних коштів, які будуть виділятися у післявоєнний час на відбудову дорожньої інфраструктури нашої країни. Окрім цього, запропонований комплексний системний підхід доцільно використати в навчальному процесі підготовки фахівців екологів автомобільної галузі.

**Викладення основного матеріалу.** Використання комплексного експертно-аналітичного підходу із застосуванням МАІ є оптимальним при вирішенні поставлених науково-практичних завдань із забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг. Окрім цього суттєвою перевагою використання МАІ під час проведення дослідження є наявність в методі способу перевірки узгодженості оцінок експертів.

У загальному формалізованому виді експертно-аналітичні процедури, що включають МАІ, складаються з наступних послідовних кроків [6]:

– Крок 1 – декомпозиція проблеми, що розглядається, у вигляді ієрархії;

– Крок 2 – побудова матриць домінування (суджень) шляхом попарного порівняння елементів ієрархії та присвоєння бальних оцінок;

– Крок 3 – синтез системи та визначення пріоритетів (чим більше отриманий пріоритет, тим краща альтернатива за обраними критеріями).

Так, було проведено декомпозицію процесу впливу системи «АДС» на складові НПС (рис. 1), що дозволило розглянути це питання у вигляді складових елементів, з'єднаних у вигляді ієрархічної структури. Такий підхід спрощує процес аналізу, а також дає можливість попарного порівняння елементів між собою та числового представлення величини впливу кожного елементу ієрархічної структури на досягнення поставленої мети, заданої на нульовому рівні [10].

Далі на основі декомпозиції було розроблено ієрархічну структуру оцінювання комплексного впливу експлуатації автомобільної дороги на складові довкілля (рис. 2) [10-11], яка, зокрема, дозволить визначити дієвість заходів зменшення цього впливу.

Варто зазначити, що ієрархія побудована таким чином, щоб для нижнього рівня елементів отримати пріоритети (вагові коефіцієнти), які найкращим можливим способом відповідають меті, яка встановлена на нульовому рівні ієрархії, з урахуванням усіх проміжних елементів і у відповідності із зв'язками за рівнями системи.

Для проведення еколого-експертно-аналітичного дослідження впливу системи «АДС» (у нашому випадку ділянка дороги М-29, характеристика якої детально розглянута в [10-11]) на складові НПС та визначення дієвості заходів щодо зменшення цього впливу, використовувався метод попарних порівнянь, що є найбільш простим та доступним у застосуванні.

Важливим є те, що попарне порівняння можна проводити при великій кількості елементів, а також в тих випадках, коли відмінність між ними настільки незначна, що виключає можливість їх ранжування [1].

Результати оцінки впливу системи «АДС» на складові НПС та визначення дієвості заходів щодо зменшення цього впливу на навколишнє природне середовище суттєво залежать від постановки питань.

