

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



**СОПЛЬНЯК АРТЕМ МИХАЙЛОВИЧ**

УДК 624.012.45:624.046

**МІЦНІСТЬ ТА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ТРИШАРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
СТІНОВИХ ПАНЕЛЕЙ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
**Савицький Микола Васильович**,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія  
будівництва та архітектури»,  
проректор з наукової роботи,  
завідувач кафедри  
залізобетонних і кам'яних конструкцій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Бамбура Андрій Миколайович**, Державне підприємство «Державний науково дослідний інститут будівельних конструкцій», зав. відділом надійності будівельних конструкцій;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Семко Володимир Олександрович**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Захист відбудеться “ 28 ” січня 2016 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.02 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а.

Автореферат розісланий “ 26 ” грудня 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., професор



С.О. Слободянюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сьогодні широко поширене будівництво житлових будинків з монолітним каркасом, але при будівництві таких будинків застосовуються трудомісткі процеси для виконання огорожувальних конструкцій з використанням дрібноштучних елементів, які значно підвищують вартість будівництва. Тому виникає необхідність застосування індустриальних несучих, самонесучих або навісних огорожувальних панелей.

Традиційні одношарові панелі як правило не відповідають новим вимогам опору теплопередачі.

Введення нових норм щодо енергозбереження і зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів дали новий поштовх будівельній індустрії до створення і застосування енергоефективних огорожувальних панелей.

Як показує практика, рішення панелей з гнучкими в'язями і утеплювачем із полімерних матеріалів недовговічні із-за деструкції утеплювача при експлуатації. Також недоліком такого виду панелей є трудомісткість та великі тепловтрати із-за великого діаметру зв'язків і вартості самих в'язей, так як вони повинні бути виконані з антикорозійним покриттям або з нержавіючої сталі. Тому виникає необхідність розробки та обґрунтування конструктивного рішення багатошарових залізобетонних огорожувальних стінових панелей.

Одними із таких енергоефективних огорожуючих панелей, в яких одночасно поєднано несучі та теплозахисні властивості є тришарові огорожувальні залізобетонні панелі з середнім теплоізоляційним шаром з низькотеплопровідного полістиролбетону. Обсяг досліджень такого виду панелей не достатній. Вищесказане обумовлює наукову актуальність досліджень тришарових стінових панелей.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася відповідно до науково-дослідної тематики кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ДВНЗ «ПДАБА») у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт «Створення методології раціонального проектування ресурсозберігаючих архітектурно-конструктивно-технологічних систем для будівництва доступного житла» (державний реєстраційний номер теми 0111U000455, роки виконання 2011-2012) та «Розробка наукових засад трансформації будівель та житлових комплексів сучасних великих міст України на основі інноваційних екотехнологій» (державний реєстраційний номер теми 0115U000218, роки виконання 2015-2016)

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення методу розрахунку міцності і тріщиностійкості та конструктивного рішення тришарових огорожувальних залізобетонних стінових панелей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- аналіз наявного досвіду, областей застосування та конструктивних рішень тришарових огорожувальних залізобетонних стінових панелей;
- розробка конструктивного рішення тришарових огорожувальних залізобетонних стінових панелей з середнім теплоізоляційним шаром з низькотеплопровідного полістиролбетону;

- розробка методики розрахунку міцності і тріщиностійкості згинальних тришарових залізобетонних елементів;
- експериментальні дослідження напружено-деформованого стану тришарових стінових панелей;
- визначення економічної ефективності тришарових огорожувальних залізобетонних панелей з середнім теплоізоляційним шаром з низькотеплопровідного полістиролбетону.

*Об'єкт дослідження* – самонесучі і навісні тришарові залізобетонні огорожувальні стінові панелі багатоповерхових каркасно-панельних будівель.

*Предмет дослідження* – закономірності напружено-деформованого стану та теплоізолюючі властивості тришарових огорожувальних залізобетонних стінових панелей.

**Методи дослідження.** Використані методи теорії залізобетону, чисельного моделювання, методи техніко-економічної оцінки проектних рішень, а експериментальні дослідження навісних стінових панелей проведено відповідно стандартним методикам.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в розробці наукових положень визначення міцності та тріщиностійкості тришарових огорожувальних залізобетонних стінових панелей, зокрема:

- удосконалена конструкція тришарових залізобетонних панелей з утворенням монолітної в'язі між шарами;
- вперше отримано експериментальні дані про міцність та тріщиностійкість тришарових залізобетонних елементів з середнім шаром із полістиролбетону з урахуванням сумісної взаємодії між шарами при дії короточасного навантаження;
- вдосконалено метод розрахунку міцності та тріщиностійкості конструкцій з використанням фізичної моделі залізобетону, що використовує модельні уявлення і діаграми роботи матеріалів;
- отримано технічні та техніко-економічні показники огорожувальних конструкцій за умов забезпечення вимог сучасних норм з енергоефективності.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у визначенні особливостей напружено-деформованого стану та розробці рекомендацій щодо розрахунку міцності та тріщиностійкості багатошарових конструкцій з теплоізоляційним шаром з низькотеплопровідних легких бетонів, спрямованих на вирішення важливих соціально-економічних проблем енергоефективності огорожувальних конструкцій багатоповерхових житлових будівель.

Результати роботи можуть використовуватися в проектних організаціях для впровадження при проектуванні об'єктів житлово-цивільного призначення; використовуються в навчальному процесі на кафедрах залізобетонних і кам'яних конструкцій, архітектури та технології будівельного виробництва Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

**Особистий внесок здобувача** в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в наступному:

- проведено аналіз існуючих тришарових залізобетонних огорожувальних панелей та виконано порівняння їх техніко-економічних

показників [1];

- запропоновано метод розрахунку напружено-деформованого стану тришарових залізобетонних згинальних елементів з теплоізоляційним шаром з нізкотеплопроводного полістиролбетону [2-5];

- запропонована технологія виготовлення тришарових залізобетонних конструкцій з утворенням монолітної в'язі між шарами [6];

- проведені експериментальні дослідження напружено-деформованого стану тришарових залізобетонних балок-зразків, результати яких підтверджені теоретичними розрахунками [7-12].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали позитивну оцінку:

- на міжнародних конференціях «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (м. Гаспра, 2009 р., м. Алушта, 2010 р.); «Стародубовські читання» (м. Дніпропетровськ, 2011 р.);

- на наукових семінарах кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ «ПДАБА» (2009 - 2013 рр.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи відображені в 12 наукових працях, з яких 11 опубліковано у наукових фахових виданнях України та 1 працю опубліковано у зарубіжному науковому виданні, що входить в наукометричну базу.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, переліку термінів та визначень, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 1 додаток і містить 135 сторінок, у тому числі 110 сторінок основного тексту, 46 рисунків, 10 таблиць і 1 додаток на 13 сторінках, список використаних джерел із 134 найменувань на 12 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У *вступі* обґрунтовується вибір теми дисертації та її актуальність, визначені мета і задачі дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено основні положення, що подаються на захист.

У *першому розділі* висвітлено актуальність застосування легких бетонів в багатошарових залізобетонних панелях у зв'язку з підвищенням норм енергозбереження і зростанням вартості паливно-енергетичних ресурсів.

Існує чимало різновидів легких бетонів, які застосовуються сьогодні в будівництві. Кожен з них має свої переваги та недоліки.

