



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-3>

УДК 006.3/.8, 528.4, 624.014.27



**ЯКОВЕНКО М.С.**  
Завідувач лабораторії, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,  
Здобувач ступеня PhD кафедри геоінформатики і фотограмметрії Київського національного університету будівництва і архітектури  
e-mail: yakovenko@ndibk.gov.ua  
тел.: +38 (093) 613-53-19  
ORCID: 0000-0001-7800-8166



**ЗЕЛЕНКО Є.В.**  
Завідувач лабораторії, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,  
e-mail: euzelenko@gmail.com,  
тел.: + 38 (044) 249-37-34  
ORCID: 0000-0002-9032-2577



**НЕСТЕРЕНКО О.В.**  
Канд. технічних наук, декан факультету, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна,  
e-mail: nesterenko.ov@knuba.edu.ua,  
тел.: +38 (093) 582-52-01  
ORCID: 0000-0001-6908-5821



**ЗОРІН Є.В.**  
Провідний інженер, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,  
e-mail: zorin@ndibk.gov.ua  
тел.: +38 (098) 624-69-87  
ORCID: 0000-0002-1449-3278



**БЕНЬ І.В.**  
Провідний інженер, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна,  
e-mail: i.ben@ndibk.gov.ua  
тел.: +38 (093) 443-91-38  
ORCID: 0000-0003-3386-5433

## ГРАНИЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗЕРНОСХОВИЩ (МЕТАЛЕВИХ СИЛОСІВ) ТА ОЦІНКА ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НА ОСНОВІ ГЕОДЕЗИЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ

### АНОТАЦІЯ

В питанні продовольчої безпеки країни одним з ключових аспектів є зберігання та переробка зернових та олійних культур. Внаслідок постійних ворожих обстрілів та нальотів безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) найчастіше зазнають ушкоджень елеваторні комплекси, до яких входять циліндричні металеві силоси з гофрованою стінкою. В цих умовах актуальності набувають планові та позапланові обстеження придатності до експлуатації та оцінка технічного

стану конструкцій елеваторних комплексів. Роботи з обстеження складаються як з візуальних, так й інструментальних досліджень (зокрема, інженерно-геодезичних), що дозволяють виявити дефекти та деформації шляхом зйомки просторового положення конструкцій елеваторних комплексів.

У публікації зібрано матеріали інструментальних обстежень шести елеваторних комплексів, виконаних фахівцями Державного підприємства



«Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), що включають інженерно-геодезичні вимірювання. Аналіз отриманих значень деформацій (змін) геометричних параметрів конструкцій різних типів циліндричних металевих силосів з гофрованою стінкою та порівняння їх з нормативними граничними станами дозволяють виявляти слабкі місця окремих конструкцій та встановлювати їх придатність до подальшої експлуатації.

Граничні значення деформацій геометричних параметрів силосів поділяються на дві групи: деформування металевої оболонки та деформування фундаментної плити. Деформування металевої оболонки оцінюються за такими критеріями: горизонтальні граничні прогини, граничне значення загального відхилення по горизонталі, граничне значення локального відхилення за радіусом та допуск некруглості. Деформування фундаментної плити оцінюються за граничними значеннями вертикальних переміщень та перекосів.

Описано методику проведення геодезичних вимірювань металевої оболонки та фундаментної плити та представлено результати вимірювань на різних циліндричних металевих силосах з гофрованою стінкою.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** силоси, зерносховище, елеваторний комплекс, геодезичні роботи, геодезичне обстеження, граничні деформації, горизонтальні граничні прогини, граничне значення локального відхилення за радіусом, допуск некруглості, граничні значення переміщень фундаментів.

## LIMIT DEFLECTIONS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF GRAIN STORAGE FACILITIES (METAL SILOS) AND ASSESSMENT OF THEIR TECHNICAL CONDITION BASED ON GEODETIC SURVEYS

### ABSTRACT

In the context of a country's food security, one of the key aspects is the storage and processing of grain and oilseed crops. Due to ongoing hostile shelling and drone (hereinafter referred to as UAV) attacks, elevator complexes—comprising cylindrical metal silos with corrugated walls—are frequently damaged. Under such conditions, the importance of scheduled and unscheduled inspections of operational fitness and technical condition assessments of elevator complex structures is growing. These inspection tasks involve both visual and instrumental studies (including engineering and geodetic surveys) to identify defects and deformations by surveying the spatial positions of the structures in elevator complexes.

This publication presents the results of instrumental inspections of six elevator complexes conducted by specialists from the State Enterprise "State Research

Institute of Building Constructions" (NIISK), which included engineering and geodetic measurements. The analysis of deformation values (changes) in the geometric parameters of various types of cylindrical metal silos with corrugated walls, compared to regulatory limit states, makes it possible to identify weak points in individual structures and determine their suitability for continued operation.

The limit values for the deformation of silos' geometric parameters are categorized into two groups: deformation of the metal shell and deformation of the foundation slab. The deformation of the metal shell is assessed based on the following criteria: horizontal limit deflections, the overall horizontal deviation limit, the local radius deviation limit, and the roundness tolerance. The deformation of the foundation slab is evaluated based on the vertical displacement and tilt limit values.

The methodology for conducting geodetic measurements of the metal shell and foundation slab is described, and the results of measurements on various cylindrical metal silos with corrugated walls are presented.

**KEYWORDS:** silos, grain storage, elevator complex, geodetic works, geodetic survey, limit deformations, horizontal limit deflections, local radius deviation limit, roundness tolerance, foundation displacement limits.

### ВСТУП

Зерносховище (елеваторний комплекс) є різновидом стаціонарного зерносховища, яке призначене для зберігання і обробки зерна (рис. 1).

В Україні наразі діючими є понад 1600 зерносховищ із загальною потужністю зберігання понад 50 млн. тонн зернових культур (до початку повномасштабного вторгнення рф потужність зберігання зерна становила майже 60 млн. тонн). Тонкостінні металеві зерносховища (силоси) іноземного виробництва активно почали споруджуватися в 2000-х роках, а згодом (в 2010-х роках) – і вітчизняного виробництва.

Внаслідок масованих ракетних обстрілів мають місце часті влучання по перевантажувальним та елеваторним комплексам. Накопичений практичний досвід фахівців ДП НДІБК з обстеження та відновлення зерносховищ дозволив систематизувати дані різних типів зерносховищ та представити методологію геодезичних обстежень та критерії оцінки технічного стану сучасних зерносховищ.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Темі дослідження особливостей впровадження металевих силосів приділили значну увагу Лісеній О.М. [8, 12], Бібік М. В. [14, 15], Махінко Н. О. [16 ÷ 18].

Низка публікацій співробітників ДП НДІБК



**Рисунок 1** – Загальний вигляд зерносховища (елеваторного комплексу)

присвячена питанням обстеження та підходам щодо можливих шляхів відновлення будівель і споруд, що постраждали внаслідок збройної агресії РФ [9, 10, 13]. У публікаціях [11, 20, 21] представлено проблеми та шляхи вдосконалення геодезичного моніторингу деформацій будівель і споруд.

### **ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

В Україні тонкостінні сталеві силоси для зберігання зерна зводяться вітчизняними та закордонними виробниками. Силоси для зерна мають складну конструктивну систему, основними складовими якої є циліндричний корпус з гофрованого сталевих листа, підкріплений вертикальними і кільцевими ребрами, та конічний дах з плоского сталевих листа на балках з гнучого листа. Корпус силосу є циліндричною ортотропною оболонкою, особливості проектування якої у вітчизняних нормах розкриті недостатньо. Європейські норми містять більш детальні рекомендації з проектування сучасних металевих силосів як у частині визначення розрахункових технологічних навантажень, так і щодо розрахунків несучої здатності. Однак, при практичному застосуванні європейських стандартів при розрахунку міцності і стійкості силосів виникає ряд суттєвих проблем [8]. При експлуатації збудованих в останні роки силосів мають місце непоодинокі аварії, в яких проявляються недоліки проектування та експлуатації.

Поширеною причиною деформації силосів є їх перевантаження (див. рис. 2). Слід враховувати такий показник, як маса зерна, на яку розраховане зерносховище. Цей показник зазначається

в проектній та технічній документації на зерносховища та враховується в умовах гарантій щодо стійкості силоса до навантажень.