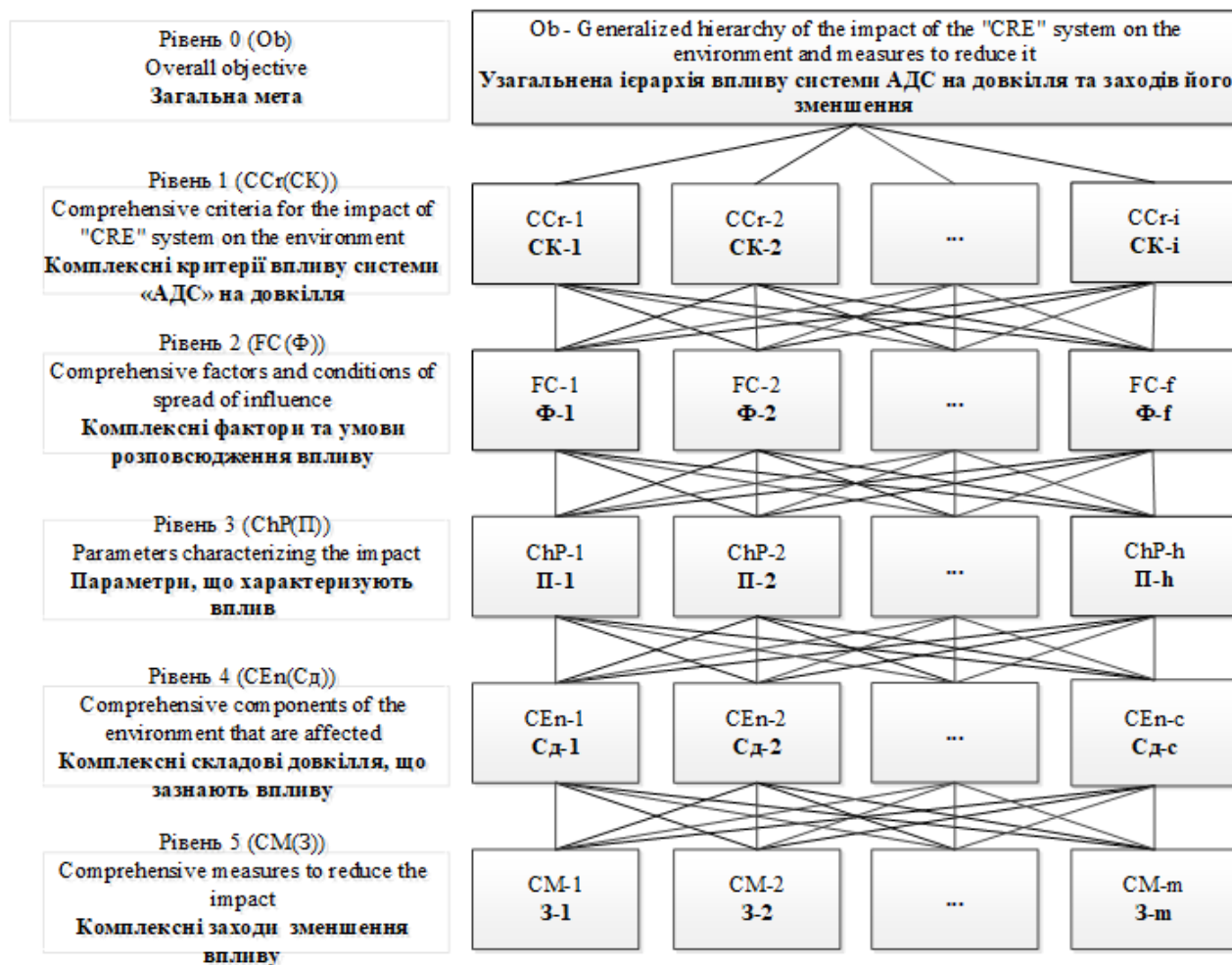


Рис. 1. Декомпозиція впливу системи «АДС» на довкілля та заходів його зменшення [10]

