

**Шкурко Є.Л.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Безклубна Н.Л.**ВСП «Київський фаховий коледж морського і річкового флоту та транспортних технологій  
Державного університету інфраструктури та технологій»

## ЕКОЛОГІЧНА СТІЙКІСТЬ ПОРТОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: ВПРОВАДЖЕННЯ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ

У статті авторами було розглянуто та проаналізовано проблему екологічної стійкості портової інфраструктури, акцентуючи увагу на впровадженні технічних зелених рішень та інноваційних енергоєфективних технологій. Дослідження спрямоване на розкриття комплексності екологічних викликів, що виникають у результаті функціонування портів та мають значний вплив на довкілля. Аналіз починається з визначення ключових аспектів портової інфраструктури, які спричиняють негативний екологічний відбиток. Під ретельним дослідженням – викиди та вплив судноплавства на якість повітря та води, споживання енергії та водних ресурсів, а також проблеми утилізації відходів. Посилена увагу у дослідженні виділено можливість впровадження технічних інновацій для забезпечення екологічної стійкості портового комплексу. Використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові установки, розглядається в якості потенційного способу зменшення викидів та зниження енергозалежності. Авторами розглядаються аспекти вдосконалення транспортних та логістичних процесів, що дозволяють оптимізувати маршрути, зменшити енергетичні витрати та вплив на навколишнє середовище. Технології автоматизації та управління допомагають підвищити ефективність операцій та ресурсозбереження. Важливий аспект становить дослідження можливостей використання інноваційних систем утилізації відходів. Впровадження передових методів переробки та вторинного використання відходів може вирішити проблеми екологічного забруднення та сприяти створенню замкнутого екологічного циклу. Основний акцент робиться на розгляді успішних практичних прикладів зеленої модернізації портової інфраструктури, висвітлюючи їхні технічні аспекти та позитивні результати. Автори статті надають інженерні обґрунтування та аналіз впливу цих рішень на технічну, економічну та екологічну сфери. Результати дослідження підкреслюють, що впровадження технічних інновацій та зелених технологій у портовому секторі не лише є реалістичною перспективою, але й вимагає системного підходу, технічного знання та співпраці всіх зацікавлених сторін. Надання авторами науково обґрунтованих рекомендацій та технічних рішень має сприяти підвищенню стійкості портової інфраструктури, раціональному використанню ресурсів та сприяти досягненню балансу між господарськими потребами та екологічною відповідальністю.

**Ключові слова:** екологічна стійкість, портова інфраструктура, зелені технології, енергоєфективні рішення, екологічний вплив, інновації, оптимізація ресурсів.

**Постановка проблеми.** В умовах невідпінної трансформації глобального екологічного ландшафту та зростаючих антропогенних втручань у природні баланси, особлива увага спрямовується на проблематику екологічної стійкості у контексті портової інфраструктури. За сприятливих умов, порти виконують ключову роль у міжнародній торгівлі та забезпеченні господарських потреб суспільства, але водночас вони конфронтуються з трансграничними екологічними викликами. Прискорена індустріалізація, збільшення обсягів судноплавства та зростаюча залежність від енерго-

ресурсів формують середовище, в якому портова інфраструктура стає у центрі важливих екологічних перетворень. Широка гама антропогенних факторів, таких як емісії забруднюючих речовин, відходи, шум та зміни гідрологічних режимів, формує суттєвий вплив на екосистеми прибережних територій та водних ресурсів. У цьому контексті актуалізується необхідність системного аналізу та комплексного вирішення екологічних проблем, що виникають на стику портової інфраструктури, транспортних маршрутів та біорізноманітних комплексів. Таким чином, проблема

екологічної стійкості портової інфраструктури викликає нове звучання в умовах глобальних змін, вимагаючи розробки та впровадження науково-обґрунтованих стратегій підтримки екологічно збалансованого розвитку портового комплексу у контексті екологічної стійкості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останній час дослідники (Бойченко М. [1], Власова В., Рябова К. [2], Петренко О., Шматок Ю. [4], Щербина В. [6] тощо) активно розглядають вплив портової діяльності на довкілля, розглядають можливості використання зелених технологій, а також вивчають вплив енергоефективних рішень на підвищення сталості діяльності портів.

Новітні дослідження (Жарська І., Марчук І., Орловська С. [3], Трушкіна Н. [5], М. Дзедлінські [10], К. Завада [11], Ю. Лі, С. Луї [12], Бойчук Н., С. Кауф [13], Р. Рен, В. Хью, Дж. Донг [14] тощо) підтверджують позитивні ефекти впровадження зелених технологій, таких як використання альтернативних джерел енергії та удосконалення логістичних процесів. Ці рішення сприяють зниженню викидів та споживанню ресурсів, а також забезпечують підвищення конкурентоспроможності портів на світовому ринку.

