

На правах рукопису

ГАЛАКТІОНОВ Олександр Валентинович

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ТА
ДОВГОВІЧНОСТІ ОГОРОДЖУЮЧИХ
КОНСТРУКЦІЙ ПОКРИТТІВ ПРОМИСЛОВИХ
БУДІВЕЛЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ**

Спеціальність 05.23.01 - Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук



ДВ 35.173

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Металеві конструкції" Донбаської державної академії будівництва і архітектури.

Науковий консультант - академік АІН України, доктор технічних наук, професор
ГОРОХОВ Євген Васильович

Офіційні опоненти - Доктор технічних наук, професор
КАЗАКЕВИЧ Михайло Ісаакович;
Кандидат технічних наук,
дійсний член Української
Академії Архітектури, доцент
ЛЕБЕДИЧ Ігор Миколайович

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00753674 (W)

Провідна організація - ДПІ "Днепрпроектстальконструкція"
м. Дніпропетровськ.

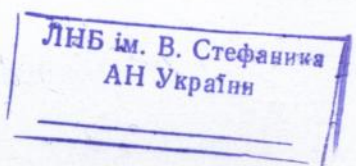
Захист відбудеться 28 квітня 1996 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 27.01.02 в Донбаській державній академії будівництва і архітектури за адресою:
339023, Донецька обл., м. Макіївка, вул. Державіна, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Донбаської державної академії будівництва і архітектури.

Автореферат розісланий "28" травня 1996 р.

В.О. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради
доктор техн. наук, професор

В.А. Матвієнко



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Легкі металеві конструкції покриття (ЛМК), випуск яких відбудеться на 1996 рік, складає понад 25 млн. м², що володіють рядом високих техніко-економічних показників дозволяють знизити витрати металу, трудомісткість виготовлення та вартість споруд, і, що саме головне, скоротити строк їх зведення та підвищити ефективність капіталовміщень в будівництво.

Розвинена поверхня покриттів з обшивкою з тонкого сталевого листа в умовах порушення режиму нормальної експлуатації елементів огороджуючих конструкцій є причиною корозійного руйнування в найбільш небезпечних формах його проявлення: місцевої, нерівномірної та щільної корозії. Вивчення стану питання показує, що при проектуванні не забезпечується достатній облік умов експлуатації, конструктивних особливостей і корозійного стану несучих, огороджуючих, ізолюючих та кріпільних елементів покриття. В зв'язку з цим проблема забезпечення довговічності ЛМК покриттів пов'язана з комплексною оцінкою показників якості насучих і огороджуючих конструкцій в період експлуатації.

Разом з тим відмічаються недоліки форм та методів технічного контролю стану об'єктів, обмеженість інформаційних даних про поведінку конструкцій з урахуванням чинників режимів експлуатації, відсутність науково-обгрунтованої методики оцінки технічного стану і прогнозування довговічності елементів покриття.

Вирішення проблеми підвищення ефективності тонколистових металоконструкцій базується на вивченні дійсної роботи конструкцій, науково-обгрунтованих методів забезпечення надійності та довговічності споруд, що експлуатуються та знов зводяться.

Метою дисертаційної роботи є розробка конструктивної форми панелі з тонкостінних холодногнутих профілів з урахуванням дійсного напружено-деформованого стану, чинників агресивності експлуатаційних середовищ, конструкторсько-технологічних рішень, які забезпечують довговічність на стадії проектування, виготовлення та експлуатації.

Для досягнення мети роботи формуються задачі дослідження:

- на основі системного аналізу режиму експлуатації та вивчення технічного стану виявити основні експлуатаційні чинники,

які впливають на показники довговічності тонколистових конструкцій покриття;

- розробити методику оцінки довговічності легких сталевих конструкцій покриття на основі теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану тонколистової обшивки і каркасу панелі покриття;

- вивчити вплив агресивних середовищ на змінення несучої здатності різних видів з'єднань огорожуючих конструкцій, які використовуються в покрівельних покриттях;

- розробити методику розрахунку довговічності панелей покриттів з урахуванням стану оцинкованого профільованого настилу і показників корозійного зносу.

Наукову новизну роботи складають:

- конструктивні рішення комбінованих панелей покриття з урахуванням основних експлуатаційних чинників, які впливають на показники довговічності сталевих конструкцій покриття;

- оцінка впливу агресивного середовища промислових підприємств на несучу здатність кріпильних з'єднань сталевих настилів в покриттях будівель та методика розрахунку на зім'яття таких з'єднань;

- результати теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану комбінованої панелі покриття з урахуванням спільної роботи каркасу і тонколистових обшивок;

- математична модель корозійного зносу оцинкованих профільованих настилів покриття в контакті з різними видами теплоізоляційних матеріалів (ПСБС, ФПП, мінеральна вата);

- методика розрахунково-експериментальної оцінки довговічності легких сталевих конструкцій на стадії проектування та експлуатації.

Практична цінність роботи полягає:

- в розробці технічної документації для виготовлення комбінованих панелей покриття;

- в систематизації експериментальних даних, що характеризують режим експлуатації несучих та огорожуючих конструкцій з використанням ЛМК, що дозволяє робити оцінку довговічності конструктивних елементів легких сталевих покриттів, раціонально призначити та обґрунтувати конструкторсько-технологічні рішення при проектуванні;

- у визначенні емпіричних формул для розрахунку граничного

зрізуючого зусилля в з'єднаннях на один болт, дюбель, заклепку, самонарізний болт або крапкові зварювальні з'єднання, з урахуванням характеру корозійних впливів;

- в розробці та упровадженні в дію дослідно-промислової технологічної лінії по виготовленню комбінованих панелей покриття потужністю 8000 м² на рік.

Впровадження результатів досліджень.

- Розроблено комбіновані панелі покриття, використані при реконструкції покриття цеху N38 концерну "Азовмаш" міста Маріупіль.

- Зроблено заміну пласкої покрівлі житлового будинку на 4-х скатне покриття, виконане з тонкостінного профільованого настилу з гарантованою довговічністю.

- Матеріали досліджень використано при розробці документації, проведенні робіт по реконструкції мембранних покриттів ангару КІІГА, структурних блоків покриття головного корпусу заводу КРП, місто Коломия.

