

УДК 624.131.53:620.197:621.548(477)

ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ СПОРУДИ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

І. Рутковська, к. т. н.

ORCID ID: 0009-0009-9051-5086

*Національний лісотехнічний університет України***Ю. Фабрика, к. т. н.**

ORCID ID: 0000-0002-1745-1356

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу<https://doi.org/10.31734/architecture2025.26.062>

Рутковська І., Фабрика Ю. Технічне обстеження та підсилення споруди вітрової електростанції

Розглянуто актуальні питання технічного обстеження та підсилення будівель і споруд у контексті сучасних вимог до надійності, довговічності та міцності конструкцій. Висвітлено методологічні підходи до оцінювання технічного стану об'єкта. Проаналізовано чинники, що впливають на зниження експлуатаційної придатності конструкцій, серед яких старіння матеріалів, вплив навколишнього середовища, динамічні й техногенні навантаження та порушення технології будівництва. Наведено результати технічного обстеження фундаменту вітроенергетичної установки, розташованої у межах Скибової зони Бескидської частини Карпат, та приклад підсилення методом ін'єктування. Описано інженерно-геологічні, кліматичні та конструктивні особливості ділянки та споруди.

Визначено поточний технічний стан несучих конструкцій, виявлено дефекти і розроблено ефективні рішення для підсилення бетонного фундаменту.

Обстеження проводили в декілька етапів, із застосуванням візуальних, інструментальних і лабораторних методів контролю. Встановлено наявність локальних порожнин і розшліпів у бетонній структурі, що знижують несучу здатність конструкції. Для їхнього усунення розроблено технологію ін'єктування цементного безусадкового розчину SikaGrout®-3350, який забезпечує високу початкову міцність, самоущільнення та довговічність.

Подано детальну послідовність ремонтних заходів, методику приготування та подачі матеріалу, вимоги до підготовки порожнин і контролю якості робіт. Запропоноване рішення дає змогу відновити монолітичність фундаменту, підвищити його експлуатаційну надійність і продовжити термін служби без демонтажу конструкції.

Отримані результати можуть бути використані для аналогічних об'єктів відновлюваної енергетики, зокрема в умовах підвищеної сейсмічності та складних ґрунтових характеристик.

Ключові слова: технічне обстеження, фундамент, вітрова електростанція, дефекти бетону, ін'єктування, підсилення конструкцій, SikaGrout-3350.

Rutkovska I., Fabryka Yu. Technical inspection and strengthening of a wind power plant structure

The article examines current issues related to the technical inspection and strengthening of buildings and structures in the context of modern requirements for reliability, durability, and safety. Methodological approaches to assessing the technical condition of facilities are presented, including visual inspection, instrumental measurements, non-destructive testing, and the use of digital monitoring technologies. The main factors contributing to the reduction of structural performance are analyzed, particularly material aging, environmental impact, dynamic and man-made loads, as well as construction technology violations. The article presents the results of a technical inspection of the foundation of a wind energy installation located within the Skybova zone of the Beskyd part of the Carpathians. The geological, climatic, and structural characteristics of the site and the structure are described.

The aim of the research is to determine the current technical condition of the load-bearing elements, identify structural defects, and develop effective methods for strengthening the concrete foundation.

The inspection was carried out in several stages using visual, instrumental, and laboratory testing methods. Local voids and zones of reduced concrete density were identified, which decrease the load-bearing capacity of the foundation. To eliminate these defects, a strengthening technology using SikaGrout®-3350 - a one-component, non-shrink, high-strength cementitious grout - was proposed.

The article details the sequence of repair operations, material preparation and injection procedures, and quality control requirements. The proposed solution restores the monolithic integrity of the concrete foundation, improves its reliability, and extends its service life without dismantling the structure.

The obtained results can be applied to similar renewable energy projects, especially in seismically active and geotechnically complex mountain regions of Ukraine.