Виготовлені збірні конструкції силоса мають бути сертифікованими та збиратися монтажною службою виробника, що виключає монтажні похибки та заводський брак матеріалів та виробів.

На етапі проектування елеваторного комплексу слід детально врахувати інженерно-геологічні, сейсмічні та кліматичні умови, що можуть впливати на термін та умови експлуатації силосів. До таких впливів можна віднести фактори, які

впливають на стійкість фундаменту, зокрема, глибину промерзання ґрунту, рівень ґрунтових вод, будову ґрунту (рис. 3), а також вітрові та снігові навантаження, які діють на металоконструкції – стінки і покрівлю (рис. 4). Також слід враховувати сейсмічну активність району проектування (рис. 5).

Впродовж останніх трьох років через активні бойові дії та регулярні масовані ракетні обстріли з'явилися нові фактори впливу на експлуатаційні якості зерносховищ, зокрема пошкодження просторового положення стінок та покрівлі внаслідок дії вибухової хвилі (рис. 6 та 7).

### **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Актуальність регулярних обстежень та моніторингу. Всі вищеперелічені фактори можливо виявити шляхом завчасної перевірки та обстеження технічного стану споруд елеваторного комплексу, що включає перевірку просторового положення стінок та фундаменту силосів, а також регулярного моніторингу деформацій (осідання фундаментів, розвиток крену споруди) та впливів на технічний стан з метою запобігання руйнуванню та виникненню аварійних ситуацій.

#### **1. ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ СТІНОК СИЛОСУ**

Необхідність робіт визначається на етапі попереднього візуального обстеження у випадку, якщо є вірогідність деформування стінок силосів, а також після впливу вибухової хвилі. Цей етап робіт надає можливість виявити пошкодження та зміни геометричних форм силосів, що відбулися, а також встановити величини та зони поширення



**Рисунок 2** – Деформування стінок силосу



**Рисунок 3** – Деформування фундаменту силосу



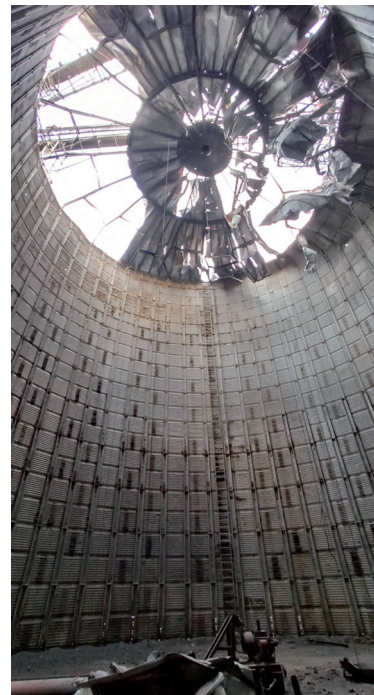
**Рисунок 4** – Руйнування зернового силосу



**Рисунок 5** – Руйнування зернового силосу



**Рисунок 6** – Деформування стінок силосу від вибухової хвилі



**Рисунок 7** – Деформування силосу від пожежі внаслідок обстрілу



деформацій стінок зерносховищ. Також ці роботи слід проводити на етапі зведення та прийняття в експлуатацію зерносховищ, а саме зібраний силос слід перевірити на правильність геометричних форм до завантаження та перевірити зміни, що відбулися, після завантаження.

Визначення просторового положення стінок силосів виконується шляхом зйомки точок вертикальних стійок за допомогою електронного тахеометра. Для визначення просторових координат використовують метод «довільної станції» зсередини (рис. 8) або ззовні силосу, прокладаючи замкнутий хід. Вимірювання краще проводити з найменшої кількості станцій, що дозволить спростити процедуру камеральної обробки та забезпечить заданий рівень точності.

Шляхом координування точок стійок циліндричної стінки силосу у безвідбичаєвому режимі отримуємо хмару точок (рис. 9). З практичного досвіду, виконання зйомки стінок силосів зсередини дозволяє рівномірно відзняти всю площину стінок. Оскільки, зазвичай, при зйомці стінок ззовні виникає ряд ускладнень, силоси стоять в ряду між іншими на коротких відстанях, ззовні присутня велика кількість обладнання, що заважає детально (з необхідною кількістю точок) відзняти стінки силосу. Висота та форма силосу ускладнює координування з близьких відстаней, що ускладнює прокладання ходу та необхідність додаткових станцій. Але слід зауважити, якщо зйомка силосу проводиться як до завантаження, так і після його завантаження, тоді її слід виконувати лише ззовні, аби точки зйомки були

ідентичні для порівняльного аналізу.

Щільність координування підбирається індивідуально, виходячи з ряду обставин: мети обстеження, виявлення ділянок з явними дефектами, ступеня впливу вибухової хвилі, доступу до об'єкту дослідження тощо. При цьому важливим чинником є щільність точок координування, що забезпечує повну картину про просторове положення, виявлення зон і ступеня поширення деформацій.

Камеральна обробка включає в себе комплекс робіт з опрацювання геодезичних даних, що представлені у вигляді графічних та табличних даних про просторове положення стінок силосів. При зйомці стінок зсередини на етапі обробки маємо хмару точок (рис. 9) з рівномірною щільністю, що мають просторові прямокутні координати (x, y, z). При зйомці ззовні на етапі обробки маємо прокладений тахеометричний хід, що потрібно зрівняти та отримати подібну хмару точок. По координатах хмари точок будується поверхня у вигляді прямокутників або трикутників, що створює фігуру, яка подібна до циліндра. Для встановлення відхилення та деформації хмари точок потрібно помістити в «правильний» циліндр, що будується за проектними даними, радіусом та висотою. Місця, в яких хмара точок не співпадає з контуром циліндру (рис. 10), ідентифікуються як відхилення. Такі відхилення можна представити у вигляді розрізів (рис. 11) по кожній з вертикальних стійок з прив'язкою до номера стійки, або у вигляді розрізів взаємно перпендикулярних протилежних стійок (рис. 12).

