

УДК 502.175:620.9:621.311

Гринів Степан Миколайович
(магістрант ПВНЗ «Європейський університет»)
ORCID ID 0009-0007-3645-5807

Малиновський Даниїл Андрійович
(магістрант ПВНЗ «Європейський університет»)
ORCID ID 0009-0002-8271-1481

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ: НАПРЯМИ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Анотація. У статті досліджено екологічну безпеку енергетичних об'єктів у контексті зниження впливу теплоелектростанцій та сонячних електростанцій на компоненти навколишнього природного середовища. Обґрунтовано, що енергетичні об'єкти, незалежно від технологічного типу, мають супроводжуватися системним екологічним оцінюванням, оскільки їх функціонування впливає на атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти, земельні ділянки, біорізноманіття, ландшафти та стан здоров'я населення. Визначено, що теплоелектростанції належать до об'єктів із підвищеним рівнем екологічного навантаження через викиди забруднювальних речовин, утворення золовідвалів, споживання води, теплове забруднення та викиди парникових газів. Водночас сонячні електростанції, хоча й забезпечують виробництво електроенергії без прямих викидів під час експлуатації, також можуть впливати на довкілля через зміну землекористування, трансформацію ландшафтів, вплив на ґрунтовий покрив, локальні екосистеми, а також через проблему поводження з фотоелектричними модулями після завершення строку їх експлуатації. Проаналізовано основні напрями підвищення екологічної безпеки енергетичних об'єктів, зокрема модернізацію очисного обладнання, упровадження найкращих доступних технологій, екологічний моніторинг, оцінювання впливу на довкілля, рекультивацию земель, раціональне водокористування, розвиток системи управління відходами та планування життєвого циклу енергетичних установок.

Ключові слова: екологічна безпека, теплоелектростанції, сонячні електростанції, навколишнє природне середовище, оцінювання впливу на довкілля, забруднення, енергетичні об'єкти, сталий розвиток.

Постановка проблеми. Енергетика є однією з базових галузей економіки, оскільки забезпечує функціонування промисловості, транспорту, комунальної інфраструктури, соціальної сфери та побутових потреб населення. Водночас саме енергетичні об'єкти належать до джерел істотного впливу на довкілля, що зумовлює необхідність формування ефективної системи екологічної безпеки. Особливої актуальності це питання набуває в умовах трансформації енергетичного сектору, коли поряд із традиційними тепловими електростанціями активно розвиваються об'єкти відновлюваної енергетики, зокрема сонячні електростанції.

Теплоелектростанції історично відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності енергопостачання, однак їхня діяльність супроводжується значним екологічним навантаженням. Основними факторами впливу є викиди діоксиду сірки, оксидів азоту, пилу, вуглекислого газу, важких металів, утворення золошлакових відходів, використання значних обсягів води для технологічних потреб, а також вплив на земельні ресурси через розміщення промислових майданчиків і відвалів. Європейські документи щодо промислових викидів окремо підкреслюють необхідність зменшення впливу великих spalювальних установок на

здоров'я людей і довкілля шляхом застосування сучасних норм регулювання та найкращих доступних технологій.

Сонячні електростанції розглядаються як важливий напрям декарбонізації енергетики, оскільки під час експлуатації вони не здійснюють прямих викидів продуктів згоряння палива. Проте їх не можна вважати повністю нейтральними щодо довкілля. Будівництво та експлуатація сонячних електростанцій пов'язані з використанням земельних ділянок, зміною ландшафтною структури територій, можливим впливом на ґрунти, рослинний покрив, місця існування видів, а також із необхідністю належного поводження з фотоелектричними модулями після завершення їхнього життєвого циклу. Міжнародні дослідження у сфері фотоелектричної енергетики акцентують увагу на важливості проєктування модулів з урахуванням подальшої переробки та повторного використання матеріалів.