- Отримані експериментальні дані використано при обґрунтуванні гарантованих показників довговічності комбінованих панелей покриття.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи було докладено на V Українській науково-технічній конференції по металевих конструкціях "Зміцнення і реконструкція виробничих будівель та споруд, побудованих в металі", м. Київ, 1992; на III Міжнародній науково-технічній конференції "Матеріали для будівельних конструкцій", м. Дніпропетровськ, 1994, на Міжнародній науково-технічній конференції "Ресурсозберегаючі технології в проектуванні конструкцій і технологічних процесів", м. Макіївка, 1995, в збірці праць ДДАБА, 1996 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано п'ять друкованих робіт, які відображають її основний зміст.

Обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, основних результатів і висновків, списку літератури і додатку. Роботу викладено на 242 с., у тому числі 148 с. основного тексту, 45 таблиць, 62 рисунки, 167 найменувань літератури, 55 с. додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Проведений аналіз основних видів покрівельних покриттів одноповерхових промислових будівель вказує на те, що основною проблемою є забезпечення довговічності і надійності тонколистових сталевих конструкцій покриття, які експлуатуються під впливом агресивних середовищ. Сформульовано вимоги комплексного розглядання питань технологічних, експлуатаційних режимів і конструктивних параметрів, що впливають на довговічність.

Відмічено, що при формоутворенні огорожуючих конструкцій покриттів найбільш перспективним напрямом є використання профільованого листа як верхньої обшивки, що дозволяє істотно підвищити його ефективність за рахунок спільної роботи з несучими елементами.

Завдяки теоретичним та експериментальним дослідженням дійсної роботи покриттів, будівель та споруд, проведеним під керівництвом З.Л. Айрумяна, С. Брайна, Я. Брудка, В.З. Власова, В. Главачека, Ю.М. Дукарського, А.З. Клягіна, а також А.Я. Прицкера, Є.І. Шкловського та ін. використання профільованих листів як несучих елементів отримало широке розповсюдження.

Для будівельних металевих конструкцій змінення міцності при експлуатації, втомий та корозійний знос знижують несучу здатність. Це підтверджують випробування корозійного зносу елементів, де розглянуто питання вузлів та з'єднань, зроблено оцінку довговічності конструктивних елементів покриттів різного виду.

Питання створення надійних легких металоконструкцій (ЛМК), які використовуються в новому будівництві та реконструкції будівель і споруд, досліджено в роботах Балдіна В.А., Бірюльова В.В., Броуде С.М., Гольденберга Л.І., Єремєєва П.Г., Жудіна М.Д., Казакевича М.І., Кузнецова В.В., Людковського І.Г., Мельнікова М.П., Мелашвілі Ю.К., Ржаніцина А.Р., Сахновського М.Н., Стрілецького М.С., Тамплона Ф.Ф., Трофимова В.І., Чернова А.Ю., Шимановського В.М., та інших авторів.

Координація робіт в галузі ЛМК в Україні, створення легких та надлегких металевих конструкцій досліджено в роботах під керівництвом Жербіна М.М.

Розробку та вдосконалення нових конструктивних форм мемб-

ранних панелей покриття (МПП) і панельно-шпренгельних систем (ПШС) пов'язані з пошуком резервів зниження витрат металів, виконано на базі ВНТК УкрНДІПроектстальконструкції під керівництвом Лебедича І.М., Гринберга М.Л.

Як основні конструктивні елементи, що забезпечують просторову роботу каркасу, було розглянуто поздовжні диски - горизонтальні зв'язкові ферми або жорсткі диски покриття (з залізобетонних, армоцементних, армопінобетонних плит). Решта типів настилів, в тому числі й покриття зі сталевого профнастилу, не враховували в просторовому розрахунку. В 60-х роках з'явилися дослідження Айрумяна С.Л., Байтиса В., Браїана С., Буданова В.І. та ін., які показують, що диски покриття у вигляді металевих настилів завтовшки 0.5-1.6 мм також володіють певною жорсткістю в площині покриття й беруть участь в просторовій роботі каркасу.

Випробування поперечних рам сталевих каркасів будівель за визначенням поперечних зміщень від горизонтальних навантажень, які було проведено Браїаном С., Валем В.Н., Васильєвим А.А., Дейвісом Д., Колмогоровим Ю.М., Уваровим Б.Ю. та ін., показують істотне відрізнєння фактичних зміщень від розрахованих за пласкою розрахунковою схемою. Ці дослідження показали, що профільований сталевий настил покриття активно містить в просторову роботу каркасу будівлі.

Дослідженнями роботи сталевих настилів на зсув у своїй площині займалися Айрумян З.Л., Байер Р., Браїєн С., Винтер Д. Експерименти показали, що жорсткість диску покриття, що включає сталевий профнастил, залежить не тільки від податливості самого настилу, але й від конструкції несучих елементів каркаса, типу й кроку елементів кріплення.

При оцінці жорсткості диску в покриттях будівель з використанням профнастилу існуючі методики не враховують ряд важливих чинників, які впливають на довговічність подібного роду конструкцій. Зокрема, пропонується постійна по всій довжині будівлі зсувна жорсткість настилу, в той час, як вона змінна, й розвинена поверхня з тонкого сталевих листа в умовах порушення режиму нормальної експлуатації елементів огорожувачих конструкцій с причиною корозійного руйнування в найбільш небезпечних формах її проявлення: місцевої, нерівномірної і щільової корозії.

Дослідженню довговічості металоконструкцій в агресивних середовищах присвячені роботи Беленя Є.І., Вольберга Ю.Л., Голубсва А.І., Горохова С.В., Жербіна М.М., Кікіна А.І., Кошина І.І., Одеського П.Д., Овчиннікова, Петрова В.В., Почтмана Ю.М., Райзера В.Д., Сільвестрова А.В., Уварова Б.Ю., Шляфирнера О.М. та інших.

В роботах Агаджанова В.І. розглядаються методи визначення витрат на протикорозійний захист конструкцій.

Розроблені методи ґрунтуються на встановлених номенклатурю показниках якості, характеристиках довговічості сталевих конструкцій: корозійна стійкість і строк служіння захисних покриттів. Однак, ці показники не враховують особливостей дійсної роботи і всієї сукупності експлуатаційних факторів, що визначають умови роботи і впливають на несучу здатність ЛМК покриттів.