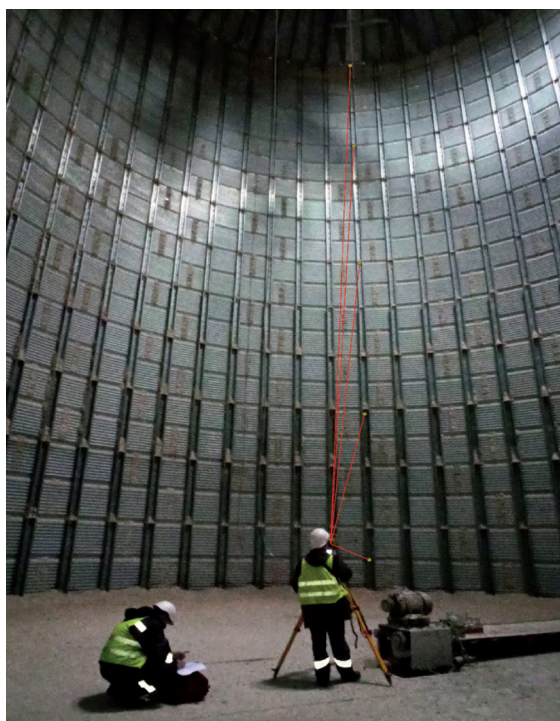


Рисунок 8 – Координування стійок силосу зсередини

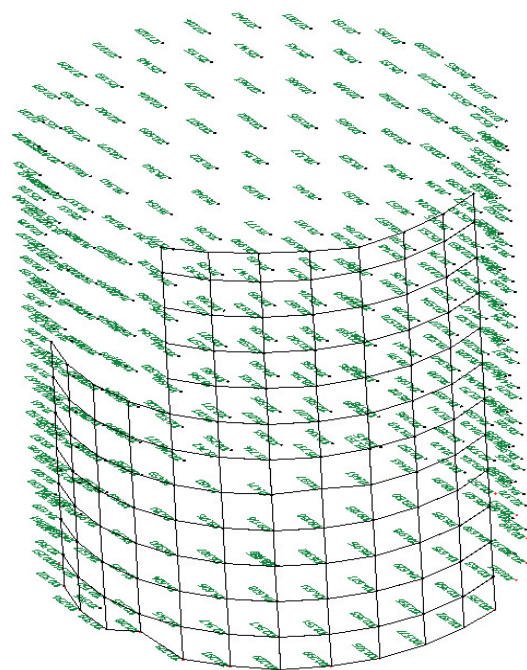
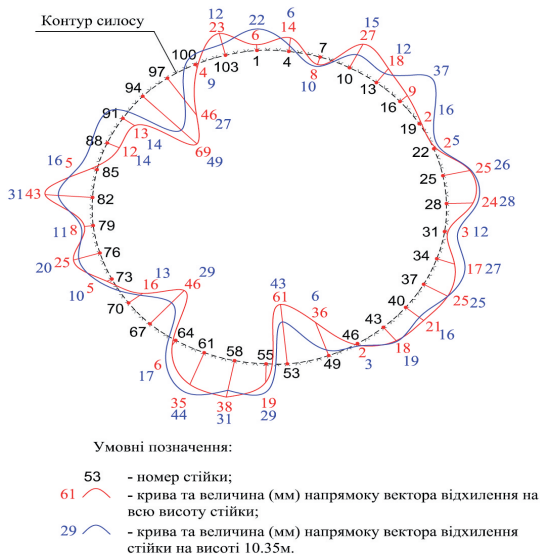


Рисунок 9 – Хмара точок зйомки стінок силосу

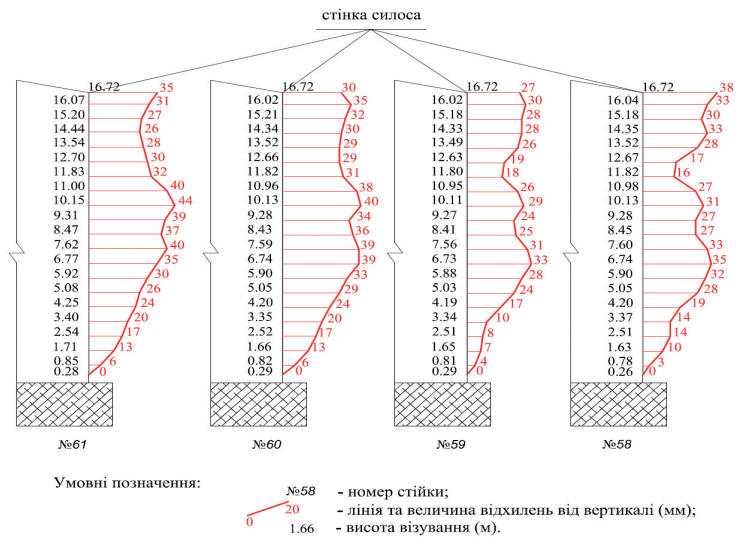


**Рисунок 10** – Результати горизонтальних відхилень стінок силосу (вид зверху)

Як правило, кількість та густина точок зйомки залежать від основної мети геодезичного обстеження. Так, на рис. 10 і 11 представлені вектори та величини відхилень від вертикалі стінок силосу, що зазнали впливу від експлуатації (власне, корисне вітрове навантаження). Також предмет обстеження пов'язаний з нерівномірним осіданням фундаментів та перевіркою якості виготовлення зерносховища (якість матеріалів та монтажу).

Мета обстеження силосів (зерносховищ), що зазнали впливу вибухової хвилі, обстрілу чи пожежі, щоразу встановлюється індивідуально. Вплив подібного характеру може завдати різних ступенів пошкодження, де присутні такі додаткові фактори: завантажений силос чи ні, відстань від влучання, сила вибуху тощо. У першому випадку, якщо стінки силосу пошкодженні повністю та він не підлягає відновленню, геодезичне обстеження не виконується. В іншому випадку, якщо на перший погляд наявні дефекти відсутні і стінки силосу не ушкоджені, слід виконати виконавчу зйомку вертикальності чи просторового положення стінок силосу. Таке геодезичне обстеження дозволить виявити або спростувати зміни геометричних форм, оцінити фактичний технічний стан силосу та його придатність до подальшої експлуатації.

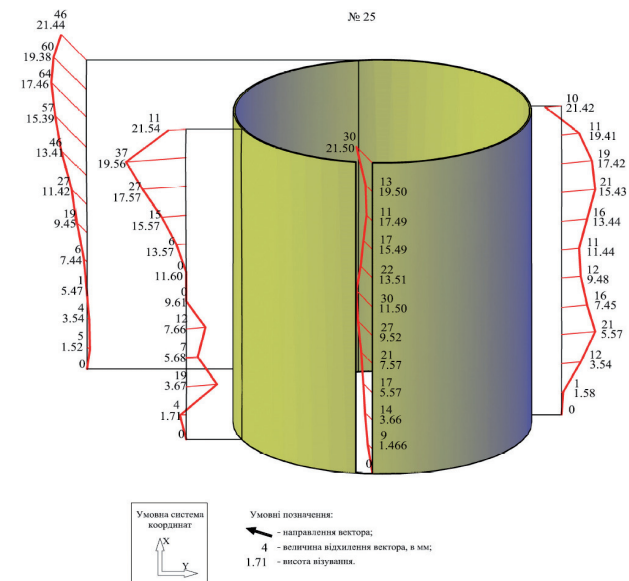
На рис. 12 представлено розрізи горизонтальних переміщень стінок силосу, що зазнав впливу від вибухової хвилі та пожежі. За результатами візуального обстеження явних пошкоджень ззовні не зафіксовано, а за даними інструментального обстеження зафіксовано незначні горизонтальні переміщення верхніх ярусів величиною до 60 мм. Напрямок переміщень за чотирма взаємно перпендикулярними стійками подібний та ймовірно викликаний вибуховою хвилею, оскільки вектор поширення вибухової хвилі співпадає з напрямком



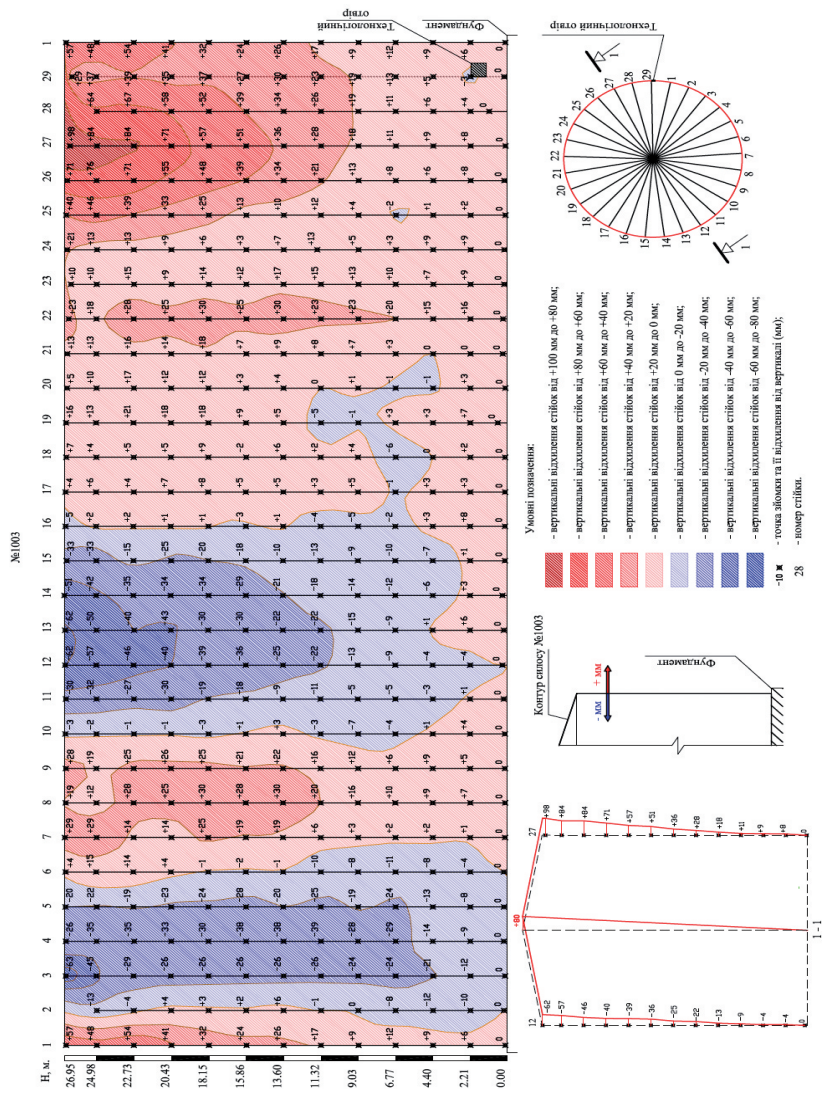
**Рисунок 11** – Розрізи горизонтальних відхилень стінок силосу (вид збоку)

переміщень (силос був завантажений і переміщення зазнала верхня (найменш завантажена) його частина).

