

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИСЛОВОЇ ДИМОВОЇ ТРУБИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION AND GEOMETRIC PARAMETERS OF AN INDUSTRIAL CHIMNEY USING LASER SCANNING TECHNOLOGY

Котів Р.М., к.т.н, доцент, ORCID: 0000-0002-9827-9825, Вознюк Л.І., к.т.н, доцент, ORCID: 0000-0001-9512-8338, Гладисhev Д.Г., к.т.н, доцент, ORCID: 0000-0003-3978-8600, Рymar Я.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0009-0006-2232-4526 (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Kotiv R.M., Ph.D., associate professor, ORCID: 0000-0002-9827-9825, Vozniuk L.I., Ph.D., associate professor, ORCID: 0000-0001-9512-8338, Hladyshev D.H., Ph.D., associate professor, ORCID: 0000-0003-3978-8600, Rymar Ya. V., Ph.D., associate professor, ORCID: 0009-0006-2232-4526 (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Представлено результати комплексного обстеження технічного стану залізобетонної димової труби промислового підприємства. Науково-практична задача полягала у визначенні відхилень геометричних параметрів споруди від проектних значень та виявленні дефектів конструкції з використанням технології лазерного сканування. Одержані результати свідчать про наявність значних відхилень від вертикалі та дефектів, що дозволяє зробити висновок про незадовільний технічний стан димової труби та необхідність проведення регулярного спостереження і ремонтних робіт або демонтажу.

The article presents the results of a comprehensive survey of the technical condition of a reinforced concrete chimney of an industrial enterprise. The scientific and practical task was to determine deviations of the geometric parameters of the structure from the design values and to identify defects in the structure using laser scanning technology. The methodology of laser scanning, including a description of the equipment, scanning parameters, and data processing methods, is described in detail. The results indicate the presence of significant deviations from the vertical and defects, which allows

us to conclude that the chimney is in unsatisfactory technical condition and requires repair or dismantling. The use of laser scanning technology made it possible to obtain objective data on the geometric parameters of the chimney and to more accurately assess its technical condition. The findings can be used for making informed decisions on the future operation of the chimney, developing repair projects or dismantling, as well as for improving methods of surveying and monitoring industrial structures. The laser scanning technology is an effective tool for the survey of industrial chimneys, allowing to quickly and accurately obtain information about their geometric parameters, identify defects and assess the technical condition, improving the objectivity and efficiency of the survey and reducing risks to staff. The detailed analysis of the technical condition of the chimney can be used to improve the safety and reliability of industrial enterprises.

Ключові слова:

Димова труба, лазерне сканування, геометричні параметри, дефекти, обстеження, технічний стан промислової споруди, моніторинг
Chimney, laser scanning, geometric parameters, defects, inspection, technical condition of industrial facility, monitoring.

Вступ. Промислові димові труби є невід'ємною частиною інфраструктури багатьох промислових підприємств, забезпечуючи ефективне відведення продуктів згоряння та інших технологічних викидів в атмосферу. Забезпечення їх надійної та безпечної експлуатації є критично важливим для запобігання аварійним ситуаціям, забезпечення екологічної безпеки та безперебійної роботи підприємства. З часом, під впливом агресивних факторів навколишнього середовища (атмосферні опади, перепади температур, хімічний вплив викидів) та експлуатаційних навантажень (вібрація, термічні напруження), конструкції димових труб можуть зазнавати пошкоджень, що призводять до зміни їх геометричних параметрів, зменшення міцності та стійкості, появи тріщин та інших дефектів.

Традиційні методи обстеження димових труб, які базуються на візуальному огляді та локальних інструментальних вимірюваннях, часто є трудомісткими, вимагають значних часових витрат, можуть бути суб'єктивними та небезпечними для персоналу, особливо при обстеженні висотних споруд. Тому, в останні роки все більшої популярності набувають сучасні методи неруйнівного контролю, зокрема, технологія лазерного сканування, яка дозволяє отримати точну та детальну інформацію про геометричний стан об'єкта без безпосереднього контакту з ним.

