

М.Р. Більський, Р.І. Кінаш

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельного виробництва,  
кафедра архітектурних конструкцій

## ПЕРСПЕКТИВНЕ ПІДСИЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ

© Більський М.Р., Кінаш Р.І., 2011

У порівняльному аспекті наведені результати аналізу способів перспективного підсилення сталевих каркасів будівель і споруд у зв'язку зі зміною карт районування території України за характеристичними значеннями снігового навантаження та вітрового тиску. Наведені приклади регулювання зусиль в елементах конструкцій зі збільшенням просторової жорсткості.

**Ключові слова:** сталевий каркас, підсилення, просторова жорсткість, регулювання зусиль.

The article deals with in the light of comparative degree the new and old standards results of perspectives for works of change area maps Ukrainian territory for characteristics of snow covers and wind pressure strengthening of steel building frame poles on the basis. Introduced the results of the artificial control regulation of forces in the design element with the increases the spaces cruelty.

**Key words:** steel building, reinforced, pressure strengthening, regulation of forces

**Актуальність проблеми.** Фонд металоконструкцій будівель та споруд на території України (близько 36 мільйонів тонн) зазнає значного фізичного зносу [1]. Збільшення нормативних снігових та вітрових навантажень [2], які фактично мають місце на переважній більшості території України, вимагає нового підходу до усунення ризиків під час експлуатації будівель та споруд.

**Аналіз останніх досліджень публікацій.** У багатьох роботах [3–11] викладена методика підвищення довговічності сталевих конструкцій. Підсилення стрижневих сталевих конструкцій під експлуатаційним навантаженням стало можливим завдяки застосуванню регулювання зусиль [6]. Результати подальших досліджень у вирішенні згаданої вище проблеми дали можливість розробити технологічні способи регулювання підсилення сталевих конструкцій з врахуванням впливу зварювання [5]. Проте для підсилення під навантаженням конструкцій регулюванням їх напружено-деформованого стану необхідно розробити конкретні пропозиції для різних типів каркасів найпоширеніших будівель та споруд.

**Мета і завдання досліджень.** Метою досліджень було вибрати способи підсилення сталевих каркасів під навантаження введеним в дію розвантажувальних (регулювальних) елементів посилення для найбільш поширених типів будівель.

**Завдання досліджень** – вибір рішень для підсилення рамних каркасів під навантаженням; знаходження раціональних схем підсилення для надійної роботи конструкцій під час сприймання нормативних навантажень [2].

**Виклад основного матеріалу.** Під час перспективного підсилення доцільно збільшувати просторову жорсткість каркасів будівель і споруд та окремих конструкцій. Перспективне

підсилення виконується, якщо фактичне навантаження перевищуватиме те, яке було розраховане під час проектування.

Встановлення додаткових і перенесення наявних зв'язків під час підсилення здійснюється для збільшення загальної просторової жорсткості споруди; забезпечення спільної роботи усіх плоских рам; попарного зв'язування рам або інших плоских конструкцій, для того, щоб вони працювали як просторові системи; зменшення гнучкості стиснутих елементів конструкцій (поясів ферм, арок, стиснутих стрижнів рам тощо) при їхньому повздовжньому згині, особливо площини. Це потребує порівняно невеликої витрати металу. Для в'язей можна використовувати канати, круглу сталь і прокатні елементи.

Збільшенням просторової жорсткості автоматично досягається істотне зменшення (інколи в кілька разів) згинальних моментів у відповідних тримних конструкціях будівель чи споруд. Збільшення жорсткості торцевих фахверків і колон значно покращує сприйняття ними горизонтальних складових кранових і вітрових навантажень, які передаються через горизонтальний в'язевий диск.

Створення достатньо жорстких горизонтальних дисків досягається за допомогою в'язей у нижніх поясах кроквяних ферм, але не в окремих вузьких панелях, а на всій ширині прольотів у вигляді горизонтальних ґратчастих рам. Жорсткість цих рамних дисків може бути значною, причому їхні власні деформації можуть бути приблизно в 50–100 разів менші від зсувів у загальних точках верхніх вузлів поперечних рам, завдяки чому просторова робота усього каркасу буде злагоженішою. Для підсилення ґратчастих конструкцій використовують такі основні способи: 1) підвищення нових конструкцій і введення додаткових елементів ґраток; 2) зміна схеми всієї конструкції. Перераховані способи підсилення можна застосовувати як окремо, так і в комбінації. Наприклад, у результаті зміни конструктивної схеми може знадобитися введення окремих елементів.

