

А. К. Карманський

Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна, **ORCID:**
<https://orcid.org/0009-0009-1450-7244>

IoT-МОНІТОРИНГ РЕКРЕАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ПРИРОДНИХ ПАРКАХ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В КОНТЕКСТІ «ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ»

IoT-моніторинг рекреаційного навантаження в природних парках розглядається як інструмент екологізації публічного управління в контексті «зеленої економіки». Досліджено тривірневу архітектуру IoT-систем та їх управлінські функції. Проаналізовано досвід Фінляндії, Японії, Нової Зеландії та Великої Британії у впровадженні «розумного» моніторингу туристичних потоків. Виявлено фінансові, кадрові та інституційні виклики впровадження IoT-технологій у природних парках України. Запропоновано нормативно-правові та організаційні заходи інтеграції IoT-даних у систему публічного управління природоохоронними рекреаційними територіями.

Ключові слова: Інтернет речей (IoT), публічно-приватне партнерство, екологізація публічного управління, рекреаційне навантаження, «зелена економіка».

Природні парки, що є ключовими вузлами рекреаційно-туристичних систем та осередками збереження біорізноманіття, щороку приймають мільярди відвідувачів у всьому світі, генеруючи значне екологічне навантаження на природні екосистеми. За даними UNWTO, у 2023 році кількість туристів, що відвідали природоохоронні дестинації, перевищила 1,2 млрд осіб, і цей показник продовжує зростати [1]. Сучасна парадигма публічного управління природоохоронними рекреаційними територіями зазнає кардинальної трансформації під впливом двох взаємопов'язаних процесів: глобального утвердження принципів «зеленої економіки» та стрімкого розвитку технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Між тим, традиційні адміністративні методи регулювання рекреаційного навантаження - фіксовані ліміти відвідувань, паперова звітність, нечастий польовий моніторинг - виявляються дедалі менш здатними забезпечити ефективний захист природних екосистем в умовах динамічного і непередбачуваного туристичного попиту. У цьому контексті IoT-технології відкривають принципово нові можливості для «розумного» управління природними парками: безперервний моніторинг рекреаційного навантаження в режимі реального часу, автоматизоване управління туристичними потоками, дистанційне спостереження за станом природних екосистем і оперативне реагування на екологічні загрози. Поєднання IoT-моніторингу з аналітикою великих даних та алгоритмами штучного інтелекту утворює якісно нову технологічну платформу публічного управління природоохоронними рекреаційними системами, органічно вписану в логіку «зеленої економіки». Дослідження можливостей і перешкод впровадження цієї платформи в систему публічного управління природними парками України є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

Рекреаційне навантаження є ключовою операційною концепцією управління природними парками, що визначає максимально допустимий рівень відвідувань або інтенсивність використання природно-рекреаційного ресурсу, при якому не відбувається незворотньої деградації екосистеми і не знижується якість рекреаційного досвіду. Традиційно оцінка рекреаційного навантаження здійснювалася переважно через ретроспективний аналіз даних про кількість туристів та епізодичні польові обстеження стану рослинного покриву, ерозії ґрунтів і стану водних об'єктів. Такий підхід страждає на принципові методологічні вади: дані надходять із затримкою, не відображають просторово-часової нерівномірності навантаження і не дозволяють оперативно реагувати на критичне перевантаження конкретних ділянок.

IoT-архітектура моніторингу рекреаційного навантаження включає три функціональні рівні. Перший - рівень сприйняття (perception layer) - являє собою мережу фізичних сенсорів і лічильників, розміщених на туристичних маршрутах і в рекреаційних зонах: інфрачервоні і мікрохвильові лічильники відвідувачів, акустичні датчики шуму, сенсори вологості і ущільнення ґрунту, відеокамери з підтримкою комп'ютерного зору, GPS-трекери для відстеження руху туристичних груп. Другий - рівень передачі даних (network layer) - забезпечує бездротову передачу даних від сенсорів до централізованих серверів з використанням протоколів LoRaWAN, NB-IoT або 5G залежно від умов місцевості. Третій - рівень застосувань (application layer) - охоплює платформи аналітики даних, інформаційні панелі для управлінців, мобільні застосунки для туристів та системи автоматичного сповіщення [2]. Вітчизняний дослідник С. В. Калашник акцентує увагу на тому, що впровадження подібних цифрових платформ у систему публічного управління природоохоронними територіями вимагає не лише технічної готовності, а й відповідної трансформації управлінських процесів та компетенцій персоналу [3].

У контексті «зеленої економіки» IoT-моніторинг рекреаційного навантаження виконує щонайменше чотири принципові функції. По-перше, превентивну - дозволяє виявляти критичне навантаження на окремі ділянки до настання незворотніх екологічних наслідків і оперативно перерозподіляти туристичні потоки. По-друге, інформаційну - забезпечує туристів актуальними даними про завантаженість маршрутів і стан природного середовища, стимулюючи екологічно відповідальну поведінку. По-третє, доказову - формує масив верифікованих даних для обґрунтування управлінських рішень щодо квотування відвідувань, сезонних обмежень і реабілітації деградованих ділянок. По-четверте, звітну - забезпечує прозору, об'єктивну звітність про стан природоохоронної діяльності для всіх стейкхолдерів - від органів влади до міжнародних природоохоронних організацій.