Лазерне сканування надає можливість швидко та ефективно отримати тривимірну модель об'єкта з високою точністю, на основі якої можна

визначити його геометричні параметри, виявити дефекти, оцінити технічний стан та провести моніторинг змін у часі. Застосування лазерного сканування дозволяє значно підвищити об'єктивність, достовірність та ефективність обстеження димових труб, а також зменшити ризики для персоналу.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження технічного стану та діагностики промислових споруд, зокрема димових труб, є актуальною науково-технічною проблемою. Існує значна кількість публікацій, присвячених розробці та вдосконаленню методів обстеження, оцінки та моніторингу технічного стану таких об'єктів.

Методи обстеження будівель та споруд, включаючи візуальний огляд, інструментальні вимірювання, неруйнівний контроль та методи математичного моделювання, розглянуто в роботах [1, 2, 4]. Особлива увага приділена аналізу дефектів та пошкоджень, що виникають в конструкціях під впливом різних факторів, а також питанням технічної експлуатації, реконструкції та модернізації будівель [1, 2]. Автори підкреслюють важливість своєчасного обстеження та відновлення будівель для продовження терміну їхньої служби.

Застосуванню технології лазерного сканування для обстеження будівель та споруд присвячено ряд робіт, зокрема [6, 7], які представляють тематичне дослідження використання наземної техніки лазерного сканування у цивільному будівництві. В цих роботах описано принципи лазерного сканування, методи обробки отриманих даних та приклади застосування для вирішення різних задач, таких як визначення геометричних параметрів, виявлення деформацій та моніторинг стану об'єктів.

Окрему увагу слід приділити питанням відновлення та опорядження будівельних конструкцій. Автори [2, 3, 5] досліджують питання відновлення поверхонь будівель із використанням сучасних композитних цементів, зокрема багатокомпонентних лужних активованих цементів для реставраційних і оздоблювальних робіт, а також досліджують можливість реконструкції промислових об'єктів та зміну їхнього функціонального призначення.

Аналіз літературних джерел показав, що технологія лазерного сканування є перспективним методом для обстеження та моніторингу будівель і споруд, зокрема промислових димових труб, що дозволяє отримати об'єктивні дані про їх технічний стан та геометричні параметри. Важливим є також комплексний підхід до обстеження та відновлення будівель з використанням сучасних матеріалів та технологій

Мета досліджень. Метою даного дослідження є комплексна оцінка технічного стану та геометричних параметрів промислової димової труби з використанням технології лазерного сканування для визначення її

придатності до подальшої безпечної експлуатації або необхідності розроблення плану з ремонту та відновлення.

Задачею дослідження було провести візуальне обстеження димової труби для виявлення дефектів і пошкоджень та визначення фізико-механічних характеристик матеріалів конструкцій; проведення лазерного сканування труби для отримання і аналізу її тривимірної моделі; розробка рекомендацій щодо подальшої експлуатації цієї труби.

Методика досліджень. Дослідження технічного стану та геометричних параметрів димової труби проводилося комплексно, з використанням візуального огляду та лазерного сканування. Пріоритетним методом дослідження було лазерне сканування, що забезпечує отримання об'єктивних даних про геометричні параметри об'єкта.

Візуальний огляд проводився з метою виявлення видимих дефектів та пошкоджень конструкції (тріщини, відшарування, корозія тощо). Всі виявлені дефекти фіксувалися та фотографувалися.

Для лазерного сканування використовувався високоточний 3D лазерний сканер Leica C10, який використовує технологію time-of-flight для вимірювання відстані до об'єкта. Цей сканер володіє точністю вимірювання відстані ± 2 мм на відстані до 50 метрів, дальність вимірювання до 300 метрів та швидкість сканування до 500 000 точок в секунду.

Процес лазерного сканування включав планування (визначення кількості та розташування станцій сканування, параметрів сканування), проведення сканування з різних точок та зшивання сканів в єдину тривимірну модель за допомогою програмного забезпечення Leica Cyclone.

Аналіз тривимірної моделі проводився з використанням програмного забезпечення Autodesk Recap та AutoCAD. Визначалися геометричні параметри димової труби: відхилення від вертикалі, зміщення геометричного центру по всій висоті труби, діаметри перерізів, товщина стінок, тощо. Виявлення відхилень від проектних значень проводилось шляхом порівняння тривимірної моделі із проектною.