На основі вказаних робіт необхідно виконати додаткові роботи, що враховують специфічність дійсної роботи тонколистових покриттів.

Зменшення металу місткості конструкцій повинне відбуватися одночасно з підвищенням ефективності протикорозійного захисту. Тому впровадження нових технологій тонколистових огорожувачих конструкцій потребує комплексного розглядання питань корозійної стійкості, вибору засобів і методів захисту від агресивних впливів з урахуванням режиму експлуатації промислових та цивільних об'єктів.

Для цього оцінка показників довговічості конструктивних рішень покриття робиться на основі досліджень взаємозв'язків та відношень експлуатаційних чинників в межах рішення проблем структурної надійності. Структурний опис базується на комплексному обліці можливих експлуатаційних станів конструктивів тонколистових покриттів (гідро-, тепло-, пароізоляції несучих конструкцій), конструктивної форми, ухилів і технологічних режимів. Такий підхід забезпечує можливість більш докладного визначення фактичних та призначення проектних показників довговічості.

Наведена методика системного аналізу для вивчення умов експлуатації тонколистових конструкцій покриття, яка ґрунтується на комплексному підході при діагностиці технічного стану несучих та огорожувачих конструкцій, вивченні дійсної

роботи і обробці результатів досліджень.

Натурне обстеження конструктивних елементів проводиться за програмою, яка містить комплекс заходів по вивченню дійсного стану покриттів ЛМК з використанням тонкого сталевого листа:

- вивчення параметрів температурно-вологісного комплексу (ТВК) з урахуванням конструктивних, технологічних та експлуатаційних особливостей об'єктів;
- контроль технічного стану гідроізоляційного покриття і теплоізоляційного шару;
- оцінку захисних властивостей протикорозійного захисту;
- інструментальний контроль інтенсивності корозійних уражень елементів конструкцій та огорожуючих елементів.

На основі результатів натурних досліджень з метою оцінки технічного стану та експлуатаційних якостей ЛМК покриття, а також встановлення достовірних кількісних характеристик довговічності здійснюються:

- зонування режиму експлуатації за конструктивними і технологічними особливостями об'єкту;
- кількісне визначення чинників режиму експлуатації, дефектів та пошкоджень конструктивних елементів;
- оцінка показників довговічності для умов нормальної експлуатації і при встановлених характеристиках порушення нормальної експлуатації, які викликані дефектами і пошкодженнями конструктивних елементів;
- перевірочний розрахунок конструктивних елементів з урахуванням характеру та інтенсивності корозійного руйнування.

Розроблений методичний підхід було використано при дослідженні покриттів споруд ангару КІІГА в м. Києві, головного корпусу заводу КРП, м. Коломия.

Проведені натурні дослідження дали можливість виявити характерні експлуатаційні зони покриттів, кількісно оцінити фактори агресивних впливів в залежності від виду й ступеню розвитку дефектів ізолюючих та захисних покриттів.

В результаті зроблено наступні висновки:

1. Для експлуатаційних зон покрівельного покриття характерний різний ступінь розповсюдження дефектів (від 10 до 38%), що обумовлюють проникнення атмосферної вологи на поверхню конструкцій.
2. Порушення суцільності гідроізоляції викликає збільшення

рівня вологовміщення теплоізоляції до 52% і вимивання корозійного агента.

3. Відмічені відхилення від режиму нормальної експлуатації істотно збільшують час фазового зволоження і корозійну агресивність середовища.

4. Виявленні відхилення від режиму нормальної експлуатації викликають значний корозійний знос елементів, вузлів та з'єднань, особливо в зонах знижених ділянок покрівлі.

Зроблена кількісна оцінка основних чинників, які визначають характер корозійного зносу. При вивченні ТВК споруд встановлено, що розрахункові показники часу перебування адсорбційного шару вологи на поверхні металоконструкцій змінюється в інтервалі 861-5182 годин/рік. Показники корозійної стійкості K і захисних властивостей покриттів T_z і T_m в умовах експлуатації визначені для однорідних зон з урахуванням складу та інтенсивності впливів. Корозійний стан металоконструкцій характеризується величинами місцевої і загальної корозії, максимальні значення яких, відмічені в застійних ділянках покрівлі 0.83 та 0.42 відповідно.

Аналіз результатів досліджень дозволяє стверджувати, що основними показниками корозійної агресивності для тонколистових сталевих конструкцій покриття є параметри ТВК - тривалість загального, фазового і адсорбційного зволоження, а також концентрація корозійно-активного агента.

Основними експлуатаційними чинниками, що визначають ці показники, є: характер і ступінь розвитку дефектів покрівлі; експлуатаційний стан ізолюючих покриттів; особливості конструктивної форми, ухилу, стан вузлів і з'єднань елементів.

Перевірочний розрахунок покриття виконується з урахуванням даних натурного обстеження корозійного стану. Врахування впливу факторів корозійного зносу при визначенні розрахункових значень напруг в елементах покриття здійснюється коефіцієнтом надійності протикорозійного захисту, який дозволяє враховувати якість експлуатації, характер, величину, вид корозійного зносу та його статичну природу:

$$\gamma_z = \alpha_k \alpha_p \gamma_k (1 - \delta), \quad (1)$$

де: α_k, α_p - коефіцієнт змінення геометричних характеристик при рівномірній і місцевій корозії;

γ_k - коефіцієнт змінення розрахункового опору сталі

розтягу, стиску, згину по границі текучості;

δ - гранична відносна помилка вимірювань.

З метою підтвердження достовірності прийнятого урахування впливу характеру корозійного зносу на параметри напружено-деформованого стану виконувалось дослідження дійсної роботи несучих конструкцій.

Встановлено, що внаслідок фізичного зносу відбувається зниження рівня запасу несучої здатності елементів конструкцій покриття до 6...42% в порівнянні з проектними, що дорівнюється 60...100%.

