

УДК 504:625.7:338:330.4
UDC 504:625.7:338:330.4

DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-114-122

МОНІТОРИНГ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ НА ПРИРОДНЕ
СЕРЕДОВИЩЕ

MONITORING THE IMPACT OF UKRAINE'S ROADS ON THE NATURAL ENVIRONMENT



Соколова Наталія Михайлівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Транспортного будівництва та управління майном», e-mail: nata_ns@ukr.net, тел. +380934037365,

<https://orcid.org/0000-0003-0678-8882>

Анотація. Автомобільні дороги здебільшого негативно впливають на навколишнє природне середовище – довкілля. Довкілля – це всі живі та неживі об'єкти, що природно існують на Землі або в її частині. Сукупність абіотичних (неорганічних) та біотичних (органічних) чинників, природних і штучних, впливають на екосистеми. Моніторинг довкілля – комплексна науково-інформаційна система регламентованих нормами періодичних, безперервних, довгострокових спостережень, методів оцінювання і прогнозування стану природного середовища з метою виявлення його негативних змін і вироблення рекомендацій щодо їх запобігання, усунення або ослаблення. Для управління станом довкілля в Україні діють відповідні нормативно-правові акти і нормативно-технічні документи, створена Державна система моніторингу довкілля, яка є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн.

Об'єкт дослідження – підсистема моніторингу впливу автомобільних доріг на довкілля.

Предмет дослідження – моделі механізму виявлення кращих практик управління змінами стану довкілля, спричинених впливом автомобільних доріг, на основі даних моніторингу.

Проблематика статті обумовлена великою кількістю необхідних, часто відсутніх, різномірних даних моніторингу, невизначеністю багатьох параметрів або змінних явищ, що розглядаються, фундаментальними проблемами прогнозування змін стану довкілля, оцінювання економічної ефективності заходів зі зменшення шкідливого впливу доріг на довкілля.

Мета – вивчення можливості застосування методу DEA (Data Envelopment Analysis) для визначення ефективності варіантів зменшення негативного впливу автомобільних доріг на довкілля.

Матеріалами й методами є результати світових і вітчизняних наукових досліджень, системний аналіз, математичне моделювання, метод аналізу функціонування середовища DEA, аналіз звітів з оцінювання впливу на довкілля.

Проведені дослідження дозволили запропонувати застосування методології DEA для побудови інструментарію оцінювання та оптимізації екологічних рішень щодо впливу автомобільних доріг на довкілля.

Ключові слова: природне середовище, вплив на довкілля, автомобільна дорога, екологічна безпека, метод DEA.

Вступ

Сучасний стан мережі автомобільних доріг є чинником негативного впливу доріг на довкілля. Збереження природи та розвиток транспорту – ось дві проблеми, які стоять перед суспільством і державою в Україні, Європі та в усьому світі. Важливість компромісних підходів до розвитку транспортно-дорожнього комплексу знайшли відображення у міжнародних нормативно-правових актах, зокрема у Протоколі про сталий транспорт [1] до Рамкової конвенції про охорону і сталий розвиток Карпат [2].

З метою запобігання шкоди довкіллю, забезпечення екологічної безпеки, його охорони, раціонального використання і відтворення природних ресурсів у процесі прийняття рішень про провадження господарської діяльності, яка може мати значний вплив на навколишнє природне середовище, з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів, був прийнятий: Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [3], Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» [4], Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [5]. Охорона довкілля у процесі будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг передбачена Законом України «Про автомобільні дороги» [6]. Питання охорони довкілля розглянуті у низці кодексів, законів, постанов Кабінету Міністрів, наказів і нормативно-технічних документів України, зокрема у Порядку ведення Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля [7].

Глибокий аналіз нормативно-правових актів та нормативно-технічних документів був виконаний авторами методичного посібника [8], який містить практичні рекомендації щодо підготовки Звіту з оцінки впливу на довкілля (ОВД) при будівництві та реконструкції автомагістралей та доріг I категорії. У ньому характеризуються потенційні екологічні ризики, що супроводжують вказаний тип господарювання, а також пропонуються настанови щодо необхідного збору матеріалів та підходи із розробки компенсаторних заходів.

