

ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КРЕНУ ДИМОВИХ ТРУБ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЕКОЦИДУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто проблему оцінювання точності визначення кренів димових труб об'єктів енергетичної інфраструктури в умовах воєнного екоциду. Встановлено, що регулярний геодезичний моніторинг деформацій високих споруд є критично необхідним для запобігання їх руйнуванню та забезпечення безпечної експлуатації. Проаналізовано сучасні методи вимірювання кренів: електронна тахеометрія, наземне лазерне сканування та координатний метод із застосуванням способу найменших квадратів. Особливу увагу приділено оцінці точності вимірювань з урахуванням впливу зовнішніх факторів та пошкоджень, спричинених бойовими діями. Запропоновано рекомендації щодо підвищення достовірності результатів геодезичного моніторингу в умовах підвищених ризиків.

Ключові слова: крен димової труби, геодезичний моніторинг, оцінювання точності, енергетична інфраструктура, воєнний екоцид, метод найменших квадратів, тахеометрія.

Abstract

The problem of assessing the accuracy of determining the tilts of chimneys of energy infrastructure facilities in conditions of military ecocide is considered. It has been established that regular geodetic monitoring of deformations of tall structures is critically necessary to prevent their destruction and ensure safe operation. Modern methods of measuring tilts are analyzed: electronic tachymetry, ground-based laser scanning, and the coordinate method using the least squares method. Particular attention is paid to assessing the accuracy of measurements, taking into account the influence of external factors and damage caused by hostilities. Recommendations are made to improve the reliability of geodetic monitoring results in high-risk conditions.

Keywords: smokestack tilt, geodetic monitoring, accuracy assessment, energy infrastructure, military ecocide, least squares method, tachymetry.

Вступ

Повномасштабна військова агресія проти України спричинила безпрецедентні руйнування об'єктів енергетичної інфраструктури. За даними екологічних досліджень, перші 12 місяців війни спричинили чистий приріст парникових газів на 120 мільйонів тонн, а екологічні збитки оцінюються у понад 57 мільярдів доларів США. Атаки на заводи, об'єкти агропромислового комплексу та водоканалізаційну інфраструктуру призвели до масштабного забруднення довкілля, що кваліфікується міжнародними експертами як "воєнний екоцид".

Серед об'єктів енергетичної інфраструктури особливу увагу привертають димові труби котелень, ТЕЦ та інших промислових підприємств. Ці споруди є надзвичайно важливими технологічними конструкціями, безпечна експлуатація яких є передумовою довготривалої та безаварійної роботи об'єктів енергетики. Димарі відносяться до класу високих тонких споруд, які зазнають пружних деформацій під впливом вітрових навантажень, нерівномірного осідання фундаментів та інших

зовнішніх чинників. Крен димової труби є небезпечним фактором, що може призвести до її руйнування внаслідок втрати стійкості або через перевищення граничного опору матеріалів, що спричинить значні економічні та людські втрати.

Метою даної роботи є дослідження методів оцінювання точності визначення кренів димових труб в умовах воєнного екоциду та розробка рекомендацій щодо підвищення достовірності геодезичного моніторингу. В умовах воєнних дій ризику суттєво зростають через можливі пошкодження конструкцій вибуховими хвилями, уламками, пожежами на промислових об'єктах, що потребує особливої уваги до точності вимірювань та інтерпретації їх результатів.

Результати досліджень

Для визначення кренів високих споруд використовуються різні геодезичні методи. Електронна тахеометрія базується на вимірюванні горизонтальних і вертикальних кутів та похилих відстаней до характерних точок об'єкта. Сучасні електронні тахеометри забезпечують середню квадратичну похибку вимірювання кутів $1,5''$ та похибку вимірювання відстаней $2 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$. Це означає, що на відстані 500 м до об'єкта похибка визначення положення точки становитиме близько 3 мм. При визначенні крену димової труби висотою 100 м інструментальна похибка методу дозволяє фіксувати відхилення з точністю до 5-8 мм за сприятливих умов спостереження. Основними факторами, що впливають на точність, є: пряма видимість між приладом та об'єктом, метеорологічні умови (температура, вологість, атмосферний тиск), а також відстань до споруди - при збільшенні відстані похибка лінійних вимірювань зростає пропорційно.