Отримані результати досліджень дійсної роботи дозволили стверджувати, що:

- виявлені чинники агресивності експлуатаційного середовища, які викликають корозійний знос металоконструкцій і зниження довговічності покрівельних покриттів;

- необхідності врахування цих чинників при розробці методу розрахунково-експериментальної оцінки строку служіння конструктивних елементів на стадіях проектування та експлуатації тонколистових покриттів;

- обґрунтування коефіцієнту надійності протикорозійного захисту дозволяє отримати легкі металеві конструкції з гарантованою довговічністю для встановленого режиму експлуатації об'єкту.

Розрахункові показники корозійної стійкості елементів структурних блоків визначені з урахуванням найбільш несприятливого сполучення впливів з урахуванням структурних коефіцієнтів. Результати математичного моделювання, виконаного на ПЕОМ типу IBM AT.

Розрахунок строку служіння структурних конструкцій виконано за результатами контролю корозійного стану в період обстеження і на підставі експериментальних даних моделювання фізико-хімічних впливів.

Розрахункове значення показника T_3 , рік, при моделюванні режиму експлуатації визначається в процесі прискорених випробувань захисних покриттів за формулою:

$$T_3 = \frac{P(N)}{K * \rho} * 10^{-3}, \quad (2)$$

де: $P(N)$ - вагові втрати від корозії незахищеної сталі, що

відповідають кількості циклів прискорених випробувань N для встановленої характеристики відказу, $г/м^2$;

K - мінімальне значення корозійної стійкості поверхні конструктивного елемента, $мм/рік$.

Розрахунок строку служіння металізаційного покриття виконаний за формулою:

$$T_M = \frac{\alpha_m h_o t_m}{k} * 10^{-3}, \quad (3)$$

де: α_m - ступінь руйнування металізаційного покриття за результатами натурного обстеження;

h_o - проектна товщина металізаційного покриття, $мм$;

t_m - середня відносна довговічність $1мм$ цинкового покриття, $г/м^2мм$.

При наявності корозійних поразок виконується перевірочний розрахунок сталевих конструкцій за методикою граничних станів.

На першій групі граничних станів

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_i \gamma_n \eta_c \alpha_i \leq \gamma_3 \Omega R_y \gamma_c, \quad (4)$$

де: P_i - розрахункове навантаження;

γ_n - коефіцієнт надійності за призначенням;

η_c - коефіцієнт сполучення навантажень;

α_i - зусилля в елементі при $P_i=1$;

γ_3 - коефіцієнт надійності протикорозійного захисту.

Ω - геометричні характеристики перерізу елементів за паспортними даними або проектними матеріалами;

R_y - розрахунковий опір сталі по границі текучості згідно з паспортними даними;

γ_c - коефіцієнт умов роботи.

При розрахунку другої групи граничних станів повинна виконуватись нерівність:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_i \delta_k \leq \delta_{pp}, \quad (5)$$

де: δ_k - деформація або переміщення конструкцій при наявності корозійних уражень при діянні $P_i=1$;

δ_{pp} - граничні деформації або переміщення, що визначають можливість нормальної експлуатації.

Проведені дослідження по моделюванню корозійного спрацювання та режиму експлуатації дозволили виконати розрахунок довговічності тонколистових елементів покриттів. При виявленому технічному стані конструкції і параметрах експлуатаційних середовищ встановлено час досягнення граничного стану конструктивних елементів, які розташовані в однорідних зонах експлуатації.

При оцінці корозійного стану використаний принцип зонування режиму експлуатації за об'єктно-функціональними ознаками, обґрунтований в роботах Горохова Є. В. Вивчення технологічного режиму дозволило встановити однорідні зони, в межах яких визначені склад і концентрація агресивних впливів. Для врахування впливу конструктивних і об'ємно-планувальних рішень на нерівномірність розвитку корозійних уражень за даними освідчення виділені групи однорідних конструктивних елементів.

За матеріалами системного вивчення режиму експлуатації отримані кількісні характеристики корозійних руйнувань з урахуванням експлуатаційних впливів середовища і конструктивних особливостей елементів структурних конструкцій.

При проведенні натурального обстеження встановлено, що руйнування захисних покриттів і корозійний знос пов'язані з відхиленням від режиму нормальної експлуатації. Причинами зниження експлуатаційних властивостей є порушення герметичності і суцільності гідроізоляції покриття, попадання атмосферної вологи на поверхню елементів конструкцій.

Для обстеження розрахункових даних залежностей (2)-(5) при моделюванні корозійної поведінки конструктивних елементів покриттів і розрахунку показників довговічності проводились прискорені випробування, основними задачами яких є:

- оцінка ступеню корозійної стійкості оцинкованого профільованого настилу в контакті з різними видами теплоізоляційних матеріалів при зволоженні;

- визначення впливу горячого цинкування на механічні властивості покривельної сталі;

- дослідити вплив агресивного середовища на зміну несучої здатності різних з'єднань;

- експериментальні дослідження фактичної несучої здатності і деформативності мембраної панелі з урахуванням показників довговічності;

- виконання теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану тришарової комбінованої панелі покриття з урахуванням показників довговічності.

Описані корозійно-механічні випробування мембранної панелі покриття, розробленої ВНТК УкрНДІПроектстальконструкція. Програма статичних випробувань мембранних панелей передбачала оцінку впливу корозійних уражень на напружено-деформований стан поздовжніх елементів каркасу, мембранної обшивки при дії рівномірно-розподіленого навантаження різної інтенсивності.

Об'єкт дослідження - МПП 3 x 6 м; мембрана зі сталевого листа товщиною 1.2 мм за допомогою крапкових швів приварена до каркасу, який виконано з прогресивних холодногнутих відкритих профілів, що уявляють собою замкнену рамну конструкцію, розгалужену на два квадратних відсіка.

Основні задачі випробування панелі:

1. Дослідження впливу конструктивних умов поздовжніх елементів каркасу на їх роботу, а також на напружено-деформований стан панелей з урахуванням корозійного зносу.

2. Дослідження напружено-деформованого стану поздовжніх і поперечних елементів каркасу, особливо їх підпірних ділянок при надаванні рівномірно-розподіленого навантаження різної інтенсивності і корозійних впливів промислової атмосфери.

3. Питання стійкості стінок і змінювальності контура поздовжніх елементів Z-подібного профіля та визначення критеріїв при оцінці несучої здатності та довговічності.