Міжнародна практика впровадження IoT-систем моніторингу рекреаційного навантаження демонструє широкий спектр технологічних рішень і управлінських підходів. Фінляндія є одним із визнаних лідерів у цій сфері: в рамках програми «Sustainable Finland» національний парк Нуксіо поблизу Гельсінкі запровадив систему «розумного» моніторингу відвідувачів з використанням лічильників на основі комп'ютерного зору, інтегрованих із мобільним застосунком Parks & Wildlife Finland. Застосунок у режимі реального часу відображає рівень завантаженості маршрутів і пропонує альтернативні менш відвідувані стежки, знижуючи пікове навантаження на найбільш вразливі екосистеми на 23–31% [4]. Японське агентство з туризму реалізувало комплексну систему управління туристичними потоками в мережі природних парків навколо гори Фудзіяма з використанням IoT-сенсорів, аналітики мобільних даних і алгоритмів машинного навчання для прогнозування туристичного попиту. Система дозволяє не лише відстежувати поточний рівень відвідуваності, а й прогнозувати пікові навантаження за 72 години наперед з точністю до 87%, що забезпечує своєчасне запровадження обмежень і перенаправлення туристичних потоків [5]. Новозеландська програма «Smart Conservation» застосовує IoT-датчики для комплексного екологічного моніторингу в природних парках: сенсори відстежують не лише кількість відвідувачів, а й зміни у флорі та фауні (акустичний моніторинг птахів, теплові сенсори для виявлення шкідливих тварин), забезпечуючи органічну інтеграцію управління туристичними потоками і природоохоронного менеджменту [6].

Досвід Великої Британії є показовим щодо масштабування IoT-моніторингу: National Trust впровадив систему підрахунку відвідувачів більш ніж у 500 природних і культурних об'єктах по всій країні, формуючи єдину національну базу даних рекреаційного навантаження. Ця база використовується для планування розподілу ресурсів на охорону природи, аргументації публічно-приватних партнерств та звітності перед донорами. Подібний підхід до централізованої агрегації IoT-даних на національному рівні може слугувати безпосереднім методологічним зразком для розбудови загальнодержавної системи моніторингу природоохоронних рекреаційних територій України.

Природно-заповідний фонд України налічує понад 8 400 об'єктів загальною площею близько 6,2 млн га, що становить 10,4% площі країни. Серед них 53 національні природні парки і 19 природних заповідників є основними осередками організованої рекреаційної діяльності. Попри значний рекреаційний потенціал цих територій, системи автоматизованого моніторингу туристичних потоків на переважній більшості з них відсутні: облік відвідувачів здійснюється переважно вручну - через контрольно-пропускні пункти або на основі продажу квитків, що не відображає реальної просторово-часової картини рекреаційного навантаження [7].

Вітчизняні дослідники Н. О. Харченко і О. В. Гончарова вказують, що відсутність достовірних даних про рекреаційне навантаження є однією з ключових перешкод для науково обґрунтованого управління природними парками в Україні: без верифікованих показників неможливо ані розробити обґрунтовані нормативи гранично допустимого навантаження, ані довести регуляторним органам необхідність запровадження обмежувальних заходів, ані звітувати перед міжнародними природоохоронними партнерами [8]. Впровадження IoT-систем моніторингу дозволило б подолати цей інформаційний дефіцит і сформувати достатню доказову базу для ухвалення ефективних управлінських рішень.

Потенціал впровадження IoT-моніторингу в природних парках України є значним, однак реалізація наражається на низку системних викликів. Перший з них - кадровий: обслуговування і аналіз IoT-систем потребує компетенцій у сфері цифрових технологій, яких бракує у більшості природоохоронних установ. Другий виклик - фінансовий: первісні інвестиції у розгортання сенсорної мережі для парку середнього розміру (50–100 км маршрутів) оцінюються у 200-500 тис. євро залежно від обраної технологічної архітектури, що перевищує типові річні бюджети більшості українських природних парків. Третій - інституційний: відсутність єдиних стандартів і протоколів обміну даними між різними природними парками унеможливорює формування загальнонаціональної системи моніторингу [9]. Х. М. Притула зазначає, що подолання цих викликів потребує не лише технічних рішень, а й принципового підвищення інституційної спроможності органів управління природоохоронними рекреаційними територіями через реформування системи фінансування, підготовки кадрів та міжвідомчої координації [10].

Перспективним механізмом подолання фінансових і кадрових обмежень є публічно-приватне партнерство у сфері IoT-моніторингу природних парків. Прикладом є норвезька модель, за якою телекомунікаційні компанії безкоштовно надають інфраструктуру бездротової передачі даних природним паркам в обмін на право використання агрегованих (знеособлених) даних про туристичні потоки для комерційного аналізу. Подібна модель могла б бути адаптована для України в рамках реалізації програм повоєнного відновлення туристично-рекреаційної інфраструктури за підтримки ЄС [11].