Наземне лазерне сканування являє собою метод дистанційного зондування, що дозволяє здійснювати швидко, безконтактне та точне вимірювання об'єктів. Сучасні лазерні сканери здатні вимірювати до 2 мільйонів точок за секунду з точністю визначення координат окремої точки на рівні 3-6 мм на відстані до 100 м. Однак результуюча точність визначення крену за хмарою точок може бути підвищена до 1-2 мм за рахунок усереднення великої кількості вимірів (метод найменших квадратів). Дослідження показують, що білі матові поверхні з відбивною здатністю близько 80% забезпечують на 15-20% кращу точність порівняно з чорними матовими поверхнями (відбивна здатність близько 20%), особливо при збільшенні відстані сканування понад 50 м. Основними обмеженнями є значні обчислювальні ресурси та вплив кута падіння променя - при кутах понад 60° похибка може зростати на 30-40%.

Координатний метод з урівноваженням способом найменших квадратів використовується для визначення положення великої кількості точок на поверхні труби для різних горизонтальних перерізів. Метод найменших квадратів дозволяє врахувати випадкові похибки вимірювань та отримати найбільш достовірні значення шуканих параметрів з одночасною оцінкою їх точності. Дослідження димової труби котельні в м. Рівне (діаметр нижнього перерізу 3,65 м, висота 100 м) показали, що величина крену склала близько 200 мм, причому зрівноважене значення крену відрізнялося від значення, обчисленого лише за крайніми точками спостереження, на 15-20 мм, що становить 7-10% від загальної величини. Середньоквадратична похибка визначення крену після урівноваження становила ± 5 мм, що цілком задовольняє нормативні вимоги (допустиме відхилення для таких споруд зазвичай не перевищує 0,0005 висоти, тобто 50 мм для 100-метрової труби).

В умовах воєнного екоциду з'являються додаткові фактори, що ускладнюють геодезичний моніторинг та впливають на його точність:

- фізичні пошкодження конструкцій вибуховими хвилями, уламками, пожежами, що створюють локальні деформації, які маскують загальний крен споруди;
- обмежений доступ до об'єктів через неможливість встановлення вимірювальних станцій в оптимальних місцях у зв'язку з небезпекою або руйнуванням інфраструктури;
- додаткові динамічні навантаження від вібрацій ґрунту та зміна гідрогеологічних умов внаслідок руйнування комунікацій;
- зміна властивостей ґрунтів основи через просочування нафтопродуктів та хімічних речовин, що може змінювати несучу здатність фундаментів.

Найвищу точність забезпечує комбінування методів: використання лазерного сканування для отримання детальної моделі споруди з наступним урівноваженням способом найменших квадратів та контрольними вимірами електронним тахеометром. Такий підхід дозволяє досягти точності визначення крену на рівні 1-2 мм, що цілком достатньо для моніторингу навіть найвідповідальніших об'єктів енергетичної інфраструктури.

Висновок

Регулярний геодезичний моніторинг деформацій димових труб є надзвичайно необхідним для безпечної експлуатації об'єктів енергетики, особливо в умовах воєнного екоциду. Найбільш ефективними методами визначення кренів є електронна тахеометрія для точних одиничних вимірювань, наземне лазерне сканування для отримання повної інформації про геометрію споруди та координатний метод способом найменших квадратів для мінімізації впливу випадкових похибок. Воєнні дії створюють додаткові фактори, що потребують розробки спеціальних методик оцінювання точності з урахуванням екстремальних умов експлуатації об'єктів. Проблема має важливе практичне значення для забезпечення енергетичної безпеки та запобігання техногенним катастрофам у воєнний та післявоєнний період.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д. Інженерна геодезія : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. 2-ге вид., перероб. і доп. Вінниця : ВНТУ, 2024. 180 с.
2. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2024. 98 с.
3. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2024. 90 с.
4. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Геодезичні роботи в будівництві : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2008. 179 с.
5. Лівінський О. М., Курок О. І., Ратушняк Г. С., Анохіна К. В., Гридякін В. О., Бондаренко М. І. Санітарно-технічні роботи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 280 с.
6. Войцехівський О., Попов В., Дорохова Н. Стійкість рівноваги високих димових труб на фундаментах мілкового закладання. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2017. № 2. С. 42-49.
7. Войтенко С., Шульц Р., Білоус М. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2009. Вип. I (17). С. 144-150.

Волошина Юлія Володимирівна – студентка групи СМ-24б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

yulkapechalka85@gmail.com

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