Для зручності аналізу та представлення результатів була введена умовна система координат. Поздовжня вісь «А» була прийнята вздовж драбини, а вісь «І» - перпендикулярно до осі «А» (рис. 1).

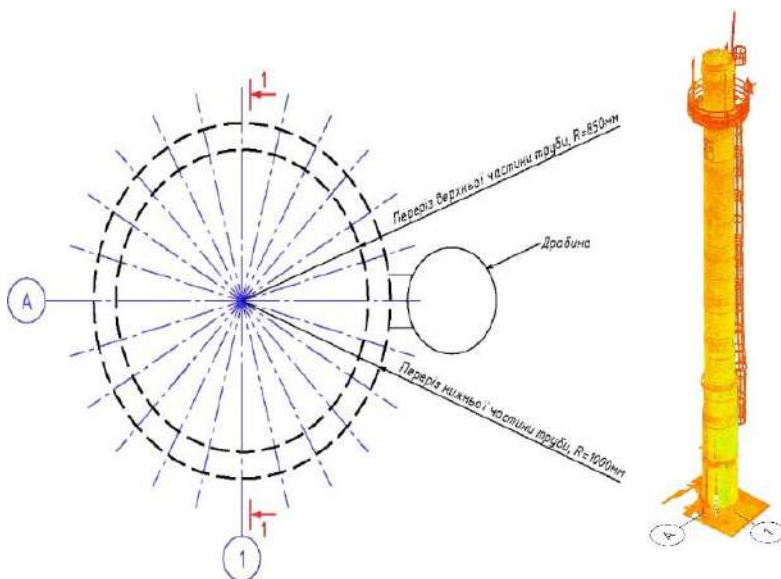


Рис. 1. Схема розміщення умовних осей, розрізів і проектних контурів димової труби та її аксонометричний вигляд

Модель була розбита на 21 горизонтальний переріз з кроком по висоті 1500мм, а для побудови самого контуру труби, в кожному із розрізів приймалось середнє значення із масиву даних в полосі шириною 100мм. За умовну позначку +0,000м був прийнятий рівень бетонної підготовки довкола димової труби.

Для кожного із 21-го перерізів були заміряні максимальні відхилення зовнішньої поверхні труби від проектного положення, зміщення геометричних центрів перерізів відносно проектних, та максимальна і мінімальна відстані від геометричного центру до зовнішнього контуру труби.

Результати дослідження. В результаті проведеного візуального обстеження димової труби були виявлено значну кількість дефектів, таких як тріщини в бетоні шириною розкриття до 1,5 мм і обсипання та відшарування облицювальної мозаїчної плитки (рис. 2), зафіксовано руйнування бетону зовнішньої поверхні на глибину до 50 мм, глибокі раковини в тілі бетону та оголення та корозія арматури (рис. 3).

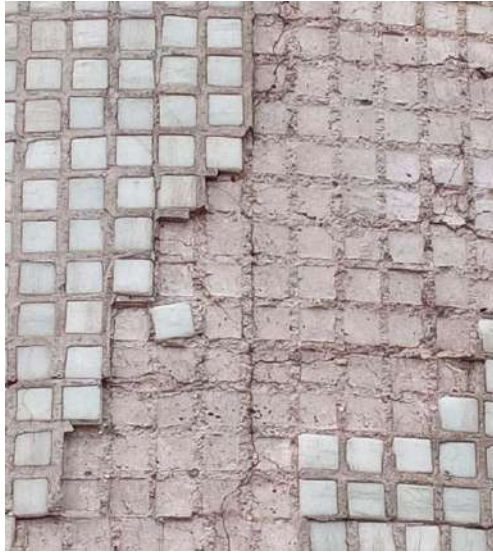


Рис. 2. Тріщини в бетоні та відшарування облицювальної плитки

Аналіз даних отриманої тривимірної моделі показав, що максимальне відхилення зовнішньої поверхні труби від вертикалі проектного положення становить 198,2 мм, та знаходиться на висоті +30.200м (рис. 4). При цьому зміщення геометричного центру верхнього перерізу труби на висоті +30.200м відносно проектного положення склало 170,5 мм.