Проте, водночас існують невирішені питання, зокрема пов'язані з ефективністю впровадження зелених технологій у великих інфраструктурних комплексах. Науковці також наголошують на потребі уточнення механізмів моніторингу та оцінки екологічних параметрів, щоб забезпечити об'єктивні дані про ефективність заходів.

Отже, хоча науковий прогрес у розумінні та впровадженні зелених технологій у портовій інфраструктурі є помітним, є важливим завданням подальше дослідження невирішених аспектів, що дозволить розвивати більш ефективні стратегії збалансованого та стійкого розвитку цього сектору.

**Метою статті** є глибокий аналіз та комплексний розгляд проблеми забезпечення екологічної стійкості у контексті портової інфраструктури, що стоїть перед сучасним суспільством. Основний фокус дослідження спрямований на вивчення можливостей впровадження технічних інновацій та зелених технологій для зменшення негативного впливу цього сектору на природне середовище та вирішення екологічних викликів.

Окрім того, метою є виявлення можливостей застосування новітніх технологій, таких як відновлювані джерела енергії та оптимізація логістичних процесів, для забезпечення більш ефективного та стійкого функціонування портів.

**Виклад основного матеріалу.** У сучасних умовах, коли проблеми екологічного зростання, змін клімату та природних ресурсів стають дедалі більш актуальними, питання екологічної стійкості набувають особливої важливості у різних сферах господарської діяльності. Порти, що відіграють стратегічну роль у міжнародній торгівлі та логістичних мережах, не є винятком. Вимоги до забезпечення ефективності їх діяльності постійно зростають, одночасно накладаючи значний екологічний відбиток на природне середовище.

Однією з ключових проблем, яка стоїть перед портовою інфраструктурою, є забезпечення екологічної стійкості її функціонування. Велика кількість суден, емісії забруднюючих речовин, енергозалежність та збільшення обсягів перевезень створюють серйозний виклик для збереження екосистем та забезпечення життєздатності морського середовища [4].

Аналізуючи сучасну портову інфраструктуру, можна визначити кілька ключових аспектів, які викликають серйозні екологічні обтяження (таблиця 1).

Звертаючи увагу на аспекти викидів та впливу судноплавства на якість повітря та води, споживання енергії та водних ресурсів, а також проблеми утилізації відходів, відзначається ряд взаємопов'язаних зв'язків і проблем, що впливають на екологічний стан портової інфраструктури. Викиди, створені судноплавством, виступають важливим джерелом антропогенного забруднення повітря та води. Велика концентрація суден та об'єктів портового комплексу призводить до інтенсивних викидів забруднюючих речовин у повітря, що у свою чергу впливає на якість атмосферного повітря в околицях порту та на значну відстань від нього [6].

Суттєвий вплив судноплавства на довкілля зумовлений також великим споживанням енергії, особливо традиційного палива з високим вмістом сірки. Використання цього виду палива призводить до викидів шкідливих речовин, що негативно впливають на атмосферу та підсилюють ефект парникового газу. Крім того, інтенсивне споживання палива сприяє енергозалежності порту та має великий вплив на водні ресурси, оскільки забезпечення охолодження та інших потреб потребує значних обсягів води [11].

Проблема вилучення відходів у портовому комплексі стає значною, оскільки відновлювані та невідновлювані відходи, які накопичуються, потребують спеціалізованої обробки та утилізації. За відсутності адекватних підходів, можливість забруднення ґрунту та води небезпечними компонентами стає реальністю [14].

**Ключові аспекти сучасної портової інфраструктури, які викликають екологічні проблеми**

Ключовий аспект	Вплив на довкілля	Проблема	Наслідки	Рекомендації
Концентрація транспорту	Викиди забруднюючих речовин у повітря, загроза здоров'ю	Загострення атмосферного забруднення	Погіршення якості повітря, здоров'я мешканців	Впровадження екологічних норм та стандартів, застосування електромобілів
Використання низькоякісного палива	Викиди шкідливих речовин та парникових газів	Посилення ефекту парникового газу, зміна клімату	Зміни кліматичних умов, негативний вплив на біосистеми	Перехід до використання відновлюваних джерел енергії, вдосконалення технологій очищення викидів
Використання водних ресурсів	Дисбаланс водного балансу, зміни хімічного складу води	Вплив на водні екосистеми, забруднення водойм	Зміни у біологічній різноманітності, загроза для водних організмів	Впровадження збережливого використання водних ресурсів, використання технологій очищення стічних вод
Акумуляція відходів	Забруднення ґрунту та води, небезпека для здоров'я	Несправна утилізація відходів, недостатня обробка	Забруднення природних середовищ, ризик для здоров'я людей	Розвиток програми з відновлення відходів, утилізація та переробка
Несвідоме управління	Посилення екологічного впливу, загроза сталому розвитку	Відсутність ефективних стратегій та рішень	Зростання негативного екологічного відбитку, загострення проблем	Розробка та впровадження інноваційних технічних та організаційних рішень

