



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-3>

УДК 004.94, 006.3/8, 624.05



**ЛІСЕНИЙ О.М.**

Канд. техн. наук, завідувач  
відділу ДП «Державний  
науково-дослідний інститут  
будівельних конструкцій»,  
м. Київ, Україна,  
e-mail: lab343@ndibk.gov.ua  
тел.: +38 (044) 249-37-66  
ORCID: 0000-0003-0792-8082

## ОСОБЛИВОСТІ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СПОРУД ЕЛЕВАТОРНИХ КОМПЛЕКСІВ

### АНОТАЦІЯ

Україна відіграє значну роль у світі з виробництва продовольства. В країні існує більше тисячі підприємств для зберігання і переробки зерна. Їх загальна потужність до 2022 р. складала близько 55 млн. тонн, з яких 13 млн. тонн втрачено внаслідок воєнних дій і окупації частини території країни. В Україні існує дефіцит зерноховищ, щороку будуються нові і розширюються існуючі підприємства за рахунок зведення зерноховищ переважно з металевих конструкцій.

Сталеві силоси для зберігання зерна в Україні почали масово будувати в кінці 1990-х років і на сьогодні велика їх кількість вже близька до вичерпання свого ресурсу, що пов'язано з необхідністю їх обстеження та оцінки придатності до експлуатації. Крім того, необхідно обстежувати інші споруди, що входять до складу елеваторних комплексів: силоси залізобетонні, будівлі для підлогового зберігання, розвантажувальні станції, норійні башти, транспортерні галереї тощо.

Співробітники ДП НДІБК постійно залучаються до робіт з оцінки технічного стану споруд елеваторних комплексів. Внаслідок масштабного пошкодження великої кількості елеваторних споруд воєнними засобами дистанційного ураження, що відбулося влітку 2023 року, на перший план виходять задачі оцінки обсягів пошкоджень спо-

руд та їх придатності до відновлення, а також розробка методів підсилення конструкцій для забезпечення функціонування споруд.

У статті розглядаються особливості споруд елеваторних комплексів (далі – споруди ЕК), що обумовлюють вибір методів інструментального обстеження. Результати інструментального обстеження використовуються при розрахункових перевірках споруд, таких як: перевірка несучої здатності з врахуванням дефектів і пошкоджень; перевірка з врахуванням заміни обладнання, зміни конструктивної системи, зміни призначення споруди, збільшення навантажень при експлуатації; перевірка з врахуванням зміни нормативних значень навантажень при реконструкції, розрахункове обґрунтування методів підсилення та відновлення існуючих конструкцій.

У ДП НДІБК розроблена методика розрахунків сталевих силосів з гофрованою стінкою, що ґрунтується на положеннях ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1. Методика застосована для розрахунків при удосконаленні конструктивних рішень металевих силосів діаметром 22 м виробництва ТОВ ТК «Югелеватор» (м. Миколаїв).

Методи інструментального обстеження та розрахункових перевірок були застосовані при виконанні комплексного обстеження конструкцій



та фундаментів існуючих споруд портового елеваторного комплексу ТОВ «Укрелеваторпром» у м. Одеса. Виконані перевірні розрахунки несучої здатності конструкцій елеваторних споруд з врахуванням сейсмічного впливу 8 балів, розроблені конструктивні рішення щодо підсилення окремих конструкцій з врахуванням збільшення навантажень при реконструкції лінії відвантаження на морський транспорт.

Результати інструментальних обстежень, розрахунків та конструкторських розробок ДП НДІБК знайшли відображення при розробці ДБН В.2.6-221:2021 «Конструкції силосів сталевих з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення» [9].

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** споруди елеваторних комплексів, силос з гофрованою стінкою, інструментальне обстеження, зберігання зерна, норійна башта, транспортерна галерея.

## INSPECTION AND ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELEVATOR COMPLEX STRUCTURES

### ABSTRACT

Ukraine plays a significant role in the world's food production. The country has more than a thousand grain storage and processing enterprises. Their total capacity by 2022 was about 55 million tons, of which 13 million tons were lost as a result of military operations and the occupation of part of the country. In Ukraine, there is a shortage of granaries. Every year new enterprises are built and existing enterprises are expanded due to the construction of granaries mainly from metal structures.