Проблема полягає в тому, що екологічна безпека енергетичних об'єктів часто розглядається фрагментарно: для теплоелектростанцій - переважно через призму зменшення викидів, а для сонячних електростанцій - переважно через їхню кліматичну перевагу порівняно з викопною енергетикою. Водночас для об'єктивного оцінювання необхідний комплексний підхід, який враховує вплив на всі компоненти навколишнього природного середовища, стадії життєвого циклу об'єкта, технологічні особливості, просторове розміщення, ризики накопичення відходів, соціально-екологічні наслідки та можливості мінімізації негативного впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання екологічної безпеки енергетичних об'єктів активно розглядаються у працях вітчизняних і зарубіжних дослідників, а також у нормативних документах і звітах міжнародних організацій. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» визначає правові та організаційні засади оцінювання впливу господарської діяльності на довкілля з метою запобігання шкоді навколишньому природному середовищу та забезпечення екологічної безпеки. У документах Європейського Союзу щодо промислових викидів важливе місце займають підходи до зменшення забруднення від великих спалювальних установок, зокрема через упровадження найкращих доступних технологій, контроль викидів, підвищення ефективності технологічних процесів і посилення екологічних вимог до промислових об'єктів. Європейська комісія зазначає, що оновлений підхід у сфері промислових викидів спрямований на мінімізацію впливу забруднення на здоров'я людей і довкілля. У матеріалах ІРСС відновлювані джерела енергії розглядаються як важливий інструмент пом'якшення зміни клімату, оскільки загалом мають нижчі викиди парникових газів протягом життєвого циклу порівняно з викопними видами палива. Водночас у дослідженнях підкреслюється, що екологічна ефективність відновлюваної енергетики має оцінюватися не лише за показником викидів, а й з урахуванням ресурсного використання, просторового впливу, матеріалів, інфраструктури та завершення життєвого циклу технологій. У працях, присвячених фотоелектричним системам, значна увага приділяється впливу сонячних електростанцій на землекористування, біорізноманіття, водоспоживання, утворення відходів і необхідність розвитку технологій переробки сонячних панелей. Агентство з охорони довкілля США зазначає, що сонячні панелі зазвичай мають строк служби понад 25 років, однак після завершення експлуатації вони стають окремим потоком відходів, який потребує безпечного управління.

Водночас недостатньо дослідженим залишається комплексне порівняння екологічних ризиків теплоелектростанцій і сонячних електростанцій у межах єдиної логіки екологічної безпеки енергетичних об'єктів. Це зумовлює необхідність поглибленого аналізу напрямів зниження впливу обох типів енергетичних об'єктів на навколишнє природне середовище.

Мета статті. Метою статті є дослідження екологічної безпеки енергетичних об'єктів шляхом аналізу основних напрямів зниження впливу теплоелектростанцій і сонячних електростанцій на компоненти навколишнього природного середовища, а також

обґрунтування необхідності комплексного підходу до екологічного оцінювання, моніторингу та управління ризиками в енергетичному секторі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Екологічна безпека енергетичних об'єктів може бути визначена як такий стан їх проектування, будівництва, експлуатації та виведення з експлуатації, за якого вплив на довкілля є контрольованим, прогнозованим і мінімізованим до рівня, що не створює неприйнятних ризиків для природних екосистем, здоров'я населення та сталого розвитку територій. У цьому контексті важливо враховувати не лише безпосередні викиди чи відходи, а й увесь комплекс взаємодії енергетичного об'єкта з природним середовищем. Теплоелектростанції є складними промисловими об'єктами, екологічний вплив яких формується на декількох рівнях. Перший рівень пов'язаний із атмосферними викидами. Під час спалювання викопного палива утворюються забруднювальні речовини, які можуть впливати на якість атмосферного повітря, кислотність опадів, стан ґрунтів, рослинності та здоров'я населення. До основних забруднювачів належать діоксид сірки, оксиди азоту, пил, оксид вуглецю, важкі метали та парникові гази. Великі спалювальні установки в європейській практиці розглядаються як об'єкти, для яких необхідне жорстке регулювання викидів і впровадження найкращих доступних технологій. Другий рівень впливу теплоелектростанцій пов'язаний із водними ресурсами. ТЕС використовують воду для охолодження, технологічних процесів, очищення обладнання та інших виробничих потреб [1]. Це може спричиняти зміну температурного режиму водойм, впливати на водні екосистеми, погіршувати якість води внаслідок скидів, а також посилювати водний дефіцит у регіонах із напруженим водним балансом. Тому важливими напрямками підвищення екологічної безпеки є впровадження замкнених систем водопостачання, очищення стічних вод, контроль температури скидів і регулярний моніторинг гідрохімічних показників. Третій рівень екологічного впливу ТЕС пов'язаний із утворенням золошлакових відходів. Такі відходи потребують спеціального зберігання, контролю пиління, захисту ґрунтових і підземних вод від забруднення, а також пошуку шляхів утилізації або повторного використання. Неналежне управління золовідвалами може призводити до вторинного забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Тому підвищення екологічної безпеки теплоелектростанцій має включати модернізацію систем золовидалення, укріплення та рекультивацію золовідвалів, контроль фільтрації, а також розвиток технологій використання золошлакових матеріалів у будівництві за умови їхньої екологічної безпечності. Четвертий напрям стосується кліматичного впливу теплоелектростанцій. Спалювання викопного палива є джерелом викидів парникових газів, що пов'язано з глобальною проблемою зміни клімату. У цьому контексті напрями зниження впливу ТЕС мають включати підвищення енергоефективності, зменшення питомої витрати палива, модернізацію енергоблоків, використання менш вуглецево інтенсивних видів палива, розвиток систем моніторингу викидів і поступове скорочення залежності від застарілих технологій генерації.