Звіт з оцінки впливу на довкілля, відповідно до ст. 6 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [4], містить [8]:

- 1) опис планованої діяльності;
- 2) опис виправданих альтернатив;
- 3) опис поточного стану довкілля (базовий сценарій) та опис його ймовірної зміни без здійснення планованої діяльності;
- 4) опис факторів довкілля, які, ймовірно, зазнають впливу з боку планованої діяльності та її альтернативних варіантів;
- 5) опис і оцінку можливого впливу на довкілля;
- 6) опис методів прогнозування, використаних для оцінки впливів;
- 7) опис передбачених заходів, спрямованих на запобігання, відвернення, зменшення, усунення негативного впливу на довкілля;
- 8) опис очікуваного значного негативного впливу діяльності на довкілля, зумовленого вразливістю проекту до ризиків надзвичайних ситуацій;
- 9) визначення усіх труднощів, виявлених у процесі підготовки звіту з оцінки впливу на довкілля;
- 10) усі зауваження та пропозиції, що надійшли до уповноваженого територіального органу та до уповноваженого центрального органу після оприлюднення повідомлення про плановану діяльність;
- 11) стислий зміст програм моніторингу;
- 12) резюме нетехнічного характеру;

Джерелами впливу автомобільної дороги на довкілля є: безпосередньо сама дорога як інженерна споруда з рухомих транспортних засобів (фаза експлуатації), транспортні засоби, будівельно-дорожні машини та обладнання (в процесах виконання технологічних операцій будівництва, реконструкції, експлуатаційного утримання та ремонту доріг), підприємства дорожнього господарства та дорожнього сервісу [8].

Конкретний Звіт з оцінки впливу на довкілля має досить великий об'єм, наприклад, Звіт з оцінки впливу на довкілля на будівництво автозаправного комплексу [9] складає 222 сторінки тексту з копіями документів, картографічними і фото матеріалами, оцінки за видами та кількістю очікуваного забруднення повітря, води, ґрунту та надр, оцінки за видами та кількістю очікуваного шумового, вібраційного, світлового, теплового та радіаційного забруднення, а також випромінювання тощо. Цей великий об'єм даних поміщується у базу даних Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля [7] по кожному об'єкту планованої діяльності, для якої вимагається складання Звіту з ОВД.

Отже, виникають задачі виокремлення, вибору та подальшого опрацювання потрібних даних з бази даних Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля, особливо при вирішенні проблем прогнозування впливу, економічного оцінювання застосування компенсаторних дій по зменшенню негативного впливу доріг на довкілля. Розв'язання цих задач потребує застосування аналітичних математичних моделей, експертних методів, ймовірнісних підходів, імітаційного моделювання. На нашу думку, на основі даних моніторингу потрібно виявляти не усереднені, а кращі практики управління змінами стану довкілля, спричинених впливом автомобільних доріг, зокрема кращого вибору матеріалів, технології, підрядників тощо. Це потребує розробки моделей і методів, здатних розв'язати окреслені задачі.

Метою майбутніх досліджень є розроблення та впровадження комплексної основи, яка може виміряти відносну ефективність різних стратегій будівництва доріг та технічного обслуговування доріг під час їх експлуатації, враховуючи численні входи, виходи та результати, що характеризують процес обслуговування доріг та неконтрольовані фактори (наприклад, клімат, дорожній рух тощо), які впливають на продуктивність такого процесу. Складно вимірювати загальну ефективність процесу, коли процес має багато входів і виходів, коли на процес впливає кілька факторів, і коли рішення відносно процесу приймаються на основі багатьох критеріїв.