Keywords: technical inspection, foundation, wind power plant, concrete defects, grouting, structural strengthening, SikaGrout-3350.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку відновлюваної енергетики питання забезпечення надійності та довговічності конструкцій вітрових електростанцій набуває особливої актуальності. Надійність експлуатації таких споруд безпосередньо залежить від технічного стану їхніх фундаментів та несучих елементів. Тож проведення технічного обстеження та своєчасного підсилення конструкцій є важливою складовою системи технічного моніторингу об'єктів енергетичної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика технічного обстеження та підсилення фундаментів енергетичних споруд, зокрема вітрових електростанцій, посідає важливе місце в сучасній будівельній науці. Питання забезпечення надійності та довговічності бетонних і залізобетонних фундаментів енергетичних споруд висвітлено в низці сучасних наукових праць. Дослідження [1–3] присвячені впливу експлуатаційних навантажень, динамічних коливань і сейсмічних факторів на роботу фундаментів у складних геологічних умовах.

Особливу увагу приділено використанню сучасних ін'єкційних технологій для відновлення несучої здатності фундаментів без зупинки експлуатації об'єктів [4–6].

У працях українських дослідників, таких як О. Мартин, І. Рутковська, Ю. Фабрика, В. Ковалишин, В. Кваша, І. Білик, розглянуто питання впливу динамічних навантажень та деформацій ґрунтової основи на стійкість і довговічність бетонних фундаментів. Л. Кондратюк і П. Рибак досліджували ефективність технологій ін'єктування тріщин і порожнин у бетонних конструкціях за допомогою полімерцементних і мікрокремнеземних складів. С. Глуховський та М. Бойко вивчали особливості роботи бетонних основ у сейсмонезбезпечних районах Карпатського регіону.

Серед зарубіжних науковців вагомий внесок зробили М. Feldmann (Німеччина), А. Neville (Велика Британія), J. Stark (Нідерланди), F. Collins (Австралія), S. Mindess (Канада), які досліджували процеси деградації та методи відновлення властивостей високоміцних бетонів.

Праці компаній Sika, BASF, Mapei, Hilti містять практичні рекомендації щодо використання високотехнологічних ін'єкційних сумішей і ремонтних розчинів для підсилення фундаментів без зупинки роботи обладнання.

Однак, незважаючи на значний науковий доробок, дослідження, присвячені адаптації цих технологій до умов вітроенергетичних споруд у гірських районах України, залишаються недостатньо висвітленими.

Саме тому актуальне комплексне технічне обстеження фундаментів вітряків із використанням сучасних неруйнівних методів діагностики та впровадженням адаптованих технологій підсилення.

Постановка завдання. Наше завдання – встановлення фактичного стану конструктивних елементів споруди, визначення ступеня фізичного зносу, характеру дефектів і пошкоджень, а також оцінка їхнього впливу на подальшу безпечну експлуатацію. Додатково здійснено аналіз умов експлуатації об'єкта та розроблено технологічні рекомендації щодо підсилення елементів фундаменту.

Виклад основного матеріалу. Досліджуваний будівельний майданчик вітрової електростанції розташований у межах Скибової зони Бескидської низько- і середньогірної зовнішньої частини крайових хребтів Карпат. Для цієї території характерний верховинський тип ландшафту, що визначається наявністю крутосхилих міжрічкових ділянок та порівняно вузьких терас у верхніх частинах гірських хребтів.

Згідно з Державним класифікатором будівель і споруд ДК 018-2000 [1], об'єкт належить до коду 2302.4 – електростанції на нетрадиційних джерелах енергії. Клас наслідків об'єкта – СС1, відповідно до вимог ДСТУ 8855:2019.

Кліматичні та інженерно-геологічні умови ділянки характерні такими показниками:

- кліматичний район: П, згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»;
- сейсмічність території: 6 балів за шкалою MSK, згідно з ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України»;
- середня температура найхолоднішої п'ятиденки: 19 °С;
- температурна зона будівництва: 2 (ДБН В.2.6-31:2006);
- швидкісний напір вітру (на висоті 10 м): 0,53 кПа;
- снігове навантаження: 1,42 кПа (ДБН В.1.2-2:2006);
- нормативна глибина промерзання ґрунту: 1,0 м.

Розрахункова сейсмічність ділянки становить 6 балів із 5 % імовірністю перевищення інтенсивності протягом 50 років. Ґрунти належать до І категорії за сейсмічними властивостями.