На рис. 13 представлено відхилення у вигляді розгортки стінки силосу з прив'язкою до номерів стійок. У цьому випадку має місце рівномірна щільність точок, оскільки зйомка проведена зсередини силосу. Подібний варіант представлення результатів точок обґрунтований тим, що силос зазнав впливу вибухової хвилі та не мав явних суттєвих пошкоджень ззовні. Для представлення результатів в такому вигляді слід розгорнути відхилення (за хмарою точок, порівнюючи з циліндром) на площину, положення циліндра матиме умовний «нуль» кожної з точок, відстань від нуля матиме відхилення зі знаком «+» назовні та зі знаком «-» в середину. Переріз площини виконується в залежності від амплітуди



**Рисунок 12** – Розрізи горизонтальних відхилень стінок силосу (вид загальний), м. Чорноморськ



**Рисунок 13** – Деформування силосу від дії вибухової хвилі внаслідок обстрілу (зони поширення деформацій на стінки силосу), м. Одеса

відхилень (від -80 мм до +100 мм) через кожні 20 мм. Аналізуючи зони поширення деформацій (рис. 13) маємо максимальні переміщення від -62 мм (всередину) до +98 мм (назовні). Найбільші переміщення всередину зосереджені по стійках №№ 3, 12, 13, найбільші переміщення назовні – по стійках №№ 26, 27, 28 та 1, що розташовані майже навпроти. По стійках №№ 12 та 27 проведено переріз та представлено результати у вигляді розрізу 1-1. Аналізуючи розріз 1-1 встановили вектор горизонтальних переміщень та його виличну, що становить 80 мм. Зафіксовані горизонтальні переміщення викликані дією вибухової хвилі, оскільки вектор переміщень збігається з вектором дії вибухової хвилі.

**2. ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТНОГО ПОЛОЖЕННЯ ФУНДАМЕНТУ**

Необхідність робіт встановлюється на етапі попереднього візуального обстеження, якщо

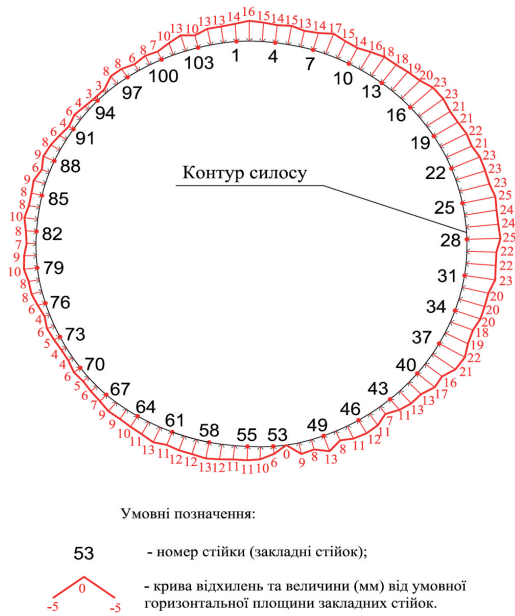
є вірогідність деформування фундаментної плити, або на етапі детального обстеження, якщо встановлено суттєвий вектор нахилу стінок. Під впливом дії вибухових хвиль є вірогідність деформування фундаментів у разі влучання в конструкції фундаментів або поблизу. Також, впродовж експлуатації за рекомендаціями проєктної організації експлуатаційна організація виконує періодичний моніторинг осідань фундаментів, що можуть зазнати впливу від експлуатації та від взаємодії з ґрунтовою основою. Для зерносховищ є критичними нерівномірні осідання, що можуть спричинити понаднормовий тиск на стінки.

Визначення висотного положення фундаменту на етапі обстеження виконується аналогічно виконавчій зйомці. Тож методологічно це може бути шляхом геометричного (рис. 14) або тригонометричного нівелювання.

Перевагами геометричного нівелювання є швидкість отримання даних, що обумовлено щільністю взаємного розташування зерносховищ та точністю. Перевагою тригонометричного нівелювання буде простота камерального опрацювання, оскільки відмітки матимуть ще й прямокутні координати, що дозволить точніше розмістити точки візування при створенні схеми виконавчого знімання.



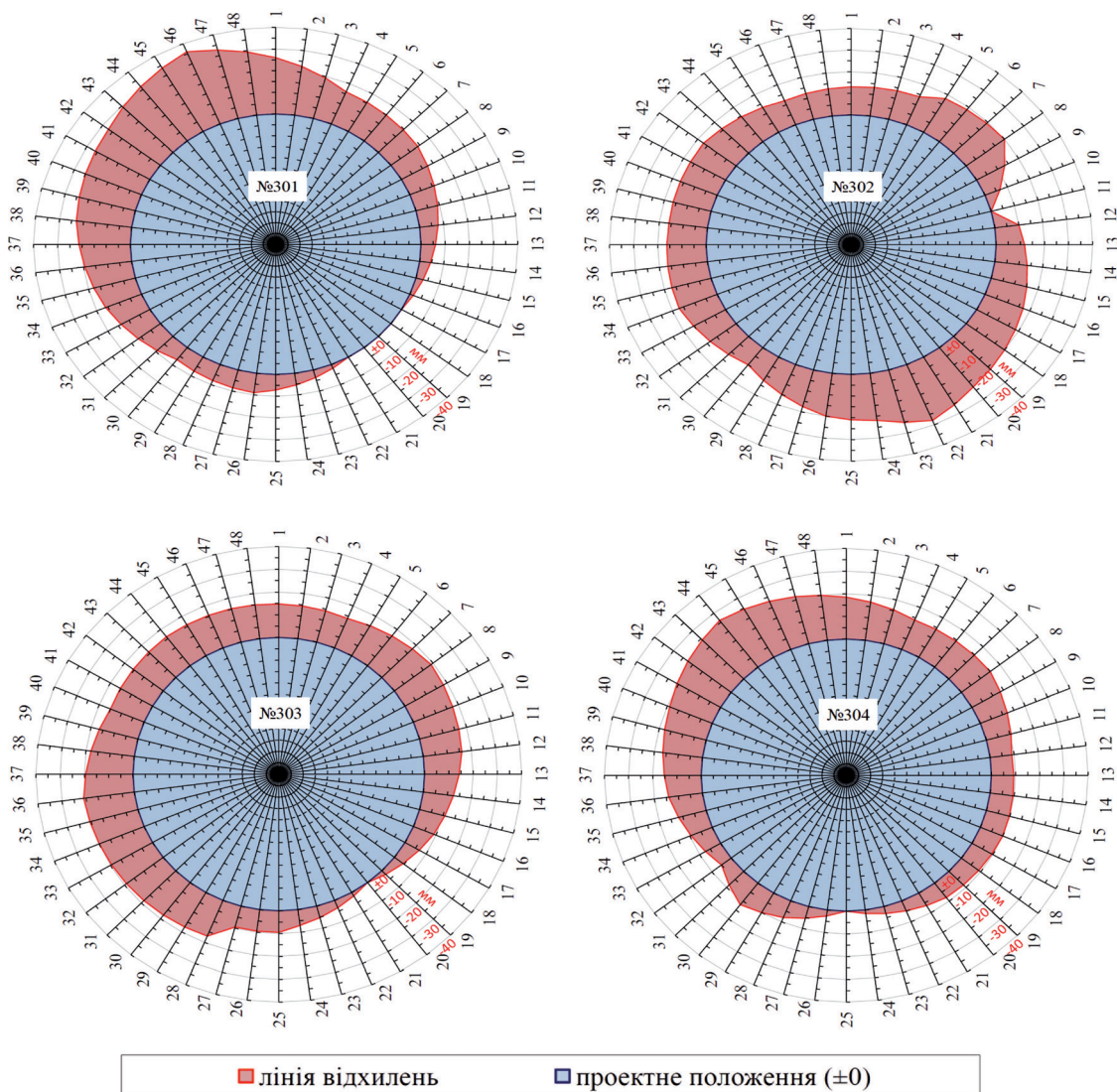
**Рисунок 14** – Геометричне нівелювання закладних фундаменту