*Джерело: розроблено авторами на основі [3]*

Враховуючи вищезазначене, важливо розробляти і впроваджувати інноваційні технічні та організаційні рішення (таблиця 2), що спрямовані на зниження негативного впливу судноплавства на довкілля, раціональне споживання енергії та водних ресурсів, а також ефективне управління відходами у портовому комплексі.

Здійснення технічних інновацій є перспективним шляхом до досягнення екологічної стійкості портового комплексу. Впровадження передових технологій дозволяє ефективно знизити негативний вплив на довкілля та забезпечити баланс між господарськими потребами та екологічною відповідальністю. Технічні інновації можуть включати у себе розробку та впровадження чистих паливних систем, використання відновлюваних джерел енергії для живлення портових процесів, розробку ефективних систем управління ресурсами та відходами, а також вдосконалення технологій обробки та переробки відходів [8].

Впровадження інновацій дозволяє досягти не лише екологічної, але й економічної вигоди. Сучасні технології можуть зменшити споживання палива, знизити вартість експлуатації обладнання

та оптимізувати процеси логістики та транспортування. Це сприяє збільшенню конкурентоспроможності порту на міжнародному ринку, а також підвищенню інвестиційної привабливості [7].

Більшість портових операторів та організацій розуміють, що інновації є важливою складовою сталого розвитку. Розробка та впровадження технічних інновацій у портовому комплексі вимагає співпраці між галузевими гравцями, науковими установами та владними органами. Тільки завдяки спільним зусиллям можна досягти ефективного вирішення екологічних, економічних та соціальних викликів, з якими стикається портова індустрія [1].

Отже, можливість впровадження технічних інновацій є ключовим елементом у досягненні екологічної стійкості портового комплексу, сприяючи збалансованому розвитку економіки та довкілля.

З урахуванням технічних можливостей порту слід відзначити, що впровадження технічних інновацій має великий потенціал для досягнення екологічної стійкості. Специфічні характеристики портової інфраструктури, такі як наявність різних

**Інноваційні технічні та організаційні рішення щодо зниження негативного впливу судноплавства на довкілля, раціонального споживання енергії та водних ресурсів тощо**

Рішення	Спрямованість	Очікувані результати	Технічні заходи і впровадження
Використання екологічно чистого палива	Зниження викидів шкідливих речовин та парникових газів	Зменшення негативного впливу на атмосферу, здоров'я мешканців, поліпшення клімату	Встановлення систем подачі та зберігання палива, побудова інфраструктури
Використання альтернативних джерел енергії (сонячні панелі, вітрові установки тощо)	Зменшення споживання традиційних джерел енергії та водних ресурсів	Зниження енергозалежності порту, заощадження водних ресурсів, підвищення сталості та незалежності від традиційних джерел	Встановлення сонячних панелей та вітрових установок, модернізація енергосистем
Оптимізація маршрутів суден	Мінімізація пройдених відстаней та споживання палива	Ефективне використання палива, зменшення викидів, зниження вартості перевезень	Впровадження систем моніторингу та аналізу, вдосконалення навігаційних алгоритмів
Вдосконалення технологій утилізації відходів	Зменшення кількості та негативного впливу невідновлюваних відходів	Зниження забруднення ґрунту та води, зменшення ризику негативного впливу на здоров'я мешканців та довкілля	Розробка та впровадження ефективних систем утилізації та переробки відходів

*Джерело: розроблено авторами на основі [7]*

видів обладнання, технічних систем та інфраструктурних об'єктів, створюють можливості для інтеграції нових технологій.

Технічні інновації можуть включати у себе впровадження автоматизованих систем управління ресурсами, що дозволить оптимізувати споживання енергії та водних ресурсів у режимі реального часу. Розробка та використання власних джерел відновлюваної енергії, зокрема сонячних панелей або вітрових установок, може забезпечити ефективний захист від коливань цін на енергоносії [2].

