

**РЕЗУЛЬТАТИ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ ПЕРЕД ВСТАНОВЛЕННЯМ ДАХОВОЇ СЕС**

**RESULTS OF THE INSPECTION AND TECHNICAL ASSESSMENT OF
AN INDUSTRIAL BUILDING BEFORE THE INSTALLATION OF A
ROOFTOP SOLAR POWER PLANT**

Матюшенко І.М., к. т. н., доц., ORCID ID: 0000-0001-6475-1901, Гайда С.В., д. т. н., проф., ORCID ID: 0000-0001-7468-5661, Рутковська І.З., к. т. н., доц., ORCID ID: 0009-0009-9051-5086, Удовиський О.М., к. т. н., доц., ORCID ID: 0000-0003-2234-806X (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів)

Matiushenko I. M., PhD (Tech.), Ass. Prof., Gayda S. V., D. Sc. (Tech.), Prof., Rutkovs'ka I. Z., PhD (Tech.), Ass. Prof., Udovytskyi O. M., PhD (Tech.), Ass. Prof. (Ukrainian National Forestry University, L'viv)

Проведено комплексне обстеження та оцінка технічного стану будівельних конструкцій покриття промислової будівлі з метою визначення можливості встановлення фотогальванічних панелей на покрівлю будівлі. В рамках робіт виконані процедури згідно з ДСТУ 9273:2024, розроблені рекомендації по відновленню технічного стану несучих конструкцій та можливості експлуатації будівлі з плитами серії 13-93 при встановленні дахової СЕС.

A comprehensive inspection and technical assessment of the roof building structures of the industrial building was carried out in order to determine the possibility of installation photovoltaic panels on the roof of the building. The work included an analysis of technical documentation, visual and instrumental inspection of structures, verification calculations.

During the visual inspection, the structural features of the building were clarified, the condition of the joints of elements and structures and areas with damage and defects were identified. Based on the results of the visual inspection, the categories of the technical condition of the structures were ascertained.

Instrumental researches of building structures was performed using non-destructive testing methods and included determination of concrete strength by ultrasonic method for columns, trusses, and roof slabs. No changes in the physical and mechanical characteristics of the concrete of the building's structures were detected compared to the design data. Reinforcement

parameters were not determined by additional devices, as they were performed by direct measurements due to the exfoliation of the protective concrete layer. Verification calculations were performed for a service life in the range of 3-60 years. It has been established that the load-bearing capacity for roof structures with 13-93 series slabs when installing photovoltaic elements is ensured only when the service life of the building is limited to 3 years.

Based on the results of the inspection, recommendations were developed for restoring the technical condition of load-bearing structures and the possibility of operating structures with 13-93 series slabs after installing a rooftop solar power plant.

Ключові слова:

Оцінка технічного стану, обстеження, плита, колона, ферма, дахова СЕС.

Technical assessment, inspection, column, truss, slab, rooftop solar power plant.

Постановка проблеми. З розвитком технологій виробництва електроенергії за допомогою фотогальванічних елементів в умовах зростання цін на електроенергію та прагнення до сталого розвитку влаштування дахових сонячних електростанцій стало досить привабливим рішенням для великого та малого бізнесу, а також для приватних домогосподарств. Вибір оптимального варіанта встановлення Сонячної електростанції (СЕС) є критично важливим для забезпечення її максимальної ефективності та економічної доцільності. Існує кілька основних типів розміщення фотоелектричних модулів, серед яких найбільш поширеними є дахові та наземні системи, а також менш типові, але перспективні рішення, як-от фасадні або плавучі СЕС [1]. Кожен з цих варіантів має свої особливості, переваги та недоліки, які необхідно враховувати на етапі проєктування.

Розташування фотогальванічних елементів саме на дахах будівель дозволяє більш ефективно використовувати значні площі без забудови додаткових земельних ділянок, також дозволяє уникнути затінення як ділянок, так і самих сонячних панелей. Проте, як наслідок, встановлення сонячних панелей збільшує корисне навантаження на конструкції покриття, тому перед проєктуванням сонячної дахової електростанції необхідно виконувати обстеження технічного стану та перевіркові розрахунки задля визначення можливості прикладання додаткових навантажень.