Конструктивна характеристика фундаменту

Фундамент типу Ф-1 під вітроелектроустановку має круглу форму в плані (рис. 1) і складається з кількох конструктивних частин:

- плитна частина діаметром 22,0 м, завтовшки від 1,0 до 2,54 м, виконана з бетону класу С35/45, W8, F100 із армуванням сталлю А400С;

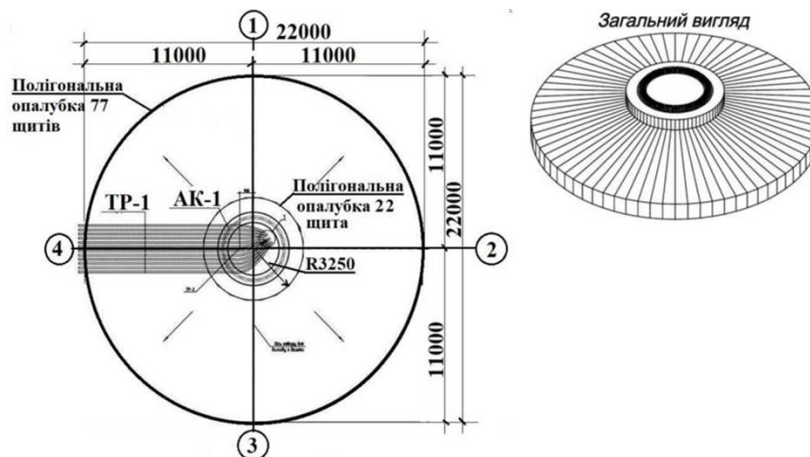


Рис. 1. Загальний вигляд фундаменту

- заглиблена частина (нижній пояс плити) діаметром 6,0 м, завтовшки 450 мм, із бетону C50/60, W8, F100;

- п'єдестал діаметром 6,5 м і висотою 0,5 м, армований багаторядною арматурою.

Опирання фундаменту здійснюється на ґрунт інженерно-геологічного елемента ІГЕ-4 з такими розрахунковими характеристиками: питома вага – 23,5 кН/м³; розрахунковий опір $R_{cm} = 50/5$ МПа.

Методика та етапи технічного обстеження

Технічне обстеження споруди виконували поетапно, відповідно до вимог чинних нормативних документів, для визначення фактичного технічного стану та забезпечення достовірності отриманих результатів.

Перший етап – попереднє візуальне обстеження. Оцінювали зовнішній стан елементів споруди, фіксували видимі дефекти та пошкодження. Під час підтягування гайок анкерних шпильок опорної плити виявили, що довжина шпильок перевищує проєктне значення приблизно на 12 см. Також зафіксовано поздовжні тріщини в бетонній заливці опорної пластини.

Для відбору проб бетону обирали ділянки, вільні від арматури, розташовані на відстані від країв і стиків, щоб мінімізувати вплив на несучу здатність конструкцій.

Другий етап – детальне інструментальне обстеження. Охоплював комплекс візуально-інструментальних робіт із фотофіксацією дефектів і випробуванням міцності бетону методом відбору зразків із конструкцій (рис. 2). Контрольні зразки у вигляді кернів вибурили спеціальним обладнанням, а подальші випробування виконували на гідравлічній машині KL 200/CE для визначення фактичної міцності бетону.

Третій етап – лабораторне визначення фізико-механічних властивостей матеріалів.

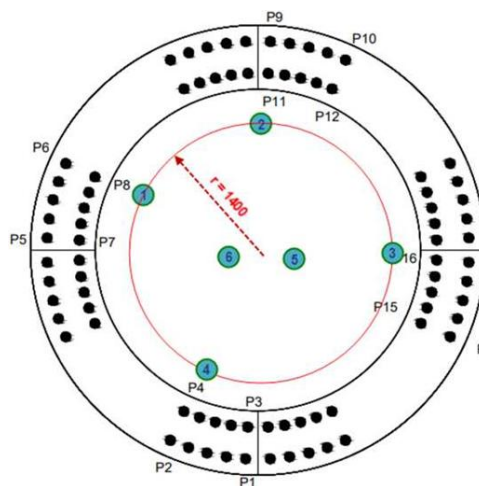


Рис. 2. Розташування кернів

Зразки бетону, відібрані під час польових робіт, випробовували на стиск у лабораторних умовах. Суть методики полягала у визначенні руйнівних навантажень із подальшим розрахунком напружень, що відповідають межі міцності бетону.

Місця відбору зразків визначали за результатами візуального огляду, з урахуванням збереження конструктивної цілісності споруди (рис. 3).