В результаті проведеної роботи визначено дійсний напружено-деформований стан мембрани й каркасу панелі з урахуванням корозійного зносу при дії рівномірно-розподіленого навантаження. Новизна результатів дослідження характеризується тим, що вперше проведені корозійно-механічні випробування тонколистової МПП, каркас котрої виконано з холодногнутих профілей, яка орієнтована на масове використання у виробничих будівлях та при реконструкції об'єктів.

Надані експериментальні матеріали систематизованого опису корозійного стану, які використано для розрахункового визначення строків служіння елементів структурних блоків покриття на основі виявлення резервів несучої здатності. Визначено гарантовані показники довговічності з урахуванням технічних рішень по реконструкції покрівлі головного корпусу заводу КРП

і заходів по відновленню протикорозійного захисту несучих та огороджуваних конструкцій покриття.

Для виявлення кінетики корозійного зносу матеріалів легких несучих та огороджуваних конструкцій в агресивних середовищах проводились випробування на зразках з фрагментів оцинкованого профільованого настилу з метою визначення корозійної стійкості тонкого листового оцинкованого матеріалу, що знаходиться в контакті з різними теплоізоляційними матеріалами (ПСБС, ФРП, промисловий піл) при зволоженні.

До найбільшого корозійного зносу схильні сталеві листи огорожі в місцях з'єднань. Для дослідження довговічності та змінювання несучої здатності з'єднань огороджуваних конструкцій в результаті корозійного зносу, були випробувані найбільш розповсюджені типи з'єднань:

- з'єднання самонарізуючими гвинтами типу ЗК 4.8*8+РС 2.5*4.0;

- зварні з'єднання, виконані одностороннім двоконтактним крапковим зварюванням;

- з'єднання на високоміцних дубелях типу ДГ 4.5*30П;

- з'єднання на болтах норм М8;

- з'єднання на болтах класу 5.8.

Також досліджувалося змінювання несучої здатності зварних з'єднань в залежності від положення й діаметру крапок.

Досліджувалися питання з'єднання кріпильних елементів. Несуча здатність настилу покриття при роботі на зрізуюче зусилля в площині листа визначається міцністю з'єднань листів, що його складають. Випробування зразків проводилось на зрізі. Зсув у з'єднанні записувався за програмою "Зусилля-Деформація". З'єднання отворів у з'єднаннях вимірювалося штангенциркулем.

Як показали випробування, міцність болтового з'єднання в результаті корозійного зносу знижується. Лінійна залежність "Зусилля-Деформація" зразків, які схильні до корозійного зносу, порушується при навантаженнях, що складають 45-70% руйнівального навантаження.

Руйнування зразків, які не підлягали корозійному випробуванню, відбувалося від зрізу листа, а після 744 годин прискорених випробувань 50% зразків було зруйновано від розриву болта, решта 50% - від зрізу листа.

В дубельних з'єднаннях, після прискорених випробувань,

міцність збільшувалася, а деформативність з'єднання наростала пропорційно збільшенню навантаження до східцю, що дорівнюється 0.4-0.55 руйнівального навантаження. При навантаженнях, що перевищують цю границю, лінійна залежність "Зусилля-Деформація" порушувалася. Руйнування зразків, схильних до корозії, відбувалося в результаті висмикування дюбеля, а після прискорених випробувань в результаті зрізу листа.

В з'єднаннях профільованих листів між собою комбінованими заклепками залежність "Зусилля-Деформація" мала лінійний характер до східцю, що приблизно дорівнює 0.45 руйнівального навантаження. При підвищенні зусиль, що перевершують цю границю на 10%, зсув у з'єднанні зростає майже без підвищення навантаження, як до так і після корозійного зносу. Несуча здатність з'єднань після корозійних випробувань зменшується на 10-12%. Втрати несучої здатності відбуваються завжди від зрізу листа.

За характером своєї роботи на розтяг - зріз, з'єднання на крапковому зварюванні значно відрізняється від з'єднань на самонарізуючих гвинтах, комбінованих заклепках та високоміцних дюбелях. Повний зсув зварних крапок складається в основному з деформації тіла зварної крапки й деякого зім'яття в місці переходу металу зварювання до основного металу листа. Випробування зразків, після експозиції в агресивних середовищах показали, що несуча здатність та модуль зсуву знижується в незначній мірі.

Відношення середнього значення границі міцності з'єднань після корозійного зносу до границі міцності до корозійного зносу, при рівні значимості 0.05 в середовищах, що досліджуються, складає: для самонарізуючих болтів - 0.9; для високоміцних дюбелей - 1.0; для комбінованих заклепок - 0.75; для крапкового зварювання - 0.8.

Проведенні корозійні випробування нахлестних з'єднань дозволяють вперше обґрунтувати як нормативні характеристики корозійного руйнування, так і коефіцієнти умов роботи з'єднань в залежності від ступеню інтенсивності впливів:

$$\gamma_{BK} = \frac{P_{BK}}{P_B} \quad (6)$$

де: P_{BK} - міцність нахлестного з'єднання після корозійних випробувань в заданій однорідній зоні, кН/мм;

R_b - міцність нахлестного з'єднання до корозійних випробувань, кН/мм.

Середньостатистичні оцінки коефіцієнту γ_{BK} для середовищ з різною інтенсивністю наведено в табл. 1.

З урахуванням можливого корозійного зносу міцність метизів кріплення настилу на зріз отримана залежність:

для метизів
$$N < 0,9 n N_1 \gamma_{BK}, \quad (7)$$

для зварних крапкових з'єднань настилу
$$N < 0,25 R_y \gamma_c d^2 n \gamma_{BK}, \quad (8)$$

Визначення розрахункової несучої здатності з'єднань на зім'яття робиться за формулами:

односторонні заклепки
$$N_b < 2,1 \sum td R_{Bp} \gamma_b \gamma_{BK}, \quad (9)$$

самонарізуючі гвинти й болти
$$N_b < 4,3 \sum td R_{Bp} \gamma_b \gamma_{BK}, \quad (10)$$

дубелі, що пристрілюються
$$N_b < 3,2 \sum td R_{Bp} \gamma_b \gamma_{BK}, \quad (11)$$

де: N - розрахункове зрізуюче зусилля;

N_1 - зрізуюче зусилля, яке допускається на один гвинт, болт, дубель, заклепку в з'єднанні;

N_b - розрахункове зусилля на зім'яття;

n - кількість метизів у з'єднаннях;

d - діаметр верхньої частини заклепки або зварної крапки;

γ_c - коефіцієнт умов роботи;

Таблиця 1.

