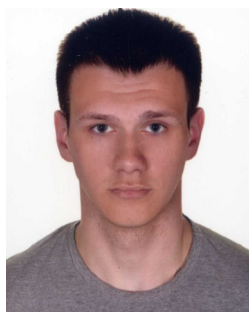




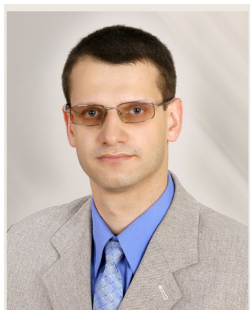
## АВТОРИ



**ГЛАДИШЕВ Г.М.**  
Канд. техн. наук,  
доцент, Національний  
університет „Львівська  
політехніка”, інститут  
будівництва та інженерії  
довкілля



**ГЛАДИШЕВ Р.Д.**  
Студент, Національний  
університет „Львівська  
політехніка”, інститут  
будівництва та інженерії  
довкілля



**ГЛАДИШЕВ Д.Г.**  
Канд. техн. наук,  
доцент, Національний  
університет „Львівська  
політехніка”, інститут  
архітектури

# АНАЛІЗ ПРИЧИН ТА ПОСЛІДОВНОСТІ УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ В РЕБРИСТИХ ПЛИТАХ ПОКРИТТЯ

УДК 624.012.35/36

## АНОТАЦІЯ

*Представлено результати дослідження технічного стану 2891-ї ребристої плити покриття існуючого виробничого корпусу з неагресивним виробництвом. Дослідження проводились з метою визначення типу та кількості різних дефектів в них для аналізу причин їх виникнення і послідовності розвитку за час експлуатації. Проведений аналіз показав, що першопричиною виникнення дефектів стало порушення технології контролю якості під час улаштування теплоізоляційного килиму з відхиленнями від проектного рішення.*

*The paper presents the results of a study of the technical condition of 2891th rib plates to cover the existing production building with aggressive production. Studies were conducted to determine the type and quantity of various defects in them, to analyze their causes and sequence of development during the operation. The analysis showed that the root cause of defects was the violation of the technology of quality control in the device thermal insulation of the carpet with deviations from design solutions.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

ребристі плити, вологість, дефекти, технічний стан

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Визначення технічного стану елементів типових напружених та ненапружених ребристих плит покриття суміщених дахів промислових будівель під час їх обстеження сьогодні є доволі актуальним завданням у зв'язку з тим, що більшість таких споруд побудовані у 70-х роках минулого століття, а шари теплоізоляції на великих площах в цих дахах практично не змінювали під час неодноразових ремонтів.

Виконаний авторами в роботі [1] порівняльний аналіз проектних рішень з якістю виконання будівельно-монтажних робіт з улаштування суміщених дахів дав можливість виявляти вплив факторів, які не враховуються під час їх проектування та виконання робіт, що призводить до часткового зниження експлуатаційної надійності конструкцій збірних залізобетонних ребристих плит покриття навіть і при неагресивних умовах виробництва.

Будь-яке необґрунтоване і не узгоджене з проектантами відхилення від вимог діючої на час розробки проектною документації при початковому проектуванні та на час розробки проекту реконструкції пот-



рібно розглядати як дефекти. Ці дефекти виникають при відсутності поопераційного контролю за виконанням будівельно-монтажних робіт. Перехід конструкції даху з працездатного стану у непрацездатний (стан відмови) відбувається внаслідок поступового нагромадження дефектів або за рахунок прихованих дефектів, що вже присутні у конструкції даху.