Крім того, вид будівництва при встановленні сонячної електростанції на даху будівлі зазвичай класифікується як капітальний ремонт або реконструкція, при якому відбувається зміна навантажень на існуючі несучі та/або огорожувальні конструкції та/або схем їх прикладання [1]. Згідно з п.4.1.6 ДБН А.2.2-3 обстеження технічного стану будівлі у разі додаткових навантажень є обов'язковим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основою для проведення обстеження об'єкта згідно з ДСТУ9273:2024 [5] є технічне завдання, в якому замовником були визначені мета обстеження, склад необхідних робіт, форму подання інформації щодо результатів обстежень, тощо. Замовником надана вся технічна документація стосовно об'єкту, яка була в наявності на момент обстеження. При проведенні робіт з обстеження та оцінювання технічного стану об'єкту експерти керувались вимогами ДСТУ [5], [6].

Завдання дослідження Основним завданням дослідження була оцінка технічного стану будівельних конструкцій покриття виробничого корпусу (далі за текстом – цех) з метою визначення можливості встановлення фотогальванічних панелей на покрівлю будівлі з плитами серії 13-93.

При оцінці технічного стану споруди слід було виконати наступні процедури:

- аналіз технічної документації (проектної, виконавчої, експлуатаційної);
- візуальне обстеження будівельних конструкцій та елементів;
- інструментальне обстеження будівельних конструкцій та елементів;
- перевіркові розрахунки;
- оцінка технічного стану за результатами аналізу технічної документації, візуального та інструментального обстежень;
- розробка рекомендацій.

Основні результати Будівля цеху в плані має прямокутну форму, з розмірами в осях «1-25/А-Ц» - 192,4х54,0 м. Висота будівлі від рівня підлоги до ферми покриття – 10,8 м. Конструктивна схема будівлі – каркасна, з поперечними рамами прольотом 18,0 м, крок рам 12,0 м.

Фундаменти під колони каркасу – монолітні залізобетонні, окремо стоячі стовпчасті. Глибина закладання – 2,95 м та 2,35 м. Фундаменти під фахверкові стійки - монолітні залізобетонні, окремо стоячі стовпчасті. Глибина закладання – 2,35 м. На монолітні фундаменти під фахверкові стійки змонтовані збірні залізобетонні фундаментні балки таврового перерізу. Фундаментні балки запроектовані по типовій серії КЭ-01-23.

Колони каркасу – збірні залізобетонні прямокутного перерізу, розміром 800х500 мм та 600х400 мм. Колони запроектовані по типовій серії КЭ – 01– 49. Фахверкові стойки - збірні залізобетонні прямокутного перерізу, розміром 600х400 мм. Стійки запроектовані по типовій серії КЭ – 01– 55.

Вертикальні в'язі – для забезпечення жорсткості каркасу, встановлені в середині температурного відсіку будівлі. При кроці колон 6 м (вздовж крайніх осей) вони виконані хрестовими, при кроці 12 м - порталного типу. Матеріал – гарячекатані швелери.

Підкранові балки – сталевий зварний двотавр.

Ферми покриття - збірні залізобетонні сегментні. Ферми запроектовані по типовій серії ПК-01-129/68. Армування ферм прийнято у виді попередньо

напруженої стрижньової арматури та попередньо напруженого канату. Верхній пояс ферм має ламаний обрис із прямолінійними ділянками між вузлами. Ухил верхнього поясу в межах ширини світлоаераційного ліхтаря прийнятий рівним 1:12. Опорні вузли ферм мають висоту 900 мм, при цьому ухил покрівлі на міжліхтарних ділянках не перевищує 1:3,5. Загальна стійкість ферм і покриття в процесі експлуатації будівлі забезпечується жорстким диском покриття і зв'язками. У прольотах із ліхтарями по гребню ферм встановлені розпори, а у двох комірках температурного відсіку ферми в межах ширини ліхтаря розкріплені горизонтальними сталевими в'язями.

Плити покриття – збірні залізобетонні ребристі розмірами 3х12 м та 0,8х12 м (бортові плити ліхтарів). Плити запроектовані по типовим серіям 13 – 93 та ПК-01-95.

Світлоаераційні ліхтарі – сталеві уніфіковані шириною 6 м. Ліхтарі встановлені між осями «Д-Е», «И-К», «М-Н» та «Р-С» з осі «3» до осі «23». Конструкції ліхтарів запроектовані по типовій серії ПК-01-127.