Коефіцієнт умов роботи з'єднань γ_{BK} в середовищах з різним ступенем агресивності впливів

Вид з'єднання	Коефіцієнт γ_{BK}			
	Ступінь агресивності середовища			
	Неагресивний	Слабоагресивний	Середньоагресивний	Сильноагресивний
Болт	1,0	0,95	0,9	0,9
Гвинт	1,0	0,95	0,9	0,9
Заклепка	1,0	0,9	0,8	0,75
Зварна крапка	1,0	0,9	0,85	0,8
Дубель	0,9	0,95	1,0	1,0

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

$\gamma_{вк}$ - коефіцієнт умови роботи з'єднань в агресивному середовищі, що дорівнює 1.0; 0.9; 0.8; 0.75 відповідно для дюбельного, болтового з'єднань, з'єднань на крапковому зварюванні й заклепочного з'єднання;

t - товща більш тонкого сталевого листа, мм;

R_y - розрахунковий опір по границі текучості сталевого листа, МПа;

$R_{b,p}$ - розрахунковий опір зім'яттю, МПа.

За результатами випробувань отримано мінімальні відстані між осями з'єднувальних елементів і від краю металу, табл. 2.

На підставі аналізу експериментальних даних, поданих в попередніх розділах роботи, запропоновано конструктивні рішення комбінованих панелей покриття (КПП).

Розроблені три види конструктивної форми панелей покриття (Рис. 1).

В першому рішенні конструкція комбінованої панелі покриття з розмірами в плані 3x6 м складається з трьох відправочних марок:

- гнучий Z-подібний профіль довжиною 6 м, виконаний з листової сталі;

- просторовий блок-каркас удає з себе замкнену рамну конструкцію, розгалужену на два квадратних відсіка 3x3 м й виконаний з прогресивних холодногнутих профілів. Нижня підкріплююча, попередньо напружена мембрана з листів завтовшки 0.8-1.0 мм за допомогою одностороннього двокрапкового контактного зварювання зібрана внахлест та приварена до каркасу рамної конструкції до нижнього поясу.

Таблиця 2.

Мінімальні відстані між осями з'єднувальних елементів і від краю металу

З'єднувальний елемент	a_1	b_1	c
Односторонні заклепки та самонарізуючі гвинти	3d	1,5d	3d
Болти	3,5d	1,5d	4d
Дюбелі, що пристрілюються	4,5d	4,5d	4,5d

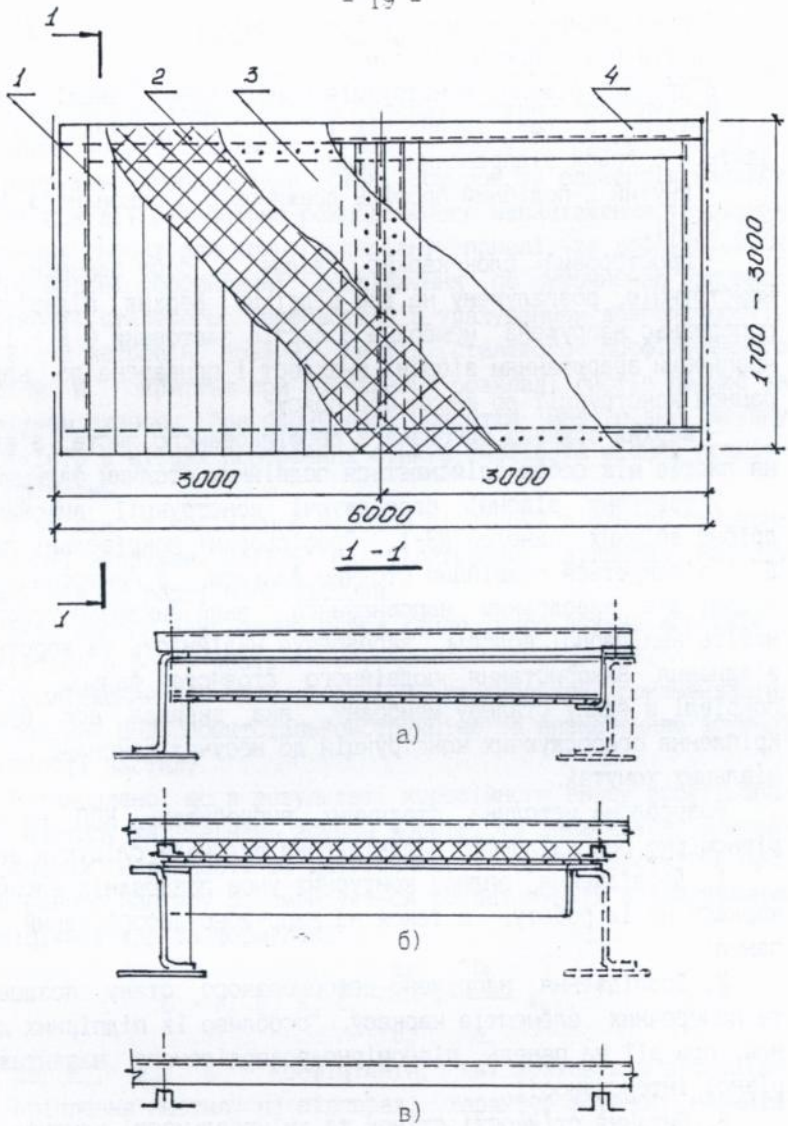


Рис. 1. Комбінована панель покриття

- 1 - профільований настил; 2 - утеплювач;
- 3 - мембрана; 4 - каркас.

Верхня обшивка виконана з профільованого настилу з'єднанням листів між собою нахлестом.