Рис. 3. Руйнування поверхні бетону та оголення і корозія арматури

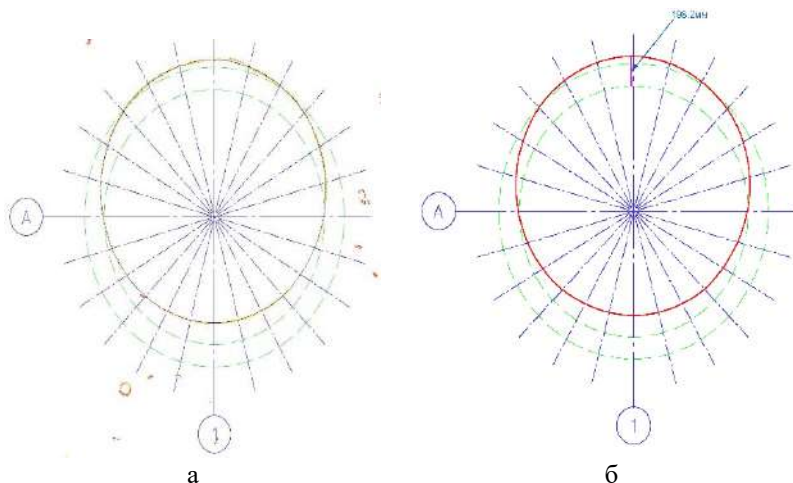


Рис. 4. Хмара точок сканування (а) та схема максимального зміщення зовнішньої поверхні труби від проектного положення на висоті +30.200м (б)

На рисунку 5 а представлено частину вертикального перерізу 1-1 димової труби на висоті +30,200 м, отриманого за результатами лазерного сканування. Схема ілюструє відхилення зовнішньої поверхні труби від проектного положення. Вертикальними суцільними лініями позначено проектне положення зовнішньої поверхні труби, а хмара точок - результати лазерного сканування. Зображення демонструє, що на даній висоті відхилення зовнішньої поверхні труби від проектного положення досягає 174 мм.

Аналізуючи результати тривимірної моделі, було помічено, що горизонтальні перерізи димової труби відмінні від кола і мають овало-подібну форму. Ступінь овальності змінюється по висоті труби. Найбільше відхилення від круглої форми, яке виражається різницею між найбільшим і найменшим радіусами перерізу, становить 28 мм і спостерігається на висоті +3,800 м, при цьому найбільший зовнішній радіус становить 1029,21мм, а найменший – 1001,03мм (рис. 5 б).

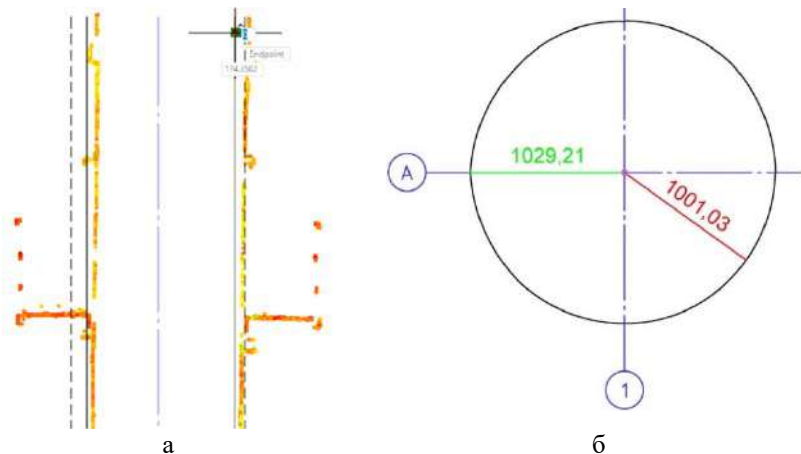


Рис. 5. Відхилення зовнішньої поверхні труби на 174мм від проектного положення, у розрізі 1-1, на висоті +30.200м (а) та максимальна і мінімальні відстані від геометричного центру до зовнішньої поверхні труби на висоті +3.800м (б)

Отримані дані свідчать про значні відхилення геометричних параметрів димової труби від проектних значень, що може негативно впливати на її технічний стан та безпечність експлуатації.