Сонячні електростанції мають інший характер екологічного впливу. Їхня основна перевага полягає у відсутності прямих викидів забруднювальних речовин під час виробництва електроенергії. Вони не потребують спалювання палива, не утворюють золошлакових відходів і не створюють такого рівня атмосферного навантаження, як теплоелектростанції. Саме тому сонячна енергетика розглядається як важливий компонент переходу до низьковуглецевої економіки [2]. Однак екологічна безпека СЕС не може оцінюватися лише на стадії експлуатації.

Одним із ключових екологічних аспектів сонячних електростанцій є землекористування. Великі наземні СЕС потребують значних площ, що може призводити до вилучення земель із сільськогосподарського обігу, зміни структури ландшафтів, фрагментації середовищ існування видів і трансформації рослинного покриву. У разі розміщення СЕС на деградованих, малопродуктивних, техногенно порушених або непридатних для інтенсивного

землеробства землях екологічні ризики можуть бути нижчими. Натомість будівництво на природних територіях або землях із високою екологічною цінністю потребує особливо ретельного оцінювання. Вплив СЕС на ґрунтовий покрив пов'язаний із підготовкою території, монтажем конструкцій, прокладанням кабельних мереж, будівництвом під'їзних шляхів і зміною режиму поверхневого стоку. За неналежного планування можливі ущільнення ґрунтів, ерозійні процеси, порушення природного дренажу та зниження біологічної активності ґрунтового середовища. Для мінімізації цих ризиків доцільно передбачати збереження трав'яного покриву, обмеження надмірного зняття родючого шару ґрунту, використання протиерозійних заходів, екологічне планування дренажу та відновлення територій після будівельних робіт. Особливої уваги потребує вплив сонячних електростанцій на біорізноманіття. Будівництво СЕС може змінювати умови існування рослин і тварин, особливо якщо об'єкт розміщується поблизу природоохоронних територій, міграційних шляхів, водно-болотних угідь або місць проживання рідкісних видів [3]. Водночас за правильного екологічного планування територія СЕС може підтримувати певні форми біорізноманіття, наприклад через збереження природної рослинності між рядами панелей, обмеження використання пестицидів, створення буферних смуг і підтримку запилювачів. Важливим елементом екологічної безпеки СЕС є управління життєвим циклом фотоелектричних модулів. На етапі експлуатації сонячні панелі мають тривалий строк служби, однак після його завершення виникає питання утилізації, переробки або повторного використання матеріалів. Якщо система поводження з відпрацьованими модулями не буде сформована завчасно, розвиток сонячної енергетики може призвести до появи значних обсягів специфічних відходів. Тому напрями екологічної безпеки мають включати облік установлених модулів, відповідальність виробників і власників, розвиток інфраструктури переробки, маркування матеріалів і впровадження принципів циркулярної економіки.