**Рисунок 15** – Результати нівелювання закладних фундаменту (м. Красилів)

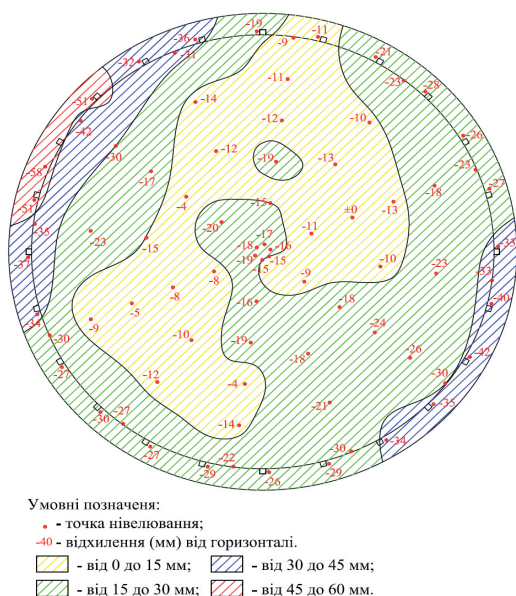
Зйомку висотного положення фундаментної плити виконують або за вертикальним положенням закладних деталей, що вбудовані в фундаментну плиту, або по поверхні фундаментної плити. Виконувати можна як ззовні силосу, так і зсередини. Зйомка ззовні надасть можливість отримати дані про горизонтальність фундаментної плити (закладних деталей) – рис. 15 або самої плити – рис. 16. Зйомка зсередини надасть більше інформації про горизонтальність фундаментної плити, зокрема точки по всій площині – рис. 17.

Для визначення горизонтальності фундаментної плити, що могли змінитися за час експлуатації зерносховища, застосовується метод нівелювання по умовній горизонтальній лінії (площині). Метод базується на припущенні, що на момент зведення споруди однотипні горизонтальні елементи (фундаментні плити) перебували у відповідній проектній горизонтальній площині з відхиленнями, що не перевищують монтажних допусків.



**Рисунок 16** – Результати визначення горизонтальності фундаментів зерносховищ (м. Козятин)





**Рисунок 17** – Результати зйомки підлоги резервуару (м. Черкаси)

Відстань від точок нівелювання до умовної горизонтальної площини, що проходить через найвищу однотипну точку конструктивних елементів, може розглядатися як наслідок зміни вертикального положення фундаментної плити під дією зовнішніх факторів.

На рис. 15 представлено результати визначення взаємного вертикального положення закладних деталей (п'яток) фундаменту, до яких кріпляться вертикальні стійки стінок, на рис. 16 – результати визначення горизонтальності фундаментних плит зерносховищ, а на рис. 17 – результати зйомки підлоги зсередини металевого резервуару для зберігання рідин. Згідно з отриманими результатами зафіксовано до 58 мм нерівностей, що призвело до стану, непридатного до подальшої експлуатації силосу.

З метою попередження непередбачуваного припинення експлуатації зерносховищ та елеваторних комплексів згідно з інструкціями з експлуатації виконують періодичний інструментальний моніторинг деформацій. Цей інструментальний моніторинг включає в себе комплекс робіт, а саме: визначення осідань фундаментів, спостереження горизонтальних переміщень зерносховищ та споруд баштового типу.

### 3. ГРАНИЧНІ НОРМАТИВНІ ДЕФОРМАЦІЇ

Оцінюючи результати геодезичних даних та встановлюючи граничні значення під час обстеження керуються вимогами таких нормативних актів та документів:

- ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проекту-

вання [4];

- ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонки (EN 1993-1-6:2007, IDT) [5];
- ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1: Силоси (EN 1993-4-1:2007/A1:2017, IDT) [6];
- ДБН В.2.6-221:2021 Конструкції силосів з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення [7].

Для того аби встановити граничні стани потрібно мати дані про тип та габарити споруд, що обстежуються (див. табл. 3). Нижче наведені нормативні вимоги щодо граничних деформацій згідно з нормативними актами та документами [4 ÷ 7]:

1. **Згідно з ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [4]** за п.7.5 горизонтальні граничні прогини опор від вітрових навантажень, що обмежуються виходячи з технологічних вимог, слід приймати такими, що дорівнюють  $h/250$ , де  $h$  – висота опор від верху фундаменту до низу покриття.

Граничні горизонтальні переміщення для даного типу конструкцій можуть бути умовно оцінені і становлять  $1/250=4$  мм на 1 м. Тож для зерносховища висотою 17 м (рис. 11) граничні горизонтальні переміщення на всю висоту становлять 68 мм. З рис. 11 видно, що переміщення на висоті 17 м досягають 38 мм, що не перевищує цю нормативну вимогу. Але слід зауважити, що відхилення на висоті від 0 до 10 м виходить за лінію граничних горизонтальних переміщень.

Для силосу на рис. 12, що має висоту 22 м, граничні горизонтальні переміщення на всю висоту становлять 88 мм. Зафіксовані відхилення на висоті від 2 до 6 м перевищують дану вимогу.

Для силосу на рис. 13, заввишки 27 м, граничні горизонтальні переміщення становлять 108 мм. Зафіксовані відхилення не перевищують дану вимогу.

2. **Згідно з ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 [6]** за п. 5.6 граничні експлуатаційні стани сталевих циліндричних бункерів з листовою обшивкою стінок слід сприймати як:
  - деформації або відхилення, які несприятливо впливають на ефективне використання конструкції;
  - деформації, відхилення, вібрації або коливання, які шкодять як несучим елементам конструкції, так і не несучим.

Деформації, відхилення і вібрації мають бути обмежені, щоб задовольнити вказаним вище критеріям.

Конкретні граничні значення, що відповідають визначеній області застосування, повинні бути погоджені між проектною організацією, замовником і наглядовим органом з урахуванням сфери



застосування і природи твердих матеріалів, що зберігаються.

Граничне значення загального відхилення по горизонталі має бути прийняте за:

$$w_{\max} = k_{d2} \times H \quad (1)$$

де  $H$  – висота конструкції, яка вимірюється від фундаменту до даху.

**Примітка:** Значення  $k_{d2}$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендується значення  $k_{d2} = 0,02$ .

Тож, для зерносовища висотою 17 м (рис. 10 та 11) граничне відхилення по горизонталі становить 340 мм, для силосу заввишки 22 м (рис. 12) – 440 мм, а для силосу заввишки 27 м (рис. 13) – 540 мм. Зафіксовані відхилення не перевищують вищеперелічені граничні значення, оскільки ці граничні значення загального відхилення по горизонталі, що обчислюється за формулою (1), призначені для силосів великих діаметрів з малою висотою.

Граничне значення локального відхилення за радіусом (відхилення поперечного перерізу від кола) під впливом вітру повинно бути прийняте за найменше з:

$$w_{r,\max} = k_{d3} \times r \quad (2)$$

$$w_{r,\max} = k_{d4} \times t \quad (3)$$

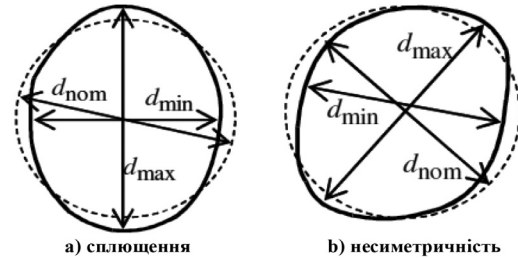
де  $t$  – локальна товщина найтоншої частини в стінці оболонки.