По об'єктивним причинам лише деякі з існуючих видів легких бетонів можуть використовуватися в якості теплоізоляційного шару тришарових панелей, які формуються в єдиному технологічному циклі. Це такі види бетонів, як великопористий бетон, перлітобетон, арболіт і полістиролбетон. Дослідження та удосконалення легких бетонів для тришарових конструкцій проводилися в різних науково-дослідних організаціях. Теплоізоляційна ефективність таких конструкцій визначається не тільки утеплювачем, але багато в чому залежить від типу використаних з'єднувальних елементів (гнучких в'язей або шпонок) для скріплення

між собою зовнішніх та внутрішнього (утеплювача) шарів стіни. Найбільш перспективною по термічній однорідності та цілісності конструкції є тришарові панелі з монолітною в'язю зовнішніх шарів і утеплювача з низькотеплопроводного бетону. Але досвід їх застосування поки ще обмежений. Дослідженнями спільної роботи шарів багатошарової конструкції в єдиному монолітному перерізі присвячено багато робіт закордонних науковців. Серед них праці А.А. Акбарова, М.А. Корнева, Ю.І. Мешкаускаса, М.Г. Стулія та ін., присвячені експериментальному вивченню двошарових конструкцій, та тришарових-Ю.С. Беленького, Л.М. Брускова Л.М., Б.В. Горенштейна, В.С. Денісова, А.О. Євдокімова, О.А. Король, О.А. Кудрявцева, О.В. Лисенка, В.І. Лишака, А.Є. Лопатто, В.І. Майорова, А.М. Окландера, Ю.В. Чиненкова та ін.

В Україні питанню вдосконалення методів розрахунку та проектування залізобетонних конструкцій, в тому числі і багатошарових, з урахуванням діаграм роботи матеріалів, модельних уявлень присвячено праці Т.Н. Азізова, Є.М. Бабича, А.М. Бамбури, А.Я. Барашикова, З.Я. Бліхарського, В.С. Дорофєєва, Ю.А. Клімова, Є.В. Клименка, В.І. Корсуна, М.В. Савицького, В.О. Семка, Л.І. Стороженка, В.С. Шмуклера та інших.

Існує чималий досвід застосування легких бетонів в якості шару утеплювача багатошарових конструкцій, проте проектування та виробництво панелей з теплоізоляційним шаром з полістиролбетону обмежене, а в Україні взагалі відсутнє через недостатню вивченість їх роботи.

У зв'язку з цим було сформульовано мету і задачі дослідження.

В *другому розділі* розроблено метод розрахунку міцності і моменту утворення нормальних тріщин перерізів нормальних до поздовжньої осі.

В якості моделі огорожувальної конструкції розглянуто тришарові згинальні залізобетонні елементи шириною 16 см, висотою 25 см і довжиною 2,5 м. Зовнішні шари товщиною 4 см виконані з важкого бетону класу С16/20 та С20/25, а середній - з полістиролбетону марки М5.

Розрахунки міцності та тріщиностійкості прийнятого тришарового залізобетонного елемента виконуються за двома методами: приведених перерізів та запропонованим нижче методом.

Розрахунок міцності перерізів нормальних до повздовжньої вісі по першому методу передбачає перехід від тришарової конструкції прямокутного перерізу до приведенного двотаврового однорідного перерізу через співвідношення міцностей бетонів на стиск (рис. 1).

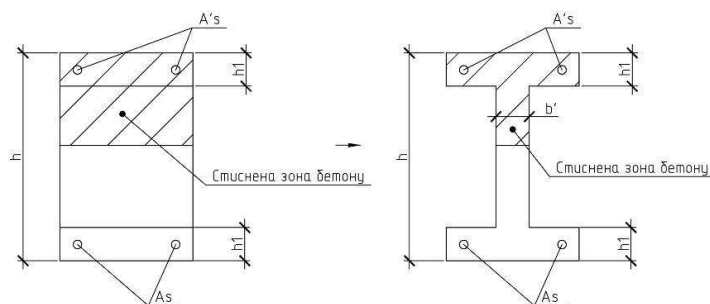


Рис.1. Схема переходу до розрахункового перерізу при розрахунку міцності нормальних перерізів, коли в стиснену зону потрапляє два шари різних видів бетону

При визначенні моменту утворення тріщин для прийнятої моделі перехід від тришарового прямокутного перерізу до приведеного двотаврового однорідного виконується виходячи зі співвідношень початкових модулів пружності (рис. 2, а).

Для врахування непружної роботи бетону розтягнутої зони і критерію утворення тріщин – досягнення бетоном розтягнутої зони граничної розтяжності, пропонується при визначенні моменту утворення тріщин приведення в розтягненій зоні здійснювати через співвідношення міцностей бетонів на розтяг (рис. 2, б).

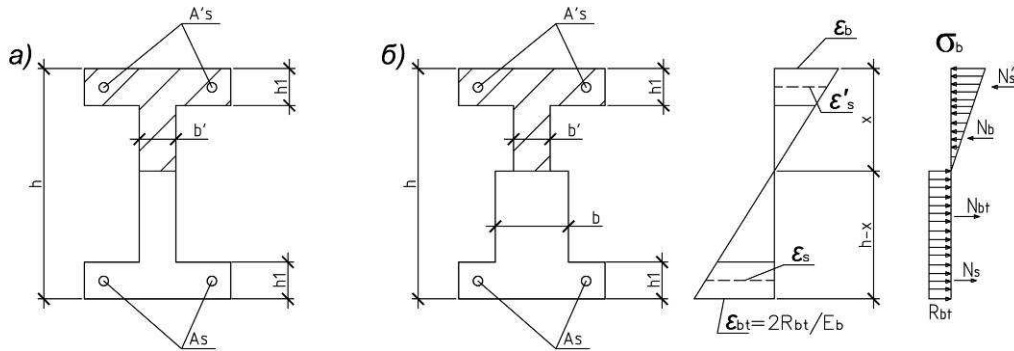


Рис. 2. Схеми приведених перерізів при визначенні моменту утворення нормальних тріщин при приведенні: а) через співвідношення початкових модулів пружності; б) в стисненій зоні - через співвідношення початкових модулів пружності, а в розтягненій зоні - через співвідношення міцностей бетонів на розтяг

Розрахунок багатошарових залізобетонних елементів за запропонованим методом виконується з використанням наступних передумов:

- розглядаються перерізи нормальні до поздовжньої осі елемента;
- загальні відносні деформації складаються з деформацій, викликаних напруженнями від зовнішніх зусиль та вимушених деформацій (наприклад, усадочних);
- розподіл середніх загальних відносних деформацій по висоті перерізу виконується по лінійному закону, тобто вважається справедливою гіпотеза плоского розподілу середніх деформацій на ділянці залізобетонного елемента аж до його руйнування;
- для елементів без тріщин приймається умова спільності осьових деформацій арматури та бетону; для елементів з тріщинами умова сумісності деформацій арматури і бетону вважається справедливою в зонах елементів без тріщин; в зонах з тріщинами перехід від середніх деформацій на ділянці залізобетонного елемента до деформацій у перерізі з тріщиною здійснюється за методикою В.І. Мурашова шляхом введення коефіцієнтів, що враховують нерівномірність деформування бетону і арматури при наявності тріщин;
- зв'язок між осьовими напруженнями і відносними деформаціями арматури та бетону представляються у вигляді діаграм  $\sigma$ - $\epsilon$  бетону та арматури, трансформованих з урахуванням різних факторів; для побудови епюр напружень в бетоні стиснутої і розтягнутої зон та визначення напружень в арматурі використовуються рівняння механічного стану, отримані при випробуванні бетону і арматури при одноісному стисненні і розтягу;

- різниця фізико-механічних характеристик бетону для багат шарових елементів враховується шляхом зміни параметрів діаграм деформування (рівняння механічного стану) для розглянутого волокна бетону;
- при переході від напружень до узагальнених зусиль (моментам і нормальній силі) вводиться процедура заміни підінтегральної функції напружень апроксимуючою функцією на характерних ділянках, що дозволяє отримати аналітичні вирази для значень інтегралів;
- міцність елементів з багат шаровими перерізами, нормальними до повздовжньої осі, визначається за критерієм максимуму функції рівноважних станів (при руйнуванні по бетону стисненої зони), а також критерію обмеження граничних деформацій арматури (при руйнуванні елемента по арматурі розтягнутої зони);
- момент утворення тріщин визначається за критерієм досягнення відносними деформаціями бетону крайового волокна розтягнутої зони величини граничних;
- ширина розкриття тріщин визначається з використанням значень деформацій розтягнутої арматури в перерізі з тріщиною;
- при розрахунку залізобетонних елементів за граничними станами першої групи приймаються розрахункові параметри діаграм деформування бетону і арматури; при розрахунку за граничними станами другої групи - нормативні значення параметрів діаграм деформування, тобто використовується трансформація діаграм деформування.

Для опису залежності  $\sigma$ - $\epsilon$  для бетону при короткочасному навантаженні використовується кубічний сплайн - функція (рис.3):

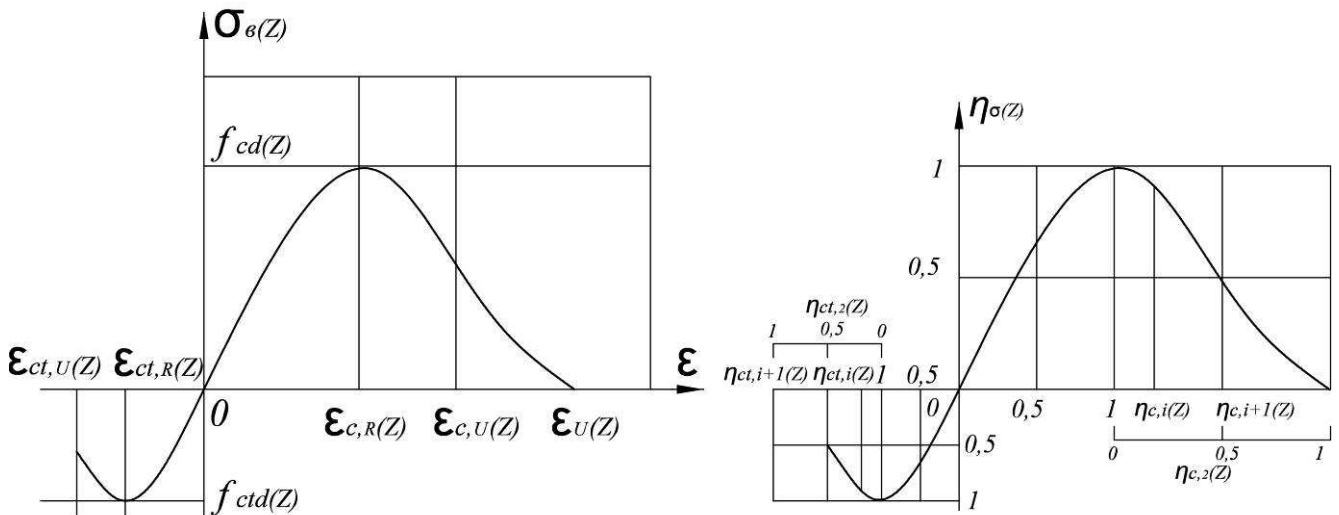


Рис.3. Схематична діаграма  $\sigma$ - $\epsilon$  бетону запропонована при розрахунку за запропонованим методом

на ділянці 1  $[0, \epsilon_R(z)]$

$$\eta_{\sigma}(z) = \eta_{\epsilon,1}^2(z) [3 - 2\eta_{\epsilon,1}(z)] + \frac{\epsilon_R(z)}{R_m(z)} E_{cd}(z) [1 - \eta_{\epsilon,1}(z)]^2 \eta_{\epsilon,1}(z), \quad (1)$$

на ділянці 2  $[\epsilon_R(z), \epsilon_u(z)]$



$$\eta_{\sigma}(z) = [1 - \eta_{\varepsilon,2}(z)]^2 [2\eta_{\varepsilon,2}(z) + 1] - \left[ \frac{\varepsilon_{cu}(z)}{\varepsilon_R(z)} - 0.2 \right] [\eta_{\varepsilon,2}(z) - 1] \eta_{\varepsilon,2}^2(z), \quad (2)$$

при цьому

$$\eta_{\sigma}(z) = \frac{\sigma_m(z)}{f_m(z)}, \quad (3)$$

$$\eta_{\varepsilon,1}(z) = \frac{\varepsilon(z)}{\varepsilon_R(z)}, \quad (4)$$

$$\eta_{\varepsilon,2}(z) = \frac{\varepsilon(z) - \varepsilon_R(z)}{\varepsilon_u(z) - \varepsilon_R(z)}, \quad (5)$$

де  $f_m(z)$  - тимчасовий опір бетону осьовому стиску  $m = cd$  або розтягування  $m = ctd$  шару з координатою  $z$ ;

$\varepsilon_R(z)$  - відносна деформація, що відповідає  $R_m(z)$ ;

$\varepsilon_u(z)$  - відносна деформація волокна з координатою  $z$ , що відповідає точці перетину ділянки діаграми  $\sigma$ - $\varepsilon$  з віссю  $\varepsilon$ .

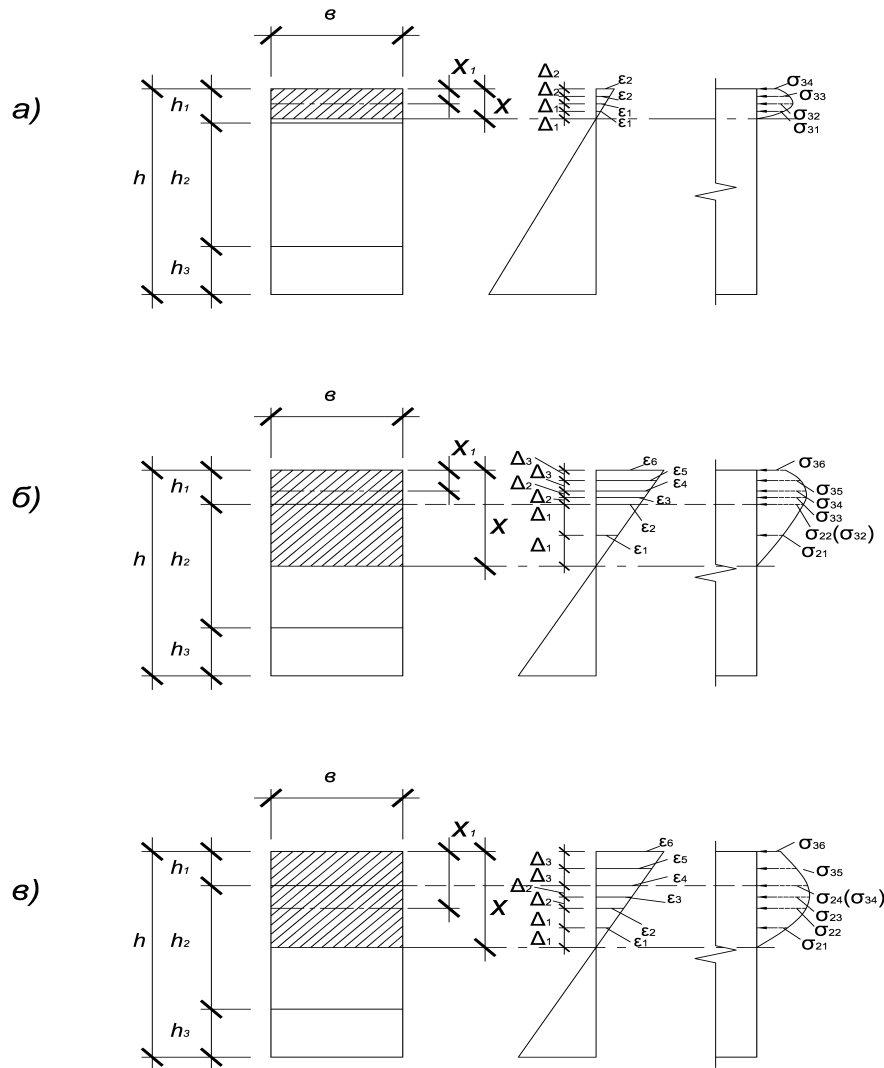


Рис. 4. Схеми епюр деформацій і напружень у стиснутій зоні тришарової залізобетонної балки при  $\varepsilon_f > \varepsilon_R$ : а)  $x < h_1$ ; б), в)  $x < h - h_3$ ; а), б)  $x_1 < h_1$ ; в)  $h_1 < x_1 < x$

У загальному випадку величина зусилля, яке сприймається бетоном стиснутої зони перерізу будь-якої форми і при довільній зміні механічних характеристик бетону по перерізу, обчислюється з допомогою інтеграла виду:

$$N_c = \iint_{A_c} \sigma(z, v) da = \iint_{A_c} \sigma(z, v) dz dv , \quad (6)$$

а величина моменту цього зусилля відносно нейтральної вісі:

$$M_{c0} = \iint_{A_c} \sigma(z, v) \cdot z \cdot da = \iint_{A_c} \sigma(z, v) \cdot z \cdot dz dv , \quad (7)$$

де  $A_c$  - область інтегрування (площа стисненої зони бетону);

$\sigma(z, v)$  - нормальна напруга в точці з координатами  $z$  и  $v$ ;

$da$  - елемент площі;

$dzdv$  - елемент площі в прямокутних координатах  $z$  и  $v$ , при цьому координата  $v$  відміряється від нейтральної вісі.

Для отримання аналітичного виразу для підінтегральної функції напружень на характерних ділянках використовувався поліном Ньютона другого ступеня. Характерними ділянками функції вважалися ділянки, на яких функція не має особливих точок екстремумів, розривів, перегинів. Особливі точки функції напружень для підвищення точності поміщалися на межі ділянок.

В залежності від положення нейтральної осі інтервал зміни функції напружень розбивається на 1, 2 та 3 ділянки (рис.4). Як приклад, приведено значення інтегралів (6) та (7), коли стиснену зону розбито на 3 ділянки.

$$\begin{aligned} N_c = & \frac{1}{3} \{ \Delta_1 \cdot v [ (4\sigma_{21} + \sigma_{22}) + (4\sigma_{31} + \sigma_{32}) ] + \\ & + \Delta_2 \cdot v [ ( \sigma_{22} + 4\sigma_{23} + \sigma_{24} ) + ( \sigma_{32} + 4\sigma_{33} + \sigma_{34} ) ] + \\ & + \Delta_3 \cdot v [ ( \sigma_{24} + 4\sigma_{25} + \sigma_{26} ) + ( \sigma_{34} + 4\sigma_{35} + \sigma_{36} ) ] \}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} M_c = & \frac{1}{3} \{ \Delta_1^2 \cdot v [ (2\sigma_{21} + \sigma_{22}) + (2\sigma_{31} + \sigma_{32}) ] + \\ & + \Delta_2 \cdot v \{ [ ( \sigma_{22} + 4\sigma_{23} + \sigma_{24} ) \Delta_1 + (2\sigma_{23} + \sigma_{24}) \Delta_2 ] + \\ & + [ ( \sigma_{32} + 4\sigma_{33} + \sigma_{34} ) \Delta_1 + (2\sigma_{33} + \sigma_{34}) \Delta_2 ] \} + \\ & + \Delta_3 \cdot v \{ [ ( \sigma_{24} + 4\sigma_{25} + \sigma_{26} ) ( \Delta_1 + \Delta_2 ) + (2\sigma_{25} + \sigma_{26}) \Delta_3 ] + \\ & + [ ( \sigma_{34} + 4\sigma_{35} + \sigma_{36} ) ( \Delta_1 + \Delta_2 ) + (2\sigma_{35} + \sigma_{36}) \Delta_3 ] \} \}; \end{aligned} \quad (9)$$

Зусилля і величина моменту цього зусилля, яке сприймається бетоном розтягнутої зони перетину, в загальному вигляді визначаються за допомогою інтегралів (6), (7) відповідно з заміною області інтегрування  $A_c$  на  $A_{ct}$  (площа розтягнутої зони бетону).

Напружено - деформований стан багатошарових залізобетонних елементів при розрахунку міцності, моменту утворення тріщин і деформацій визначається з використанням умов рівноваги:

$$\Sigma N = 0 , \quad (10)$$

$$\Sigma M = 0 , \quad (11)$$

де  $\Sigma N$  - сума проєкцій зовнішніх сил й внутрішніх зусиль, розташованих з одного боку від розглянутого перерізу, на поздовжню вісь елемента;

$\Sigma M$  - сума моментів зовнішніх сил й внутрішніх зусиль щодо обраної вісі в перерізі.

За вищенаведеними двома методами – приведених перерізів (з модифікацією) та запропонованим, були проведені розрахунки моменту утворення тріщин і міцності перерізів нормальних до поздовжньої осі (табл. 1).

Таблиця 1

Моменти утворення тріщин і міцності перерізів нормальних до поздовжньої осі

Клас бетону зовнішніх шарів	Діаметр арматури класу А400С, мм	Відсоток армування $\mu, \%$	Момент, кНм			
			Руйнування		Утворення тріщин	
			Розрахунок при напруженнях в арматурі		При розрахунку за схемою рис.2, а	При розрахунку за схемою рис.2, б
			$f_{yk}$	$f_{tk}$		
С16/20	6	0,14	5,1/5,34	6,33/6,83	1,383/1,759	1,871/1,759
	10	0,39	13,37/14,28	16,52/17,79	1,619/1,958	2,079/1,958
С20/25	6	0,14	5,13/5,38	6,38/6,87	1,595/1,971	2,091/1,971
	10	0,39	13,59/14,45	16,72/17,98	1,844/2,183	2,317/2,183

**Примітка:** В чисельнику знаходяться значення розраховані за методом приведених перерізів, а у знаменнику - за запропонованим методом;  $f_{yk}$  - опір арматури на розтяг на межі текучості,  $f_{tk}$  - тимчасовий опір розриву арматури.

Дані таблиці свідчать, що розбіжність між значеннями міцності перерізів нормальних до поздовжньої осі розрахованими за методом приведених перерізів та

запропонованим не перевищують 7%, а значення моменту утворення тріщин за методом приведених перерізів за схемою рис. 2, а і запропонованим – 16-21% відносно значень запропонованого методу, а за схемою рис. 2, б – 6%.

Для підтвердження достовірності розрахункових методів були заплановані експериментальні дослідження.

У *третьому розділі* описано особливості виготовлення тришарових елементів, методика виконання експериментальних досліджень НДС та аналіз отриманих результатів натурних випробувань і теоретичних розрахунків тришарових елементів.

Для виконання експериментальних досліджень напружено – деформованого стану тришарових елементів було запроєктовано 4 серії, по 3 зразки у кожній серії.

1-я і 2-я серії тришарових елементів запроєктовано з умови руйнування в зоні чистого згину по перерізам, нормальних до поздовжньої осі, в кількості 2 і 3 тришарових елементів, з різницею лише тому, що в тришарових елементах 1-ї серії встановлена поперечна арматура у вигляді хомутів.

3-я і 4-я серії тришарових елементів призначені для вивчення міцності при руйнуванні в приопорних зонах перерізів, похилих до поздовжньої осі, і складаються з трьох тришарових елементів кожна. Зразки цих серій повністю ідентичні між собою, а відмінність їх при проведенні експериментів полягала в прольоті зрізу – відстані від опор до зосередженого навантаження: 283 мм і 425 мм ( $h_0$  і  $1,5h_0$ ).

Таким чином, було виготовлено чотири серії балкових зразків (рис. 5) довжиною 2500 мм при розрахунковому прольоті 2200 мм, висотою 300 мм і шириною 160 мм та зовнішніми шарами з важкого бетону товщиною 50 мм і 70 мм, і середнім шаром з полістиролбетону товщиною 180 мм. Робоча і розподільна арматура зразків виконана з дротяної арматури класу Вр-І діаметром 4 мм.

Основним завданням при виготовленні зразків було забезпечення такої послідовності укладання шарів з бетонів різної міцності і щільності в єдиному технологічному циклі (рис. 4), яка дозволила утворення монолітної в'язі між шарами, забезпечивши цілісність і термічну однорідність майбутньої конструкції.



Рис.4. Процес пошарового укладання бетонних сумішей в опалубку



Рис.5. Дослідні зразки тришарових балок

Процес виготовлення зразків передбачав одночасне приготування конструкційного і теплоізоляційного бетонів. Шляхом послідовного укладання, формували нижній шар товщиною 70 мм з важкого бетону і ущільнювали вібруванням протягом 30-40 с, і середній шар теплоізоляційний шар з полістиролбетону товщиною 180 мм з подальшим короткочасним вібруванням протягом 10-15 с. Полістиролбетон укладають на щойно укладений важкий бетон, за рахунок чого і відбувається адгезія по контакту шарів двох бетонів, забезпечуючи їх монолітну в'язь. Перед укладанням верхнього шару з важкого бетону необхідно виконати перерву 15-20 хв. до початку твердіння середнього шару з метою запобігання їх перемішування.

Контрольні зразки для визначення міцнісних і деформативних характеристик бетонів дослідних балок виготовляли в інвентарних металевих формах. Результати випробувань контрольних зразків бетону наведені в табл. 2.

Міцнісні та деформативні характеристики арматури визначені за результатами випробувань на розтяг зразків відібраних при виготовленні каркасів (табл. 3).

Таблиця 2

## Міцнісні та деформативні характеристики

Серії зразків	Важкий бетон, МПа				Полістиролбетон, МПа			
	$f_{ck,cube}$	$f_{cd}$	$f_{ctd}$	$E_{cm} \cdot 10^{-3}$	$f_{ck,cube}$	$f_{cd}$	$f_{ctd}$	$E_{cm} \cdot 10^{-3}$
1,2	27,52	15,5	1,85	31,2	0,45	0,25	0,07	0,35
3,4	32,45	17,1	1,88	32,5	0,45	0,25	0,07	0,35

Таблиця 3

## Міцнісні та деформативні характеристики арматури дослідних балок

Серії зразків	Діаметр (мм)	$A_s, \text{см}^2$	$f_{yk}, \text{МПа}$	$f_{tk}, \text{МПа}$	$E_s \cdot 10^{-3} \text{МПа}$
1-4	ø4 Вр-I	0,132	473	572,5	176

Для випробувань балкових зразків був зібраний стенд, схема та загальний вигляд якого представлено на рис. 6.

Для визначення напружено-деформованого стану тришарових елементів з монолітною в'язю шарів на кожному етапі навантаження в середині їх прольоту вимірювали деформації бетону. У шести рівнях по висоті перерізу були встановлені індикатори годинникового типу з метою визначення середніх відносних деформацій бетону по висоті перерізу і положення нейтральної осі.

У приопорних зонах балок вимірювали деформації бетону середнього шару такими ж індикаторами, розташованими під кутом  $45^\circ$  до поздовжньої осі балок з метою визначення деформацій в напрямках головних розтягуючих і стискаючих напружень. Також у містах прикладання навантаження були встановлені

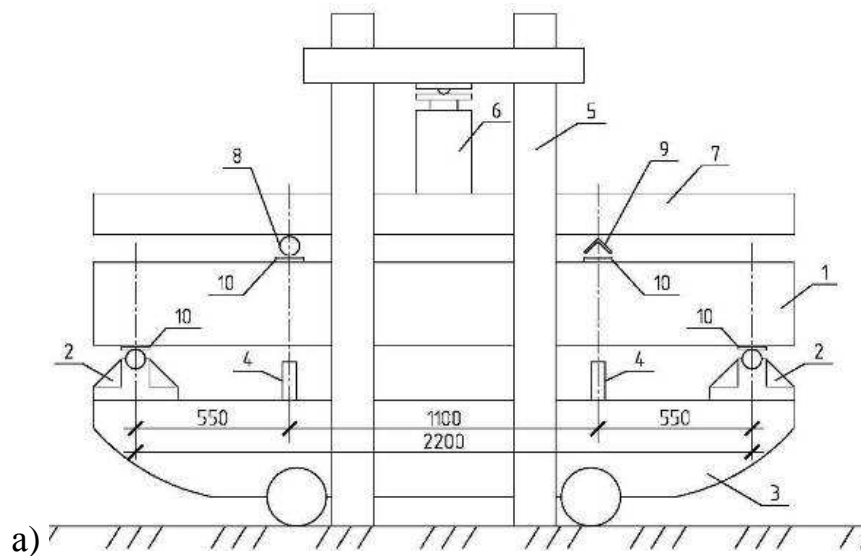


Рис. 6. Схема (а) і загальний вигляд (б) стану для випробувань згинальних елементів у лабораторних умовах: 1 - балка, 2 - опори, 3 - нерухомий візок, 4 - страхувальні стійки, 5 - силова рама, 6 - гідродомкрат, 7 - розподільна траверса, 8 - рухома опора, 9 - нерухома опора, 10 - опорні пластини

вертикально індикатори для визначення деформації середнього шару і на торцях балкових зразків з метою визначення величини можливого зміщення шарів.

Схема розташування приладів при випробуваннях наведені на рис. 7.

На рис. 8 наведено загальний вигляд тришарового елемента після проведення випробувань.

Результати моменту утворення тріщин і міцності перерізів нормальних до повздовжньої вісі приведено в табл. 4 та табл. 5 відповідно. Середні значення експериментальних результатів величин згинальних моментів, при яких утворювалися тріщини, як видно з табл. 4, не значно відрізняються від даних розрахунків за ДБН В.2.6-98:2009\* «Бетонні та залізобетонні конструкції» (далі – ДБН) та запропонованого методу. При цьому для зразків 1-ї серії розходження між теоретичними і середніми дослідними складає відповідно 1% та 4%, а для зразків 2-ї серії – 11% та 8%.

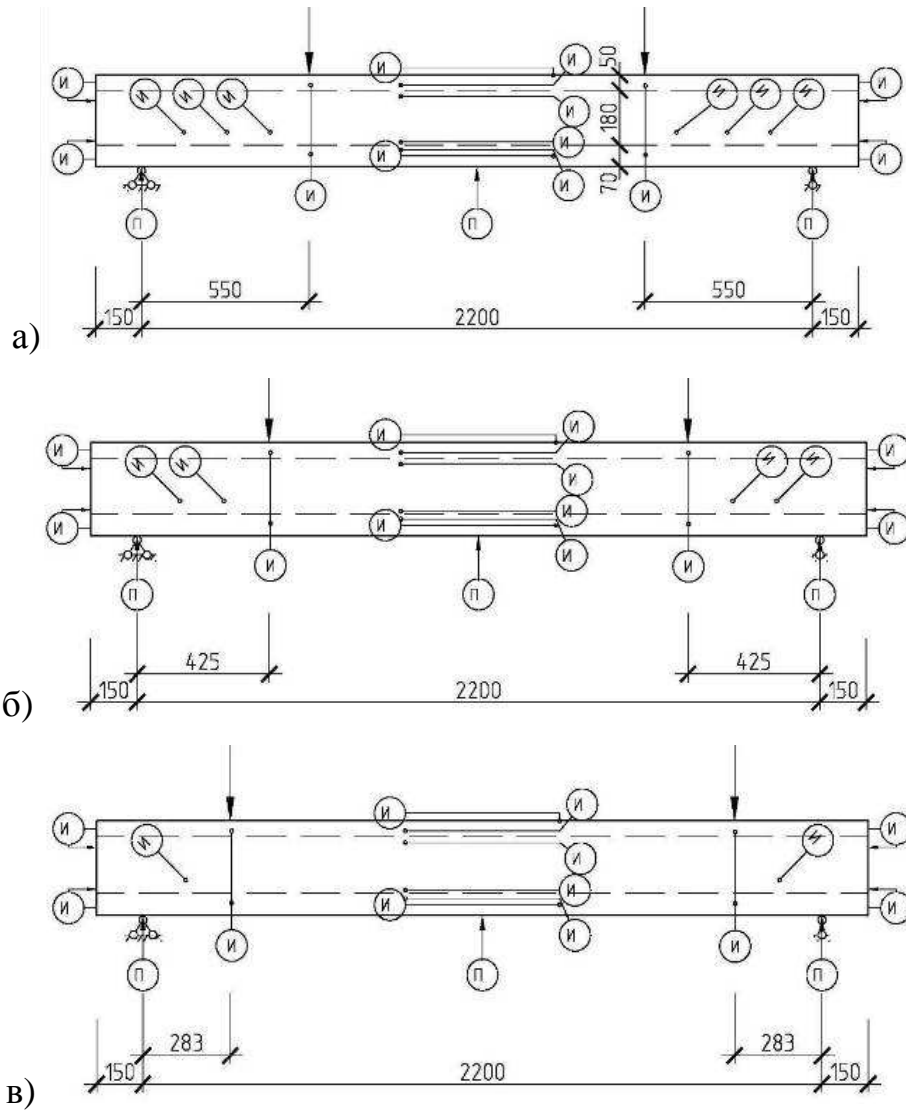


Рис. 7. Схема розташування приладів на балкових зразках 1-й і 2-й (а), 3-й (б), 4-й (в) серій



Рис. 8. Тришаровий елемент 2-ї серії після руйнування

Отримані значення моментів утворення тріщин за методом приведених перерізів (схема рис. 2,а) виявились меншими ніж дослідні. Для зразків 1-ї серії ці відмінності складають 19%, і 28% – для 2-ї. А значення моментів утворення тріщин

за методом приведених перерізів (схема 2,б) для зразків 1-ї серії менші ніж отримані при досліді на 9%, а для 2-ї – 19%.

Таблиця 4

Порівняння експериментальних і розрахункових моментів утворення тріщин

Серія зразків	Шифр балочних зразків	Момент утворення тріщин, кНм					
		Дослід	Дослід, середнє значення	1* схема рис. 2,а	1* схема рис. 2,б	2*	3*
1	Б-1-1	3,77	$\frac{4,32}{100}$	$\frac{3,493}{81}$	$\frac{3,948}{91}$	$\frac{4,342}{101}$	$\frac{4,482}{104}$
	Б-1-2	4,88					
2	Б-2-1	4,88	$\frac{4,88}{100}$	$\frac{3,493}{72}$	$\frac{3,948}{81}$	$\frac{4,342}{89}$	$\frac{4,482}{92}$
	Б-2-2	4,48					
	Б-2-3	5,27					

**Примітка:** В чисельнику вказано значення моменту утворення тріщин, а у знаменнику зазначено процентне відношення до середнього значення отриманого дослідним шляхом; 1\* - момент утворення тріщин визначений за методом приведених перерізів; 2\* - по ДБН В.2.6-98:2009\* «Бетонні та залізобетонні конструкції»; 3\* - за запропонованим методом.

Значення розрахунків за запропонованим методом та ДБН моментів утворення тріщин найбільш наближені до значень експериментальних результатів, що говорить про адекватність теоретичних методів розрахунків.

У зоні чистого згину по нормальному перерізу руйнувалися балки 1-ї і 2-ї серій зразків з арматурою класу Вр1 діаметром 4 мм. Процент армування складає 0,06%. При розрахунку за методом приведених перерізів з урахуванням фактичних характеристик матеріалів виявилось, що межа стиснутої зони проходить в межах верхнього шару важкого бетону. Отже, тришаровий переріз правомірно розраховувати як прямокутний. При цьому розбіжність між теоретичними та дослідними значеннями руйнуючих навантажень за запропонованим методом та методикою ДБН складає 5-8%, а за методом приведених перерізів – 8-17% (табл.5).

Результати теоретичних розрахунків міцності перерізів нормальних до поздовжньої осі елемента, отримані по методиці ДБН та запропонованому методу виявилися більш наближеними до експериментальних даних.

Розрахунок згинальних елементів без поперечної арматури за БНіП 2.03.01–84 «Бетонні та залізобетонні конструкції» (далі - БНіП) проводиться на зусилля утворення критичної похилої тріщини. При цьому на розрахунок впливає проліт зрізу, міцність та вид бетону, і ніяк не враховуються особливості конструктивного перерізу елемента, зокрема вплив більш міцних зовнішніх шарів з важкого бетону в тришарових елементах монолітного перетину з середнім маломіцним теплоізоляційним шаром.



Таблиця 5

Зіставлення експериментальних результатів та розрахунків тришарових елементів за міцністю нормальних перерізів

Серія зразків	Шифр балочних зразків	Міцність бетону, МПа	Згинальний момент руйнування, кНм и %				
			Дослід	Дослід, середнє значення	1*	2*	3*
					при напруженнях в арматурі рівних тимчасовому опору розриву арматури		
1	Б-1-1	15,5	4,70	<u>5,02</u> 100	<u>4,607</u> 92	<u>5,108</u> 102	<u>5,272</u> 105
	Б-1-2		5,34				
2	Б-2-1	15,5	5,73	<u>5,56</u> 100	<u>4,607</u> 83	<u>5,108</u> 92	<u>5,272</u> 95
	Б-2-2		5,47				
	Б-2-3		5,47				

**Примітка:** В чисельнику вказано значення моменту руйнування, а у знаменнику зазначено процентне відношення до середнього значення отриманого дослідним шляхом. 1\* - момент руйнування визначений за методом приведених перерізів, 2\* - по ДБН В.2.6-98:2009\* «Бетонні та залізобетонні конструкції», 3\* - за запропонованим деформаційним методом.

Результати розрахунку міцності похилих перерізів без поперечної арматури за ДБН та БНіП представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Експериментальні та теоретичні значення руйнуючих навантажень за похилими перерізам

Шифр балочного зразка	a/d	$f_{cd}$ , МПа	$f_{ctd}$ , Мпа	Руйнуюче навантаження, кН/%				
				$V_{exp}$ , кН	Середнє $V_{exp}$ , кН	V за БНіП	$V_{Rd,c}$ за ДБН	$V_{Rd,c}$ за ДБН при $\alpha_1=1,5$
Б-3-1	1,5	0,25	0,07	10,24	<u>11,73</u> 100	<u>10,79</u> 92	<u>7,86</u> 67	<u>11,79</u> 101
Б-3-2				12,11				
Б-3-3				12,83				
Б-4-1	1			13,77	<u>13,63</u> 100	<u>12,21</u> 90	<u>7,86</u> 58	<u>11,79</u> 87
Б-4-2				12,83				
Б-4-3				14,27				

**Примітка:** В чисельнику вказано руйнівне навантаження, а в знаменнику – процентне співвідношення відносно середньої величини руйнівного навантаження серії дослідних зразків отриманої при експериментальних дослідженнях.

Проаналізувавши отримані результати таблиці 6 видно, що значення несучої здатності похилих перерізів за БНіП більш наближені до експериментальних даних.

Також при аналізі дослідних даних отриманих при випробуванні тришарових зразків було відмічено явище стримування зовнішніми шарами з більш міцного бетону розвитку похилих тріщин в середньому шарі, тим самим підвищуючи їх несучу здатність похилих перерізів. Що є позитивною рисою характеру роботи тришарових залізобетонних елементів з монолітним зв'язком шарів, порівняно з одношаровими.

У зв'язку з цим актуальним буде введення в вираз для визначення міцності похилих перерізів за ДБН коефіцієнта  $\alpha_1$ , який відобразить величину збільшення несучої здатності (табл. 6). А чисельно він може залежати від співвідношення міцності шарів бетону, а також їх товщин.

При введенні коефіцієнтів  $\alpha_1$  похибка визначення міцності похилих перерізів відносно отриманих середніх експериментальних значень знаходиться в межах 13%.

У *четвертому розділі* для основних типів тришарових огорожувальних залізобетонних конструкцій масового застосування при будівництві будівель різного призначення були виконані розрахунки на теплопровідність за допомогою програмного комплексу «Elcut 5». Результати розрахунків приведенного опору теплопередачі для деяких конструкцій тришарових стінових панелей масового застосування наведені в табл. 7.

Товщина тришарової залізобетонної огорожувальної панелі з енергоефективним утеплювачем приймалася від 350 мм до 500 мм з кроком 50 мм.

Значення приведенного опору теплопередачі значно вище (в 1,35...2,1 рази) для панелі з гнучкими в'язями з усіма варіантами матеріалу середнього шару та панелі з монолітною в'язю між шарами і матеріалом утеплювача з полістиролбетону, ніж у решти варіантів конструкцій.

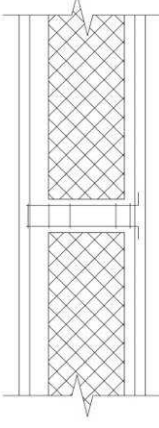
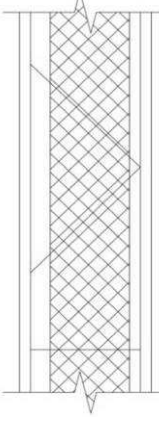

Для визначення найбільш економічного варіанту зазначених вище основних типів тришарових огорожувальних залізобетонних конструкцій також була визначена вартість облаштування  $1\text{ м}^2$  за допомогою програмного комплексу «АВК». Результати підрахунків вартості облаштування  $1\text{ м}^2$  тришарової стінової конструкції наведено в таблиці 7. Ціни на матеріали застосовувалися станом на 01.06.2015 р.

За результатами проведених розрахунків виявлено, що найбільш економічним варіантом є тришарові залізобетонні панелі з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону.

Вартість облаштування  $1\text{ м}^2$  тришарової залізобетонної конструкції товщиною 450 мм з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону на 11-63% нижче вартості конструкції з гнучкими в'язями і середнім шаром з пінополістиролу та екструдованого пінополістиролу.

При товщині конструкції 500 мм вартість облаштування  $1\text{ м}^2$  тришарової з монолітною залізобетонною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону нижче вартості конструкції з гнучкими в'язями і середнім шаром з пінополістиролу на 4,3 %, екструдованого пінополістиролу – 75 %, і мінераловати – 36 %.

Таблиця порівняння приведенного опору теплопередачі та вартості виготовлення 1 м<sup>2</sup> тришарових стінових панелей

№ п.п.	Ескіз частини панелі	Вид в'язей між шарами	Матеріал середнього шару утеплювача	Приведений опір теплопередачі R <sup>пр</sup> та вартість виготовлення 1 м <sup>2</sup> панелі при товщині, мм			
				400	450	500	
1		Залізо-бетонні бруски	Пінополістирол ρ=25кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	1,725	1,950	2,172
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	1,598	1,806	2,012
				V	797	866	935
			Пінополістирол екструд. ρ=25кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	1,765	1,995	2,221
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	1,691	1,909	2,125
				V	1138	1267	1396
			Мінераловата ρ=100кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	1,575	1,783	1,988
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	1,494	1,689	1,883
				V	956	1053	1150
2		Гнучкі сталеві стрижні	Пінополістирол ρ=25кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	3,031	3,496	3,969
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	2,767	3,192	3,624
				V	773	826	879
			Пінополістирол екструд. ρ=25кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	3,181	3,669	4,165
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	3,113	3,591	4,078
				V	1210	1341	1472
			Мінераловата ρ=100кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	2,538	2,927	3,321
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	2,422	2,794	3,170
				V	977	1067	1157
3		Монолітна в'язь	Полістиролбетон ρ=300кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	3,020	3,520	4,020
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	2,763	3,217	3,671
				V	715	779	843
			Керамзитобетон ρ=500кг/м <sup>3</sup>	R <sup>пр</sup> <sub>А</sub>	1,867	2,162	2,456
				R <sup>пр</sup> <sub>Б</sub>	1,435	1,652	1,869
				V	671	727	783

**Примітка:** R<sup>пр</sup><sub>А</sub> - значення приведенного опору теплопередачі конструкції для умов експлуатації А, R<sup>пр</sup><sub>Б</sub> - для умов експлуатації Б, V - вартості виготовлення 1 м<sup>2</sup> тришарових стінових панелей;  - значення приведенного опору теплопередачі, що задовольняють вимогам ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» для першої температурної зони (>3,3 м<sup>2</sup>К/Вт);  - для другої температурної зони (>2,8 м<sup>2</sup>К/Вт).

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі викладено результати науково обґрунтованих досліджень, спрямованих на розв'язання актуальної науково-прикладної задачі з розробки наукових положень проектування тришарових залізобетонних огорожуючих панелей багатоповерхових будівель, що є подальшим розвитком теорії проектування огорожуючих конструкцій житлових будівель у розділах забезпечення міцності та економічної ефективності.

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. На основі проведеного аналізу сучасних тенденцій в будівництві, встановлено, що існує досвід застосування легких бетонів в якості шару утеплювача багат шарових конструкцій, проте виробництво огорожуючих панелей з теплоізоляційним шаром з полістиролбетону обмежене, а в Україні взагалі відсутнє через недостатню вивченість їх роботи. Визначено, що суттєвою перевагою при виготовленні тришарових панелей з середнім шаром з полістиролбетону є утворення монолітної в'язі між шарами, що знижує витрати робочої арматури і виключає утворення теплопровідних включень у порівнянні з аналогічними тришаровими конструкціями з гнучкими в'язями або залізобетонними брусами.

2. Розроблено метод розрахунку моменту утворення тріщин і міцності перерізів нормальних до поздовжньої осі для тришарових конструкцій з монолітною в'язю, в якому у явному вигляді використовується модельне уявлення та рівняння механічного стану бетонів, що дозволяє врахувати шари бетону з різними властивостями.

3. Визначено особливості виготовлення тришарових залізобетонних панелей з теплоізоляційним шаром з полістиролбетону, що забезпечують утворення монолітної в'язі між шарами, та дозволяє розглядати тришарову панель як одну цілісну конструкцію. Ці особливості полягають в тому, що нижній та середній шари укладають послідовно та без перерви, за рахунок чого і забезпечується їх монолітний зв'язок, а перед укладанням верхнього шару з важкого бетону необхідно виконати перерву 15-20 хв. до початку твердіння середнього шару з метою запобігання їх перемішування.

4. Отримано дані експериментальних досліджень тришарових залізобетонних елементів з середнім шаром із полістиролбетону, які в подальшому при співставленні з теоретичними даними показали, що розрахунок за міцністю перерізів нормальних до поздовжньої осі та моменту утворенню тріщин з урахуванням їх особливостей напружено-деформованого стану запропонованим методом адекватно оцінює експериментальні результати.

5. Результати розрахунку технічних та техніко-економічних показників огорожувальних конструкцій за умов забезпечення вимог сучасних норм з енергоефективності засвідчують, що найбільш економічним варіантом є тришарові залізобетонні панелі з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Сопильняк А. М. Трехслойные железобетонные ограждающие стеновые панели / Н. В. Савицкий, А. М. Сопильняк // Строительство, материаловедение,

машиностроение // Днепрпетровск, ПГАСА, 2009. – Вып. 50. – С. 482 - 486.

2. Сопильняк А.М. Оценка несущей способности и эксплуатационной пригодности гибких связей трехслойных железобетонных стеновых панелей / М. В. Савицкий, А. М. Зинкевич, А. М. Сопильняк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – Вип. № 664. – С. 179 - 183.

3. Сопильняк А.М. Методы определения прочности и трехслойных железобетонных стеновых панелей / А. М. Сопильняк, Н. В. Савицкий, К. В. Шляхов // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / – Київ, ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74: В 2-х кн.: Книга 1. – С. 640 - 644.

4. Сопильняк А.М. Прочность трехслойных железобетонных элементов / А. М. Сопильняк, Н. В. Савицкий // Строительство, материаловедение, машиностроение. Днепрпетровск, ПГАСА, 2011. – Вып. 58. – С. 648 - 650.

5. Сопильняк А.М. Расчет прочности и трещиностойкости трехслойных железобетонных стеновых панелей / Н. В. Савицкий, К. В. Шляхов, А. М. Сопильняк // Строительство, материаловедение, машиностроение. Днепрпетровск, ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С. 416 - 419.

6. Сопильняк А.М. Особенности изготовления трехслойных железобетонных конструкций / Н. В. Савицкий, А. М. Сопильняк, Н. В. Панченко // Строительство, материаловедение, машиностроение. Днепрпетровск, ПГАСА, 2012. – Вып. 65. – С. 521 - 524.

7. Сопильняк А.М. Результаты испытаний прочности и трещиностойкости трехслойных железобетонных балок / А. М. Сопильняк, Н. В. Савицкий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпрпетровськ, ПГАСА, 2013. – Вип. 1-2. – С. 54 - 58.

8. Сопильняк А.М. Экспериментальные исследования прочности и трещиностойкости трехслойных железобетонных балок / А. М. Сопильняк, Н. В. Савицкий // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса, ОДАБА, 2013. – Вип.49. Частина 1. – С. 319 - 324.

9. Sopilnyak A M. Strength and crack resistance of three-layer concrete beams / A M. Sopilnyak, N. V. Savitskiy. // Строительство, материаловедение, машиностроение. Днепрпетровск, ПГАСА, 2013. – Вып. 68. – С. 363 - 367.

10. Сопильняк А. М. Анализ результатов испытаний трехслойных железобетонных балок по прочности и трещиностойкости / А. М. Сопильняк, А. А. Несин, К. В. Шляхов, Н. В. Савицкий // Строительство, материаловедение, машиностроение. Днепрпетровск, ПГАСА, 2014. – Вып. 75. – С. 241 - 246.

11. Сопильняк А. М., Савицкий Н. В. Анализ полученных результатов при испытании трехслойных железобетонных балок со средним слоем из полистиролбетона. / А. М. Сопильняк, Н. В. Савицкий // Zbiór raportów naukowych. „Osiągnięcia naukowe, rozwój, propozycje na rok 2014,.. (29.12.2014 - 30.12.2014 ) – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2014. – 104 str. ISBN: 978 - 83 - 64652 - 76 - 9 (t.1).

12. Сопильняк А.М. Результаты дослідження тришарових залізобетонних балок на тріщиностійкість / А. М. Сопильняк // Строительство, материаловедение,

машиностроение. Днепропетровск, ПГАСА, 2015. – Вып. 81. – С. 224 - 228.

### АНОТАЦІЯ

**Сопільняк А.М. Міцність та тріщиностійкість тришарових залізобетонних стінових панелей.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. - Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпропетровськ, 2015.

Робота спрямована на удосконалення методу розрахунку міцності та тріщиностійкості тришарових залізобетонних стінових панелей з урахуванням особливостей будови та роботи конструкції.

Визначено, що суттєвою перевагою при виготовленні тришарових панелей з середнім шаром з полістиролбетону є утворення монолітної в'язі між шарами, що знижує витрату робочої арматури і виключає утворення теплопровідних включень у порівнянні з аналогічними тришаровими конструкціями з гнучкими в'язями або залізобетонними брусами.

Розрахунок моменту утворення тріщин та міцності перерізів нормальних до поздовжньої вісі для тришарових конструкцій з монолітною в'язю виконано методом приведених перерізів (з модифікацією) та запропонованим методом.

Визначено особливості виготовлення тришарових огорожувальних залізобетонних конструкцій з теплоізоляційним шаром з полістиролбетону та методику проведення їх випробувань.

Теоретична оцінка отриманих результатів показала, що розрахунок тришарових залізобетонних елементів монолітного перерізу на міцність та тріщиностійкість з урахуванням їх особливостей напружено-деформованого стану за запропонованим методом найбільш точно оцінює експериментальні результати.

Проведено дослідження техніко-економічних показників, в результаті чого, виявлено, що найбільш економічним варіантом є тришарові залізобетонні панелі з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону.

**Ключові слова:** тришарові огорожувальні залізобетонні стінові панелі, напружено-деформований стан, міцність та тріщиностійкість перерізів.

### АННОТАЦИЯ

**Сопильняк А.М. Прочность и трещиностойкость трехслойных железобетонных стеновых панелей.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Украины, Днепропетровск, 2015.

Работа направлена на разработку научно обоснованных положений расчета прочности и трещиностойкости трехслойных ограждающих железобетонных стеновых панелей с учетом особенностей конструктивного решения и работы конструкции.

Определено, что существенным преимуществом при изготовлении трехслойных панелей со средним слоем из полистиролбетона является образование монолитной связи между слоями, что снижает расход рабочей арматуры и исключает образование теплопроводных включений по сравнению с аналогичными трехслойными конструкциями с гибкими связями или железобетонными брусками.

Расчет момента образования трещин и прочности сечений нормальных к продольной оси для трехслойных конструкций с монолитной связью выполнено методом приведенных сечений (с модификацией) и предложенным методом.

Определение прочности сечений нормальных к продольной оси по методу приведенных сечений предусматривает переход от трехслойной конструкции прямоугольного сечения до приведенного двутаврового однородного сечения через соотношение прочностей бетонов на сжатие, а при определении момента образования трещин переход выполняется исходя из соотношения начальных модулей упругости. Для учета неупругой работы бетона растянутой зоны и критерия образования трещин – достижения бетоном растянутой зоны предельной растяжимости, предлагается при определении момента образования трещин приведение в растянутой зоне осуществлять через соотношения прочностей бетонов на растяжение.

Предложено метод расчета момента образования трещин и прочности сечений нормальных к продольной оси для трехслойных конструкций с монолитной связью, в котором в явном виде используется модельное представление и уравнения механического состояния бетонов, что позволяет учесть слоя бетона с различными свойствами.

Определены особенности изготовления трехслойных железобетонных панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона, обеспечивающие образованием монолитной связи между слоями, и позволяет рассматривать трехслойную панель как одну целостную конструкцию. Эти особенности заключаются в том, что нижний и средний слои укладываются последовательно и без перерыва, за счет чего и обеспечивается их монолитная связь, а перед укладкой верхнего слоя из тяжелого бетона необходимо выполнить перерыв 15-20 мин. до начала твердения среднего слоя с целью предотвращения их перемешивания.

Приведено методика проведения испытаний трехслойных железобетонных балок со средним слоем из полистиролбетона.

Теоретическая оценка полученных результатов показала, что расчет трехслойных железобетонных элементов монолитного сечения на прочность и трещиностойкость, с учетом их особенностей напряженно-деформированного состояния, по предложенному методу наиболее точно оценивает полученные при испытаниях результаты.

Проведено исследование технико-экономических показателей, в результате чего выявлено, что наиболее экономичным вариантом являются трехслойные железобетонные панели с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона.

Результаты проведенных исследований использованы при разработке проекта здания магазина по пр. Кирова 44-д «Медтехника», при проектировании ограждающих конструкций здания службы инкассации, касс перерасчета и

хранилища по адресу: Днепропетровский район, Новоалександровская районный совет и в учебном процессе ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», а также могут быть использованы при проектировании многоэтажных жилых зданий и при разработке нормативно-технических документов.

**Ключевые слова:** трехслойные ограждающие железобетонные стеновые панели, напряженно-деформированное состояние, прочность и трещиностойкость сечений.

#### ANNOTATION

**Sopilnyak A. M. Strength and cracking-resistance of three-layer reinforced concrete wall panels.** – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in Specialty 05.23.01 – The Building Designs, Buildings and Constructions. – State Higher Educational Establishment “Prydniprov’s’ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipropetrovs’k, 2015.

Research is aimed to improve a calculation method of strength and cracking-resistance of three-layer reinforced concrete panels considering peculiarities of structure and work of construction.

It is defined that an important advantage of three-layer panels with polystyrene middle layer is creation of monolithic bond between layers, which decreases consumption of reinforcement and excludes creation of heat-conducting insertions.

Calculation of cracking moment and strength of cross-sections perpendicular to longitudinal axis is made with modified reduced cross-sections method.

Peculiarities of production of three-layer external reinforced concrete wall panels with polystyrene heat-insulation layer are defined.

Testing method of three-layer reinforced concrete beams with polystyrene middle layer is described. The assessment of obtained results has shown that strength and cracking-resistance calculation of three-layer reinforced elements by the proposed method correlates more accurately with testing results.

Investigation of technical and economical parameters was carried out and has shown that the most efficient variant is three-layer reinforced concrete panels with polystyrene concrete heat-insulation layer.

**Key words:** three-layer external reinforced concrete wall panels, stress-strain state, strength and crack resistance of cross-sections.



Підписано до друку 23 грудня 2015р. Формат 60x84/16  
Папір офсетний.  
Друк різнограф. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9.  
Тираж 100 прим. Зам. № 5815.

Св. Серія А01 №049793 от 07.09.98  
видано в ППФ «Тотем»  
м. Дніпропетровськ, вул. Карла Лібкнехта, 50  
тел.: (0562)-36-95-76