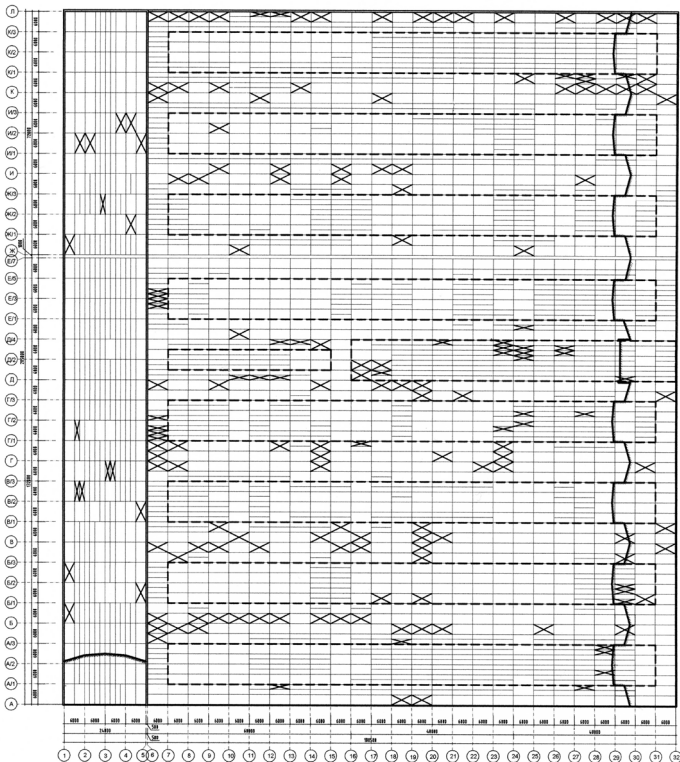
## МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження технічного стану ребристих плит покриття різних типових марок виконані з метою визначення типу та кількості різних дефектів в них. Аналіз типів, кількості та місць розташування дефектів дасть можливість визначення причин їх виникнення і послідовності розвитку за час експлуатації.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень є ребристі залізобетонні плити покриття двох типових марок з розмірами в плані 3×6 м та 1,5×6м в складі суміщеного даху будівлі виробничого корпусу із виробництва пральних машин фабрики ТзОВ „Українська побутова техніка” в м. Івано-Франківськ. Схематичний план даху та конструктивні особливості зображені на рис. 1.

Розміри даху будівлі в осях „1-32” / „А-Л” становлять: 205×180,5 м; площа  $\geq 37002,5 \text{ м}^2$ .



**Рис.1.** План даху будівлі зі схоластичним розташуванням типових ребристих плит покриття з різними розмірами в плані: 3×6м та 1,5×6м. На плані даху «X» позначені плити покриття, що знаходяться в аварійному стані.

Для оцінки технічного стану та фактичної несучої здатності було обстежено 2891-у ребристу залізобетонну плиту покриття з загальною площею 36567м<sup>2</sup>. У загальній кількості обстежених плит було визначено, що плит з розмірами в плані 3×6 м – 1172шт., площею  $S_{3x6}=21096\text{м}^2$  – 57,7% від загальної площі; 1,5×6м – 1719 шт. - площею  $S_{1,5x6}=15471 \text{ м}^2$  – 42,3% від загальної площі. Умовна різниця площ  $\Delta S \geq 435,5\text{м}^2$  – за рахунок конструктивних рішень поперечних та поздовжніх температурних швів.

Проектна документація розроблена Харківським інститутом „УКРГИПРОМАШ” у 1971 році для заводу автоматичних ліній „АВТОЛИТМАШ” в м. Івано-Франківськ і на час обстеження не знайдена. Дирекція фабрики надала єдину архівну інформацію про те, що згідно будівельної частини технічного проекту 1971 року у покриття заводу автоматичних ліній повинні були змонтовані плити покриття марок: ПКЖ-1, ПКЖ-2, ПКЖ-3, які згідно серії ПК-01-106 [2] мають розміри 1,5×6 м.



**Рис.2.** Блок в осях „Б-А”/„6-32” в процесі реконструкції корпусу фабрики.



**Рис.3.** Загальний вид блоку в осях „Б-А”/„6-32”, після реконструкції



Рис.4. Загальний вид на покрівлю в осях „6-7”/„А-А”, після реконструкції.

Виробничий корпус фабрики був зданий в експлуатацію у 1975 році. Реконструкція існуючої будівлі заводу під виробничий корпус фабрики із виробництва пральних машин почалася у 2007 році після 32 років експлуатації (рис. 2, 3). У цьому ж році почали ремонт верхнього гідроізоляційного шару даху (рис. 4).

В процесі обстеження на значній площі даху виявили ребристі плити з розмірами 3×6м (рис. 1), що не відповідає проектному рішенню. Тому спочатку основна увага була приділена дослідженню саме цих плит, в результаті чого визначили їх конструктивні параметри:

- геометричні розміри плит – 5960×2980×300 мм;
- поздовжня попередньо напружена арматура плит – 2Ø20 А-IIIв (по одному стержню в ребрі);
- загальна статистична обробка даних із зондування бетону плит покриття 3×6м показала, що фактичний 95% гарантований клас бетону С20 при його коливаннях по плитах від С30 до С17,5. Коефіцієнт варіації коливається між  $V_c=8,55\dots12,79\%$  в межах замірів міцності бетону безпосередньо плит, а по всій сукупності замірів  $V_c=18,34\%$ , що вказує на його мінливість з перевищенням нормованого значення

$V_c=13,5\%$  за [5] на 35%.