Однією з корисних методів розв'язання подібних задач є метод аналізу оболонки даних (Data Envelopment Analysis – DEA) [10, 11, 12]. Цей метод:

- є способом оцінювання виробничої функції;
- межа ефективності є основною концепцією методу;
- межа формується у багатовимірному просторі вхідних та вихідних показників, що описують оцінювані об'єкти;
- вхідні показники – ресурси, вихідні показники – продукція (наприклад, кількісна оцінка зменшення негативного впливу на довкілля);
- ступінь ефективності певного об'єкта – відстань між точкою у багатовимірному просторі, що відповідає об'єкту, і межею ефективності.

За допомогою DEA можна вибрати кращі проекти мінімізації негативного впливу автомобільної дороги на довкілля та підприємства, які найбільш ефективно виконують такі проекти.

Мета публікації полягає у вивченні можливості застосування методу DEA для визначення ефективних варіантів (кращих практик) зменшення негативного впливу автомобільних доріг на довкілля.

Результати і пояснення. Екологічний моніторинг містить інструменти та методики, розроблені для спостереження за довкіллям, характеристики його якості та встановлення параметрів з метою точного кількісного визначення впливу, який має планована діяльність на навколишнє природне середовище. Результати збираються, аналізуються статистично, а потім оприлюднюються у звіті про оцінку ризику стосовно навколишнього середовища та оцінку впливу.

Основна мета моніторингу навколишнього середовища полягає у керуванні впливом та мінімізацією впливу діяльності організації на навколишнє середовище, або для забезпечення дотримання законів та правил, або зменшення ризиків шкідливого впливу на природне середовище та захист здоров'я людей.

По мірі того, як людське населення, промислова діяльність та споживання енергії продовжують зростати, постійний розвиток розширених, автоматизованих моніторингових застосувань та пристроїв має вирішальне значення для підвищення точності звітів про моніторинг довкілля та економічної ефективності процесу моніторингу.

Програми моніторингу характеризуються загальними цілями, конкретними стратегіями, запропонованими методами вибірки, проектами в межах кожної стратегії та часовими рамками.

Продукти моніторингу та програмне забезпечення для моніторингу довкілля, такі як системи управління даними у Єдиному реєстрі з оцінки впливу на довкілля [7], полегшують впровадження та контроль програм моніторингу та оцінки навколишнього середовища, що включає центр управління даними, автоматизовані сповіщення про моніторинг навколишнього середовища, перевірку відповідності, перевірку якості, контроль якості та генерацію звітів про порівняння набору даних.

Дані, зібрані методами моніторингу навколишнього середовища, можуть бути введені у системи управління базами даних, де їх можна класифікувати, проаналізувати, візуалізувати та створити діючі відомості, що сприяють прийняттю обґрунтованих рішень.

Отже, моніторинг довкілля – комплексна науково-інформаційна система регламентованих нормами періодичних, безперервних, довгострокових спостережень, методів оцінювання і прогнозування стану природного середовища з метою виявлення його негативних змін і вироблення рекомендацій щодо їх запобігання, усунення або ослаблення.

З метою отримання корисної інформації з даних моніторингу у статті розглянутий метод DEA, який є математичним методом, заснованим на застосуванні принципів теорії лінійного програмування, а саме дрібно-лінійного програмування, де цільова функція являє собою відношення двох лінійних функцій, а функції, що визначають область допустимих рішень, є звичайними лінійними функціями. DEA дозволяє визначити, як ефективно деякою одиницею або об'єктом (unit) використовуються наявні ресурси, для створення з набору даних набору результатів співставлень з іншими об'єктами. У контексті DEA, такі об'єкти називаються одиницями прийняття рішень (decision-making unit – DMU). DMU є ефективним, якщо співвідношення його зважених виходів до його зважених входів більше, ніж подібне співвідношення для кожного іншого DMU у вибірці даних. Використовувані ваги є специфічними для DMU, і під час застосування DEA вибирають кожен DMU для максимізації його власного рейтингу ефективності. Вибір ваг підлягає лише обмеженням, що вони повинні не бути негативними, і вони не можуть призвести до оцінки ефективності, що перевищує 100%. Отже, ефективна оцінка будь-якого DMU обчислюється як максимум співвідношення зважених виходів до зважених входів, що підлягають обмеженням, і що 1) таке співвідношення для кожного DMU в наборі даних буде меншим або рівним одиниці, при використанні того самого набору ваг та 2) такі ваги не будуть негативними [10, 11]. Ваги для входів і виходів не потрібно ідентифікувати деяким аналізатором, натомість вони визначаються моделлю DEA в інтересах DMU. Основна перевага DEA полягає в тому, що кожен вхід і вихід можна виміряти у своїх природних фізичних одиницях. DEA може бути виконаний для оцінки відносної ефективності DMU в групі протягом одного періоду або в послідовності періодів [10].