**Примітка:** Значення  $k_{d3}$  і  $k_{d4}$  можуть бути задані в Національному додатку. Рекомендується значення  $k_{d3} = 0,05$  і  $k_{d4} = 20$ .

Граничне значення локального відхилення, що залежить від радіусу для силосу з радіусом 16 м (рис. 10 та 11) становить 800 мм, для силосу з радіусом 9 м (рис. 12) – 450 мм, для силосу з радіусом 11 м (рис. 13) – 550 мм. Зафіксовані відхилення не перевищують вищеперелічені граничні значення, оскільки ці граничні значення локального відхилення за радіусом, що обчислюється за формулою (2), призначені для силосів малих радіусів.

Граничне значення локального відхилення, що залежить від товщини стінки оболонки за формулою 3, для силосу на рис. 10 та 11 з товщиною стінки 2,2 мм становить 44 мм, для силосу на рис. 12 з товщиною стінки 2,5 мм – 50 мм та для силосу на рис. 13 з товщиною стінки 3,0 мм – 60 мм. Зафіксовані відхилення перевищують цю вимогу по всіх трьох типах силосів, що представлені на рис. 10 ÷ 13.

- Згідно з ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 [5] за пунктом 8.4.2 допуск некругlosti повинен оцінюватися параметром  $U_r$  (рис. 18), що



**Рисунок 18** – Вимірювання діаметрів для оцінки некругlosti

обчислюється за формулою:

$$U_r = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\text{nom}}} \quad (4)$$

де

$d_{\max}$  – максимальний вимірний внутрішній діаметр;

$d_{\min}$  – мінімальний вимірний внутрішній діаметр;

$d_{\text{nom}}$  – номінальний внутрішній діаметр.

Як вимірний внутрішній діаметр від заданої точки слід прийняти найбільшу відстань поперек оболонки від цієї точки до будь-якої іншої точки з тією ж осью координатою. Для визначення максимального і мінімального значень необхідно виконати відповідну кількість вимірів діаметрів.

Параметр некругlosti  $U_r$  повинен задовольняти умову:

$$U_r \leq U_{r,\max} \quad (5)$$

де  $U_{r,\max}$  – параметр допуску некругlosti для відповідного класу якості допуску на виготовлення.

**Примітка:** Значення параметра допуску некругlosti  $U_{r,\max}$  можна знайти в Національному додатку. Значення, що рекомендуються, приведені в табл. 1.

Допуск некругlosti для типів силосів, що розглядаються у публікації, встановлено з табл. 1 величиною 0,015. Для встановлення фактичної некругlosti ( $U_r$ ) за результатами геодезичних даних слід визначити найбільший ( $d_{\max}$ ) та найменший ( $d_{\min}$ ) діаметри. Далі їх різницю потрібно розділити на номінальний ( $d_{\text{nom}}$ ) діаметр. Маючи граничне значення некругlosti ( $U_{r,\max}$ ) та номінальну величину діаметру можемо визначити гранично допустиму різницю діаметрів ( $d_{\max} - d_{\min}$ ), що для силосу діаметром 32 м (рис. 10, 11) становить 480 мм, для силосу діаметром 18 м (рис. 12) – 270 мм та для силосу діаметром 22 м (рис. 13) – 330 мм.

При неявно вираженій еліптичності деформування, наприклад, як для силосу, вимірювання якого наведені на рис. 10, можливо провести роз-



**Таблиця 1** – Рекомендовані значення параметра допуску некруглості  $U_{r,max}$  [5]

	Діапазон діаметра Diameter range	$d [м] \leq 0,50 м$	$0,50 м < d [м] < 1,25 м$	$1,25 м \leq d [м]$
Клас якості допуску на виготовлення Fabrication tolerance quality	Описання Description	Рекомендоване значення $U_{r,max}$ Recommended value of $U_{r,max}$		
Клас А Class A	Відмінний Excellent	0,014	$0,007 + 0,0093 (1,25 - d)$	0,007
Клас В Class B	Високий High	0,020	$0,010 + 0,0133 (1,25 - d)$	0,010
Клас С Class C	Нормальний Normal	0,030	$0,015 + 0,0200 (1,25 - d)$	0,015

**Таблиця 2** – Приклад розрахунку некруглості для силосу ( $d=32м$ ) на висоті 10,35 м

Номер вихідної точки	Діаметр $d_0$ мм	Відхилення від контуру на висоті 10,35 м				$d_1$ мм	$d_2$ мм	$U_r =$ $(d_1 - d_2) / d_0$
		$a_1$ мм	$a_2$ мм	$a_3$ мм	$a_4$ мм			
1	32100	22	-42	27	13	32080	32140	0,0019
4	32100	6	30	13	27	32136	32140	0,0001
7	32100	-10	37	23	15	32127	32138	0,0003
10	32100	15	30	25	14	32145	32139	0,0002
13	32100	12	-6	22	-14	32106	32108	0,0001
16	32100	37	-21	18	-48	32116	32070	0,0014
19	32100	16	-1	10	25	32115	32135	0,0006
22	32100	5	15	-3	8	32120	32105	0,0005
25	32100	26	15	24	13	32141	32137	0,0001

рахунок за формулою (5) для всіх точок. На рис. 19 наведений приклад визначення відхилень і в табл. 2 – розрахунків для точок силосу ( $d=32 м$ ) на висоті 10,35 м. При даному розрахунку слід зважати на те, що при вимірюванні не виміряні стійки, що жорстко розташовані одна навпроти другої, тому фіксувалась верхня точка  $a_1$ , а інші точки  $a_2$ ,  $a_3$  і  $a_4$  визначались відповідно до схеми (рис. 19). Такі розрахунки можна провести і для інших висот.

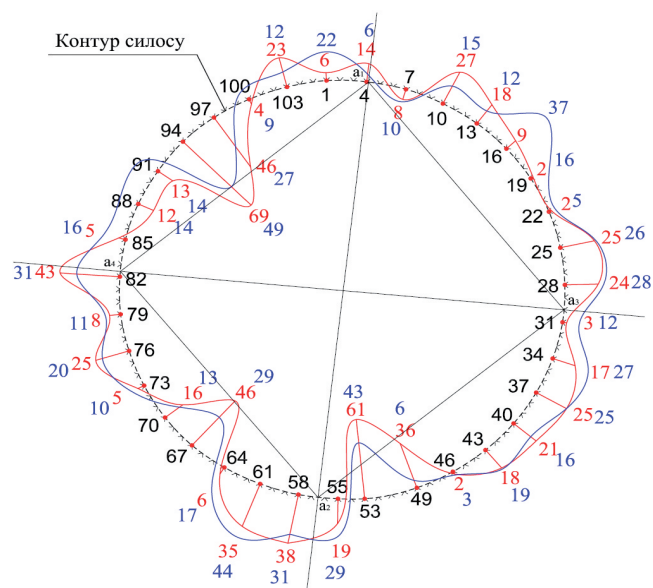
Всі значення  $U_r$  в табл. 2 менші за граничне значення за  $U_{r,max} = 0,015$ .

Для силосу на рис. 12 фактична різниця діаметрів становить 59 мм між двома взаємно перпендикулярними стійками (є неповною інформацією для даного типу допуску).