Порівняльний аналіз теплоелектростанцій і сонячних електростанцій свідчить, що ці об'єкти мають різну структуру екологічного впливу. Для ТЕС домінуючими є викиди в атмосферне повітря, споживання палива, утворення відходів згоряння, водокористування та кліматичний вплив. Для СЕС основними аспектами є землекористування, просторовий вплив на ландшафт, можливі зміни ґрунтового покриву, вплив на біорізноманіття та управління відходами після завершення експлуатації. Отже, екологічна безпека енергетики не може зводитися до простого протиставлення «традиційної» та «зеленої» генерації; вона потребує оцінювання конкретного об'єкта, технології, території та життєвого циклу.

Важливим інструментом забезпечення екологічної безпеки є оцінювання впливу на довкілля. Для енергетичних об'єктів ця процедура дозволяє виявити потенційні ризики ще до початку реалізації проєкту, оцінити альтернативні варіанти розміщення, визначити можливі наслідки для компонентів довкілля, передбачити заходи з мінімізації впливу та забезпечити участь громадськості. Українське законодавство визначає ОВД як механізм запобігання шкоді довкіллю та забезпечення екологічної безпеки, що особливо важливо для об'єктів із потенційно значним екологічним впливом [4].

Для теплоелектростанцій ключовими напрямками зниження впливу є модернізація систем очищення димових газів, упровадження установок десульфуризації, зменшення викидів оксидів азоту, ефективне пиловловлення, перехід на технології з вищим коефіцієнтом корисної дії, удосконалення систем водоочищення, контроль золошлакових відходів, рекультивація порушених земель і впровадження автоматизованого моніторингу викидів. Такі заходи мають поєднуватися з екологічним аудитом і планами поступової технологічної модернізації. Для сонячних електростанцій напрями зниження впливу мають починатися з вибору земельної ділянки. Перевагу доцільно надавати територіям із низькою природоохоронною цінністю, деградованим або техногенно порушеним землям, дахам будівель, промисловим зонам, територіям колишніх кар'єрів або іншим ділянкам, де розміщення СЕС не призведе до істотної втрати цінних природних екосистем. Важливими є

також збереження природного дренажу, мінімізація земляних робіт, використання екологічно прийнятних методів догляду за територією, моніторинг біорізноманіття та планування демонтажу об'єкта після завершення експлуатації [5].

Екологічна безпека енергетичних об'єктів потребує системного моніторингу. Для ТЕС моніторинг має охоплювати викиди в атмосферу, якість повітря в зоні впливу, стан поверхневих і підземних вод, параметри скидів, стан ґрунтів, пиління золовідвалів, шумове навантаження та радіаційно-хімічні характеристики відходів у разі потреби. Для СЕС моніторинг має включати стан ґрунтового покриву, рослинності, біорізноманіття, поверхневого стоку, мікрокліматичних умов, цілісності обладнання та поведінки з відходами технічного обслуговування [6]. Важливим принципом є інтеграція екологічного управління в загальну систему менеджменту енергетичних підприємств. Екологічна безпека не повинна розглядатися як формальна вимога або додаткова процедура після ухвалення виробничих рішень. Вона має бути включена у планування інвестицій, вибір технологій, проєктування об'єктів, закупівлю обладнання, експлуатаційні регламенти, систему внутрішнього контролю та комунікацію з місцевими громадами. Особливу роль відіграє принцип життєвого циклу. Для теплоелектростанцій це означає врахування впливу від видобутку та транспортування палива до експлуатації, утворення відходів і виведення об'єкта з експлуатації. Для сонячних електростанцій - врахування виробництва обладнання, транспортування, будівництва, експлуатації, технічного обслуговування, демонтажу та переробки фотоелектричних модулів. Саме життєвий цикл дозволяє уникнути спрощених оцінок і забезпечити повніше розуміння реального екологічного впливу.

Таким чином, підвищення екологічної безпеки енергетичних об'єктів має базуватися на поєднанні технологічних, організаційних, правових, просторових і управлінських заходів. Для теплоелектростанцій пріоритетом є зменшення промислового забруднення та модернізація технологій. Для сонячних електростанцій - екологічно обґрунтоване розміщення, збереження земельних і біотичних ресурсів, а також відповідальне управління обладнанням після завершення експлуатації. Обидва напрями є важливими для формування екологічно безпечної, стійкої та збалансованої енергетичної системи.