Steel silos for grain storage began to be built in Ukraine in the late 1990s. Today, many of them are already close to exhausting their service life due to the need to examine and assess their suitability for use. In addition, it is necessary to examine other structures that are part of the elevator complexes: reinforced concrete silos, floor storage buildings, drop-off stations, elevator towers, conveyor galleries, etc.

Employees of NIISK are constantly involved in assessing the technical condition of elevator complex structures. As a result of large-scale damage to a great number of elevator structures by military means of remote destruction in the summer of 2023, the tasks of assessing the volume of damage to structures and their suitability for restoration, as well as developing methods for strengthening structures to ensure the functioning of structures, come to the fore.

The article discusses the features of elevator complex structures (hereinafter referred to as EC structures), which determine the choice of instrumental inspection methods. The results of the instrumental inspection are used in checking the load-bearing capacity, taking into account defects and damage; inspection

taking into account replacement of equipment, structural system, change in purpose of the structure, increase in loads during operation; inspection taking into account changes in standard load values during reconstruction, calculation justification of strengthening methods and restoration of existing structures.

NIISK has developed a method for calculating steel silos with corrugated walls, based on DSTU-NB EN 1993-4-1 provisions. The methodology was used for calculations when improving the design solutions of metal silos with a diameter of 22 m produced by LLC TC Yugelevator (Mylokaiv).

Methods of instrumental inspection and calculation checks were used to comprehensively inspect structures and foundations of existing buildings of the port elevator complex of LLC Ukrelevatorprom in Odessa. Verification calculations of the bearing capacity of elevator structures were carried out taking into account seismic impact of 8 points. Design solutions were developed to strengthen individual structures taking into account the increase in loads during the reconstruction of the shipping line to sea transport.

The results of instrumental inspections, calculations and design developments of NIISK were used in the development of DBN V.2.6-221:2021 "Constructions of steel silos with a corrugated wall for grain. Basic provisions"[9].

**KEYWORDS:** elevator complex structure, silos with corrugated walls, instrumental inspection, grain storage, elevator tower, conveyor gallery.

### ВСТУП

Україна відіграє значну роль у світовому виробництві продовольства. Так, за даними Державної служби статистики, врожай зернових і зернобобових культур у 2020 р. склав 63,3 млн. тонн, у 2021 р. – 84,4 млн. тонн. При цьому, експорт українського зерна станом на 10 квітня 2023 р. склав 38,824 млн. тонн, а у попередньому році аналогічний показник сягав 45,263 млн. тонн [1].

Загальна потужність підприємств для зберігання і переробки зерна до 2022 р. складала близько 55 млн. тонн, з яких 13 млн. тонн втрачено внаслідок воєнних дій і окупації частини території країни.

У структурі зерносховищ близько 35 % потужностей складають застарілі склади підлогового зберігання, 18 % – залізобетонні елеватори і 47 % – металеві елеватори. В Україні існує дефіцит зерносховищ, щороку будуються нові і розширюються існуючі підприємства за рахунок зведення зерносховищ переважно з металевих конструкцій.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Типові споруди елеваторних комплексів (ЕК). До складу зернопереробних підприємств вхо-



дять такі основні споруди:

- силоси металеві (рис. 1) та залізобетонні (рис. 2);
- одноповерхові будівлі для підлогового зберігання (рис. 3);
- розвантажувальні станції для автомобільного і залізничного транспорту;
- норійні башти (рис. 4),
- транспортерні галереї з поворотними баштами (рис. 5), надсилосні та підсилосні галереї;
- причальні галереї для завантаження на

водний транспорт тощо.