Зокрема, вдосконалення технічних систем утилізації та переробки відходів може забезпечити мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Розробка спеціалізованих технологій для обробки невідновлюваних відходів може зменшити ризики забруднення ґрунту та води.

Однак важливо враховувати, що впровадження технічних інновацій потребує не лише технічних знань, але і адаптації до нових систем управління, навчання персоналу та координації дій. Взаємодія зі спеціалізованими технічними компаніями, консультантами та дослідницькими установами може значно підвищити ефективність впровадження інноваційних рішень [1].

Отже, враховуючи технічні можливості порту, впровадження технічних інновацій може стати ключовим фактором у забезпеченні екологічної

стійкості та раціонального використання ресурсів у портовому комплексі.

Розглядаючи аспекти вдосконалення транспортних та логістичних процесів, які дозволяють оптимізувати маршрути, зменшити енергетичні витрати та вплив на навколишнє середовище, можна відзначити низку ключових стратегій (таблиця 3), спрямованих на досягнення екологічної стійкості порту.

Отже, аспекти вдосконалення транспортних та логістичних процесів у портовому комплексі включають у себе застосування інноваційних технологій, використання інтелектуальних систем управління, віддаленого моніторингу та мульти-модальних перевезень. Ці підходи сприяють оптимізації ресурсів, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та покращенню ефективності портової діяльності.

Досліджуючи можливості використання інноваційних систем утилізації відходів у портовому комплексі, важливо звернути увагу на їх вплив на екологічну стійкість та створення замкнутого екологічного циклу [10]. Впровадження передових методів переробки та вторинного використання відходів може виявитися ключовим рішенням для вирішення проблем екологічного забруднення та досягнення сталої рівноваги між господарськими потребами та охороною довкілля.

Розглядаючи перші можливості, інноваційні системи утилізації відходів дозволяють ефек-

## Ключові стратегії екологічної стійкості портової інфраструктури

Ключова стратегія	Спрямованість	Очікувані результати	Засоби і впровадження
Використання інтелектуальних систем управління логістикою та транспортом	Оптимізація маршрутів, зменшення заторів, підвищення ефективності руху	Зменшення енергетичних витрат, зниження викидів, скорочення часу на перевезення	Впровадження аналітичних та управлінських систем, розробка алгоритмів
Використання технологій віддаленого моніторингу та керування транспортними засобами	Оптимізація руху суден, адаптація до погодних умов, ефективне використання ресурсів	Зменшення споживання палива, зниження викидів, покращення ефективності руху	Встановлення систем моніторингу, розробка віддалених систем управління
Впровадження мультимодальних перевезень	Оптимальне поєднання різних видів транспорту, зменшення часу доставки та вартості перевезень	Зменшення часу та вартості перевезень, зниження споживання енергії, зменшення викидів	Розробка інтегрованих логістичних систем, управління та моніторинг руху
Використання відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, вітрові установки)	Забезпечення джерел енергії з низьким впливом на довкілля, зменшення енергетичних витрат	Зменшення використання нестійких джерел енергії, зменшення викидів парникових газів, підвищення сталості енергозабезпечення	Встановлення сонячних панелей, розробка технологій збереження та перерозподілу енергії

*Джерело: розроблено авторами на основі [9, 13]*

тивно вирішувати проблему їх накопичення та негативного впливу на довкілля. Сучасні методи переробки дозволяють знижувати обсяги відходів, піддавати їх рециклінгу та використовувати у виробничих процесах, що у свою чергу сприяє зменшенню потреби у природних ресурсах та покращенню якості навколишнього середовища.

Важливим аспектом є створення замкнутого екологічного циклу, де відходи стають сировиною для нових продуктів. Це дозволяє уникнути забруднення природних ресурсів, зменшити потребу у видобутку та зберегти енергію, яка б витрачалася на виробництво з нуля. Спільно з інноваційними методами утилізації, такими як біохімічний розклад та технології піролізу, можна досягти максимальної ефективності використання ресурсів та знизити викиди забруднюючих речовин [12].

Однак для успішного впровадження інноваційних систем утилізації відходів, необхідне забезпечення не лише технічної підтримки, а й адаптації до регулюючого середовища та забезпечення підтримки від владних органів та галузевих гравців. Крім того, важливо навчати персонал сучасним методам утилізації та створювати свідомість щодо екологічної важливості відповідального відношення до відходів.

Усе це підсилює переконання, що впровадження інноваційних систем утилізації відходів може бути кроком до досягнення екологічної стійкості портового комплексу, сприяючи утворенню

замкнутого екологічного циклу та забезпечуючи збереження довкілля для майбутніх поколінь.