- плита ідентифікована за серією ПК-01-74/62 [3], маркою ПНС-3/3×6;
- проектна марка бетону плит у серії ПК-01-74/62, М300 (куби 20 см); плити запроектовані згідно [4];
- допустиме типове розрахункове навантаження на плити марок ПНС-3/3×6 – 350 кг/м<sup>2</sup> при  $\gamma_f=1,2$ , без врахування її власної ваги 160 кг/м<sup>2</sup>, при  $\gamma_f=1,1$ ;
- загальна типова розрахункова несуча здатність плит з власною вагою плити: 510 кг/м<sup>2</sup> при  $\gamma_f=1,172$  та 435 кг/м<sup>2</sup> (нормативне) при  $\gamma_f=1$ ;

В процесі обстеження залізобетонних ребристих не напружених плит покриття з розмірами в плані 1,5×6 м визначили:

- геометричні розміри плит – 5970×1490×300 мм;
- у 54,5% обстежених плит покриття робочою арматурою поздовжніх ребер є 2Ø16 А-III (по одному стержню в ребрі);
- у 36,4% обстежених плит покриття робочою арматурою поздовжніх ребер є 2Ø18 А-II (по одному стержню в ребрі);
- у 9,1% обстежених плит покриття, робочою арматурою поздовжніх ребер є 2Ø22 А-III (по одному стержню в ребрі);



Рис.5. В процесі визначення технічного стану плит покриття сумішеного даху виробничого корпусу.



- проведений аналіз показав, що плити покриття  $1,5 \times 6$  м з робочою арматурою поздовжніх ребер  $2\text{Ø}18$  А-II та  $2\text{Ø}16$  А-III мають однакову несучу здатність;
- загальна статистична обробка даних із зондування бетону плит покриття  $1,5 \times 6$  м показала, що фактичний 95% гарантований клас бетону С17,5 при його коливаннях від С15 до С22,5. Коефіцієнт варіації коливається між  $V_c=9,76\% \dots 14,95\%$  в межах замірів міцності бетону безпосередньо плит, а по всій сукупності замірів  $V_c=17,85\%$ , що вказує на його мінливість з перевищенням нормованого значення  $V_c=13,5\%$  за [5] на 32,2%.
- за основний критерій несучої здатності плит  $1,5 \times 6$  м прийнята вказана у технічному проекті 1971 року плита марки ПКЖ-3 ідентифікована за серією ПК-01-106 [2]. Інші марки плит ПКЖ-1, ПКЖ-2, що повинні бути змонтовані, при обстеженні не виявлені. Згідно серії плити покриття, армовані робочою арматурою поздовжніх ребер  $2\text{Ø}18$  А-II (по одному стержню в поздовжньому ребрі), мають допустиме розрахункове навантаження  $348 \text{ кг/м}^2$  при  $\gamma_f=1,2$ , без врахування її власної ваги  $192 \text{ кг/м}^2$ , при  $\gamma_f=1,1$ ; загальну розрахункову несучу здатність плит з власною вагою  $540 \text{ кг/м}^2$  при  $\gamma_f=1,2$  та  $450 \text{ кг/м}^2$  експлуатаційну (нормативну) при  $\gamma_f=1$ ;
- проектна марка бетону плити ПКЖ-3 у серії ПК-01-106 – М200 (куби 20 см); плити запроектовані згідно [4];

За багаторічний період експлуатації в елементах залізобетонних плит покриття проявилися дефекти різного типу, що кількісно і якісно по різному розподілилися в конструктивних елементах плит на різних ділянках площі покриття (рис. 6 - 11).