Зовнішні стіни – збірні навісні стінові панелі товщиною 200 мм. Матеріал – шлакопемзобетон, локально – керамічна цегла. Панелі запроектовані по типовій серії СТ-02-31. Міжцехові перегородки – збірні залізобетонні навісні панелі, товщиною 100 мм, а також сталеві навісні щити. Підлога – асфальтобетонна, бетонна, керамічна цегла.

Покрівля - утеплювач з арболіту, вирівнювальний шар з асфальтобетону (для плит покриття ліхтарів шар асфальтобетону відсутній) та гідроізоляційне покриття (2-3 шари наплавленого руберойду по шару мастики).

Результати аналізу технічної документації. В якості проектної документації був проаналізований робочий проект, розроблений в 1966 р. В якості вишукувальної документації проаналізовано звіт про інженерно-геологічні вишукування. Виконавча та експлуатаційна документація для даної будівлі не виявлена.

Результати візуального обстеження. В ході візуального обстеження конструкцій споруди виконані наступні процедури:

- огляд конструкцій з метою визначення фактичної конструкційної схеми;
- визначення стану вузлів сполучення елементів і конструкцій;
- виявлення недоробок, неякісного виконання робіт при будівництві і ремонтах, що призводять до зниження несучої здатності конструкцій;
- оцінка фактичних умов експлуатації конструкцій, виявлення порушень умов нормальної експлуатації;
- визначення ділянок з ушкодженнями і дефектами.

За результатами візуального обстеження встановлено категорії технічного стану конструкцій:

- фундаменти – нормальний технічний стан - I категорія;
- колони – задовільний технічний стан - II категорія;
- ферми покриття – задовільний технічний стан - II категорія;

- плити покриття – непридатний до нормальної експлуатації (незадовільний) технічний стан - III категорія та задовільний технічний стан - II категорія;
- світлоаераційні ліхтарі – задовільний технічний стан - II категорія;
- покрівля – задовільний технічний стан - II категорія (локально – непридатний до нормальної експлуатації – III категорія).

На рис. 1-6 представлені характерні дефекти несучих та огорожувальних конструкцій.



Рис.1. Відшарування захисного шару та оголення поздовжніх арматурних стрижнів колон



Рис.2. Відшарування захисного шару та оголення поперечних арматурних стрижнів ферм

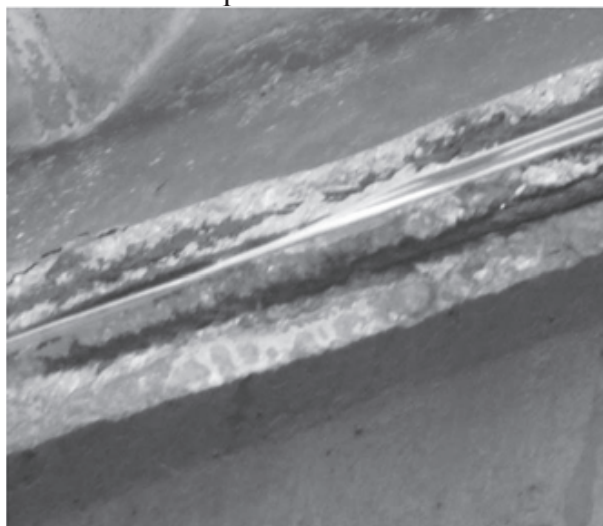


Рис.3. Руйнування захисного шару, оголення та корозія поздовжньої арматури плити покриття



Рис.4. Локальне руйнування антикорозійного покриття та поверхнева рівномірна корозія