Проаналізуємо приклади успішної зеленої модернізації портової інфраструктури, розглядаючи їхні технічні аспекти та позитивні результати (таблиця 4). Ці приклади демонструють, як впровадження зелених технологій може вплинути на підвищення екологічної стійкості портових комплексів.

Ці приклади підкреслюють важливість і позитивний вплив впровадження зелених технологій у портові комплекси. Вони демонструють, як зелена модернізація може призвести до значних змін у технічних процесах та позитивно позначитися на довкіллі, знизити викиди та сприяти створенню більш стійкого та екологічного портового середовища.

Інженерні обґрунтування та аналіз впливу зелених технологій на технічну, економічну та екологічну сфери може бути наступним [16]:

1. Технічна сфера. Заміна традиційних дизельних двигунів на електричні або гібридні системи для судноплавства може покращити ефективність використання палива та знизити викиди шкідливих речовин, таких як оксиди азоту та сірки. Встановлення сонячних панелей та вітрових установок на територіях портового комплексу забезпечить виробництво екологічно чистої електроенергії для потреб порту. Автоматизовані системи керування та віддаленого моніторингу допоможуть оптимізувати робочі процеси та ресурси, забезпечуючи ефективно використання інфраструктури.

## Впровадження зелених технологій у портові комплекси світу

Приклад впровадження	Технологія або стратегія	Технічні аспекти	Позитивні результати	Застосування
Використання сонячних енергосистем у порту Гамбург	Встановлення сонячних панелей для генерації електроенергії	Проектування, монтаж, зберігання та розподіл енергії	Зменшення викидів CO <sub>2</sub> , економія енергоспоживання	Території портового комплексу, дахи складських приміщень
Заміна традиційних дизельних двигунів на електричні або гібридні системи для судноплавства	Використання електричних та гібридних систем для суден	Розробка та встановлення електричних систем, системи зарядки	Зниження викидів, покращення якості повітря та води, зменшення споживання енергії	Порт Стокгольм, Порт Роттердам, Порт Гамбург
Інтеграція автоматизованих систем керування у портовому комплексі	Впровадження систем автоматизації та віддаленого керування	Розробка програмного забезпечення інтеграції різних систем	Підвищення ефективності, зменшення енергетичних витрат, оптимізація використання ресурсів	Порт Шанхай, Порт Лос-Анджелес, Порт Роттердам
Використання електричних транспортних засобів для внутрішньо-портового руху	Встановлення зарядної інфраструктури для електромобілів	Розробка інфраструктури для зарядки, інтеграція з внутрішніми системами транспорту	Зниження залежності від палива, зменшення викидів, поліпшення екологічної обстановки	Порт Осло, Порт Копенгаген, Порт Гамбург
Впровадження системи сортування та переробки відходів у порту	Встановлення автоматизованих зон сортування для відходів	Розробка системи, інтеграція з обробкою відходів	Зниження обсягів відходів, покращення ефективності утилізації, зменшення забруднення	Порт Роттердам, Порт Гамбург, Порт Лос-Анджелес

Джерело: розроблено авторами [5, 15]

2. Економічна сфера. Впровадження зелених технологій може призвести до значних економічних вигод. Зокрема, зменшення споживання палива та енергії у результаті використання ефективних систем енергозбереження та відновлювальних джерел енергії призведе до зниження витрат на енергоносії. Автоматизація та оптимізація робочих процесів допоможе знизити витрати на операції та обслуговування порту.

3. Екологічна сфера. Впровадження зелених технологій сприятиме значному зниженню викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин, зменшить вплив на якість повітря та води. Також, використання відновлювальних джерел енергії дозволить знизити енергетичну залежність порту від традиційних джерел палива. Покращення утилізації відходів та впровадження передових методів переробки зменшать екологічне навантаження на природні ресурси.

Всі ці інженерні рішення сприятимуть досягненню екологічної стійкості портового комплексу, забезпечать більш раціональне використання

ресурсів та позитивно відзначаться на економічному та екологічному стані порту.

Припустимо, що порт має велику площу дахів на складських приміщеннях, де можна встановити сонячні панелі. Розглянемо, як це може вплинути на економію електроенергії та зниження викидів CO<sub>2</sub> (таблиця 5).

Приклад результатів розрахунків щодо встановлення сонячних панелей на дахах складських приміщень портового комплексу наведено у таблиці 6.