Фактична некруглість –

$$U_{r(рис12)} = \frac{18056 - 17997}{18000} = \frac{59}{18000} = 0,003 \cdot$$

Для силосу на рис. 13 фактична різниця діаметрів досягає 119 мм ( $d_{max}$  між стійками



**Рисунок 19** – Визначення відхилень  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  і  $a_4$  для розрахунку



Таблиця 3 – Граничні значення змін геометричних параметрів металевої оболонки силосів

	Вихідні дані	Силос об'ємом 13,7 тис. м <sup>3</sup> (рис.10-11)	Силос об'ємом 5,6 тис. м <sup>3</sup> (рис. 12)	Силос об'ємом 5,6 тис. м <sup>3</sup> (рис. 13)
Геометричні характеристики силосів	Висота, Н, мм	17000	22000	27000
	Діаметр, D, мм	32000	18000	22000
	Радіус, R, мм	16000	9000	11000
	Локальна товщина найтоншої частини в стінці оболонки, t, мм	2,2	2,5	3,0
Горизонтальні граничні прогини ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [4] за п.7.5	На всю висоту (мм)	68	88	108
	На 1 метр (мм)	1/250=4	1/250=4	1/250=4
Граничне значення загального відхилення по горизонталі ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 [6] за п. 5.6	На всю висоту (мм) $w_{\max} = k_{d2} \times H$	340	440	540
	На 1 метр (мм)	20	20	20
Граничне значення локального відхилення за радіусом ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 [6] за п. 5.6	$w_{r,\max} = k_{d3} \times r$ (мм)	800	450	550
	$w_{r,\max} = k_{d4} \times t$ (мм)	44	50	60
Допуск некругlosti ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 за п. 8.4.2	Рекомендоване значення з табл. 1	0.015	0.015	0.015
	Допустиме відхилення різниці діаметрів	480	270	330
	$U_r = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\text{ном}}}$ (фактична величина)	0.004	0.003	0.005
	Фактичне відхилення різниці діаметрів (мм)	122	59	119



№22 ÷ 8 та  $d_{max}$  між стійками № 3 ÷ 17).

Фактична некруглість –

$$U_{r(\text{рис13})} = \frac{22060 - 21941}{22000} = \frac{119}{22000} = 0,005 .$$

Зафіксована некруглість за силосами на рис. 12 та 13 задовольняють вимогу за формулою (5).

4. Згідно з ДБН В.2.6-221:2021 [7] за п.6.8 граничні значення переміщень фундаментів не повинні перевищувати наступні: крен фундаменту – не більше ніж 0,002 від його ширини (діаметру); середнє осідання – не більше ніж 150 мм.

Визначено висотне положення та відхилення від умовної горизонтальної площини точок верхньої поверхні опорних плит ребер (стійок) силосу (рис. 15). За результатами зйомки зафіксовано відхилення від горизонталі величиною до 25 мм, що не перевищує максимального допустимого різниці осідань для даного типу фундаменту  $0,002 \times D = 0,002 \times 32000 = 64$  мм.

За результатами визначення горизонтальності фундаментів (рис. 16) зафіксовано максимальне відхилення величиною 36 мм (силос № 301, стійка № 46), згідно з вимогами [7] граничне значення для даного типу конструкцій (діаметром 22 м) становить  $0,002 \times 22000 = 44$  мм, зафіксовані відхилення не перевищують вищезгадану вимогу.

За результатами зйомки підлоги зсередини металевого резервуару для зберігання рідин (рис. 17) зафіксовано відхилення величиною до 58 мм від горизонталі. Зафіксовані величини перевищують граничну величину відхилень згідно з вимогами [7] для даного типу конструкцій (діаметром 22 м), що становить  $0,002 \times 22000 = 44$  мм. Відхилення мають нерівномірний характер деформацій та понаднормові величини, що призвело до стану, непридатного для подальшої експлуатації.

5. Додатково з урахуванням навантажень

відповідно до особливостей конструктиву розраховують максимальні горизонтальні переміщення згідно з ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 [6].

На рис. 20 наведена схема горизонтальних переміщень вузлів корпусу силосу від сполучення навантажень РСН4 (власна вага + завантаження зерном + сніг, експлуатаційні значення). Максимальні переміщення по осі X не перевищують 19,7 мм, що значно менше граничного значення  $w_{max}$ .

На рис. 21 наведена аналогічна схема переміщень порожнього силосу від сполучення РСН5 (власна вага + вітер). Максимальне переміщення по осі X складає 17,8 мм, що значно менше граничного значення  $w_{max}$ .

## ВИСНОВКИ

Циліндричні металеві силоси з гофрованою стінкою – один з найпоширеніших методів для зберігання та переробки олійних та зернових культур в Україні. Внаслідок постійних ворожих обстрілів та нальотів безпілотних літальних апаратів найчастіше зазнають ушкоджень елеваторні комплекси, до яких входять циліндричні металеві силоси з гофрованою стінкою. В цих умовах актуальності набувають планові та позапланові обстеження придатності до експлуатації та оцінка технічного стану конструкцій елеваторних комплексів. Такі роботи зазвичай включають в себе візуальні та інструментальні обстеження. Саме до інструментальних обстежень належать інженерно-геодезичні роботи. Шляхом інженерно-геодезичних вимірювань визначають геометричні параметри та їх зміни за час експлуатації, порівнюючи з проектними та нормативними.

У публікації представлено практичний підхід до оцінки технічного стану циліндричних металевих силосів з гофрованою стінкою на основі інженерно-

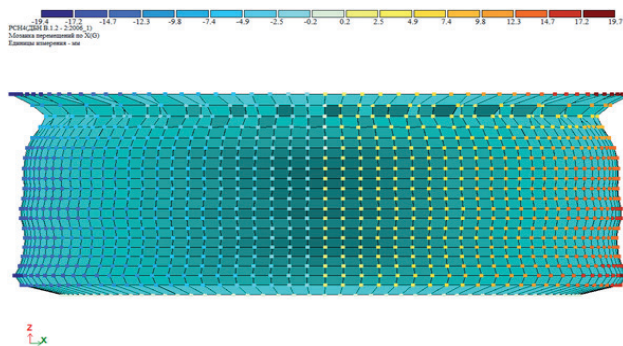


Рисунок 20 – Схема переміщень по осі X вузлів верхньої частини корпусу від РСН4 [22]

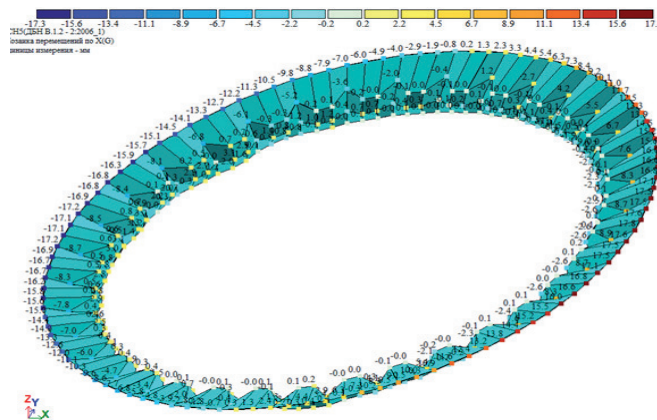


Рисунок 21 – Схема переміщень по осі X вузлів верхнього поясу порожнього силосу від власної ваги та вітру (РСН5) [22]



геодезичних даних. Описано методичний досвід виконання інженерно-геодезичних вимірювань у складі робіт з обстеження технічного стану силосів. Наведено варіанти оформлення та представлення результатів інженерно-геодезичних вимірювань.

Систематизовано граничні значення деформацій геометричних параметрів зерноскосищ (металевих силосів), що поділяються на дві групи: деформування металевої оболонки та деформування фундаментної плити. Систематизація граничних значень деформацій металевих силосів дозволяє виконувати комплексне інструментальне обстеження з урахуванням всіх ймовірних граничних станів.

Наведено приклад визначення граничних станів для різних типів конструктивних особливостей силосів та приведено порівняльний аналіз за результатами інженерно-геодезичних вимірювань.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методика обстеження будівель та споруд пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 28.04.2022 року № 65. 38 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їхнього технічного стану. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 47 с.
3. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024. 78 с.
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Київ: Мінбуд України, 2006. 15 с.
5. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок (EN 1993-1-6:2007, IDT). Київ: Мінрегіон України, 2013. 145 с.
6. ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1: Силоси (EN 1993-4-1:2007/ A1:2017, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2012. 64 с.
7. ДБН В.2.6-221:2021 Конструкції силосів з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 11 с.
8. Лісеній О., Любченко І., Слюсаренко Ю. Металеві циліндричні силоси для зерна. Наука та будівництво, 2019. № 22 (4). С.