До складу існуючих елеваторних комплексів часто входять споруди різного часу спорудження і різної конструкції (рис. 5). Найбільш прогресивними є зерносховища у вигляді циліндричних силосів з гофрованою стінкою з оцинкованих листів на болтових з'єднаннях. В них досягається максимальний рівень автоматизації технологічних процесів. Разом з тим, металеві споруди елеваторних комплексів більше чутливі до умов експлуатації і мають меншу довговічність,



**Рисунок 1** – Зблоковані металеві силоси з гофрованою стінкою



**Рисунок 2** – Залізобетонні силоси різної конструкції



**Рисунок 3** – Виробнича будівля, пристосована під склад підлогового зберігання зерна



**Рисунок 4** – Загальний вигляд норійної башти



**Рисунок 5** – Металеві силоси, склад підлогового зберігання, норійна башта і транспортерні галереї, що входять до складу елеваторного комплексу





порівняно з залізобетонними спорудами.

### **ТИПОВІ ЗАДАЧІ З ОБСТЕЖЕННЯ СПОРУД ЕК**

Сталеві силоси для зберігання зерна в Україні почали масово будувати в кінці 1990-х років і на сьогодні велика їх кількість вже близька до вичерпання свого ресурсу, що пов'язано з необхідністю обстеження та оцінки придатності до експлуатації споруд. Обстеження виконуються з метою вирішення таких основних задач:

- підтвердження придатності до експлуатації та обґрунтування складу поточних ремонтних робіт;
- підтвердження придатності до реконструкції та обґрунтування складу робіт з заміни, підсилення та ремонту конструкцій (зазвичай, виконується при розширенні підприємства та заміні обладнання на більш потужне);
- обміри та складання обмірних креслень споруд, на які відсутня проектна документація (зазвичай, технічна документація часто втрачається при зміні власника підприємства, а конструкції іноземного виробництва (металеві силоси, норійні башти тощо) поставлялися без детальних креслень, що ускладнює їх обстеження та розрахункові перевірки);
- розроблення конструктивних рішень щодо відновлення та підсилення конструкцій з їх розрахунковим обґрунтуванням;
- участь у розслідуванні аварійних ситуацій, встановлення причин аварій тощо.

Крім того, враховуючи велику кількість елеваторних споруд, що пошкоджені воєнними засобами дистанційного ураження, на перший план виходять задачі оцінки обсягів пошкоджень споруд та їх придатності до відновлення, розробка методів підсилення конструкцій для забезпечення функціонування споруд.

Співробітники ДП НДІБК постійно залучаються до робіт з оцінки технічного стану споруд елеваторних комплексів.

### **ОСОБЛИВОСТІ РОБІТ З ОБСТЕЖЕННЯ НА СПОРУДАХ ЕК**

Роботи з обстеження та оцінки технічного стану споруд ЕК виконуються згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 [2] та ДСТУ Б В.2.6-210:2016 [3] при врахуванні положень Методики [4]. Першим етапом оцінки технічного стану споруд є: попередній огляд та визначення складу робіт; оцінка необхідності в інструментальних та лабораторних дослідженнях, розрахункових перевірках елементів конструкцій; погодження складу робіт з замовником (в залежності від задач обстеження).

Детальне візуальне обстеження, фотофіксація, складання схем пошкоджень виконується з метою документування наявних пошкоджень

конструкцій і завершується складанням дефектних відомостей та актів за результатами обстеження, які є вихідними матеріалами для визначення обсягів ремонтних робіт та розробки відповідної проектної документації. Проте, як правило, результатів тільки візуального обстеження недостатньо для висновку про придатність споруд до подальшої експлуатації.

Силоси для зберігання зерна характеризуються значними навантаженнями на основу і великими абсолютними осіданнями фундаментів. При обстеженні необхідно визначати фактичне положення споруд геодезичними методами, а саме: нерівномірність осідання плитних фундаментів та окремих опор, крен фундаментів та надземної частини, виявлення відхилень форми від передбаченої у проекті тощо. Необхідним також є систематичний геодезичний контроль за осіданнями споруд ЕК, проте він не завжди виконується.

Обстеження силосів ускладнено внаслідок великої висоти і складності доступу (роботи на висоті та у закритих ємкостях). Металеві силоси з гофрованою стінкою мають велику кількість (десятки тисяч) болтових з'єднань, від правильного виконання яких залежить надійність всієї конструкції. Детальне обстеження металевих силосів слід виконувати з автовишки або залучаючи спеціалістів з навиками промислового альпінізму.