Щоб мати можливість виконувати DEA, деякий аналізатор повинен вибирати DMU, які використовують різноманітні однакові входи для отримання різноманітних однакових результатів. Розрахована ефективність відносно найкращого DMU (або декількох DMU, якщо є більше одного найкращого DMU). Найкращому DMU надається показник ефективності у 100 відсотків, а ефективність інших DMU змінюється від 0 до менше 100 відсотків щодо цієї найкращої ефективності.

Ефективність, у загальному випадку, обчислюється як:

$$E = \frac{O}{I}, \quad (1)$$

де E – ефективність; O – виходи; I – входи.

Складно вимірювати загальну ефективність процесу, коли такий процес має багато входів і багато виходів. Для вирішення цієї проблеми запропонований інноваційний підхід до вимірювання ефективності, DEA. Моделі методу DEA поділяються на два види: орієнтовані на вхід та орієнтовані на вихід.

Формулювання моделі, орієнтованої на вхід:

$$(\mathbf{FP}_0) : \max Q_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}, \quad (2)$$

при умові

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; u_r, v_i \geq 0, \quad (3)$$

де Q_0 – оцінка ефективності DMU, яка знаходиться визначається. Її значення коливається від 0% до 100%, n – кількість DMU у наборі даних; s – кількість виходів; m – кількість входів; y_{rj} , x_{ij} – відомі результати та входи j -th DMU, і вони є всі позитивні. u_r , v_i – ваги змінних результатів та входів, які слід визначити шляхом розв'язання цієї оптимізаційної проблеми.

Ця дробова програма \mathbf{FP}_0 може бути замінена лінійною програмою \mathbf{LP}_0 , як представлено алі. Важливо зазначити, що таке формалювання зазвичай в літературі називається моделлю CCR за першими літерами її авторів: Charnes-Cooper-Rhodes.

$$(\mathbf{LP}_0) : \max Q_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}, \quad (4)$$

при умові

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1, \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}; \quad j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; u_r, v_i \geq 0, \quad (6)$$

Модель \mathbf{LP}_0 , по суті, шукає ваги (v_i) для кожного входу та ваг (u_r) для кожного виходу DMU, що досліджується застосовується до коефіцієнтів виходу до входу для всіх інших DMU у наборі даних (включаючи досліджувані DMU) призводить до оцінки ефективності, яка дорівнює або менше 1. Формулювання моделі, орієнтованої на вихід:

$$(\mathbf{LP}_0) : \max H_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}, \quad (7)$$

при умові

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1, \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; u_r, v_i \geq 0, \quad (9)$$

Зауважимо, що задачі вирішуються n разів, отже для кожного об'єкту. Для неефективних об'єктів можна знайти проекцію на межу ефективності і, таким чином, отримати лінійну комбінацію, яка являє собою гіпотетичний еталонний об'єкт.

Метод DEA дозволяє отримувати агрегований скалярний показник міри ефективності кожного об'єкту; одночасно оперувати багатьма входами і багатьма виходами, кожен з яких: може вимірюватись у різних одиницях виміру; не потребує апріорних значень вагових коефіцієнтів вхідних і вихідних показників; не накладає обмежень на форму залежності між входами та виходами; формує Парето-оптимальну множину точок, отже межу ефективності; дозволяє оцінити бажані зміни у входах або виходах для виведення неефективних об'єктів на межу ефективності; дозволяє виявити так звані кращі практики, а не спиратися на усереднені тенденції.