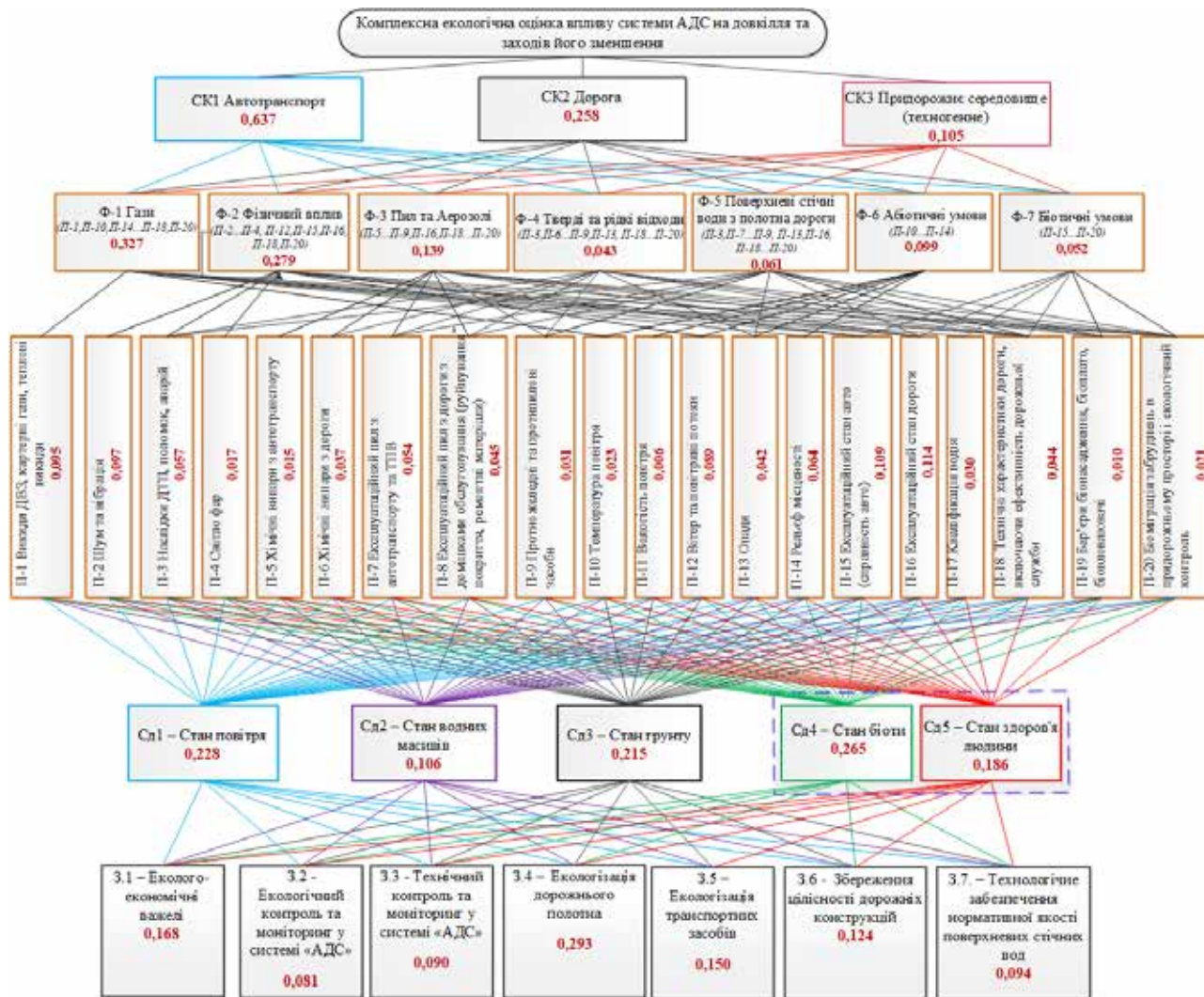


Рис. 2. Ієрархічна структура комплексної оцінки впливу системи «АДС» на складові НПС та заходів щодо зменшення цього впливу (з результатами еколого-експертних оцінок) [10-11]

Для дослідження впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля було застосовано наступні питання, що відповідають основним вимогам МАІ, рис. 1 та рис. 2:

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 1: «Яка зі складових системи «АДС» більш за все впливає на стан навколишнього природного середовища (для конкретної дороги або її ділянки)?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 2: «Який з факторів впливу в системі «АДС» може створити більшу загрозу для оцінюваних складових навколишнього природного середовища?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 3: «Який з порівнюваних параметрів рівня 3 матиме найбільший вплив на НС під час експлуатації автомобільної дороги?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 4: «Яка зі складових

навколишнього природного середовища може зазнати більш суттєвого безпосереднього впливу під час експлуатації автомобільної дороги?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 5: «Який із заходів рівня 5 буде більш дієвим з точки зору зменшення негативного впливу на кожну з оцінюваних складових довкілля?»

