

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто актуальність та методи геодезичного моніторингу технічного стану об'єктів енергетичної інфраструктури, зокрема трубопровідних мереж, із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). За результатами аналізу аналітичних та експериментальних досліджень підкреслено доцільність використання БПЛА для оперативного та точного збору даних про технічний стан об'єктів енергетичної інфраструктури в умовах підвищеної безпекової напруженості та обмеженого доступу. Запропоновані підходи, що включають аерофотознімання, лазерне сканування та тепловізійний контроль, спрямовані на своєчасне виявлення деформацій, пошкоджень та ризиків аварій. Матеріали геодезичного моніторингу дозволять запропонувати заходи, що забезпечать стабільне функціонування стратегічних об'єктів та мінімізацію аварійних ситуацій.

Ключові слова: БПЛА, безпекова ситуація, геодезичний моніторинг, деформації, енергетична інфраструктура, лазерне сканування, тепловізійний контроль, технічний стан.

Abstract

The relevance and methods of geodetic monitoring of the technical condition of energy infrastructure facilities, in particular pipeline networks, using unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. Based on the results of the analysis of analytical and experimental studies, the feasibility of using UAVs for the prompt and accurate collection of data on the technical condition of energy infrastructure facilities in conditions of increased security tension and limited access is emphasized. Approaches are proposed, including aerial photography, laser scanning and thermal imaging, aimed at timely detection of deformations, damage and risks. Geodetic monitoring materials will allow us to propose measures that will ensure the stable functioning of strategic facilities and minimize emergency situations.

Keywords: UAV, security situation, geodetic monitoring, deformations, energy infrastructure, laser scanning, thermal imaging, technical condition.

Вступ

Надійне функціонування об'єктів енергетичної інфраструктури, до якої належать магістральні трубопровідні мережі (для транспортування газу, нафти, води), є критично важливим для забезпечення національної економічної стійкості та безпеки життєдіяльності населення [1,2,3,4,5]. В умовах безпекової напруженості, спричиненої військовими конфліктами та зростанням техногенних ризиків, ці стратегічні об'єкти постійно перебувають під загрозою пошкоджень. Це вимагає впровадження високошвидкісних та точних методів діагностики технічного стану при їх пошкодженні. Традиційні наземні геодезичні методи (нівелювання, тахеометрія) є часозатратними, вимагають прямого доступу до об'єкта та несуть підвищену небезпеку для персоналу, особливо в зонах потенційних руйнувань [2,5,6,7]. Тому геодезичний моніторинг технічного стану інфраструктури із залученням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) став одним із ключових напрямків з оцінювання ризиків аварій. Використання БПЛА дозволяє оперативно отримувати геодезичну інформацію значних територій та збирати високоточні просторові дані про технічний стан споруд енергетичної інфраструктури. Отримана геоінформація забезпечує керівні органи актуальними даними для своєчасного виявлення деформацій, прогнозування аварійних ситуацій та

прийняття ефективних рішень щодо забезпечення функціонування об'єктів критичної інфраструктури.

Результати досліджень

Геодезичний моніторинг технічного стану об'єктів енергетичної інфраструктури з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є однією з сучасних технологій, що забезпечує високу точність, оперативність та безпеку контролю в умовах підвищеної безпекової напруженості [3,4]. Такі геоінноваційні технології дозволяють проводити комплексну та безперервну діагностику технічного стану критично важливих стратегічних об'єктів, наприклад розгалужених магістральних трубопроводних систем (газ, нафта, вода). Основна перевага використання БПЛА полягає у можливості просторового дистанційного зондування значних територій та важкодоступних ділянок, де традиційні наземні геодезичні методи є неефективними або несуть пряму загрозу для життя виконавців [8,9,10].

БПЛА оснащуються комплексом різноманітних геодезичних та діагностичних сенсорів, що функціонують у різних спектральних діапазонах, забезпечуючи отримання важливої інформації про технічний стан об'єктів інфраструктури. Високоточне аерофотознімання є базовим методом, який реалізується за допомогою професійних фотокамер із високою роздільною здатністю. Результатом виконаного аерофотознімання є створення деталізованих 3D-моделей та крупномасштабних ортофотопланів. Отримані геоінформаційні матеріали дозволяють візуально та метрично оцінювати зовнішній технічний стан об'єктів, а також своєчасно фіксувати просідання ґрунту над підземними комунікаціями, виявляти зсуви ґрунту у схилових зонах, реєструвати механічні руйнування елементів конструкцій трубопроводних мереж [4].