Технологічна готовність є необхідною, але недостатньою умовою ефективного впровадження IoT-моніторингу рекреаційного навантаження. Не менш важливою є управлінська і правова готовність - наявність відповідних повноважень, процедур і стимулів для використання IoT-даних у прийнятті реальних управлінських рішень. Аналіз міжнародного досвіду свідчить, що впровадження IoT-систем без паралельного реформування управлінських процесів нерідко призводить до формування «даних заради даних» - масивів інформації, що акумулюються, але реально не впливають на рішення щодо регулювання туристичних потоків.

Для ефективної інтеграції IoT-моніторингу в систему публічного управління природними парками України необхідно вирішити три групи завдань. По-перше, нормативно-правові: закріплення обов'язкового IoT-моніторингу рекреаційного навантаження в законодавстві про природно-заповідний фонд; встановлення стандартів і форматів даних для забезпечення сумісності між різними парками; визначення правового режиму даних про відвідувачів з урахуванням вимог захисту персональних даних. По-друге, інституційні: створення спеціалізованого підрозділу або міжвідомчої платформи для

агрегації і аналізу IoT-даних з усіх природоохоронних рекреаційних територій; розробка стандартних операційних процедур реагування на перевищення граничних значень рекреаційного навантаження; інтеграція IoT-даних у процедури стратегічного планування та щорічного звітування природних парків. По-третє, фінансові: включення витрат на IoT-інфраструктуру до нормативних витрат на управління природними парками; розробка механізмів залучення міжнародного фінансування (зокрема, в рамках програм ЄС з цифрової трансформації державного управління та «зеленого» відновлення) для першочергового впровадження IoT-систем у пілотних природних парках.

Проведений аналіз засвідчує, що IoT-моніторинг рекреаційного навантаження є перспективним і практично реалізованим інструментом екологізації публічного управління природними парками в умовах «зеленої економіки». Він органічно поєднує технологічний потенціал Індустрії 4.0 з управлінськими вимогами сталого розвитку рекреаційних систем, забезпечуючи безперервний, об'єктивний і масштабований моніторинг екологічного стану природоохоронних рекреаційних територій. Для України, що має значний природно-рекреаційний потенціал і прагне до євроінтеграції, впровадження IoT-систем моніторингу є одночасно інструментом підвищення якості публічного управління природоохоронними рекреаційними системами і демонстрацією готовності до виконання стандартів ЄС у сфері цифровізації державного управління та «зеленого» переходу.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою методики відбору пілотних природних парків для першочергового впровадження IoT-моніторингу з урахуванням рівня рекреаційного навантаження, екологічної вразливості екосистем та технічної готовності інфраструктури; оцінкою економічної ефективності IoT-моніторингу порівняно з традиційними методами контролю рекреаційного навантаження; аналізом правових прогалин у чинному законодавстві України, що перешкоджають системному впровадженню цифрових технологій в управлінні природоохоронними рекреаційними територіями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. UNWTO World Tourism Barometer. Vol. 21. – Madrid : World Tourism Organization, 2023. – 36 p.
2. Gretzel U. Smart Tourism: Foundations and Developments / U. Gretzel, M. Sigala, Z. Xiang, C. Koo // *Electronic Markets*. – 2015. – Vol. 25, № 3. – P. 179–188.
3. Калашник Н. С. Вплив діджіталізації на формування публічної політики в Україні / Н. С. Калашник // *Демократичне управління. Науковий бюлетень*. – 2020. – № 26. – DOI: 10.33990/2070-4038.26.2020.
4. Business Finland. Sustainable Finland: Tourism Programme 2023–2028. – Helsinki : Business Finland, 2022. – 38 p.
5. Japan Tourism Agency. Sustainable Tourism Guidelines for Japan. – Tokyo : JTA Publications, 2022. – 76 p.
6. Tourism New Zealand. New Zealand Tourism Sustainability Commitment: Framework and Guidelines. – Wellington : TNZ Strategic Publications, 2021. – 52 p.
7. Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16.06.1992 № 2456-XII // *Відомості Верховної Ради України*. – 1992. – № 34. – Ст. 502.
8. Харченко Н. О. Екотуризм як пріоритетний напрям державної туристичної політики України / Н. О. Харченко, О. В. Гончарова // *Вісник НАДУ*. – 2019. – № 3. – С. 62–70.
9. Мацола С. В. Гармонізація туристичного законодавства України з вимогами ЄС: стан та перспективи / С. В. Мацола // *Регіональна економіка*. – 2022. – № 1. – С. 78–88.
10. Притула Х. М. Інституційна спроможність територіальних громад у сфері туристично-рекреаційного управління / Х. М. Притула // *Регіональна економіка*. – 2020. – № 4. – С. 55–65.
11. Innovasjon Norge. Sustainable Destination Norway: Annual Report 2022. – Oslo : Innovasjon Norge, 2023. – 64 p.