Вплив утилізації відходів на різні аспекти функціонування портового комплексу є актуальним предметом дослідження у сучасному світі. У зв'язку зі зростаючою увагою до екологічних проблем, ефективне управління відходами стає невід'ємною частиною стратегічного планування і розвитку портових інфраструктур. У даному контексті, таблиця 7 надає аналіз впливу процесів утилізації відходів на ключові аспекти портового комплексу, зокрема технічну, економічну та екологічну сфери.

Таблиця 5

**Вплив використання сонячних енергосистем на технічну, економічну та екологічну сфери портового комплексу**

Впливовий аспект	Технічна сфера	Економічна сфера	Екологічна сфера
Генерація електроенергії	Встановлення сонячних панелей та інфраструктури для їхньої роботи	Зменшення витрат на електроенергію порту	Зниження викидів CO <sub>2</sub> іншими забруднюючими речовинами через використання альтернативного джерела енергії
Зменшення витрат палива та енергії	Зменшення залежності від традиційних джерел палива для роботи двигунів суден та інших технічних систем	Зниження витрат на пальне для генерації електроенергії та операцій порту	Зниження використання вуглецю та інших шкідливих речовин за рахунок використання сонячної енергії
Зниження обсягів викидів CO <sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин	Мінімізація викидів токсичних газів та частки CO <sub>2</sub> завдяки меншому використанню палива та енергії	Зменшення можливих платежів за викиди CO <sub>2</sub> відповідно до регулюючих стандартів	Зменшення негативного впливу на якість повітря та води через зниження викидів та споживання енергії у процесах портових операцій

*Джерело: розроблено авторами*

Таблиця 6

**Результати розрахунків використання сонячних енергосистем на технічну, економічну та екологічну сфери портового комплексу**

Впливовий аспект	Технічна сфера	Економічна сфера	Екологічна сфера
Потужність сонячних панелей	200 кВт		
Річна генерація електроенергії	292 000 кВт-год		
Вартість електроенергії з мережі		\$0,12 за кВт-год	
Заощадження на електроенергії		\$34 920	
Викид CO <sub>2</sub> за кожен кВт-год			0,5 кг CO <sub>2</sub> за кВт-год
Загальний зниження викидів CO <sub>2</sub>			146 000 кг CO <sub>2</sub> (146 тонн)

*Джерело: розроблено авторами*

Таблиця 7

**Вплив утилізації відходів на технічну, економічну та екологічну сфери портового комплексу**

Впливовий аспект	Технічна сфера	Економічна сфера	Екологічна сфера
Обсяг відходів	Зменшення обсягу відходів, що потребують утилізації		
Технічні рішення утилізації	Встановлення сучасних систем сортування та переробки		
Вартість утилізації відходів		Зниження витрат на вивезення та знищення відходів	
Зменшення негативного впливу на довкілля	Зменшення негативного впливу великого обсягу відходів на навколишнє середовище завдяки їхньому оптимальному утилізованому знищенню		Зниження негативного впливу забруднюючих речовин на природні ресурси та забруднення повітря та води

*Джерело: розроблено авторами*

Технічні рішення, обґрунтовані дослідженнями, включають у себе впровадження зелених технологій, оптимізацію процесів споживання ресурсів, та розробку ефективних систем утилізації відходів. Рекомендації з організаційного управління та технологічних інновацій допомагають встановити баланс між господарськими потребами порту та його екологічною відповідальністю.

Цей підхід до розробки рекомендацій та реалізації технічних рішень допомагає досягнути гармонії між розвитком портового сектору та збере-

женням довкілля. Науково-обґрунтовані підходи створюють основу для збалансованого росту, забезпечуючи ефективне використання ресурсів та покращення якості навколишнього середовища (таблиця 8).

Отже, результати дослідження підкреслюють, що впровадження технічних інновацій та зелених технологій у портовому секторі відкриває перед нами широкі можливості для забезпечення сталого розвитку. Однак цей процес вимагає системного підходу, детального технічного знання