Висновок. Екологічна безпека енергетичних об'єктів є важливою умовою сталого розвитку, оскільки енергетика забезпечує життєдіяльність економіки й суспільства, але водночас може створювати значне навантаження на довкілля. Теплоелектростанції та сонячні електростанції мають різний характер впливу на навколишнє природне середовище, що потребує диференційованих, але комплексних підходів до оцінювання та управління екологічними ризиками.

Для теплоелектростанцій основними напрямками зниження впливу є скорочення викидів забруднювальних речовин, модернізація очисного обладнання, підвищення енергоефективності, раціональне водокористування, безпечне поводження із золошлаковими відходами, рекультивація порушених земель і впровадження автоматизованого екологічного моніторингу. Для сонячних електростанцій ключовими є екологічно обґрунтований вибір території, мінімізація впливу на ґрунти та біорізноманіття, збереження природного дренажу, планування демонтажу, повторного використання й переробки фотоелектричних модулів.

Отже, розвиток енергетики має супроводжуватися не лише нарощуванням генерувальних потужностей, а й системним управлінням екологічною безпекою. Найбільш ефективним є підхід, який поєднує оцінювання впливу на довкілля, принцип життєвого циклу, впровадження найкращих доступних технологій, екологічний моніторинг, прозору взаємодію з громадськістю та відповідальне поводження з відходами. Реалізація таких заходів сприятиме зменшенню негативного впливу енергетичних об'єктів на довкілля, підвищенню екологічної безпеки територій і формуванню більш збалансованої енергетичної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII.
2. European Commission. Industrial and Livestock Rearing Emissions Directive. Brussels: European Commission, 2024.
3. European Commission. Best Available Techniques Reference Document for Large Combustion Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.
4. IPCC. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
5. IEA PVPS. PV Module Design for Recycling Guidelines. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2024.
6. U.S. Environmental Protection Agency. End-of-Life Solar Panels: Regulations and Management. Washington, DC: EPA, 2025.

REFERENCES

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). On Environmental Impact Assessment: Law of Ukraine № 2059-VIII.
2. European Commission. (2024). Industrial and Livestock Rearing Emissions Directive. Brussels: European Commission.
3. European Commission. (2017). Best Available Techniques Reference Document for Large Combustion Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
4. IPCC. (2011). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press.
5. IEA PVPS. (2024). PV Module Design for Recycling Guidelines. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.
6. U.S. Environmental Protection Agency. (2025). End-of-Life Solar Panels: Regulations and Management. Washington, DC: EPA.

Hryniv Stepan

(Master's student, Private Higher Educational Institution "European University")

Malynovskyi Danyil

(Master's student, Private Higher Educational Institution "European University")

ENVIRONMENTAL SAFETY OF ENERGY FACILITIES: DIRECTIONS FOR REDUCING THE IMPACT OF THERMAL POWER PLANTS AND SOLAR POWER PLANTS ON THE NATURAL ENVIRONMENT

Abstract. The article examines the environmental safety of energy facilities in the context of reducing the impact of thermal power plants and solar power plants on the components of the natural environment. It is substantiated that energy facilities, regardless of their technological type, require systematic environmental assessment, since their construction and operation may affect atmospheric air, water resources, soils, land plots, biodiversity, landscapes and public health. It is determined that thermal power plants are facilities with a high level of environmental pressure due to emissions of pollutants, formation of ash and slag waste, water consumption, thermal pollution and greenhouse gas emissions. At the same time, solar power plants, although they generate electricity without direct emissions during operation, may also affect the environment through land use change, landscape transformation, impacts on soils, local ecosystems and the need to manage photovoltaic modules after the end of their service life. The article analyzes the main directions for improving the environmental safety of energy facilities, including modernization of treatment equipment, implementation of best available techniques, environmental monitoring, environmental impact assessment, land reclamation, rational water use, development of waste management systems and life-cycle planning of energy installations. It is concluded that the environmental safety of energy facilities should be based on a comprehensive approach combining technological modernization, environmental assessment, monitoring, responsible spatial planning and circular economy principles.

Keywords: environmental safety, thermal power plants, solar power plants, natural environment, environmental impact assessment, pollution, energy facilities, sustainable development.