За результатами експертно-аналітичного оцінювання за ієрархічною структурою, що наведена на рис. 2 отримано вагові коефіцієнти кожного з її елементів. Значення узагальнених вагових коефіцієнтів у відсотках, які наведені в дужках (рис. 2), були отримані з застосуванням експертно-аналітичних процедур з використанням програми «PASSEA-ANP1.4», розробленої в УКРНДІЕП. Загальна узгодженість думок експертів для всієї схеми складає 0,05379, що задовольняє вимогам МАІ. Перевірка адекватності розробленої ієрархії та детальний аналіз результатів еколого-експертно-

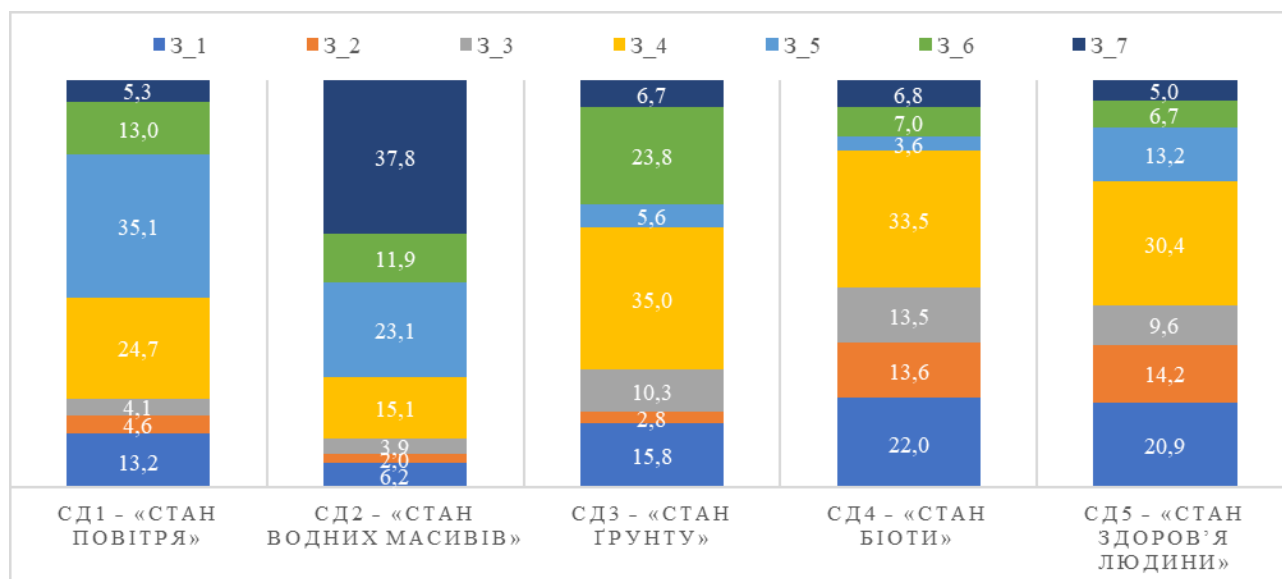


Рис. 3. Дієвість комплексних заходів зі зменшення впливу від експлуатації автомобільної дороги на складові довікля

аналітичних досліджень за кожним рівнем ієрархії були розглянуті в [10-11].

Так, було визначено пріоритетність показників складових довікля, що зазнають впливу від дороги: внесок на Сд4 «Стан біоти» складає 26,5 % загального впливу, на Сд1 «Стан повітря» – 22,8 %, Сд3 «Стан ґрунту» – 21,5 %, Сд5 «Стан здоров'я людини» – 18,6 %, та Сд2 «Стан водних масивів» – 10,6 %.

В результаті проведеного ЕЕАД було визначено дієвість (ефективність) комплексних заходів (рис. 3) у зменшенні впливу від експлуатації автомобільної дороги на кожен окрему складову довікля.

Таким чином, важливо наголосити, що застосування узагальненої та узгодженої ієрархічної структури при оцінці впливу експлуатації автомобільних доріг на НПС з використанням МАІ у вигляді експертно-аналітичної процедури на ПЕОМ дозволяє не лише розподіляти пріоритети заходів задля забезпечення екобезпеки автомобільної дороги, але й зменшити рівень впливу від системи «АДС» на складові довікля до мінімуму з більш ефективним використанням бюджетних коштів за рахунок визначення більш уразливих складових НПС та більш дієвих заходів зменшення впливу на них.