Висновки. Проведене комплексне обстеження промислової димової труби виявило її незадовільний технічний стан, що характеризується наявністю значних дефектів та суттєвими відхиленнями геометричних параметрів від проектних значень. Аналіз тривимірної моделі, отриманої за допомогою лазерного сканування, виявив значні відхилення від вертикалі та зміщення геометричного центру по всій висоті, із максимальним зміщенням у верхньому перерізі, а також була виявлена овальність перерізів труби. Ці дефекти та відхилення можуть негативно впливати на аеродинамічні характеристики та стійкість споруди.

Отримані результати вказують на те, що димова труба не відповідає вимогам безпечної експлуатації. Рекомендується регулярний моніторинг стану труби за допомогою лазерного сканування, а також провести детальні розрахунки несучої здатності та стійкості конструкції для визначення оптимального сценарію подальших дій: ремонту, підсилення чи демонтажу.

При обстеженні ефективно застосовано технологію лазерного сканування, що дозволило швидко та точно отримати об'єктивні дані про геометричні параметри, необхідні для комплексної оцінки технічного стану та прийняття обґрунтованих рішень.

1. Гавриляк, А.І., Базарник, І.Б., Кінаш, Р.І., Котів, М.В., Більський, М.Р. (2006). Технічна експлуатація, реконструкція і модернізація будівель: навч. посібник. Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 538 с. (ISBN 966-553-509-9).

Havryliak, A.I., Bazarnyk, I.B., Kinash, R.I., Kotiv, M.V., Bilskyi, M.R. (2006). Tekhnichna ekspluatatsiia, rekonstruktsiia i modernizatsiia budivel [Technical operation, reconstruction and modernization of buildings: textbook]. Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". 538 p. (ISBN 966-553-509-9). (in Ukrainian)

2. Котів, М.В., Балагурак, І.Ю., Каганов, В.О., Ілів, В.В. (2002). Обстеження і відновлення зовнішніх стін цеху № 2 з випуску книжково-журнального паперу Жидачівського ЦПК. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва, 462, 89-92 с.

Kotiv, M.V., Balahurak, I.Yu., Kahanov, V.O., Iliv, V.V. (2002). Obstezhennia i vidnovlennia zovnishnikh stin tsehu № 2 z vypusku knyzhkovo-zhurnalnoho paperu Zhydachivskoho TSK. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Teoriia i praktyka budivnytstva, 462, 89-92 p. (in Ukrainian)

3. Базюк, В.Б., Баб'як, В.І., Вознюк, Л.І. (2020). Реконструкція недіючих промислових об'єктів та зміна їхнього функціонального призначення. Науковий огляд, 3(66), 37-47 с.

Baziuk, V.B., Babiak, V.I., Vozniuk, L.I. (2020). Rekonstruktsiia nediuchykh promyslovykh ob'iektiv ta zmina yikhnoho funktsionalnoho pryznachennia. Naukovyi ohliad, 3(66), 37-47 p. (in Ukrainian)

4. Гладисhev, Д., Гладисhev, Г. (2012). Дослідження технічного стану будівель, споруд та їхніх елементів. Львівська політехніка, 304 с..

Hladyshev. D., Hladysliev. H. (2012) Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel, sporud ta yikhnikh elementiv. Monohrafiia. Lvivska politekhnika. 304 p. (in Ukrainian).

5. Kryvenko, P., Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., & Kotiv, R. (2014). Decorative multi-component alkali activated cements for restoration and finishing works. Advanced Materials Research, 897, 45-48 p. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45

6. Savchyn, I., Tretyak, K., Brusak, I., Lozynskyi, V., & Duma, M. (2023, October). Rapid Fixation and Digitization for Cultural Heritage Preservation in Conflict Zones. In International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023» (Vol. 2023, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510030>

7. Piekarczyk, A., Mazurek, A., Szer, J., & Szer, I. (2024). A Case Study of 3D Scanning Techniques in Civil Engineering Using the Terrestrial Laser Scanning Technique. Buildings, 14(12), 3703. <https://doi.org/10.3390/buildings14123703>