Рис. 3. Вимірювання розмірів кернів

Четвертий етап – узагальнення результатів. Отримані дані систематизовано у технічному звіті, який містить опис дефектів, результати випробувань та рекомендації щодо відновлення та підсилення конструкцій. Усі роботи проводили відповідно до затвердженого плану за участі представників замовника, що забезпечували доступ до досліджуваних елементів споруди.

Відповідно до результатів інструментального контролю та згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-224:2009, під час бетонування монолітних елементів необхідно здійснювати статистичний контроль міцності бетону з урахуванням його однорідності. Порівняння фактичної міцності без цього врахування не допускається. Під час аналізу зразків і геофізичного обстеження встановлено наявність таких дефектів фундаменту типу Ф-1:

- розуцільнення (розшарування) на глибині близько 720 мм;
- локальна порожнина на глибині 2100 мм;
- локальна порожнина на глибині 3000 мм;
- об'ємна порожнина під нижньою пластину анкерного кошика АК-1 на глибині близько 3200 мм.

Для визначення міцності бетону методом відбору зразків із конструкцій спеціалісти ТзОВ «НІКО БУД» вибурили та випробували шість кернів (№ 1–№ 6). Під час буріння зразки не зазнали ушкоджень, що свідчить про правильність методики відбору та якість проведення робіт.

На основі аналізу отриманих результатів було запропоновано метод усунення виявлених дефектів ін'єктуванням спеціальної ремонтної суміші у порожнини бетонної конструкції. Для цього рекомендовано використати матеріал SikaGrout®-3350, який є однокомпонентною цементною сумішшю з компенсованою усадкою та високими показниками початкової й кінцевої міцності. Цей матеріал призначений для заповнення порожнин у фундаментах сталевих та залізобетонних вітроагрегатів і забезпечує відновлення монолітності бетонного тіла.

Роботи з підсилення рекомендовано виконувати у два послідовні етапи:

– підготовчий етап, який передбачає розрахунок необхідного об'єму ремонтної суміші відповідно до проєктних креслень; виконання отвору діаметром близько 115 мм у нижній частині фундаменту, який буде використовуватися для ін'єктування; насичення порожнин чистою водою протягом 12 годин для покращення зчеплення розчину з бетоном. Безпосередньо перед ін'єктуванням вода цілковито видаляється;

– основний етап, який передбачає приготування суміші SikaGrout®-3350 відповідно до технологічної карти; закачування розчину бетононасосом через підготовлений отвір до повного заповнення порожнин.

Перед другим етапом заливки важливо провести попередню нараду з персоналом, визначити послідовність дій і перевірити наявність усього необхідного обладнання. Рекомендовані основні операції передбачають:

- доставку і розміщення матеріалів;
- перевірку прогнозу погоди та планування часу виконання робіт;
- підготовку майданчика і перевірку справності обладнання;
- контроль якості під час підливки та ущільнення розчину;
- очищення інструментів і утилізацію залишків матеріалу після завершення робіт;
- завершальний технічний огляд після затвердіння суміші.

Висновки. Технічне обстеження споруди вітрової електростанції дало змогу встановити наявність локальних дефектів фундаменту, що виникли внаслідок розуцільнення та нерівномірного твердіння бетонної суміші. Розроблена технологія підсилення із застосуванням матеріалу SikaGrout®-3350 забезпечує відновлення цілісності конструкції та підвищення її несучої здатності без необхідності демонтажу.

Вживання запропонованих заходів дасть змогу продовжити термін експлуатації споруди та гарантувати безпечну роботу вітроелектроустановки за розрахункових навантажень.

Бібліографічний список

1. ДК 018-2000. Державний класифікатор будівель і споруд. Київ: Мінбуд України, 2000.
2. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ: Мінбуд України, 2018.
3. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Київ: Мінбуд України, 2018.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження та впливи. Норми проєктування. Київ: Мінбуд України, 2006.
5. Технічний звіт. Інженерно-геологічні дослідження для Сколівської ВЕС, ПП «Енергопроектсервіс», Львів, 2021.
6. Технічний звіт “Обстеження фундаменту Ф-1 ВЕУ-5 Сколівської ВЕС”, ТзОВ “НІКО БУД”, Львів, 2023.
7. Робочий проєкт “Будівництво Сколівської вітрової електростанції”, ПП “ПРОЕКТ-БУД”, Львів, 2023.

Стаття надійшла 12.02.2025