В роботі [1] автори зробили висновок, що існуюча конструкція покрівлі над виробничим корпусом не забезпечує необхідні теплотехнічні умови експлуатації споруди згідно чинних нормативних документів. У зимовий період температура на рівні низу полицок залізобетонних плит покриття не досягає точки роси  $t_r = +6^\circ\text{C}$ , та ще менша в межах товщини зволоженого утеплювача. Новий суцільний верхній гідроізоляційний шар на поверхні старої покрівлі поклали тільки через 32 роки її експлуатації. У зв'язку з цим на поверхні плит та в утеплювачі утворюється водний конденсат.

Найнижчі точки в конструкції даху – розжолобки, що знаходяться над опорами ферм та балок і є найнебезпечнішою ділянкою за рахунок збільшення товщини шарів покрівлі; надмірного зволоження теплоізоляційних шарів водою, що дренає по гідроізоляції з одного або двох скатів даху. Підтверджує це і характер послідовності відшарування водоемульсійної фарби від нижньої поверхні плит (рис. 7, 8). Так, за рахунок нахилу ребристих плит волога стікає по їх нахилений нижній грані на поздовжні ребра, що розташовані нижче по скату, і йде найбільше їх зволоження з поступовим, в часі експлуатації, утворенням в них дефектів



Рис.6. Зволоження конденсатом нижньої поверхні полицок плит по скату даху.



Рис.7. Початок відшарування водоемульсійної фарби від зволоженого бетону полицок.



Рис.8. Характер відшарування водоемульсійної фарби з полицок плит по скату даху.



Рис.9. Зволоження конденсатом нижньої поверхні полицок плит у покритті ліхтаря.



Рис.10. Руйнування захисного шару бетону плити з оголенням арматури в поздовжньому ребрі.

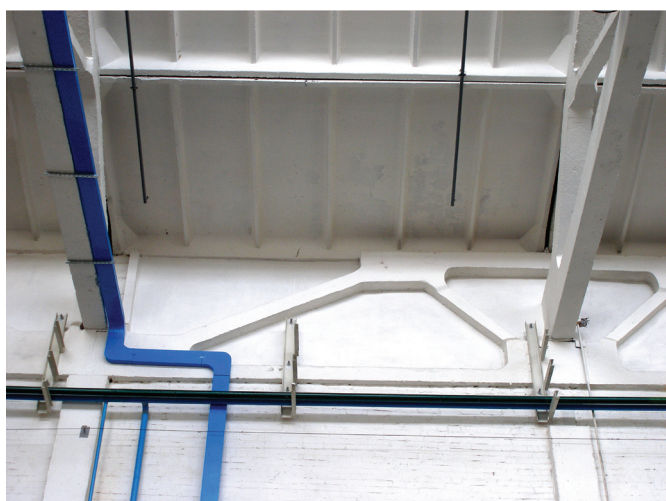


Рис.11. Вертикальні тріщини шириною до 3мм в прольоті, прогин – 40 мм, плита в осях „8-9” біля осі „Б” – аварійна по одному поздовжньому ребру.

№ 2, 3, 5.2, 6.1, 7, 9.1, 10.2, за нумерацією табл. 1.

В табл. 1 наведена класифікація виявлених характерних дефектів в конструктивних елементах плит покриття, що систематизована за послідовністю утворення та за підвищенням негативного впливу дефектів на зниження довговічності та несучої здатності плит та їх окремих елементів.

Характерні дефекти плит покриття в таблиці віднесені до трьох технічних станів [6]: II – задовільний, III – непридатний для нормальної експлуатації та IV – аварійний.

Графіки, що наведені на рис. 12 та 13, відповідно для плит покриття з розмірами в плані 3×6 м та 1,5×6 м, відслідковують кількісний та відсотковий аналіз розподілу характерних дефектів в конструктивних елементах плит із різними розмірами в плані за класифікацією, що наведена в табл. 1.

Сумісний аналіз графіків (рис. 12 та 13) та табл. 1 підтверджує, що випадкова сукупність та не контрольований розвиток послідовно утворених дефектів за 40 років експлуатації плит покриття виробничого корпусу розподіляє їх стан по трьох умовно фіксованих технічних станах: II – задовільному, III – непридатному для нормальної експлуатації з поступовим або раптовим переходом до IV – аварійного стану в залежності від характеру і сукупності дефектів та особливостей роботи плит в загальній фактичній (розпирній) схемі покриття [7], що не враховані в їх проектній розрахунковій схемі.