Як приклад наведемо з досвіду реконструкції ангара майстерні. Тримні конструкції ангара ґратчасті тришарніри рами прольотом 64,5 з висотою ригеля 6,5 метрів і повздовжніх односхилих ферм прольотом 41 метр, що сприяють на цю раму, та колони по осі задньої глибокої стіни. Розмір ангара в плані 64,5×41 м, висота 8,4 м, крок ферм 12,9 м. У вузлах ферм через 3,1 м розташовані наскрізні прогони, по контуру їхніх верхніх поясів – горизонтальні в'язі. Колони в площинах поздовжніх ферм оснащені підкосами. З'єднання всіх конструкцій, зокрема й ферм, клепані. Усі конструкції виготовлені зі сталі фірми Куппа. У результаті перерахунку виявлена недостатня тримкість великопрольотних ферм (41 м) ангара навіть при холодній легкій покрівлі. Допускалося, що використана сталь марки Ст. 0 з розрахунковим опором 1700 кг/см<sup>2</sup>. Посередині ангара під існуючі ферми підводили дві зварені підкрюк'яні ферми з паралельними поясами заввишки 4 м, прольотом 32 м. Вони спиралися на наявні опори торцевих стін через закріплені на болтах столики і встановлену в центрі трубчасту опору перерізом 426×11 м. Верхні пояси підтримувальних ферм розміщали під вузлами верхніх поясів крокв'яних ферм із деяким зазором. Навантаження від ферм передавали у вузли нижніх поясів через спеціальні стільчики. Підтримувальні ферми починали працювати тільки у разі наявності дії тимчасового навантаження (снігу). Із цією метою опорні стільчики, що передають навантаження від підсилювальних ферм на новопідведені, встановлювали після підсилення існуючих конструкцій і влаштування нової покрівлі. Під час встановлення стільчиків за проектом передбачалося навантаження ферм вузловим навантаженням по 50 Кн. Отже, у підсилювальних фермах створювали певне попереднє напруження, що забезпечувало введення в сумісну роботу від впливу тимчасового навантаження. Відповідно до проекту для цього потрібно було тільки незначне місцеве підсилення (для трьох розкосів у кожній з ферм) і скріплення додаткових елементів на «чистих» болтах.

За наявності надійних існуючих опор для кріплення тросів для підсилення ферм під повним навантаженням застосовували висячі (вантові) системи, до яких підвішували підсилювальні ферми. Це спосіб дуже ефективний і здебільшого не вимагає додаткового місцевого підсилення окремих стрижнів, або з'єднань ґратки. Ферму можна підвішувати й у тому разі, якщо є вищий суміжний проліт. У практиці підсилення крокв'яних ферм часто використовуються світлоераційні ліхтарі, що

працюють спільно із крокв'яною фермою. У цьому разі зусилля в панелях ферм, що розміщені у межах ліхтаря, будуть після підсилення менші, ніж до нього.

Однак залучення ліхтаря в роботу ферми у разі його розташування всередині прольоту зумовлює невелика зміна зусиль у стрижнях ферми. Тому для ферм із ліхтарями, розташованими по середині прольоту, цей спосіб краще не застосовувати. Ферму можна значно розвантажити, скоротивши зазор між фланцями крайніх стійок ліхтаря й верхнім поясом ферми. Зусилля в стрижнях ферми за такого підсилення будуть складатися із зусиль від навантажень, прикладених до підсилення від напруження крайніх стійок ліхтаря, а також від навантажень, прикладених після підсилення у підсиленій (статично невизначеній) системі. Зусилля в стрижнях ліхтаря складаються із зусиль від натягу крайньої стійки й від навантаження, прикладеного до ферми й ліхтаря без підсилення. Можна використовувати ліхтарі підсилення й без натягу крайніх стійок, але ефективність буде значно нижчою.

Підсилення ферм зазначеним способом було вперше використано ЦНДПроектсталь-конструкція під час реконструкції головного будинку мартенівського цеху, побудованого у умовах вічної мерзлоти. Його реконструкція була зумовлена збільшенням удвічі потужності печей, збільшенням вантажопідймальності кранів і поважчанням покрівлі під час будівництва. Залучення ліхтаря до роботи основної рами привело до змін статичної схеми конструкції. Цей ліхтар вводиться в спільну роботу з основною рамою за допомогою попереднього натягування одного з розкосів зусиллям 400 Кн. Проміжні ригелі розвантажували їхнім підтягуванням до поздовжніх ферм після попереднього натягу розкосу основного ліхтаря і зварювання основних вузлів. Під час відновлення одного із цехів, виконаного за типовим проектом, під дією вертикальних і горизонтальних навантажень виявлено зміщення колон на рівні підкранових балок на величину до 70 мм. Підсилення будівлі було досягнуто встановленням по нижніх поясах ферм додаткових в'язей.