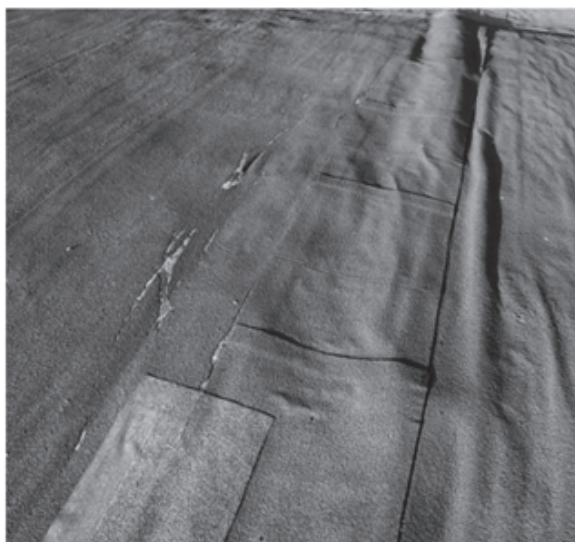


Рис.5. Розтріскування, сповзання
руберойду



Рис.6. Відшарування примикання
покрівлі

Результати інструментального обстеження. Інструментальне обстеження будівельних конструкцій виконано з метою визначення міцності бетону методами неруйнівного контролю. Параметри армування додатковими приладами не визначались, так як виконувались прямими замірами внаслідок відшарування захисного шару бетону.

Методика інструментального обстеження залізобетонних конструкцій прийнята у відповідності до вимог ДСТУ [7].

Міцність бетону конструкцій ультразвуковим методом визначена із застосуванням приладу «Novotest ИПСМ» відповідно до посібника з експлуатації приладу.

Ультразвуковий метод базується на залежності між швидкістю поширення ультразвукових коливань в бетоні і його міцністю. Ультразвукові вимірювання в бетоні проведені способами наскрізного або поверхневого прозвучування. На кожній контрольованій ділянці виконано не менше п'яти вимірювань часу поширення ультразвуку при поверхневому прозвучуванні. Міцність бетону на ділянці визначена за середнім значенням отриманих результатів вимірювань часу поширення ультразвуку.

Результати визначення міцності матеріалів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати визначення міцності залізобетонних конструкцій

Конструктивний елемент	Результати інструментального контролю		
	Коефіцієнт варіації, %	Середня міцність бетону, МПа	Клас бетону
Колони	8,9	29,19	C20/25 (B25, M350)
Ферми покриття	9,7	29,3	C20/25 (B25, M350)
Плити покриття	8,0	35,95	C25/30 (B30 M400)

Результати перевірових розрахунків. Перевіркові розрахунки виконані для перевірки несучої здатності конструкцій покриття каркасу будівлі при встановленні на них фотогальванічних панелей Longi Solar потужністю 600 Вт.

В якості навантажень, що діють на плити покриття, прийняті: власна вага плити, вага конструкції покрівлі та снігове навантаження. Збір навантажень, що діють на плити покриття, виконувався згідно з вимогами ДБН В.1.2-2-2006 [3]. Матеріали та їх товщини прийняті за результатами контрольних вирізок матеріалів покрівлі. При розрахунку снігового навантаження коефіцієнт надійності за навантаженням приймався для наступних термінів експлуатації будівлі, T_{ef} :

- $T_{ef}=60$ років (проектного значення терміну експлуатації), $\gamma_{fm1} = 1,04$;
- $T_{ef}=10$ років (залишковий термін експлуатації), $\gamma_{fm1} = 0,69$;
- $T_{ef}=5$ років (залишковий термін експлуатації), $\gamma_{fm1} = 0,55$;
- $T_{ef}=3$ років (залишковий термін експлуатації), $\gamma_{fm1} = 0,44$.

Перевірка несучої здатності конструкцій виконувалась шляхом порівняння граничного розрахункового навантаження з гранично допустимим.

Для плит покриття, які змонтовані по фермах:

- $5,04 \text{ кН/м}^2 < 6,1 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=60$ р.);
- $4,55 \text{ кН/м}^2 < 6,1 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=10$ р.);
- $4,35 \text{ кН/м}^2 < 6,1 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=5$ р.);
- $4,2 \text{ кН/м}^2 < 6,1 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=3$ р.).

Для плит покриття, які змонтовані по ліхтарях:

- $4,28 \text{ кН/м}^2 > 4,2 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=60$ р.);
- $3,79 \text{ кН/м}^2 < 4,2 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=10$ р.);
- $3,44 \text{ кН/м}^2 < 4,2 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації плити покриття $T_{ef}=3$ р.).

Для конструкцій світлоаераційних ліхтарів:

- $4,28 \text{ кН/м}^2 > 3,5 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації ліхтарів $T_{ef}=60$ р.);
- $3,79 \text{ кН/м}^2 > 3,5 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації ліхтарів $T_{ef}=10$ р.);
- $3,59 \text{ кН/м}^2 > 3,5 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації ліхтарів $T_{ef}=5$ р.);
- $3,44 \text{ кН/м}^2 < 3,5 \text{ кН/м}^2$ (термін експлуатації ліхтарів $T_{ef}=3$ р.).