## ВИСНОВКИ

Основною причиною виникнення і послідовного розвитку в часі дефектів в типових напружених ребристих плитах покриття марок ПНС-3/3×6 серії ПК-01-74/62 та не напружених ПКЖ-3 серії ПК-01-106 за 40 років експлуатації є довготривале конденсаційне зволоження бетону елементів плит за недостатніми теплотехнічними властивостями теплоізоляційного килиму.

В процесі реконструкції даху не були встановлені аератори (флюгарки) для відводу вологи з-під нового покрівельного гідроізоляційного килиму, що був встановлений за 32 роки експлуатації.

Зафіксований характер відшарування водоемульсійної фарби по скату даху з нижньої поверхні полицок ребристих плит від інтенсивності їх зволоження. Це також вказує на помилкове нанесення фарб, що не мають дифузійних властивостей, на вологі бетонні поверхні.

Однією з причин руйнування спочатку поперечних, потім поз-довжніх ребер плит є недостатня товщина захисного шару бетону, особливо у поперечних ребрах плит з більшою їх довжиною за рахунок відсутності жорсткої фіксації арматурних каркасів в нижній частині ребер.

У 1172-х ребристих попередньо напружених плитах марок ПНС-3/3×6, що змонтовані у покритті, технічні стани розподілені наступним чином: 53,75% – II;



Таблиця 1. Характерні дефекти в конструктивних елементах плит покриття та класифікаційні ознаки їх технічного стану

№ та послідовність розвитку дефектів	Найменування дефектів	Класифікація технічного стану за [6]
1	2	3
1	Періодичне зволоження бетону на нижній поверхні полицок плит, за рахунок недостатніх властивостей теплоізоляційного килиму [1]	II
2	Зволоження бетону поперечних та поздовжніх ребер плит	II
3	Відшарування водоемульсійної фарби з внутрішньої поверхні плит	II
4	Волосяні тріщини у полицках плит	II
5.1	Поверхнє руйнування бетону внутрішньої поверхні полицок плит	II
5.2	Поверхнє руйнування бетону поздовжніх ребер плит	II
5.3	Поверхнє руйнування бетону поперечних ребер плит	II
5.4	Поверхнє руйнування бетону торцевих ребер плит	II
6.1	Волосяні тріщини вздовж арматури поздовжніх ребер плит	II
6.2	Волосяні тріщини вздовж арматури поперечних ребер плит	II
6.3	Волосяні тріщини вздовж арматури торцевих ребер плит	II
7	Следи корозії арматури у полицках плит	II
8	Похили тріщини у поздовжніх ребрах плит	III
9.1	Горизонтальні тріщини в поздовжніх ребрах плит	III
9.2	Горизонтальні тріщини в поперечних ребрах плит	III
9.3	Горизонтальні тріщини в торцевих ребрах плит	III
10.1	Оголення арматури на нижній поверхні полицок плит	IV
10.2	Оголення арматури поздовжніх ребер плит або їх частин	IV
10.3	Оголення арматури поперечних ребер плит або їх частин	IV
10.4	Оголення арматури торцевих ребер плит або їх частин	IV
11.1	Відсутність поперечних ребер плит або їх частин	IV
11.2	Відсутність торцевих ребер плит або їх частин	IV
12	Плити віднесені до аварійних в результаті зафіксованого наднормативного розкриття тріщин в ребрах плит та (або) прогинів	IV
13	Недостатнє обпирання ребер плит з аналізом стану і типу опорних зон	IV
14	Руйнування бетону біля опор ребер плит з аналізом типу їх армування	IV

**Зауваження 1.** Технічний стан плит покриття, в яких поздовжні ребра віднесені "за технічним станом" до III - "незадовільного", при виконанні проекту підсилення повинні бути відкориговані за сукупністю дефектів, що фактично зафіксовані в цих плитах, і плити віднесені до стану IV - "аварійного", і відповідно підсилити.

**Зауваження 2.** Плити покриття, що за перевірочними розрахунками не мають достатньої несучої здатності на сукупність експлуатаційних або розрахункових навантажень, слід віднести до стану IV - "аварійного" і відповідно підсилити.

**Зауваження 3.** З розгляду на підсилення за технічним станом видлучені плити з розмірами 3×6 м, в яких дефектні поздовжні ребра лежать на цегляному мурі стін, в межі яких вмуровані підкривані ферми прольотом 12 м (рис. 11, 14).