- 27-32. <https://doi.org/10.33644/01005>
9. Яковенко М. Щодо питань геодезичного обстеження будівель, що постраждали внаслідок воєнної агресії російської федерації. Наука та будівництво, 2023. № 33 (3-4). С. 37-48. <https://doi.org/10.33644/10.33644/2313-6679-34-2022-4>
10. Зорін Є., Яковенко М., Бень І. Геодезичний моніторинг часових змін деформованого стану під час відновлення будівлі/споруди, що постраждала від бойових дій внаслідок воєнної агресії рф. Наука та будівництво, 2023. № 36 (2). С. 51-66. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-6>
11. Яковенко М., Мелашенко Ю., Зорін Є., Бень, І. Багаторічний моніторинг деформацій будівель і споруд геодезичними методами. Наука та будівництво, 2023. № 37 (3). С. 71-87. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-8>
12. Лісеній О. Особливості обстеження та оцінки технічного стану споруд елеваторних комплексів. Наука та будівництво, 2023. № 37 (3). С. 28-35. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-3>
13. Сергійчук В., Яковенко М., Нестеренко О., Зорін Є., Бень І. Геодезичне забезпечення комплексу робіт з обстеження будівель, що постраждали внаслідок військових дій на прикладі ЖК «Династія» в м. Києві. Наука та будівництво, 2024. № 40 (2). С. 3-16. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-1>
14. Бібік М., Бібік В., Ульченко Р., Бібік І. Класифікація аварій та пошкоджень сталевих силосів. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2017. № 1(40). С. 175-183. <https://journals.nupp.edu.ua/znp/article/view/236>
15. Бібік М., Мороз П. Визначення горизонтального навантаження на вертикальні стіни ємнісних конструкцій за різними нормами. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2017. № 1(40). С. 166-174. <https://journals.nupp.edu.ua/znp/article/view/234>
16. Makhinko N. (2018). Stress-strain state of the storage silos under the action of the asymmetric load. Матеріали 7 міжнародної наукової конференції “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings”, м. Харків, 14-16 листопада 2018 р. № 230. С. 02018.
17. Махінько А. Надійність та безпечна експлуатація ємностей для зберігання зерна / А. Махінько, Н. Махінько, О. Воронцов // Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022) : зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнар. наук.



техн. конф., 20–22 черв. 2022 р. Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2022. С. 75–77.

18. Махінько, Н. О. Створення надійних та живучих зернохосовищ в умовах війни та світової продовольчої кризи. Робота на здобуття премії Президента України для молодих учених 2024 року. Київ: Національний авіаційний університет, 2024. [https://www.kdpu-nt.gov.ua/sites/default/files/work\\_files/3\\_m20\\_prezentaciya.pdf](https://www.kdpu-nt.gov.ua/sites/default/files/work_files/3_m20_prezentaciya.pdf)
19. Яковенко М. Геометричне нівелювання та побудова фактичної поверхні підлоги резервуару. Збірник наукових праць Л'ОГОС, 2021. С. 98-100. <https://doi.org/10.36074/logos-01.10.2021.v2.30>
20. Shokarev V., Syvko I., Shokarev E., Shokarev A., Yakovenko M. (2021, May). Railway retaining walls under dynamic loading in the Carpathians foothill. Матеріали конференції «In Geoinformatics», травень 2021 р. European Association of Geoscientists & Engineers. № 1. С. 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521004>
21. Tytarenko V., Shuminskiy V., Dombrovskiy Y., Sirenko A., Yakovenko M., Kaliukh I. An impact of dynamic loading on the slopes in the Carpathian region of Ukraine: матеріали міжнародної конференції молодих спеціалістів «GeoTerrace-2020», грудень 2021 р. European Association of Geoscientists & Engineers. № 1 (2020). С. 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20205761>
22. Лісеній О. Натурне та інструментальне обстеження, перевірні розрахунки з оцінкою технічного стану силосу для зберігання зерна 3520U350-Z0 виробництва MYSILO у м. Красилів Хмельницької області / Звіт про НТР/ Київ: Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК), 2024. 136 с.

## REFERENCES

1. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2022). Methodology for inspection of buildings and structures damaged as a result of emergencies, hostilities, and terrorist acts (Order No. 65, April 28, 2022).
2. DSTU-N B V.1.2-18:2016. (2017). Guidance on inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Kyiv: DP "UkrNDNC".
3. DSTU 9273:2024. (2024). Guidance on inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Mechanical resistance and stability. Kyiv: DP "UkrNDNC".
4. DSTU B V.1.2-3:2006. (2006). (2006). System for ensuring the reliability and safety of construction objects. Deflections and displacements. Design requirements Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine.
5. DSTU-N B EN 1993-1-6:2011, IDT. (2013). Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-6: Strength and stability of shells. Kyiv: Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine.
6. DSTU-N B EN 1993-4-1:2012, IDT. (2012). Eurocode 3. Design of steel structures. Part 4-1: Silos. Kyiv: DP "UkrNDNC".
7. DBN V.2.6-221:2021. (2022). Structures of corrugated wall silos for grain. General provisions. Kyiv: Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine.
8. Lisenyi, O., Liubchenko, I., & Slyusarenko, Yu. (2019). Metallic cylindrical silos for grain. Science and Construction, 22(4), 27–32.
9. Yakovenko, M. (2023). On the issues of geodetic inspection of buildings damaged by the military aggression of the Russian Federation. Science and Construction, 33(3–4), 37–48.
10. Zorin, Ye., Yakovenko, M., & Ben, I. (2023). Geodetic monitoring of temporal changes in the deformed state during the restoration of buildings/structures damaged by hostilities due to the military aggression of the Russian Federation. Science and Construction, 36(2), 51–66.
11. Yakovenko, M., Melashenko, Yu., Zorin, Ye., & Ben, I. (2023). Long-term monitoring of deformations of buildings and structures using geodetic methods. Science and Construction, 37(3), 71–87.
12. Lisenyi, O. (2023). Features of inspection and assessment of the technical condition of elevator complex structures. Science and Construction, 37(3), 28–35. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-3>
13. Serhiychuk, V., Yakovenko, M., Nesterenko, O., Zorin, Ye., & Ben, I. (2024). Geodetic support for the inspection of buildings damaged by hostilities: The case of the "Dynasty" residential complex in Kyiv. Science and Construction, 40(2), 3–16.
14. Bibik, M., Bibik, V., Ulchenko, R., & Bibik, I. (2017). Classification of accidents and damages to steel silos. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering, 1(40), 175–183.
15. Bibik, M., & Moroz, P. (2017). Determination of horizontal loads on vertical walls of storage structures according to different standards. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering, 1(40), 166–174.



16. Makhinko, N. (2018). Stress-strain state of storage silos under asymmetric load. 7th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings”, Kharkiv, November 14–16, 2018, 230, 02018.
17. Makhinko, A., Makhinko, N., & Vorontsov, O. (2022). Reliability and safe operation of grain storage tanks. Comprehensive Composite Structures of Buildings and Structures under Martial Law (CSCS-2022): Proceedings of the 14th International Scientific and Technical Conference, Poltava, June 20–22, 2022, 75–77.
18. Makhinko, N. (2024). Creation of reliable and resilient grain storages under war conditions and the global food crisis. Application for the President of Ukraine’s Award for Young Scientists 2024. Kyiv: National Aviation University.
19. Yakovenko, M. (2021). Geometric leveling and constructing the actual surface of a reservoir floor. Scientific Works Collection Λ’ΟΓΟΣ, 98–100.
20. Shokarev, V., Syvko, I., Shokarev, E., Shokarev, A., & Yakovenko, M. (2021, May). Railway retaining walls under dynamic loading in the Carpathians foothill. In Geoinformatics Conference Proceedings, European Association of Geoscientists & Engineers, May 2021, 1, 1–6.
21. Tytarenko, V., Shuminskiy, V., Dombrovskiy, Y., Sirenko, A., Yakovenko, M., & Kaliukh, I. (2020). An impact of dynamic loading on slopes in the Carpathian region of Ukraine. International Conference of Young Specialists “GeoTerrace-2020” Proceedings, European Association of Geoscientists & Engineers, December 2020, 1, 1–5.
22. Lisenyi, O. (2024). Field and instrumental inspection, verification calculations, and technical condition assessment of the 3520U350-Z0 silo manufactured by MYSILO in Krasyliv, Khmelnytsky region. R&D Report. Kyiv: State Research Institute of Building Structures (NIISK).

Стаття надійшла до редакції 15.11.2024 року