Головними фазами застосування моделей методу DEA є:

- 1) визначення та вибір одиниць (об'єктів, units) прийняття рішень, які будуть використовуватися в DEA;
- 2) визначення, вибір та вимірювання вхідних змінних та вихідних змінних;
- 3) вибір моделі DEA та їх формулювання;
- 4) застосування моделей DEA;
- 5) процедури верифікації отриманих даних;
- 6) презентація та аналіз результатів.

Повернемось до проблеми управління впливом автомобільних доріг на природне середовище. У якості вхідних показників тут можуть виступати обсяги ресурси (фінансові, трудові, матеріально-технічні, часові тощо) певних організацій чи підприємств (замовників, підрядників або виконавців), що витрачаються на запобігання, усунення або ослаблення негативного впливу дороги на довкілля, а вихідними показниками – втрати елементів довкілля від шкідливого впливу або величина зниження втрат в залежності від цільової функції. Об'єктами розрахунків можуть слугувати ділянки доріг у фазі будівництва, реконструкції, ремонту або експлуатації, а також підприємства, які виконують роботи.

Комп'ютерну реалізацію DEA можна здійснити за допомогою табличного редактора Excel [13]. В цій роботі відмічено, що розв'язувач (solver) Excel може виконати необхідну оптимізацію, будь то нелінійні чи лінійні формулювання програмування. DEA вимагає повторної оптимізації. Оскільки макрос-мова для Excel (Visual Basic для додатків) може контролювати рішення, макрос може бути записаний для автоматизації процесу обчислення ефективності кожної одиниці (об'єкту). Стверджується, що використання сили електронних таблиць для впровадження таких методів, як DEA, може допомогти зробити його доступнішим для спеціалістів.

Висновки та рекомендації

1. Переваги моніторингу навколишнього середовища полягають у його здатності покращувати якість життя суспільства, підкреслюючи взаємозв'язок навколишнього середовища та здоров'я людей. Перетворення даних моніторингу навколишнього середовища в інформацію та своєчасне повідомлення керівним органам та громаді про фактичний стан довкілля є вирішальним для зменшення негативного впливу на довкілля.

2. Моніторинг довкілля – комплексна науково-інформаційна система регламентованих нормами періодичних, безперервних, довгострокових спостережень, методів оцінювання і прогнозування стану природного середовища з метою виявлення його негативних змін і вироблення рекомендацій щодо їх запобігання, усунення або ослаблення.

3. Продемонстрована можливість та доцільність застосування методу DEA для визначення ефективних варіантів (кращих практик) зменшення негативного впливу автомобільних доріг на довкілля.

4. Інструментом комп'ютерної реалізації моделей методу DEA може бути табличний процесор Excel, добре відомий широкому загалу практикуючих спеціалістів – екологів та дорожників.