У загальному випадку для обґрунтування висновків про технічний стан споруд ЕК застосовують такі інструментальні методи обстеження: ультразвукова товщинометрія металоконструкцій та захисного покриття, перевірка класу металу за показником твердості, ультразвукове визначення міцності бетону, магнітне визначення діаметра арматури та захисного шару бетону. Доцільно неруйнівні методи поєднувати з лабораторними випробуваннями міцності металу, хімічного складу металу тощо. Для визначення фактичних періодів та амплітуд коливань конструкцій застосовують апаратуру для вібродинамічного обстеження.

Для визначення складу ґрунтової товщі, конструкції і розмірів фундаментів, у тому числі пальової основи, необхідне поєднання інженерно-геологічного дослідження ґрунтів основи з інструментальним обстеженням конструкцій фундаменту в шурфах.

### **РОЗРАХУНКОВІ ПЕРЕВІРКИ**

Результати інструментального обстеження використовуються при таких розрахункових перевірках споруд ЕК:

- перевірка несучої здатності з врахуванням дефектів і пошкоджень (відсутність окремих елементів, механічні пошкодження та надмірні деформації елементів, непроектні



- перевірка з врахуванням заміни обладнання, зміни конструктивної системи, зміни призначення споруди, збільшення навантажень при експлуатації;
- перевірка з врахуванням зміни нормативних значень навантажень (при реконструкції);
- розрахункове обґрунтування методів підсилення та відновлення існуючих конструкцій.

### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ МЕТАЛЕВИХ СИЛОСІВ З ГОФРОВАНОЮ СТІНКОЮ

У ДП НДІБК була розроблена методика розрахунків сталевих силосів з гофрованою стінкою, основні положення якої викладені у [5]. Методика ґрунтується на положеннях ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1 [6], з якого запозичені положення щодо визначення характеристик жорсткості оболонки з гофрованого листа та оцінки стійкості. Методика враховує ортотропні властивості гофрованої стінової оболонки, що дозволяє визначити наближений до фактичного розподіл зусиль між елементами стінки, ребер жорсткості, покрівлі, а також залізобетонного фундаменту.

Розрахункова перевірка металевих силосів у загальному випадку включає:

- формування просторової розрахункової моделі з врахуванням ортотропних властивостей гофрованої стінки, підкріпленої ребрами;
- формування комбінацій навантажень з врахуванням вертикальної і горизонтальної складових тиску від зерна, вітрового і снігового навантажень, температурних деформацій, сейсмічного впливу;
- визначення розрахункових значень напружень і зусиль в елементах;
- перевірка несучої здатності елементів гофрованої стінки, ребер, балок покрівлі;

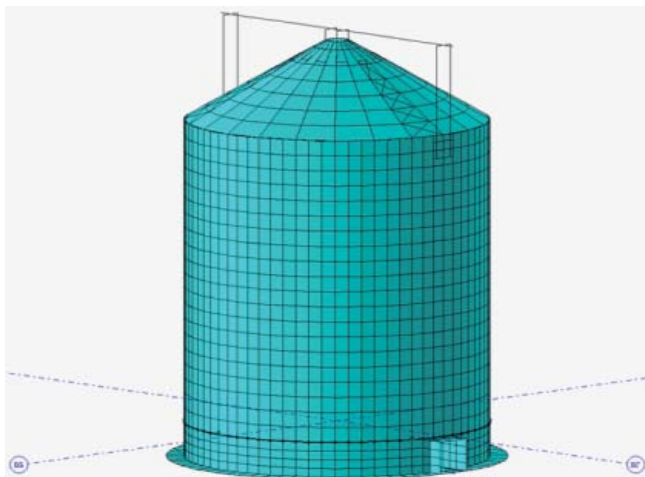


Рисунок 6 – Загальний вигляд просторової розрахункової моделі силосу СМВУ 220

- перевірка несучої здатності болтових з'єднань стінки, ребер та анкерних кріплень до фундаменту;