В другому рішенні конструкція комбінованої панелі покриття з розмірами в плані ширина від 1.7 до 3 м, довжина 6 м складається з трьох відправочних марок:

- гнучий Z-подібний профіль довжиною 6 м виконано з листової сталі;

- просторовий блок-каркас уявляє з себе замкнену рамну конструкцію, розгалужену на два відсіка. Верхня підкріплююча попередньо напружена мембрана з листів завтовшки 0.8 - 1.0 мм крапковим зварюванням зібрана внахлест і приварена до каркасу рамної конструкції до верхнього поясу;

- верхня обшивка виконана з профільованого листа, з'єднання листів між собою здійснюється подвійним стоячим фальцем.

У третьому рішенні огорожуючі конструкції виконані з дрібно збірних панелей ДЗ-1. Профільовані покрівельні панелі ДЗ-1 з'єднуються подвійним стоячим фальцем, з нанесеним всередині шва заводським наповнювачем, який виключає утворення навіть капілярної вологи, забезпечує надійність та жорсткість з'єднання. Використання подвійного стоячого фальца з'єднує покрівлі в єдину сталеву мембрану, яка вкриває всю будову. Кріплення огорожуючих конструкцій до несучих виконане на спеціальних хомутах.

Розроблена методика статичних випробувань КПП на вплив рівномірно розподіленого навантаження включала слідуючі задачі:

1. Дослідження впливу контурних умов поздовжніх елементів каркасу на їх роботу, а також на напружено-деформований стан панелі.

2. Дослідження напружено-деформованого стану поздовжніх та поперечних елементів каркасу, особливо їх підпірних ділянок, при дії на панель рівномірно-розподіленого навантаження різної інтенсивності.

3. Питання стійкості стінок та змінювальності контура поздовжніх елементів Z-подібного профіля.

4. Вивчення дійсного напружено-деформованого стану обшивок.

5. Визначення граничної несучої здатності панелі і характеру її руйнування.

Новизна технічних рішень таких конструкцій, відсутність обґрунтованих методів розрахунку потребують проведення експе-

риментальних досліджень та вивчення її дійсної роботи.

В результаті виконаних робіт розроблено методику розрахунково-експериментальної оцінки впливу режиму експлуатації та показники несучої здатності й довговічності. Визначений дійсний напружено-деформований стан обшивок та елементів каркасу панелі при дії рівномірно-розподіленого навантаження та різних граничних умовах для кожного варіанту панелі, що досліджується.

Проведені теоретичні дослідження по уточненню зсувної жорсткості сталевого профнастилу з урахуванням довговічності. При 2 - 3 метровій довжині листів сталевого профільованого настилу в покриттях при звичайному розкладі листів працює за розрізною схемою. При цьому диск покриття має різну зсувну жорсткість в місцях поперечних стиків листів та місцях проміжних кріплень.

У зв'язку з нелінійною роботою підпірних з'єднань при концентрації напружень модуль на білятропних ділянках настилу менше, ніж на решті його частини.

Якщо настил закріплено через хвилю, його зсувна жорсткість знижується в 6 - 9 разів.

Дослідження НДС КПП виконані з урахуванням рекомендацій, розроблених ЦНДІПроектстальконструкцією за визначенням зсувної жорсткості настилу.

Встановлено, що в результаті корозійного зносу профільованого настилу та з'єднань зсувна жорсткість знижується. Для забезпечення надійності та довговічності зсувну жорсткість профільованого настилу рекомендується розраховувати з урахуванням коефіцієнту γ_{wk} за формулою:

$$C = K_0 \alpha_0 \beta_0 C_0 \frac{a_n}{b_n} * \frac{b_0}{a_0} \gamma_{wk}, \quad (12)$$

де: K_0 , α_0 , β_0 - коефіцієнти, які враховують відповідно тип кріплення настилу на підпорах, характер зсувного навантаження (односторонньої або знакоперемінної) і конструкцію покриття (з прогонами або без прогонів);

C_0 - зсувна жорсткість прямокутної панелі-еталона з відношеннями сторін $b_0/a_0 > 1$;

a_n, b_n - розміри настилу в плані, паралельні a_0 та b_0 ;

γ_{wk} - коефіцієнт, який враховує значення коефіцієнту надійності по матеріалу γ_{mk} і коефіцієнту умов роботи з'єднань

γ_{BK} в середовищах з різним ступенем агресивності впливів;
 $\gamma_{wk} = \gamma_{шк} * \gamma_{BK}$.

Використання розроблених технічних рішень в сучасному будівництві обумовлено їх техніко-економічними показниками. Виготовлення покриттів з таких конструкцій відрізняється низькою металомісткістю, транспортування й монтаж листових елементів достатньо прості і здійснюються за допомогою нескладних пристосувань. В порівнянні з покрівлями з інших матеріалів покриття зі сталевих профільованих листів вигідно відрізняються відношенням несучої здатності до власної ваги, що забезпечує зменшення витрат сталі в елементах покриття та знижує загальну вартість зведеного покриття. Описані технічні рішення володіють високими гарантованими показниками довговічності і дають можливість робити монтаж покриття:

- без використання спеціального кранового обладнання;
- в обмежених міських умовах;
- зі збереганням попереднього покрівельного покриття, що сприяє проведенню робіт в різних погодних умовах.

На підставі аналізу проведених експериментальних досліджень надано пропозиції та рекомендації по удосконаленню конструктивного рішення панелей з метою забезпечення й підвищення несучої здатності з урахуванням довговічності панелей.

Порівняння варіантів виконане з урахуванням приведених витрат, включаючи необхідність забезпечення протикорозійного захисту й досягнення гарантованих показників довговічності.

На підставі натурних досліджень та прискорених випробувань як захисного покриття використана протикорозійна мастика ППК, що нетвердіє (ТУ 22026170.001-95), яка являє собою високогустинну однорідну композицію, котра протягом всього періоду експлуатації знаходиться в пластичному стані. Мастика ППК дозволяє отримувати захисне покриття без використання традиційних засобів підготовки поверхні під пофарбування. Компонентний склад матеріалу мастики змінюється в залежності від ступеню агресивності діянь, що дозволяє здійснювати захист від корозії в слабо-, середньо- та сильноагресивних середовищах.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Результати аналізу та встановлені основні чинники, що впливають на зниження експлуатаційної несучої здатності оголоджених конструкцій покриттів з використанням легких металевих конструкцій, дозволяють сформулювати додаткові вимоги до розрахунку та конструювання елементів зниженої металомісткості в корозійних середовищах. На підставі системного підходу з урахуванням вимог розроблено комбіновану панель покриття з холодногнутих профілів з обґрунтованими конструкторсько-технологічними рішеннями, які дозволяють забезпечити довговічність на стадії проектування, виготовлення та в процесі експлуатації.