Перелік посилань

1. Протокол про сталий транспорт до Рамкової конвенції про охорону тасталий розвиток Карпат [Ел. ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_576
2. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат [Ел. ресурс]. –Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_164
3. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ, редакція від 20.06.2022, підстава - № 2321-ІХ // *Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/print> (дата звернення: 25.12.2022).
4. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII // *Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2017, № 29, ст.315*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19/print> (дата звернення: 12.01.2023).
5. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України 2697-VIII, від 28.02.2019 // *Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19/print> (дата звернення: 25.12.2022).
6. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 N 2862-IV, редакція від 19.12.2021, підстава - 1887-ІХ // *Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2005, № 51, ст.556*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (дата звернення: 25.12.2022).
7. Порядок ведення Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля: постанова Кабінету Міністрів України від 13.12. 2017 р. № 1026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1026-2017-%D0%BF#Text> (дата звернення: 25.12.2022).
8. Підготовка звіту з оцінки впливу на довкілля при будівництві та реконструкції автодоріг: методичний посібник / Зуб Л.М., Костюшин В.А., Хрутьба В.О., Левіна Г.М., Сумський Є.Д., Пилипович О.В., Костюшин Є.В., Матус С.А., Ямелинець Т.С., Галайко М.Б. – Київ, 2019. – 108 с. URL: https://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/35/ac3f9cab374ab1227bf6a3bf35369fefdf74fb306.pdf (дата звернення: 25.12.2022).
9. Звіт з оцінки впливу на довкілля. Будівництво автозаправного комплексу у складі автозаправної станції (АЗС) з сервісним обслуговуванням автомобілів та автогазозаправного пункту (АГЗП) по вул. Привокзальна, 4/5 в м. Суми. URL: https://smr.gov.ua/images/misto/Gorodyanuny/gromad_obgovor/AZS_Privokzalnaya_4-5/RcRR_RcRnRRdR.pdf (дата звернення: 25.12.2022).
10. Ozbek, M. E. 2007 . “Development of a comprehensive framework for the efficiency measurement of road maintenance strategies using data envelopment analysis.” Ph.D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Blacksburg, Va. – 347 p. URL: <https://techworks.lib.vt.edu/handle/10919/29117> (дата звернення: 25.12.2022).
11. Ozbek, M. E., de la Garza, J. M., and Triantis, K. (2009). “Data envelopment analysis as a decision making tool for the transportation professionals.” *Journal of Transportation Engineering*, 135(11). Pp. 822-831. URL: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000069> (дата звернення: 25.12.2022).
12. Omer Tatari, Gokhan Egilmez, Dhruva Kurmapu (2016) “Socio-Eco-Efficiency Analysis of Highways: A Data Envelopment Analysis” // *Journal of Civil Engineering and Management*, 2016 Volume 22(6): 747–757, doi:10.3846/13923730.2014.914079. URL: <https://digitalcommons.newhaven.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=mechanicalengineering-facpubs> (дата звернення: 25.12.2022).
13. Proudlove, N.C. (2000), “Using Excel for Data Envelopment Analysis”, // *Manchester School of Management Working Paper No. 2007*, ISBN 1 86615076 8. – 15 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/255708004_Using_Excel_for_Basic_Data_Envelopment_Analysis (дата звернення: 25.12.2022).

MONITORING THE IMPACT OF UKRAINE'S ROADS ON THE NATURAL ENVIRONMENT

Sokolova Natalia M., Associate Professor of the Department of Transport construction and property management of the National Transport University, Kyiv, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0678-8882>

Abstract. Highways mostly have a negative impact on the environment. The environment is all living and inanimate objects that naturally exist on Earth or in part. The set of abiotic (inorganic, a non-living part of an ecosystem) and biotic (organic) factors, natural and artificial, affect ecosystems. Environmental monitoring – a complex scientific and information system regulated by the standards of periodic, continuous, long-term observations, methods of evaluation and forecasting of the state of the natural environment in order to identify its negative changes and to develop recommendations for their prevention, elimination or weakening. In order to manage the state of the environment in Ukraine there are relevant regulatory acts and regulatory and technical documents, created State Environmental Monitoring System, which is an integral part of the national information infrastructure, compatible with similar systems of other countries.

The object of study is a subsystem of monitoring the impact of roads on the environment.

The subject of the study is the model of the mechanism of detection of the best practices of managing environmental changes caused by the influence of roads, based on monitoring data.

The problem of the article is due to a large number of necessary, often absent, heterogeneous monitoring data, uncertainty of many parameters or variables under consideration, fundamental problems of forecasting environmental changes, evaluating the economic efficiency of measures to reduce the harmful effects of roads on the environment.

The purpose is to study the possibility of using the Data Envelopment Analysis (DEA) method to determine the effectiveness of options for reducing the negative impact of roads on the environment.

Materials and methods are the results of world and domestic scientific research, system analysis, mathematical modeling, method of analysis of the functioning of the environment (DEA), analysis of reports on environmental impact evaluation.