Вібрація конструкцій міксерного відділення одного з металургійних комбінатів призводила до випадання з каркасу цілих полів цегляних стін під час роботи крана вантажопідймальністю 1250 Кн на відмітці +27,00 м. Неприпустимих вібрацій було уникнуто введенням додаткових вертикальних і горизонтальних в'язей по всьому каркасу і шатру будинку. Конструкції головного корпусу мартенівського цеху були підсилені за допомогою встановлення нового ліхтаря. Він залучався до сумісної роботи з основною рамою попереднім натягом одного з розкосів зусиллям 400 Кн. Отже, збільшилася загальна поперечна жорсткість рами, і зусилля в ній перерозподілилися в результаті зміни статичної схеми конструкції. Значне підвищення поперечної жорсткості усєї споруди було досягнуто додатковою зміною статичної схеми будівлі – поперечної конструкції цеху – введенням вертикальних в'язей між колонами робочого майданчика.

Будинок мартенівського цеху металургійного заводу реконструювався згідно з проектом Санкт-Петербурзького відділення ЦНДІ проектстальконструкція одночасно з відновленням. Поперечна схема будинку до підсилення не була достатньо жорсткою. Горизонтальні і вертикальні в'язі не забезпечували необхідної жорсткості і передавання навантажень на головні рами. Все це спричинило значні деформації конструкції. Для збільшення жорсткості каркасу крокв'яні ферми закріплювали на колонах і підкрокв'яних фермах, а також створювалася надійна система горизонтальних і вертикальних в'язей. Влаштування критого шихтового прольоту збільшило загальну поперечну жорсткість усього будинку.

Головна відмінність шпренгельних балок від нерозрізних, що лежать на жорстких опорах, полягає у тому, що проміжні опори балки шпренгельної конструкції пружні, завдяки відповідним деформаціям усіх елементів шпренгеля. Крім вигину, підсилена шпренгелем балка зазнає впливу стискальних зусиль. Відповідною конструкцією і натягом шпренгеля можна добитися такого положення, за якого епюри згинальних моментів у підсилюваній балці від розрахункового навантаження та натягу шпренгеля взаємно зрівноважаться як однакові за величиною та протилежні за знаком. У такому разі вона працюватиме тільки на стискання. Можна також досягати вирівнювання опорних і прольотних моментів. Кріплення шпренгеля до підсилювальної балки бажано розташовувати так, щоб точка додавання стискальної сили була розміщена не в центрі ваги

перерізу балки, а якомога найнижче з метою створення певного ексцентриситету. Залежно від величини останнього регулюють розвантажувальні зусилля.

**Висновки.** Наведено основні способи перспективного підсилення сталевих каркасів та приклади їхнього застосування на практиці. Результати оцінювання методів підсилення показали практичну можливість регулювання напружено деформованого стану рамного каркасу, під час його перспективного підсилення. Регулювання зусиль дає можливість виконувати підсилення сталевих конструкцій під навантаженням, що дає змогу здійснювати перспективне підсилення без зупинки виробництва. Розглянуті способи підсилення дають можливість у стислі терміни здійснити їхню реалізацію на промислових об'єктах діючих підприємств.

1. Перельмутер А.В., Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / А.В. Перельмутер, В.М. Гордєв, Є.В. Горохов та ін.; за ред. д-ра техн. наук А.В. Перельмутера. - К.: Вид-во «Сталь», 2002. – 166 с. 2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с. 3. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт и усиление несущих и ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений. Нормы проектирования. – К.: Мінбуд України, 2003. – 80 с. 4. Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции. – М.: Стройиздат, 1978. – 220 с. 5. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций. Проектирование и расчет. – Л.: Стройиздат, 1988. – 288 с. 6. Бельский М.Р. Усиление металлических конструкций под нагрузкой. – К.: Будывельник, 1975. – 120 с. 7. Бельский М.Р. Усиление сжатых стержней стальных конструкций под эксплуатационной нагрузкой. – М.: Стройиздат, 1984. – 152 с. 8. Бельский М.Р. Усиление стальных конструкций / М.Р. Бельский, А.Н. Лебедев. – К.: Будывельник, 1981. – 120 с. 9. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*) / Укрнипроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с. 10. Республиканские строительные нормы. Технология усиления строительных конструкций на реконструируемых предприятиях. РСН 342 – 86. – К.: НИИСП, 1987. – 182 с. 11. Білхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд. – Львів. Вид-во Львівська політехніка, 2008. – 106 с. 12. Топчий В.Д. Реконструкція промислових підприємств: В 2 т. Т. 1 / В.Д. Топчий, Р.А. Гребенник. – М.: Стройиздат, 1990. – 591 с.