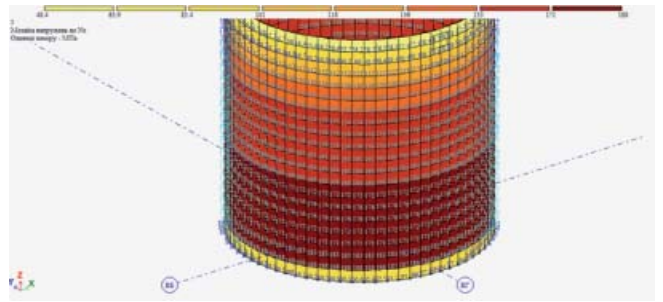


Рисунок 7 – Мозаїка напружень  $N_x$  в елементах стін силосу

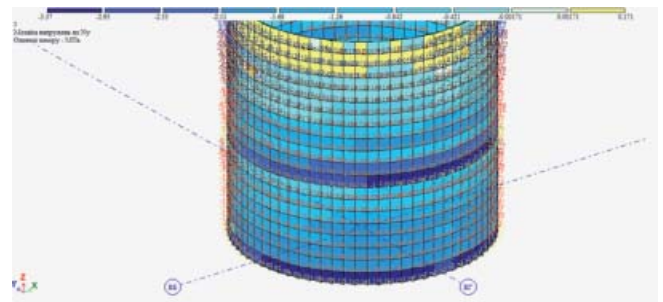


Рисунок 8 – Мозаїка напружень  $N_y$  в елементах стін силосу

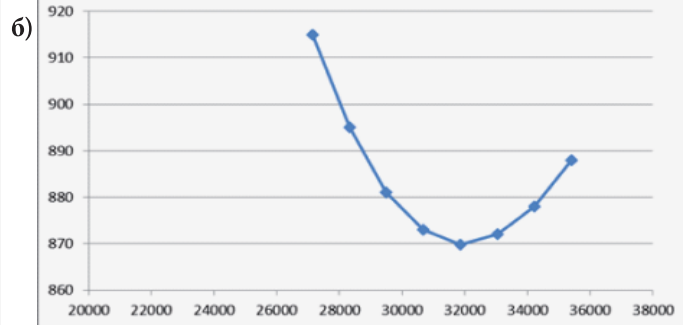
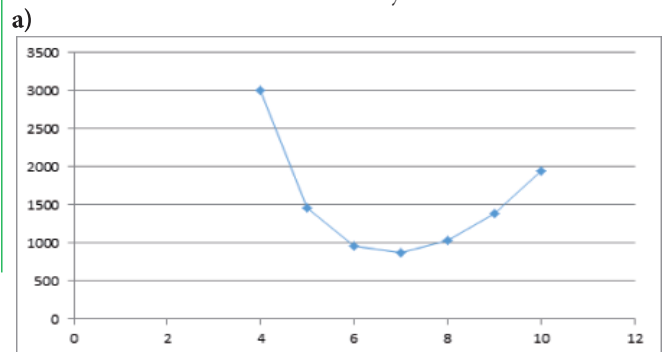


Рисунок 9 – Схеми визначення мінімальних критичних напружень  $N_x, R_d$  для приведених елементів стінки: а – залежність від хвильового числа; б – залежність від висоти зони поперемичного вигину







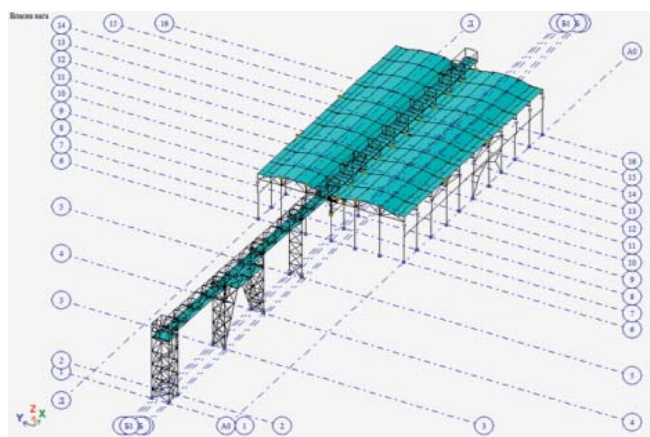
У складі робіт з обстеження виконані обмірні креслення споруд, натурні обстеження з виявленням дефектів і пошкоджень конструкцій, геодезичні вимірювання фактичного положення елементів, інструментальні визначення характеристик міцності металу і бетону, параметрів армування, вимірювання фактичних вібродинамічних характеристик споруд. Приклад характерного пошкодження норійної башти показаний на рис. 10, загальна схема розташування дефектів і пошкоджень – на рис. 11. На рис. 12 показаний приклад схеми горизонтальних зміщень і кренів стійок норійної башти за даними інженерно-геодезичних вимірювань.