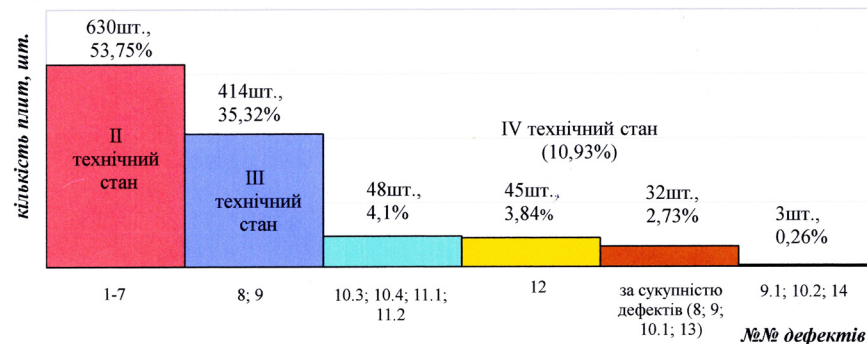


Рис.12. Розподіл технічних станів по 1172-х ребристих попередньо напружених плитах марок ПНС-3/3×6 серії ПК-01-74/62 за ознаками дефектів, що наведені в табл. 1

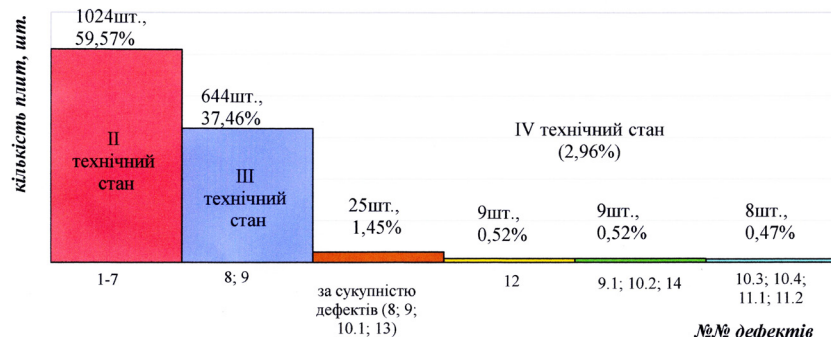


Рис.13. Розподіл технічних станів по 1719-ти ребристих плитах марок ПКЖ-3 серії ПК-01-106 за ознаками дефектів, що наведені в табл. 1.

35,32% – III; 10,93% – IV.

У 1719-х ребристих ненапружених плитах марок ПКЖ-3, що змонтовані у покритті, технічні стани розподілені наступним чином: 59,57% – II; 37,46% – III; 2,96% – IV.

З порівняння гістограм (рис. 12, 13) видно, що плити марок ПНС-3/3×6 та плити ПКЖ-3 мають практично однакові відсотки плит, що знаходяться у II та III технічних станах. Але в технічному стані IV знаходиться більша кількість плит – 107 плит (83,6%) марок ПНС-3/3×6 із загальної кількості 128 аварійних плит. На відміну від 8 плит (15,7%) марок ПКЖ-3 із загальної кількості 51 аварійних плит.

Аналіз розташування плит покриття марки ПНС-3/3×6 із розмірами в плані 3×6 м, що знаходяться в аварійному стані, показав, що з 128 аварійних плит 107 плит (83,5%) знаходяться вздовж опор кроквяних залізобетонних сегментних ферм 24 м (рис. 6 - 9).

З 51 плити марки ПКЖ-3, що знаходяться в аварійному стані, тільки 8 плит (9,8%) знаходяться вздовж опор кроквяних конструкцій і тільки в одному блоці в осях „Д-Д/4”, вздовж опор балок з прольотом 12 м.

Але це порівняння умовне, так як у аварійному стані знаходяться 107 плит (19,7%) марок ПНС-3/3×6 із загальної кількості 544 плити, що за конструктивним вирішенням обрису покрівлі знаходяться у більш невідповідних умовах експлуатації (над опорами ферм), ніж плити марок ПКЖ-3, з яких віднесені до аварійних тільки 8 плит (38,9%) з 18 плит, що знаходяться у таких самих умовах (рис. 1).