The conducted researches have made the use of DEA methodology to build assessment tools and optimize environmental solutions on the impact of roads on the environment.

Key words: natural environment, environmental impact, highway, environmental safety, DEA method.

References

1. Protokol pro stalyyi transport do Ramkovoï konventsii pro okhoronu tastalyyi rozvytok Karpat [El. resurs]. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_576
2. Ramkova konventsiiia pro okhoronu ta stalyyi rozvytok Karpat [El. resurs]. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_164
3. On the protection of the environment: Law of Ukraine of June 25, 1991 № 1264-XII, version of 20.06.2022, grounds-№ 2321-IX // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (BVR), 1991, № 41, p.546. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/print> (date of appeal: 25.12.2022).
4. On Environmental Impact Assessment: Law of Ukraine dated 23.05.2017 // *The Official Bulletin of the Verkhovna Rada (BVR)*, 2017, No. 29, Article 315. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (date of access: 25.12.2022).
5. On the Key Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period till 2030: Law of Ukraine dated 28.05.2019 // *The Official Bulletin of the Verkhovna Rada (BVR)*, 2019, No. 16, Article 70. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19?lang=en#Text> (date of access: 25.12.2022).
6. On Automobile Roads: Law of Ukraine dated 08.09.2005 N 2862-IV, version of 19.12.2021, grounds-1887-IX // Database of the legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15-15#text> (date of access: 25.12.2022).
7. Poriadok vedennia Yedynoho reiestru z otsinky vplyvu na dovkillia: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13.12. 2017 r. № 1026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1026-2017-%D0%BF#Text> (date of access: 25.12.2022).

8. Pidhotovka zvituz otsinky vplyvu na dovkillia pry budivnytstvi ta rekonstruktsii avtodorih: metodychnyi posibnyk / Zub L.M., Kostiusyn V.A., Khrutba V.O., Lievina H.M., Sumsnyi Ye.D., Pylypovych O.V., Kostiusyn Ye.V., Matus S.A., Yamelynets T.S., Halaiko M.B. – Kyiv, 2019. – 108 s. URL: https://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/35/ac3f9cab374ab1227bf6a3bf35369fefdf74fb306.pdf (date of access: 25.12.2022).

9. Zvit z otsinky vplyvu na dovkillia. Budivnytstvo avtozapravnoho kompleksu u skladi avtozapravnoi stantsii (AZS) z servisnym obsluhovuvanniam avtomobiliv ta avtohapozapravnoho punktu (AHZP) po vul. Pryvokzalna, 4/5 v m. Sumy. URL: https://smr.gov.ua/images/misto/Gorodyanuny/gromad_obgovor/AZS_Privokzalnaya_4-5/RcRR_RcRnRRdR.pdf (date of access: 25.12.2022).

10. Ozbek, M. E. 2007 . “Development of a comprehensive framework for the efficiency measurement of road maintenance strategies using data envelopment analysis.” Ph.D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Blacksburg, Va. – 347 p. URL: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/29117> (дата звернення: 25.12.2022).

11. Ozbek, M. E., de la Garza, J. M., and Triantis, K. (2009). “Data envelopment analysis as a decision making tool for the transportation professionals.” *Journal of Transportation Engineering*, 135(11). Pp. 822-831. URL: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000069> (дата звернення: 25.12.2022).

12. Omer Tatari, Gokhan Egilmez, Dhruva Kurmapu (2016) “Socio-Eco-Efficiency Analysis of Highways: A Data Envelopment Analysis” // *Journal of Civil Engineering and Management*, 2016 Volume 22(6): 747–757, doi:10.3846/13923730.2014.914079. URL: <https://digitalcommons.newhaven.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=mechanicalengineering-facpubs> (date of access: 25.12.2022).

13. Proudlove, N.C. (2000), “Using Excel for Data Envelopment Analysis”, // *Manchester School of Management Working Paper No. 2007*, ISBN 1 86615076 8. – 15 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/255708004_Using_Excel_for_Basic_Data_Envelopment_Analysis (date of access: 25.12.2022).