Дані проектної документації, а також типової серії ПК-01-129/68, свідчать про те, що ферми покриття запроектовані на розрахункове постійне рівномірне розподілене навантаження - $3,6 \text{ кН/м}^2$ (360 кг/м^2) (без урахування власної ваги ферми), а також розрахункове короткочасне рівномірне розподілене навантаження – $0,7 \text{ кН/м}^2$ (70 кг/м^2).

Висновки За результатами комплексного обстеження будівельних конструкцій покриття цеху встановлено, що прийняті об'ємно-планувальні та конструкційні рішення будівлі відповідали вимогам чинних на момент проектування норм і правил. Режим з відхиленнями від нормальної роботи конструкцій не виявлені. Відмов будівельних конструкцій не зафіксовано. За результатами візуального та інструментального обстеження встановлено категорії технічного стану конструкцій. За результатами інструментального обстеження встановлено клас (марку) бетону конструкцій покриття будівлі, змін фізико-механічних характеристик бетону конструкцій покриття будівлі в порівнянні з проектними даними не виявлено.

Результати перевірових розрахунків відповідно до чинних НД свідчать про те, що несуча здатність конструкцій покриття при встановленні на покрівлю фотогальванічних панелей Longi Solar 600 Вт не забезпечується (характеристичне значення від снігового навантаження згідно ДБН [3] **Помилка! Джерело посилання не знайдено.** становить - $1,39 \text{ кН/м}^2$ ($139,0 \text{ кг/м}^2$)) (при розробці проекту та типових серій на будівельні конструкції при розрахунках нормативні значення від снігового навантаження приймалися в межах $0,6\text{-}0,7 \text{ кН/м}^2$ ($60 - 70 \text{ кг/м}^2$)). Несуча здатність конструкцій покриття при встановленні фотогальванічних панелей Longi Solar 600 Вт забезпечується тільки при обмеженні терміну експлуатації конструкцій покриття з плитами серії 13-93 не більше ніж 3 роки.

1. Avenston: Класифікація сонячних електростанцій (CEC). URL: <https://avenston.com/articles/pv-power-plants-classification/>.

Avenston: Kласyfikatsiia soniachnykh elektrostansii (SES). URL: <https://avenston.com/articles/pv-power-plants-classification/>.

2. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Зі змінами № 1, № 2 та Поправкою до Зміни № 2. [Чинний від 2022-07-01]. Київ: Мінрегіон України, 2022. 33 с.

DBN A.2.2-3:2014. Sklad ta zmist proektnoi dokumentatsii na budivnytstvo. Zi Zminamy № 1, № 2 ta Popravkoiu do Zminy № 2. [Chynnyi vid 2022-07-01]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2022. 33 s.

3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-10-01]. Київ: Мінрегіон України, 2017. 68 с.

DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. [Chynnyi vid 2007-10-01]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2017. 68 s.

4. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. [Чинний від 2018-01-01]. Вид.офіц. Київ: Мінрегіон України, 2017. 54 с.

DBN V.2.6-220:2017. Pokryttia budivel i sporud. [Chynnyi vid 2018-01-01]. Vyd.ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2017. 54 s.

5. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-09-01]. Вид.офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2024. 78 с.

DSTU 9273:2024. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichniy opir ta stiikist. [Chynnyi vid 2024-09-01]. Vyd.ofits. Kyiv: DP UkrNDNTs, 2024. 78 s.

6. ДСТУ Б В.2.6-210-2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. [Чинний від 2017-01-01]. Вид.офіц. Київ: Мінрегіон України, 2016. 53 с.

DSTU B V.2.6-210-2016. Otsinka tekhnichnoho stanu stalevykh budivelnykh konstruktsii, shcho ekspluatuiutsia. [Chynnyi vid 2017-01-01]. Vyd.ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2016. 53 s.

7. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. [Чинний від 2010-09-01]. Вид.офіц. Київ: Мінрегіон України, 2010. 26 с.

DSTU B V.2.7-226:2009. Budivelni materialy. Betony. Ultrazvukovy metod vyznachennia mitsnosti. [Chynnyi vid 2010-09-01]. Vyd.ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2010. 26 s.