Порушення технологій контролю якості під час улаштування теплоізоляційного килиму суміщеного даху з відхиленнями від проектного рішення призвело до зволоження і втрати ним теплозахисних властивостей. Це в свою чергу проявилось у зволоженні бетону плит покриття, корозії робочої арматури поперечних і поздовжніх ребер плит та в утворенні тріщиноутворень, що знизило

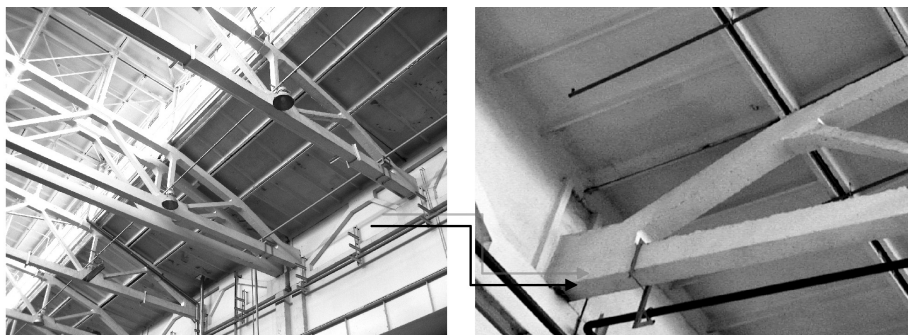


Рис.14. Підкрюквяні ферми прольотом 12 м, що вмуровані в цегляний мур протипожежних стін.

їх несучу здатність.

Одержані результати обстежень необхідно використати для розробки проекту ремонту та підсилення плит покриття, що пов'язано з їх технічним станом та врахуванням фактично діючих на них постійних та снігових навантажень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гладисhev Д.Г. Дослідження технічного стану будівель, споруд та їхніх елементів: монографія / Гладисhev Д.Г., Гладисhev Г.М. – Львів: видавництво Львівської політехніки, 2012. – 304 с.
2. Серія ПК-01-106. Железобетонные плиты размером 1,5×6 м для покрытий промышленных зданий. – М., 1963.
3. Серия ПК-01-74/62. Крупнопанельные железобетонные предварительно напряженные плиты размером 3×6 м для покрытий промышленных зданий. – М., 1963.
4. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП II-V.1-62. – [Аннулирован с 1977-01-01]. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962.
5. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – (Будівельні норми України).
6. Нормативні документи з питань обстеження, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – К.: Держбуд України, 1999. – 153 с.
7. Гладисhev Д.Г. Напружено-деформований стан залізобетонних балок з пружним горизонтальним переміщенням опор в рамних системах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 „Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Д.Г. Гладисhev. – Львів, 2004. – 23 с.

## REFERENCES

1. Hladyshev, D.H., & Hladyshev, H.M. (2012). Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel, sporud ta yikhnikh elementiv [A study of the technical condition of buildings, constructions and their elements]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [in Ukraine].
2. Zhelezobetonnyye plity razmerom 1,5×6 m dlya pokrytiy promyshlennykh zdaniy [A reinforced concrete slab 1,5×6 m for coatings of industrial buildings]. (1963). Seriya PK-01-106. Moscow: Standard series [in Russian].
3. Krupnopanельnyye zhelezobetonnyye predvaritelno napryazhennyye plity razmerom 3×6m dlya pokrytiy promyshlennykh zdaniy [Large-panel reinforced concrete prestressed plate size 3×6 m for coatings of industrial buildings]. (1963). Seriya PK-01-74/62. Moscow: Standard series [in Russian].
4. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Normy proyektirovaniya [Concrete and reinforced concrete structures. Design standards]. (1962). SNiP II-V.1-62 Repealed from 1th January 1977. Moscow: state standard [in Russian].
5. Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia [Construction of houses and buildings. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. (2011). DBN V.2.6-98:2009 from 1<sup>st</sup> July 2011. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukraine].
6. Normatyvni dokumenty z pytan obstezhennia, pasportyzatsii, bezpechnoi ta nadiinoi ekspluatatsii vyrobnychkykh budivel i sporud [Regulations regarding examination, certification, safe and reliable operation of industrial buildings and structures]. (1999). Kiev: Derzhbud Ukrainy [in Ukraine].
7. Hladyshev, D.H. (2004). Napruzheno-deformovanyi stan zalizobetonnykh balok z pruzhnyim horizontalnym peremishchenniam opor v ramnykh systemakh [The stress-strain state of reinforced concrete beams with elastic horizontal displacement of the supports in frame systems]. Extended abstract of candidate's thesis [in Ukrainian].