## Рекомендації для підвищення стійкості портової інфраструктури

№	Рекомендація	Очікувані результати
1	Впровадження сонячних енергосистем для забезпечення часткового живлення портового комплексу	Зниження витрат на електроенергію, зменшення викидів CO <sub>2</sub> , забезпечення енергетичної незалежності
2	Застосування ефективних систем сортування та переробки відходів для зниження негативного впливу на навколишнє середовище	Зменшення кількості відходів, покращення якості повітря та води, зменшення забруднення
3	Використання альтернативних джерел енергії, таких як вітрові установки, для резервного живлення порту	Зменшення ризику зупинки діяльності порту при відключенні електроенергії з мережі
4	Розробка та впровадження ефективних систем моніторингу викидів та якості повітря та води	Вчасне виявлення забруднень та можливість швидкого реагування на них
5	Вдосконалення транспортних та логістичних процесів для оптимізації маршрутів та зниження енергетичних витрат	Зменшення часу та витрат на транспортні операції, зменшення споживання палива
6	Впровадження інтелектуальних систем управління для підвищення ефективності операцій та ресурсозбереження	Оптимізація ресурсів, зниження витрат, покращення ефективності операцій
7	Розвиток програм екологічної освіти та підвищення свідомості персоналу стосовно важливості екологічної відповідальності	Підвищення свідомості персоналу, врахування екологічних аспектів у роботі
8	Встановлення ефективних систем моніторингу використання водних ресурсів та реалізація заходів з їх раціонального використання	Зменшення витрат водних ресурсів, забезпечення стійкого водозабезпечення

*Джерело: розроблено авторами*

та активної співпраці всіх зацікавлених сторін, включаючи власників портів, урядові органи, наукову спільноту та бізнес-середовище.

Зелені технології та інновації можуть стати драйверами позитивних змін, забезпечуючи відчутний зріст ефективності, зменшення негативного впливу на довкілля та поліпшення якості життя. Проте важливо враховувати складність цього процесу, який потребує інтегрованого підходу до впровадження інновацій, їхнього адаптування під конкретні умови та постійного моніторингу результатів.

Таким чином, ефективне впровадження зелених технологій та технічних інновацій у портовому секторі вимагає взаємодії та співпраці між різними суб'єктами, а також розуміння, що це не тільки перспективна можливість, а й необхідний крок у напрямку сталого розвитку, збереження довкілля та забезпечення майбутніх поколінь належною спадщиною.

**Висновки.** У світлі зростаючого усвідомлення екологічних викликів, проблема екологічної стійкості портової інфраструктури набуває важливості як на рівні локальних громад, так і на глобальному масштабі. Дослідження, присвячені впровадженню зелених технологій та енергоефективних рішень у портовому секторі, вказують на необхідність переходу до сталого розвитку, забезпечення збалансованого поєднання економічних і соціальних інтересів з екологічною відповідальністю.

Аналіз проблем, пов'язаних з негативним впливом портової інфраструктури, показав, що впровадження зелених технологій може значно знизити екологічний відбиток. Використання альтернативних джерел енергії, оптимізація логістичних процесів, вдосконалення систем утилізації відходів – це лише декілька напрямків, які спрямовані на поліпшення якості довкілля та збереження ресурсів.

Проте, варто відзначити, що впровадження зелених технологій вимагає не тільки фінансових і технічних зусиль, але й сприйняття змін з боку усіх зацікавлених сторін. Системний підхід, наукові обґрунтування та координація дій є ключовими аспектами успішної реалізації зелених ініціатив у портовій інфраструктурі.

Для подальших досліджень варто розглянути більш глибокий аналіз конкретних технічних рішень та їхнього впливу на різні сфери, включаючи більш докладний економічний аналіз, оцінку соціального впливу та можливостей впровадження у різних географічних умовах. Також важливим є дослідження взаємозв'язку між різними технічними рішеннями та їхнім впливом на досягнення цілей сталого розвитку.

У підсумку, впровадження зелених технологій та енергоефективних рішень у портовому секторі не тільки сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, але й покладе основи для сталого розвитку портової інфраструктури, забезпечуючи баланс між економічними і екологічними інтересами.