Суттєву роль у високоточному геоінформаційному моніторингу технічного стану енергетичної інфраструктури відіграє лазерне сканування, інтегроване на борт БПЛА. Цей метод дозволяє отримати щільну «хмару точок» з міліметровою точністю, що є незамінним для геометричного контролю, а також точне вимірювання лінійних відхилень та мікродеформацій трубопроводів від їх проектного положення.

Доповненням до просторового аналізу технічного стану елементів критичної інфраструктури є тепловізійний контроль, що здійснюється за допомогою високочутливих тепловізійних камер, встановлених на БПЛА [8]. Цей метод дозволяє виявляти термічні аномалії, які є прямим індикатором прихованих дефектів. Наприклад, над трубопроводами фіксується аномальне охолодження або нагрівання ґрунту, що сигналізує про витік газу, нафти чи гарячої води.

Отримані геодезичні дані проходять комплексну обробку та інтегруються в Геоінформаційні системи (ГІС). База геодезичних даних дозволяє здійснювати порівняльний аналіз технічного стану моделей з історичними даними або проектними параметрами об'єктів енергетичної інфраструктури. В результаті можливо не лише визначити точні просторові координати пошкоджень, але й оцінити динаміку їхнього розвитку. Результати аналізу геоінформаційних даних формують актуальну картографічну основу та є підґрунтям розроблення проектних рішень та оперативного планування відновлювальних робіт. При цьому забезпечується мінімізація часу реагування на аварійні ситуації та знижуються ризики масштабних техногенних та екологічних наслідків пошкодження об'єктів енергетичної інфраструктури.

Висновок

Геодезичний моніторинг споруд енергетичної інфраструктури за допомогою БПЛА є досить ефективним способом для забезпечення національної безпеки, особливо в умовах воєнного часу. Цей підхід дає змогу оперативно та високоточно діагностувати вразливі об'єкти. Комплексне використання БПЛА (аерофотознімання, лазерне сканування, тепловізія) не лише фіксує пошкодження, але й дозволяє прогнозувати ризики їх розвитку. Завдяки ГІС-аналізу геопросторових даних можна швидко планувати відновлювальні роботи. Таким чином геодезичний моніторинг є надійним елементом системи управління з мінімізації загрози масштабних катастроф та сприяє забезпеченню стійкості і безперебійності роботи життєво важливої енергетичної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіон України. 2018. с. 30.
2. ДБН В.1.3-2. Геодезичні роботи в будівництві. К.: Мінрегіонбуд України. 2020. 70 с.
3. Геодезичне забезпечення в умовах війни: <https://meja.com.ua/geodeziya-pid-chas-vijny/> (дата звернення: 03.10.2025)
4. Моніторинг трубопроводів з використанням GNSS: <https://gpsgeometer.com/blog/how-a-handheld-gnss-rtk-device-can-help-your-pipe-laying-job?srltid=AfmBOoqn9Q7w2cbkJVLDfaNJQSgdj0KMWI9LoFoOQSiG0yLbGMMxkRsA> (дата звернення: 03.10.2025)
5. Лівінський О.М. та інші. Контроль якості будівельно-монтажних робіт: курс лекцій. К.: «МП Леся». 2018. 776 с.
6. Ратушняк Г.С., Панкевич О.Д., Бікс Ю.С., Вовк Т.Ю. Геодезичне забезпечення будівництва: навчальний посібник. Ч. 2, Вінниця, ВНТУ, 2024. 90 с.
7. Ратушняк Г.С., Лялюк А.О. Геодезичний контроль гідростатичним нівелюванням якості будівельно-монтажних робіт // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. №1(36), 2024. С. 173-176.
8. Тепловізійний контроль інфраструктури: <https://akvilonpro.ua/ua/energoberezhenie/teplovizionnoye-obsledovaniye-kiev/teploadit-elektrostanovok.html> (дата звернення: 03.10.2025)
9. Волошина Ю.В., Ратушняк Г.С. Геодезичний моніторинг технічного стану трубопровідних мереж в умовах безпекової ситуації. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці, дослідження, проблеми, перспективи», Вінниця, 2025. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/47779/22915.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
10. Ратушняк Г.С. Геодезичний моніторинг технічного стану вежових споруд в умовах воєнного екоциду // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Том 38. № 1. 2025. с. 143-150.

Ратушняк Георгій Сергійович – професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ratusnakg@gmail.com ORCID 0000- 0001-9656-5150

Волошина Юлія Володимирівна – студентка групи СМ-246, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yulkapechalka85@gmail.com