Виконані перевірні розрахунки несучої здатності конструкцій елеваторних споруд з врахуванням сейсмічного впливу 8 балів, розроблені конструктивні рішення щодо підсилення окремих конструкцій. Одна з розрахункових моделей транспортерної галереї показана на рис. 13.

Для забезпечення несучої здатності існуючих конструкцій споруд елеваторного комплексу при реконструкції були розроблені рекомендації та конструктивні рішення щодо необхідного підсилення, що включають підсилення або заміну окремих пошкоджених елементів, підсилення в'язів, введення додаткових елементів в'язів, розкріплення балок, підсилення колон. Приклади загальних схем підсилення показані на рис. 14 для норійної башти і на рис. 15 – для транспортерної галереї. Такі схеми доповнювалися деталювальними схемами елементів та вузлів підсилення.

## ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

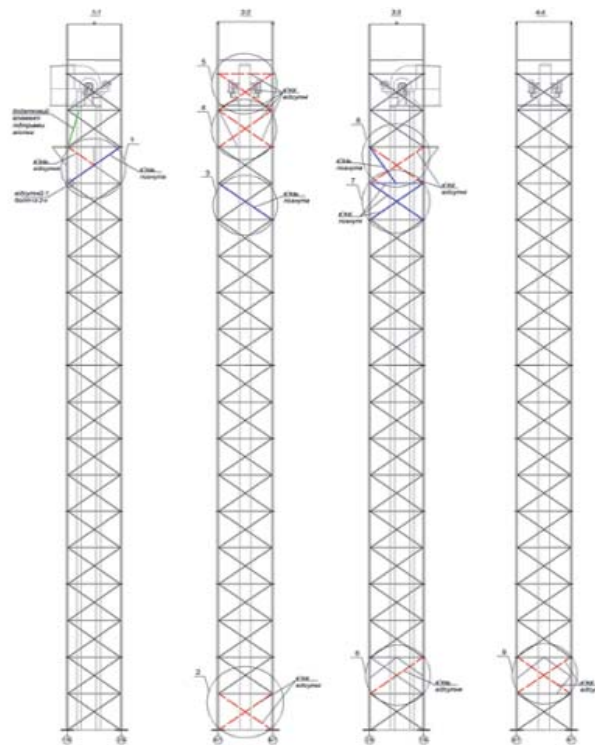
Результати інструментальних обстежень, розрахунків та конструкторських розробок ДП НДІБК знайшли відображення при розробці



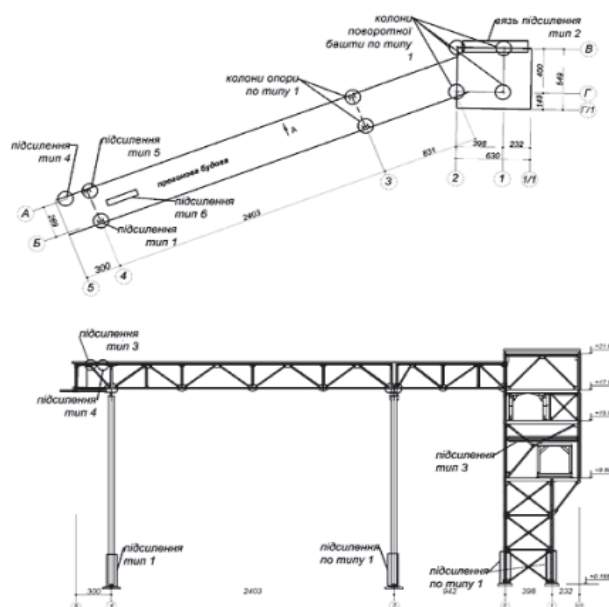
**Рисунок 13** – Розрахункова модель транспортерної галереї з опорами та каркасу складу

ДБН В.2.6-221:2021 «Конструкції силосів сталевих з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення» [9].