## Список літератури:

1. Бойченко М. В. Зелена логістика вантажоперевезень: проблеми, шляхи вирішення. Вісник економічної науки України. 2021. № 2 (41). С. 152-155. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2\(41\).152-155](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2021.2(41).152-155)
2. Власова В.П., Рябова К.Ю. Вплив глобальної «зеленої» трансформації економіки на морські порти Транспорт та логістика: сучасні виклики та перспективи розвитку (Transport & Logistics: T 65 Current Challenges and Prospects): матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 18 листопада 2021 р. / [під наук ред. Ільченко С. В.]; НАНУ, МОНУ та ін. – Одеса: ДУ ІРЕЕД НАН України, 2021. – 166 с. С. 98-101.
3. Жарська І.О., Марчук І.С., Орловська С.С. Екологічні аспекти логістичної діяльності на засадах сталого розвитку. Науковий вісник Одеського національного економічного університету: зб. наук. праць; за ред.: В.В. Коваленко (голов. ред.). (ISSN 2409-9260). Одеса: Одеський національний економічний університет. 2022. № 9-10 (298-299). С. 110-117.
4. Петренко, О. І., Шматок, Ю. В. Стан вітчизняного морського середовища: проблеми та можливі шляхи їх подолання. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (2(78)). 2017, pp. 63-72.
5. Трушкіна Н. В. Трансформація транспортно-логістичної системи в Україні на засадах зеленої логістики. Економічний вісник Донбасу. 2019. № 2(56). С. 151-161. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-2\(56\)-151-161](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-2(56)-151-161).
6. Щербина В.В. Проблеми та завдання розвитку портової логістики України // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць, 2019. № 2 (67). С. 89-101. DOI: [10.31375/2226-1915-2019-2-89-101](https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-2-89-101).
7. Green logistics, kassbohrer and poland's erontrans to become partners. URL: <https://www.sustainabletruckvan.com/kassbohrer-erontrans-partners-green-logistics/>
8. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics / Ed by A. Mckinnon, S. Cullinane, M. Browne, A. Whiteing. London: Kogan Page, 2010. 385 p.
9. Duan X. Green logistic network design: intermodal transportation planning and vehicle routing problems. University of Louisville, 2016. 167 p.
10. Jedliński M. Między ekologią a ekonomią szkic problematyki zielonej logistyki. Uczelniane PWSZ im. angelusa silesiusa w wałbrzychu. 2010.
11. Krzysztof Zowada. Green Logistics: The Way to Environmental Sustainability of Logistics. Empirical Evidence from Polish SMEs. 2020, Vol. 9, no. 4. P. 231.
12. Li Y. B., Liu S. X. The forms of ecological logistics and its relationship under the globalization. 2008. Vol. 4, no. 3. P. 290–298.
13. Nataliia Boichuk, Sabina Kauf. Sustainable logistics: a framework for green city logistics – examples of polish cities. In conference proceeding of the 9th carpathian logistics congress. 2019. P. 339–346.
14. Ren R., Hu W., Dong J. A systematic literature review of green and sustainable logistics: bibliometric analysis, research trend and knowledge taxonomy. 2020. Vol. 17, no. 1. P. 261.
15. Richnák P. Gubová K. Green and reverse logistics in conditions of sustainable development in enterprises in Slovakia. Sustainability. 2021. No. 13. P. 581.
16. Vienožindienė M. Tamulienė V. Zaleckienė J. Green logistics practices seeking development of sustainability: evidence from lithuanian trans- portation and logistics companies. Energies. 2021. No. 14. P. 22.

### **Shkurko Ye.L., Bezklubna N.L. ECOLOGICAL SUSTAINABILITY OF PORT INFRASTRUCTURE: IMPLEMENTATION OF GREEN TECHNOLOGIES AND ENERGY-EFFICIENT SOLUTIONS**

*The article examines and analyzes the problem of ecological sustainability of port infrastructure, with a focus on the implementation of technical green solutions and innovative energy-efficient technologies. The research aims to uncover the complexity of ecological challenges arising from the functioning of ports, which significantly impact the environment. The analysis begins with defining key aspects of port infrastructure that contribute to a negative ecological footprint. Under careful investigation are emissions and the impact of shipping on air and water quality, energy and water resource consumption, as well as waste disposal issues. The article prominently explores the potential for implementing technical innovations to ensure the ecological sustainability of port complexes. The use of alternative energy sources, such as solar panels and wind turbines, is considered as a potential way to reduce emissions and energy dependence. The authors delve into improving transportation and logistics processes, allowing for route optimization, reduced energy consumption, and environmental impact. Automation and management technologies aid in enhancing operational efficiency and resource conservation. A crucial aspect involves exploring the possibilities of innovative waste disposal systems. Implementing advanced waste processing and recycling methods can address ecological pollution problems and contribute to a closed environmental cycle. The main focus lies in examining successful practical examples of green modernization of port infrastructure, highlighting their technical aspects and positive outcomes. The article authors provide engineering justifications and analyze the impact of these solutions on technical, economic, and environmental spheres. The research findings underscore that the incorporation of technical innovations and green technologies in the port sector is not only a realistic prospect but also requires a systematic approach, technical knowledge, and collaboration of all stakeholders. The authors' provision of scientifically grounded recommendations and technical solutions should enhance the resilience of port infrastructure, optimize resource utilization, and facilitate achieving a balance between economic needs and environmental responsibility.*

**Key words:** ecological sustainability, port infrastructure, green technologies, energy-efficient solutions, environmental impact, innovation, resource optimization.