**Головні висновки.** Запропонований підхід допоможе приймати більш обґрунтовані та оптимальні рішення щодо забезпечення екологічної безпеки в системі «АДС».

Так, за допомогою еколога-експертно-аналітичних досліджень з використанням розробленої ієрархічної структури визначено, що найбільш дієвими

заходами для зменшення впливу експлуатації досліджуваної ділянки автомобільної дороги М-29 на складові навколишнього середовища є:

- для Сд1 «стан повітря» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (24,7 %) та «екологізація транспортних засобів» (35,1 %) від загального внеску;
- для Сд2 «стан водних масивів» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (15,1 %), «екологізація транспортних засобів» (23,1 %) та «збереження цілісності дорожніх конструкцій» (11,9 %) від загального внеску;
- для Сд3 «стан ґрунту» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (35,0 %) та «збереження цілісності дорожніх конструкцій» (23,8 %) від загального внеску;
- для Сд4 «стан біоти» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (33,5 %) та «еколого-економічні важелі» (22,0 %) від загального внеску;
- для Сд5 «стан здоров'я людини» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (30,4 %) та «еколого-економічні важелі» (20,9 %) від загального внеску.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати наукового дослідження можуть бути використані екологами дорожньої служби, екологічними організаціями та місцевими територіальними громадами задля забезпечення збалансованого розвитку автомобільної мережі як інфраструктури, збереження НПС, розвитку добробуту місцевих громад та природних територій.

#### Література

1. Гончаренко І.О. Підвищення екологічної безпеки об'єктів поводження з твердими побутовими відходами: дис. ... кандидата технічних наук (доктора філософії):21.06.01/ УКРНДІЕП. Харків. 2020.

2. Гевко І.Б. Методи прийняття управлінських рішень: Підручник. К.: КОНДОР, 2018. 187 с.
3. П.І. Бідюк, О.Л. Тимошук, А.С. Коваленко, Л.О. Коршевнюк. Системи і методи підтримки прийняття рішень. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. 259с. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42360/1/Bidiuk-et-al\\_SMPPR\\_PSBY20.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42360/1/Bidiuk-et-al_SMPPR_PSBY20.pdf)
4. NAMED Taherdoost. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach. *International Journal of Economics and Management System*. IARAS. 2017. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02557320>
5. Чумаченко С.М. Тесленко О.М. Михайлова А.В. Використання методів експертної оцінки для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2017, № 12. с. 44-51.
6. Аніщенко Л. Я. Комплексна оцінка впливів і управління екологічною безпекою протяжних гідротехнічних споруд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01 / Укр. НДІ екол. пробл. Харків, 2011. 36 с.
7. Телюра Н.О. Підвищення екологічної безпеки евтрофованих водних об'єктів шляхом впровадження пріоритетних технологій водовідведення в населених пунктах: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Н.-д. установа «Укр. НДІ екол. проблем». Харків, 2019. 20 с.
8. Гриценко А.В., Аніщенко Л.Я., Свердлов Б.С., Пісня Л.А. Перспективи впровадження процедури стратегічної екологічної оцінки в Україні. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. Харків, 2017. Вип. 39. С 14-30.
9. Чумаченко С.М. Тесленко О.М. Михайлова А.В. Використання методів експертної оцінки для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2017. Вип.12. С. 44-51.
10. Адамова Г.В. Комплексне еколого-аналітичне оцінювання впливу системи «АДС» на складники довілля в процедурі ОВД. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Т.1, № 102, 2023. С. 37-47. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.1.37>
11. Adamova H.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. – 284-302 p. URL: [https://conference.cyberspace.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/Monograph\\_CHALLENGES-AND-THREATS.pdf](https://conference.cyberspace.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/Monograph_CHALLENGES-AND-THREATS.pdf)