2. Розроблено методику розрахунково-експериментальної оцінки напружено-деформованого стану комбінованої панелі покриття з урахуванням спільної роботи каркасу й тонколистових обшивок. Результати силових випробувань КПП підтверджують надійність запропонованої методики розрахунку. Теоретичні значення зусиль перевищують експериментальні дані по зсувній жорсткості профільованого настилу з висотою гофрів 60 мм, за різною схемою кріплення до каркасу панелі з різним кроком елементів кріплення.

3. Отримано експериментальні дані, які характеризують корозійну стійкість матеріалів і з'єднань, визначено порівняльні характеристики ступеню впливів теплоізоляційних матеріалів. За даними експериментальних досліджень запропоновано методику оцінки технічного стану й розрахунок строків служіння оцинкованого профільованого настилу з урахуванням характеру та інтенсивності корозійних уражень.

4. Вперше для розрахунку комбінованої панелі покриття обґрунтовані коефіцієнти надійності, які враховують особливості роботи нахлестних з'єднань, що виконані: контактним одностороннім двокрапковим зварюванням, дубелях, самонарізуючих болтах, комбінованих заклепках, болтах нормальної точності.

Встановлено, що:

- міцність болтового з'єднання в результаті корозійного зносу знижується. Лінійна залежність "Зусилля-Деформація" зразків, схильних до корозійного зносу порушується при навантаженнях, що складають 45-70% руйнівального навантаження;

- в дубельних з'єднаннях після прискорених випробувань

міцність збільшувалась, а деформативність з'єднання зростає пропорційно збільшенню навантаження до схилю, що дорівнює 0.4-0.55 руйнівального навантаження;

- у з'єднаннях профільованих листів між собою комбінованими заклепками несуча здатність з'єднань після корозійних випробувань зменшується на 10-12%;

- несуча здатність та модуль зсуву у з'єднаннях на крапковому зварюванні зменшується в незначній мірі.

Значення коефіцієнту в середовищах, що досліджуються, дорівнює: для самонарізуючих болтів - 0.9; для високоміцних дюбелей - 0.95; для комбінованих заклепок - 0.75; для крапкової зварки - 0.8.

5. Для підвищення технологічності й конкурентноздатності розроблено технологічні рішення заводського виготовлення комбінованих панелей, що дозволяють знизити трудовитрати на 15% і вартість конструкцій в "ділі" на 20% за рахунок забезпечення гарантованої довговічності при використанні протикорозійної мастики ППК і дають можливість робити реконструкцію покриття:

- без використання спеціального кранового устаткування;

- в обмежених міських умовах;

- зі зберіганням попереднього покрівельного покриття, що сприяє проведенню робіт за різних погодних умов.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Горохов Е.В., Королев В.П., Галактионов А.В. Оценка коррозионного состояния структурных блоков покрытия типа "ЦНИ-ИСК" / V Украинская конф. "Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле". Тез. докл. - Киев, 1992 - с.55-56.

2. Галактионов А.В. Обоснование и выбор варианта реконструкции кровли / III Международная научная конференция "Материалы для строительных конструкций". Тез. докл. - Днепропетровск, 1994 - с.143-144.

3. Горохов Е.В., Королев В.П., Галактионов А.В. Обеспечение гарантированной долговечности оцинкованного профилированного настила на основе физико-химического моделирования коррозионных воздействий / Международная научно-техническая конф. "Ресурсосберегающие технологии в проектировании конструкций и технологических процессов". Сб. трудов ДГАСА, том 3. - Макеевка, 1995 - с.63.

4. Горохов Е. В., Гибаленко А. Н., Галактионов А. В. Обеспечение комплексного подхода при реконструкции покрытия / Сборник трудов ДГАСА, том 2. - с. 53-56.

5. Горохов Е. В., Галактионов А. В. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния мембранной панели покрытия с учетом коррозионного износа / Международная научно-техническая конференция / МС-96 ДГАСА, с. 59-62.

Galaktionov Alexander Valentinovich. "Assurance of labour input reducing and life of industrial building roof enclosing structures during reconstruction".

Dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences on 05.23.01 speciality - Building constructions, buildings and structures. Donbas state academy of civil engineering and architecture, - Makeyevka, 1996.

In this dissertation the factors determining the life of roof structures with low amount of metal have been examined in the system analysis basis. Theoretical and experimental analysis of stressed and strained state has been made, which provides for design indices of corrosion resistance and life in comparative evaluation of roof panel design solutions at the designing stage.

Thin-wall member joints reliability factors in corrosion environment have been specified and based. Recommendations on labour input reducing and life assurance of roof combined panels have been developed.

Галактионов Александр Валентинович. "Обеспечение технологичности и долговечности ограждающих конструкций покрытий промышленных зданий при реконструкции".

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. Донбасская государственная академия строительства и архитектуры. - Макеевка, 1996.

Представлена диссертационная работа, в которой на основе системного анализа рассмотрены факторы, определяющие долговечность конструкций покрытия пониженной металлоемкости.

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния, устанавливающие расчет-

ные показатели коррозионной стойкости и долговечности при сравнительной оценке конструктивных решений панелей покрытия на стадии проектирования.

Предложены и обоснованы коэффициенты надежности соединений тонкостенных элементов при коррозионных воздействиях. Разработаны рекомендации по обеспечению технологичности и долговечности комбинированных панелей покрытия.

Ключові слова: панель покриття, тонкостінні елементи, напружено-деформований стан, корозійна стійкість, технологічність, довговічність.

Подп. в печать 20.05.96. Формат 60x84 1/16.
Уч. изд. л. 1.0 Усл. печ. л. 0.97. Тираж 100 экз.
Заказ 011/96.

Донбасская государственная академия
строительства и архитектуры

Отпечатано в ДГАСА ОМС/РИС

436540

AB 35.175