У даний час співробітники ДП НДІБК з застосуванням зазначених методів обстежують ряд об'єктів елеваторних комплексів, які пошкоджені внаслідок бойових дій.



**Рисунок 14** – Загальна схема підсилення металоконструкцій норійної башти



**Рисунок 15** – Загальна схема підсилення елементів ділянки транспортерної галереї



## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Elevatorist.com. Головний елеваторний сайт в країні. У квітні на експорт пішло вже 848 тис. тонн зернових. URL: <https://elevatorist.com/novosti/16385-u-kvitni-na-eksport-pishlo-vje-848-tis-tonn-zernovih>
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 47 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій що експлуатуються. Київ: Мінрегіон України, 2017. 57 с.
4. Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів: наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06 серпня 2022 року № 144.
5. Лісеній О., Любченко І., Слюсаренко Ю. Металеві циліндричні силоси для зерна. Наука та будівництво. 2019. № 22(4). С. 27-32. URL: <https://doi.org/10.33644/01005>
6. ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 (EN 1993-4-1:2007, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1. Силоси. Київ: Мінрегіон України. 178 с.
7. Дворник А.М., Любченко І.Г., Титаренко В.А., Шидловська О.В. Основи та фундаменти циліндричних силосів для зерна. Наука та будівництво. 2019. № 19(3). С.12-18.
8. Бабік К.М., Головка Р.О., Дубовик С.О., Зеленко Є.В., Лісеній О.М., Мар'єнков М.Г. Інструментальні дослідження несучої здатності металевих та залізобетонних конструкцій споруд елеваторного комплексу з врахуванням сейсмічного впливу. Будівництво в сейсмічних районах України: тези доп. XII Всеукр. наук. техн. конф. Одеса: ОДАБА, 2021. С. 8-9.
9. ДБН В.2.6-221:2021. Конструкції силосів сталевих з гофрованою стінкою для зерна. Основні положення. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 11 с.
3. DSTU B V.2.6-210:2016. (2017). Assessment of the Technical Condition of Steel Building Structures in Operation. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
4. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine. (2022). On the approval of the Methodology for conducting inspections and documenting its results: Order dated August 6, 2022, No. 144.
5. Lisenyi O., Liubchenko I., & Slyusarenko Y. (2019). Steel circular silos for grains. Science & Construction, 22(4), 27-32. Retrieved from <https://doi.org/10.33644/01005>
6. DSTU-N B EN 1993-4-1:2012 (EN 1993-4-1:2007, Identical to) Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 4-1. Silos. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine.
7. Dvornyk A., Liubchenko I., Tytarenko V., & Shydlovska O. (2019). Bases and foundations for grain cylindrical silos. Science & Construction, 21(3), 12-18. Retrieved from <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v21i3.111>
8. Babik, K. M., Holovko, R. O., Dubovyk, S. O., Zelenko, Y. V., Lisenyi, O. M., & Maryenkov, M. G. (2021). Instrumental Studies of the Load-Bearing Capacity of Metal and Reinforced Concrete Structures of Elevator Complexes Taking into Account Seismic Influence. In Construction in Seismic Regions of Ukraine: Abstracts of the XII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference (pp. 8-9). Odesa: ODABA.
9. DBN V.2.6-221:2021. (2022). Steel Silo Structures with Corrugated Walls for Grain. Basic Provisions. Kyiv: Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 03.08.2023 року

## REFERENCES

1. Elevatorist.com. (2023, October 6). The main elevator website in the country. In April, 848 thousand tons of grain were exported. Retrieved from <https://elevatorist.com/novosti/16385-u-kvitni-na-eksport-pishlo-vje-848-tis-tonn-zernovih>
2. DSTU-N B V.1.2-18:2016. (2017). Guidelines for the Inspection of Buildings and Structures for Determination and Assessment of Their Technical Condition. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC".