

ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ПІДСИЛЕННІ

Розглянуто методологічні основи утворення сталезалізобетону при підсиленні сталевих та залізобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, сталеві конструкції, сталезалізобетонні конструкції, дефекти, пошкодження, технічний стан, підсилення.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Існуюча тенденція зношення основних виробничих фондів промислових підприємств та житлово-комунального комплексу, що були збудовані у 60–70-ті роки ХХ сторіччя – у період масового будівництва, й сьогодні, незважаючи на фізичну та моральну застарілість, усе ще знаходяться в експлуатації, зумовлює актуальність проблеми розроблення економічних та ефективних методів реконструкції будівель і споруд, а також ремонту, відновлення та підсилення їх окремих конструктивних елементів, що перебувають у незадовільному чи аварійному технічному стані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Розв'язання проблеми підсилення будівельних конструкцій було започатковано та отримало подальший розвиток у роботах [1, 2, 4, 8]. Завдяки цим і багатьом іншим дослідженням було одержано основні закономірності утворення дефектів виготовлення й експлуатаційних пошкоджень залізобетонних та металевих конструкцій, а також розроблено різноманітні (залежно від конструктивної схеми, параметрів діючих навантажень та наявних дефектів і пошкоджень) способи відновлення їх несучої здатності й показників експлуатаційної придатності, ремонту та підсилення.

Підсилення різноманітних залізобетонних і металевих елементів досить часто виконується з утворенням ефективних комплексних конструкцій, що становлять особливу групу сталезалізобетонних конструкцій (СЗБК). Конструктивне різноманіття сталезалізобетону, що утворюється при підсиленні, за кількістю навіть перевершує типи сталезалізобетонних конструкцій при новому будівництві. При цьому підсилення залізобетонних конструкцій сталевим прокатом та сталевих елементів обетонюванням не завжди приводить до утворення комплексних сталезалізобетонних конструкцій, що є **нерозв'язаною проблемою, котрій присвячується стаття.**

Таким чином, **основною метою статті** є формулювання методологічних основ утворення сталезалізобетону при підсиленні сталевих і залізобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями.

Виклад основного матеріалу. Загальна концепція утворення сталезалізобетону при підсиленні. Розмежовувати область визначення сталезалізобетонних конструкцій, що утворюються при підсиленні, ми пропонуємо за тим же критерієм (коефіцієнтом ефективності поперечного перерізу δ), що й інші типи СЗБК [9, 12], з єдиною різницею – мінливість геометричних розмірів підсилюваних (експлуатованих) елементів може бути значно більшою від мінливості нових конструкцій за рахунок наявних дефектів, пошкоджень і корозійного зносу. Утворені при підсиленні конструктивні сталезалізобетонні елементи зазвичай характеризуються специфічною роботою та, як правило, складним напружено-деформованим станом, а також мають певні особливості розрахунку внаслідок наявності дефектів і пошкоджень [10]. Ці фактори зумовлюють необхідність урахування історії та рівня навантаження існуючих конструкцій.

У загальному вигляді концепцію утворення сталезалізобетону при підсиленні можна подати у вигляді трьох схем:

- існуючі залізобетонні конструкції, підсилені із застосуванням сталевих прокатів й утворенням єдиної комплексної сталезалізобетонної конструкції;
- існуючі сталеві конструкції та їх елементи, підсилені заповненням бетоном чи влаштуванням залізобетонної обойми;
- існуючі залізобетонні й сталеві конструкції, об'єднані за допомогою спеціальних допоміжних засобів в єдину комплексну сталезалізобетонну конструкцію.

Як правило, новоутворена при підсиленні сталезалізобетонна конструкція повинна мати більшу несучу здатність та жорсткість, ніж існуюча до підсилення сталева або залізобетонна. Особливу увагу при цьому слід приділяти врахуванню стадійності роботи конструкції підсилення: I стадія (робота існуючої конструкції, що потребує підсилення, при дії статичного навантаження); II стадія (робота існуючої конструкції, що потребує підсилення, під частковим чи монтажним навантаженням); III стадія (робота утвореної при підсиленні сталезалізобетонної конструкції при дії повного проектного навантаження). Розглянемо більш детально класифікацію сталезалізобетонних конструкцій, що утворюються при підсиленні, за видом конструктивних елементів, які потребують підсилення, їх напружено-деформованим станом та типом підсилення.

Утворення сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні залізобетонних елементів сталевим прокатом. Потреба в підсиленні залізобетонних конструкцій виникає при збільшенні навантажень на конструкції, корозійному пошкодженні арматури і бетону, виявленні дефектів бетону – виколів, зменшення перерізу, недостатньої фактичної міцності бетону і т.п. У практиці будівництва застосовуються, як правило, декілька типів підсилення залізобетонних елементів [1, 2, 4, 8, 9]. Застосування того чи іншого способу підсилення призводить до утворення комплексної сталезалізобетонної конструкції лише у випадку включення металу підсилення у сумісну роботу. Розглянемо основні схеми підсилення залізобетонних елементів сталевим прокатом, що призводить до утворення комплексної сталезалізобетонної конструкції (СЗБК):

1. Підсилення балкової залізобетонної конструкції сталевим прокатом:

– при підведенні зверху або всередині залізобетонної конструкції, коли елемент підсилення – прокат – розташований в основному в стиснутій зоні СЗБК (рис. 1). Таке підсилення має як переваги у вигляді більшої зручності виконання робіт, кращих умов забезпечення сумісної роботи, технологічності, можливості «сховати» конструкцію підсилення в товщі підлоги, так і недоліки у вигляді порівняно низької ефективності за рахунок великої кількості бетону в розтягнутій зоні утвореної СЗБК;

– при підсиленні підведенням сталевих балок знизу залізобетонної балкової системи, що підсилюється. У цьому випадку СЗБК не утворюється в разі відсутності забезпечення зчеплення сталевих балок з існуючим бетоном, коли обидві конструкції працюють як балки на пружній опорі. Сумісність роботи забезпечується лише сумісністю прогинів. Навантаження розподіляються обернено пропорційно жорсткостям підсилюваної балки та балки підсилення. У випадку забезпечення сумісності роботи залізобетону з прокатом підсилення шляхом сприймання дотичних зусиль анкерами (рис. 2) утворюється більш ефективна сталезалізобетонна конструкція, в якій залізобетонний елемент більшою мірою починає працювати на стиск. Нейтральна лінія утвореного в результаті підсилення спільного перерізу опускається вниз – і кількість стиснутого бетону в конструкції збільшується, що підвищує ефективність комплексного перерізу. Крайня межа цього випадку – збільшення кількості розтягнутої арматури листовою або іншою додатковою затяжкою. У цьому разі розрахунок підсиленої конструкції виконується за нормами для залізобетонних конструкцій. Коли затяжка має згинальну жорсткість, якою не можна знехтувати, її слід розглядати як жорсткий вант, розпір від котрого сприймається розтягнутою частиною залізобетонної балки, що підсилюється. Експериментальні

дослідження сталезалізобетонних конструкцій, що виникають при підсиленні залізобетону жорстким вантом, виконувались у роботах С.Ф. Пічугіна, О.В. Семка та М.В. Бібіка [7].

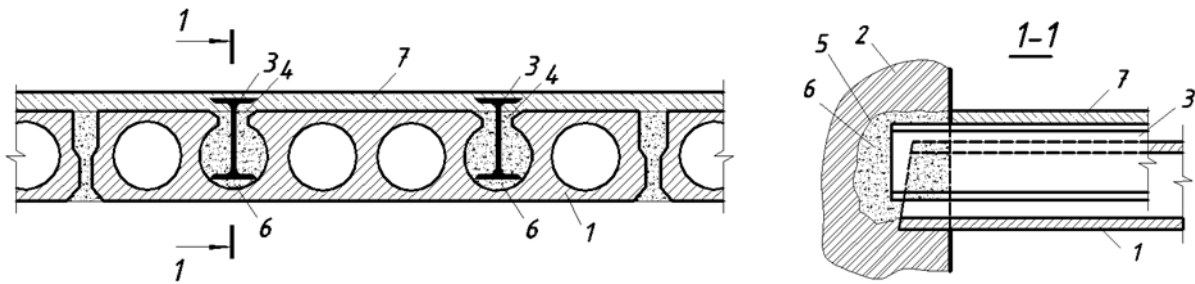


Рисунок 1 – Установлення металевих двотаврових балок зверху залізобетонних плит із наступним їх бетонуванням:

- 1 – багатопорожниста залізобетонна плита, що підсилюється; 2 – цегляна стіна;
 3 – металеві балки з двотаврів; 4 – вирубані полиці плит для встановлення балок;
 5 – вирубані ніші в стінах; 6 – бетон замоноличення вирубаних полиць, ніш та пустот;
 7 – конструкція підлоги

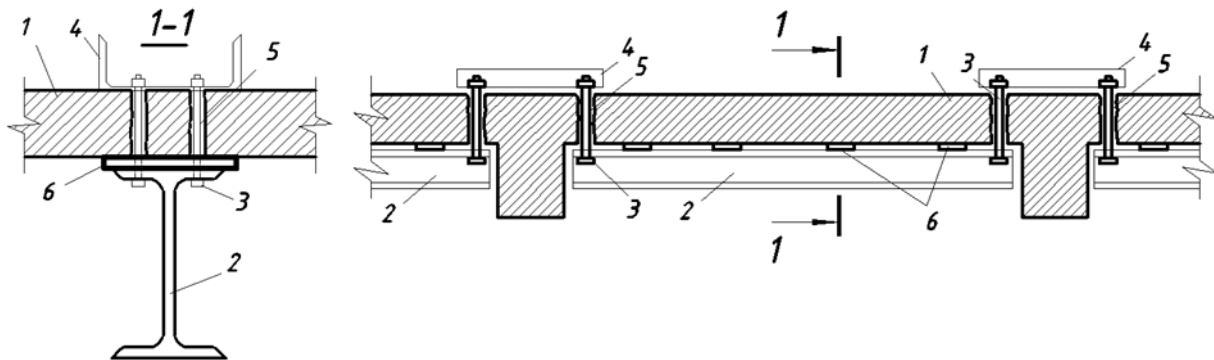


Рисунок 2 – Підсилення монолітної залізобетонної плити:

- 1 – монолітна залізобетонна плита, що підсилюється; 2 – металеві розвантажувальні балки; 3 – стяжні болти для кріплення балок підсилення; 4 – прокладка-шайба у вигляді відрізка металевого швелера; 5 – отвори, влаштовані в плиті; 6 – пластини-клини для включення розвантажувальних балок у роботу

2. Улаштування підсилення згинальних залізобетонних конструкцій за допомогою листової сталі:

– при використанні листової сталі як додаткової розтягнутої, рідше – стиснутої арматури, котра кріпиться до конструкції за допомогою анкерів або приклеюється до підсилюваної зони з розрахунком анкерування листів підсилення [3, 4];

– при використанні листової арматури для підсилення похилих перерізів згинальних конструкцій. У цьому випадкові вона приклеюється на бічні поверхні балок у зоні похилих тріщин. Зв'язок додаткової листової чи жорсткої арматури з елементом, що підсилюється, забезпечується: за рахунок зчеплення захисно-конструктивним полімер-розчином; уведенням додаткових сталевих зв'язків, що встановлюються у висвердлені отвори; приварюванням до арматури підсилюваного елемента (виконується лише при розвантаженні елемента, що підсилюється); за рахунок улаштування упорів за межею опор [2, 3].

3. Підсилення залізобетону попередньо напруженою шпренгельною конструкцією призводить до утворення СЗБК [11], що має ряд переваг: легкість, простота виготовлення.

4. Улаштування підкісної системи на опорі з метою зменшення прольоту балок (зворотний шпренгель).

5. Підсилення стиснутих залізобетонних елементів (колон, стійок, елементів ферм) шляхом установлення додаткового сталевго профілю:

– додатковий сталевий профіль виступає як обойма, наприклад, при встановленні попередньо напружених дво- або односторонніх розпірок чи складеної металевої обойми з натяжними вузлами;

– сталева конструкція підсилення обтискає існуюче бетонне осердя з метою підвищення міцності бетону за рахунок ефекту обойми, наприклад, при встановленні попередньо напружених хомутів (рис. 4) або влаштування залізобетонної обойми з жорстким армуванням (рис. 3);

– улаштування залізобетонної обойми з непрямим армуванням.

Сумісна робота залізобетону та сталевий обойми враховується за умов упору гілок обойми в перекриття або у випадку їх приварювання до упорних закладних деталей за відсутності контакту між залізобетонним елементом та сталевий обоймою. Розрахунок останньої виконується аналогічно до сталевий колони, але гнучкість поздовжніх елементів при цьому приймається з урахуванням їх упору в залізобетонний елемент у місцях розташування поперечних планок.

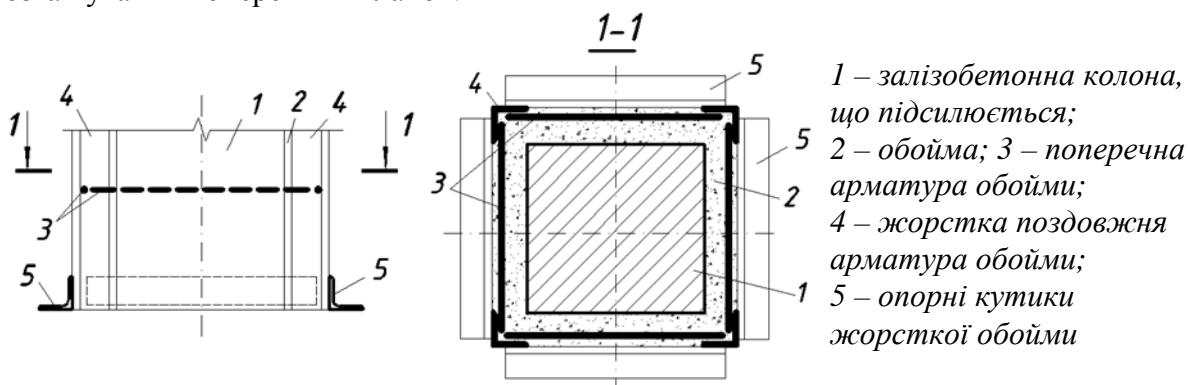
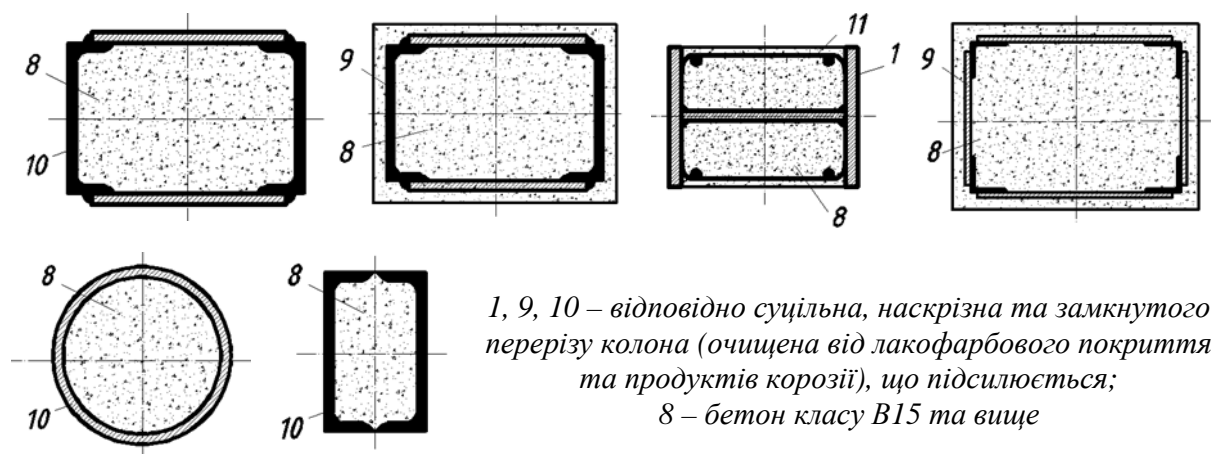


Рисунок 3 – Підсилення колони залізобетонною обоймою з жорсткою зовнішньою арматурою у вигляді кутиків

Що стосується зігнутих елементів, то підсилення стиснутих поясів ферм при їх корозійному зносі або зростанні навантаження можливе шляхом включення в роботу пояса залізобетонних плит покриття. Для цього виконуються спеціальні заходи щодо забезпечення сумісної роботи верхнього пояса та опорних частин панелей покриття. Підсилення сталевих балок, як правило, виконується обетонюванням стиснутого пояса з утворенням звичайної згинальної сталезалізобетонної конструкції, що може сприймати досить значне додаткове навантаження [6]. На рисунку 5 наведено приклади підсилення сталевих балок обетонюванням, а також заповненням бетоном їх відкритих та закритих порожнин, що призводить до утворення широкого спектра варіантів комплексного перерізу сталезалізобетонних елементів.

Досить ефективним може виявитись включення в сумісну роботу залізобетонних конструкцій перекриття і сталевих балок. Таке підсилення виконується влаштуванням анкерів, що забезпечують сумісну роботу залізобетонної плити й стиснутого пояса сталевий балки, яка потребує підсилення. Для цього доцільне влаштування попередньо напружених болтів для забезпечення зчеплення металу пояса та залізобетону або влаштування сталезалізобетонного перекриття у вигляді плоских залізобетонних плит по металевих балках (рис. 6). Дослідженням сталезалізобетонних конструкцій, що утворюються завдяки включенню в роботу огорожувальних конструкцій, присвячено дослідження [9].

Очевидно, що все різноманіття комплексних сталезалізобетонних конструкцій, що утворюються при підсиленні, не вичерпується перерахованими прикладами, але ці конструктивні рішення достатньою мірою ілюструють принцип утворення СЗБК при підсиленні (рис. 7). Більш детально це питання розглянуто в роботі [10].



1, 9, 10 – відповідно суцільна, наскрізна та замкнутого перерізу колона (очищена від лакофарбового покриття та продуктів корозії), що підсилюється;
8 – бетон класу В15 та вище

Рисунок 4 – Обетонювання сталевих колон

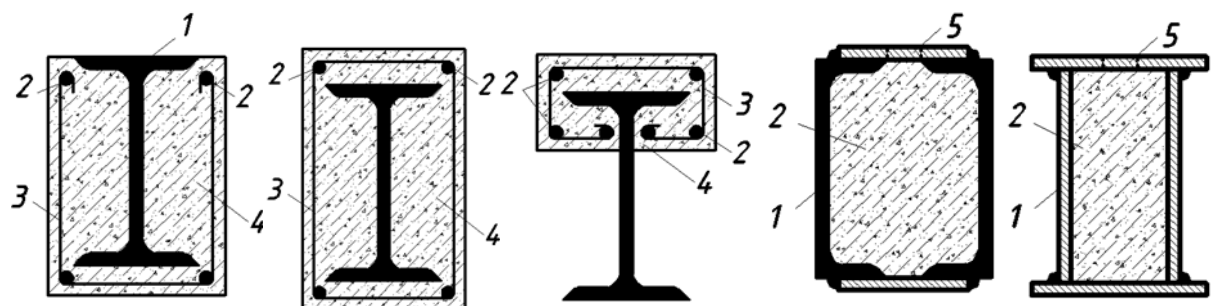
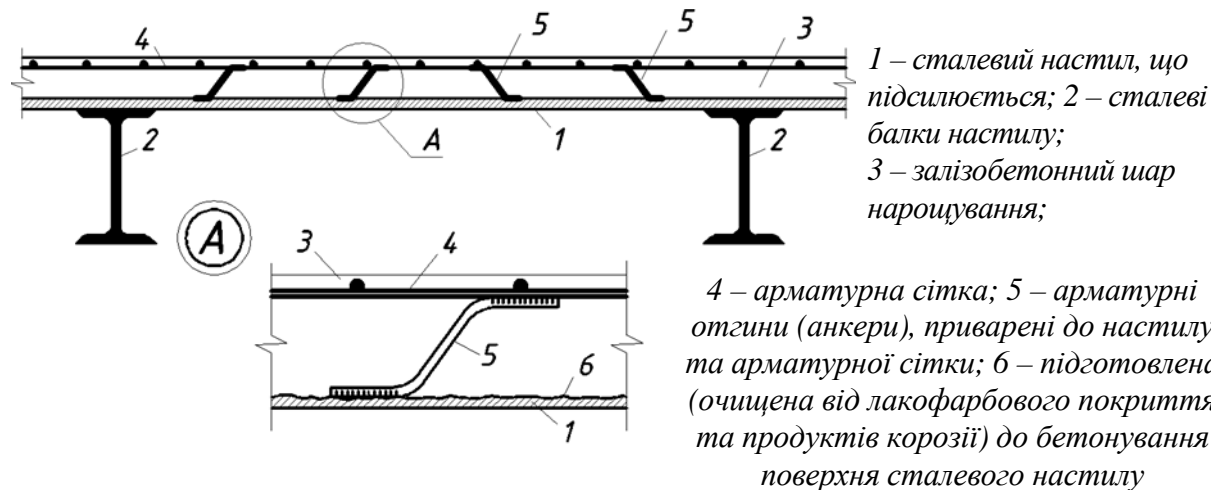


Рисунок 5 – Обетонювання сталевих балок:

1 – сталева балка з прокатного металу (очищена від лакофарбового покриття та продуктів корозії); 2 – поздовжня арматура підсилення; 3 – поперечні хомути підсилення; 4 – бетон класу В15 та вище; 5 – отвори, вирізані у верхній полиці балки для заливки бетону



1 – сталевий настил, що підсилюється; 2 – сталеві балки настилу; 3 – залізобетонний шар нарощування;

4 – арматурна сітка; 5 – арматурні отгини (анкери), приварені до настилу та арматурної сітки; 6 – підготовлена (очищена від лакофарбового покриття та продуктів корозії) до бетонування поверхня сталевому настилу

Рисунок 6 – Нарощування залізобетонного шару зверху з включенням його в сумісну роботу зі сталевим настилом

Утворення сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні сталевих елементів обетонюванням. Одним із способів підсилення сталевих конструкцій є їх обетонювання. У стиснутих сталевих стійках обетонювання застосовується при корозійних пошкодженнях сталі, місцевих погинах елементів, вирізах, із метою

перерозподілу частини навантаження на бетон (залізобетон) підсилення, а також для запобігання подальшій корозії та пошкодженням сталевих стійок.

При цьому бетон може розташовуватися як зовні, так і всередині сталевого перерізу, особливо у випадку наскрізних перерізів або суцільних перерізів колон складної форми.

Способи підсилення стиснутих сталевих елементів поділяються на:

– обетонювання баз сталевих колон сумісно з фундаментом, що веде до зниження розрахункової довжини колони;

– підсилення у вигляді часткового (за висотою) обетонювання сталеві стійки. Таке підсилення доцільне при локальному розташуванні дефектів і пошкоджень у нижній частині колони. Крім збільшення несучої здатності нижньої частини, таке підсилення зменшує загальну гнучкість колони і збільшує її стійкість;

– обетонювання відкритих та закритих порожнин сталевих колон (рис. 4). Дослідження напружено-деформованого стану й надійності сталезалізобетонних стійок, утворених шляхом підсилення – заповнення бетоном внутрішніх порожнин експлуатованих сталевих стійок зі швелерів, з'єднаних перервним або суцільним зварним швом, виконувались у роботах О.В. Семка та А.В. Гасенка [5, 9];

– заповнення простору між гілками наскрізних і суцільних перерізів бетоном. Це підвищує місцеву стійкість полиць гілок та підвищує загальну несучу здатність за рахунок збільшення площі приведенного перерізу;

– повне обетонювання гілок колони або її частини (з можливою сталевію чи склопластиковію обіймою), що знижує розрахункову довжину, підвищує вогне- та корозійну стійкість, збільшує площу перерізу;

– заповнення бетоном простору між гілками з наступним попереднім обтиском бетону для включення його в сумісну роботу зі сталевію частиною, що підсилюється [5].

Підсумовуючи наведені приклади утворення комплексних сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні експлуатованих залізобетонних елементів сталевію прокатом та сталевію конструкцій обетонюванням, можна зробити висновок про характерні ознаки такого типу конструкцій.

Як правило, утворення при підсиленні сталезалізобетонної конструкції призводить до підвищення несучої здатності комплексного перерізу (конструкції) порівняно із сумарною несучію здатністю сталевію прокату (M_C) та залізобетону ($M_{ЗБ}$), які працюють окремо, тобто

$$M_{СЗБК} > M_C + M_{ЗБ} . \quad (1)$$

Цього ефекту можливо досягти за рахунок ряду факторів:

1. Створення в утвореному при підсиленні елементі об'ємного напруженого стану за рахунок ефекту обійми (підсилення стиснутих залізобетонних елементів, коли сталевію конструкція підсилення – обійма – обтискає існуюче бетонне осердя).

2. Підвищення місцевої стійкості при обетонюванні тонкостінних сталевію елементів.

3. Для згинальних елементів – збільшення плеча внутрішньої пари сил, що хоча і підвищує висоту елемента, але одночасно зменшує зусилля в стиснутій та розтягнутій зонах.

Використання сталезалізобетонних конструкцій дає ефект при частковій заміні сталевію перерізу залізобетонним, який суміщає функції несучої (стиснута полиця балки) та огорожувальної конструкції перекриття. Досить ефективним також є застосування збірного залізобетону як незнімної опалубки.

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА УТВОРЕННЯ СЗБК ПРИ ПІДСИЛЕННІ

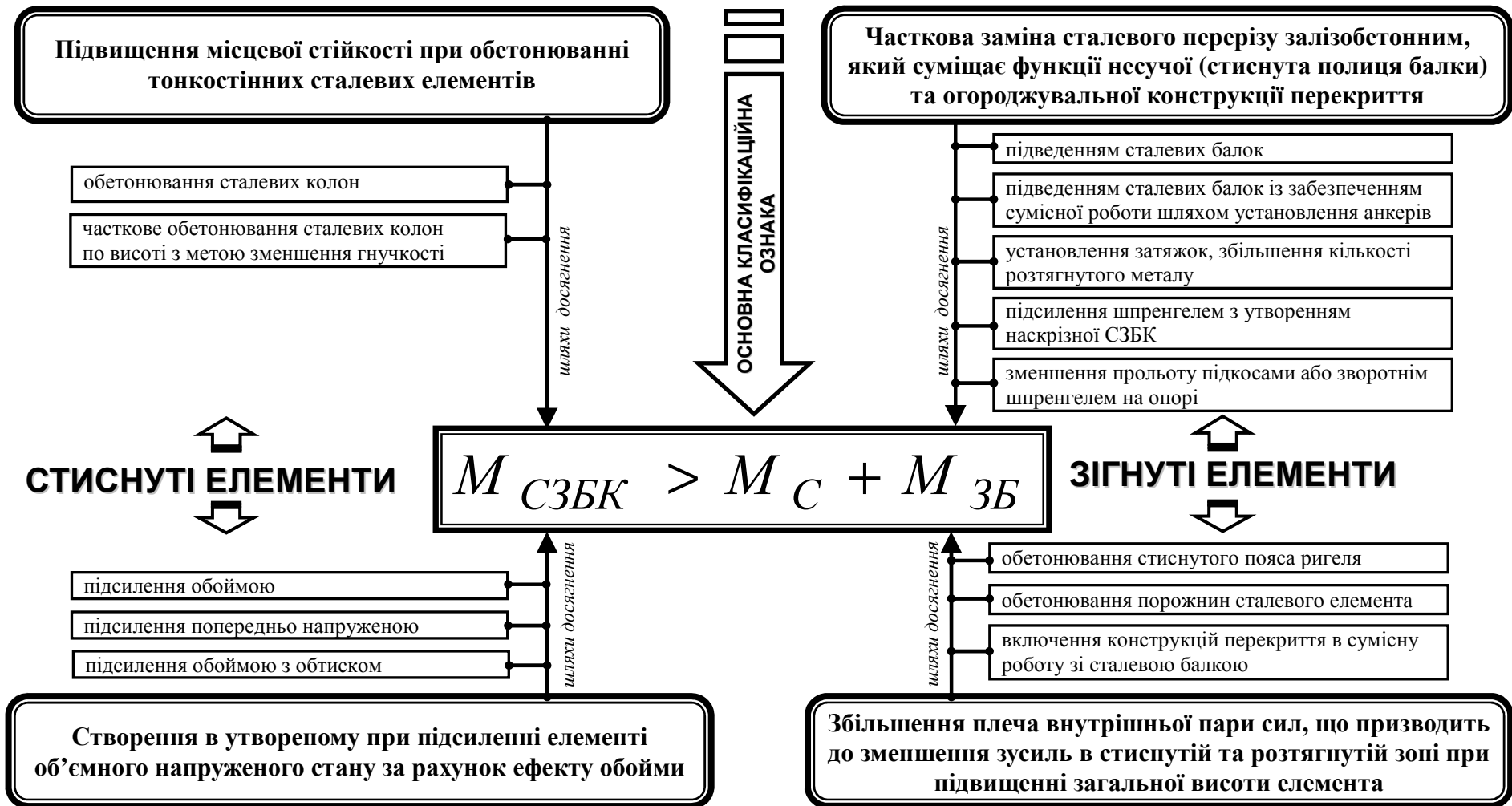


Рисунок 7 – Структурно-логічна схема утворення сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні

Висновки. У статті розглянуто загальну концепцію та основні схеми утворення сталезалізобетону при підсиленні. Запропоновані методологічні основи утворення сталезалізобетону при підсиленні сталевих і залізобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями можуть слугувати підґрунтям для розроблення відповідних вітчизняних стандартів із підсилення будівельних конструкцій.

Література

1. Бондаренко, С.В. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М. : Стройиздат, 1990. – 350 с.
2. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: атлас схем и чертежей / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск: Том. ун-т, 1990. – 456 с.
3. Клименко, Ф.Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф.Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – 88 с.
4. Онуфриев, Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений / Н.М. Онуфриев. – М., Л. : Стройиздат, 1965. – 342 с.
5. Пат. 26462 Україна, МПК (2006) E 04 G 23/00. Спосіб підсилення сталевих стиснутих елементів обетонюванням із наступним обтисненням бетону / О.В. Семко, А.В. Гасенко; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2007 04651; заявл. 26.04.07; опубл. 25.09.07, Бюл. № 15. – 4 с.
6. Пат. 67776 Україна, ПМК (2012.01) E04C 1/00. Сталезалізобетонна конструкція підсилення / О.В. Семко, О.П. Воскобійник, А.В. Гасенко; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2011 08262; заявл. 01.07.11; опубл. 12.03.12, Бюл. №5 – 4 с.
7. Пічугін, С.Ф. Про використання жорстких вантів для підсилення залізобетонних балок [Текст] / С.Ф. Пічугін, О.В. Семко, М.В. Бібік // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр.* – Дн. : ПГАСА, 2003. – Вып. 25. – С. 196 – 200.
8. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий / Харьковский Промстройиниипроект, НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1992. – 191 с.
9. Семко, О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: монографія / О.В. Семко. – К. : Сталь, 2004. – 316 с.
10. Семко, О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
11. Шагин, А.Л. Конструкции с локальным предварительным напряжением / А.Л. Шагин // *Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону.* – К. : НДІБК, 1996. – С. 193 – 197.
12. Eurocode 4. Common Unified Rules for Composite Steel and Concrete Structures European Committee for Standardization (CEN) ENV. 1994 – 1-1: 1992.

*Е.П. Воскобійник, к.т.н., с.н.с., докторант
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСИЛЕНИИ

Рассмотрены методологические основы создания сталежелезобетона при усилении стальных и железобетонных конструкций с дефектами и повреждениями.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, стальные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, дефекты, повреждения, вероятностный расчет, техническая диагностика, техническое состояние, усиление.

*O.P. Voskobiynyk, Ph.D., Senior Researcher., Doctoral St.
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

THE FEATURES OF STEEL CONCRETE MEMBERS CREATIONS AT AMPLIFICATION

The article deals with methodological basis of features of steel concrete members creations at amplification of steel and reinforced concrete structures.

Keywords: *reinforced concrete structures, steel structures, steel-concrete composite structures, defects, damages, probabilistic design, technical diagnosis, technical state, amplification.*

Надійшла до редакції 3.09.2012

© О.П. Воскобійник