

зусиль між елементами рами, залежно від збільшення поперечного перерізу (підсилення) окремих стрижнів, що входять до складу рами.

2. Під час проектування збільшення запасу стійкості підсилюваних рам необхідно враховувати їх напружено деформований стан в процесі підсилення, враховуючи всі чинники втрати стійкості, зокрема і локальні.

3. При розрахунку стійкості підсилених рам необхідно враховувати вплив збільшення жорсткості їх вузлів та окремих підсилених стрижнів на величину критичних сил стиснутих елементів.

1. Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель та споруд. – Львів.: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 106 с. 2. Бельский М. Р. Усиление металлических конструкций под нагрузкой. – К.: Будівельник 1975. – 120 с. 3. Бельский М. Р. Усиление сжатых стержней стальных конструкций под эксплуатационной нагрузкой. – М.: Стройиздат, 1984. – 152 с. 4. 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. 5. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*)/ УкрНИИпроект-стальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с.

УДК.624.014.2

М.Р. Більський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

СТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ КАРКАСІВ, ПІДСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

© Більський М.Р., 2011

Викладені результати досліджень особливостей роботи сталевих каркасів, підсилених під експлуатаційним навантаженням з врахуванням пружно-пластичної стадії їх роботи та деформативності. Показано вплив початкових деформацій, напружень та регулювання зусиль на стійкість стиснутих стрижнів каркасів у результаті їх підсилення.

Ключові слова: сталеві каркаси, підсилення, експлуатаційне навантаження.

Here are stated the results of steel building work research which were strengthen under operating loading effect subject to elastic and plastic phase of their work and deformability. Here are showing results of initial deformations, intensity of stress, control of stress and how it influence to the constancy of struct bars from this building after it were strengthen.

Key words: steel building, strengthening, operating loading.

Постановка проблеми і її актуальність. Фонд будівельних сталевих конструкцій, що експлуатуються на території України становить майже 30 млн. тонн із концентрацією їх здебільшого на об'єктах металургії, машинобудування, вугледобування, нафтової та хімічної промисловості [6]. Під час довготривалої експлуатації сталеві каркаси будівель та споруд отримали значні дефекти та пошкодження. Збільшення нормативних навантажень згідно з новими нормами [5] вимагає перегляду умов експлуатації сталевих каркасів та їх підсилення. Реконструкція

промислових підприємств пов'язана з заміною і встановленням нового обладнання, збільшення потужності існуючого кранового устаткування, внутрішнього цехового транспорту, а також збільшення висоти і прольотів цехів, кроків колон. Всі вищенаведені фактори змушують шукати нові засоби підвищення експлуатаційної надійності сталевих каркасів шляхом їх підсилення під дією експлуатаційного навантаження. Під час проектування підсилення сталевих каркасів виникає також проблема забезпечення їхньої стійкості в процесі їх подальшої роботи на додаткове навантаження. Зважаючи на те, що стійкість сталевих каркасів значно залежить від стійкості їх стиснутих елементів, можемо вважати, що проблема дослідження методів підсилення сталевих каркасів як загалом, так і окремо стиснутих їх елементів (стійок, колон) є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій і не вирішені раніше частини проблеми. В роботі [1, 2, 7] показані загальні принципи підсилення сталевих каркасів методом збільшення їх стійкості, як загальної так і окремо стиснутих їх елементів шляхом зміни їх конструктивної схеми. Разом з тим зміна конструктивної схеми каркасів при дії горизонтального навантаження в окремих випадках збільшує стискальне зусилля в стійках та колонах. Враховуючи те, що стійкість каркасів загалом переважно залежить від стійкості їх стиснутих елементів (стійок, колон) основна увага приділяється їх підсиленню з метою збільшення жорсткості на згин їх поперечних перерізів [3, 4, 7]. Робота стиснутих стрижнів сталевих каркасів характеризується тим, що більшість із них втрачає стійкість у пружно-пластичних стадіях. Особливості поведінки стиснутих елементів сталевих каркасів, підсилених під навантаженням за допомогою зварювання остаточно ще не виявлені.

Метою досліджень є виявлення закономірності роботи стиснутих елементів сталевих каркасів в пружно-пластичній стадії, підсилених під навантаженням.

Завдання досліджень. 1. Визначення кількісних параметрів, що стосуються пружно-пластичної роботи позацентрово стиснутих елементів сталевих каркасів. 2. Вивчення впливу зварювання в технологічному процесі підсилення позацентрово стиснутих елементів. 3. Встановлення граничного стану підсилених елементів у разі втрати ними стійкості.

Виклад основного матеріалу. Підсилення багатопверхових рам каркасів будівель і споруд можна виконувати збільшенням перетинів стійок заздалегідь напруженими елементами з одночасним збільшенням жорсткості рамних вузлів і зменшенням розрахункових прольотів ригелів та збільшенням жорсткості рам загалом шляхом зміни їх конструктивних (розрахункових) схем, за допомогою діагональних розкосів, що заздалегідь напружуються, підкосів тощо [1–4, 7]. Інколи площу перетину стійок рам у площині дії згинальних моментів найефективніше збільшувати за допомогою елементів підсилення, що заздалегідь напружують стійки рам, що підсилюється збільшенням перерізів з одночасним регулюванням згинальних моментів. Отже, зусилля попереднього напруження елементів підсилення створюватиме в стійці, що підсилюється, згинальні моменти, обернені за знаком згинальним моментам від зовнішнього навантаження. Такі елементи підсилення відомі під назвою косих (похилих) стійок.

Експериментальні дослідження роботи рам, що підсилюються збільшенням площ перерізів їх елементів, виконані як в лабораторних умовах на велико-розмірних моделях, так і в натурі у разі підсилення реальних конструкцій, дали позитивні результати. Лабораторні дослідження проводилися на моделях рам типу замкнутого контуру, що мають коробчате (із зварених "в коробку" кутків або швелерів) і двотавровий перетин. Випробування цих моделей проводили на стенді (рис. 1), обладнаному двома 100-тонними домкратами, і на важільному стенді (рис. 2), що забезпечує сприйняття зусиль попереднього напруження тільки елементами рами, що підсилюється. Зразки рам були виготовлені з двох швелерів № 14 (стійки) і двотавра № 16 (ригелі). Розміри цих зразків в осях 1,5×2 м. Усього таких зразків (тип 1) було випробувано 18.

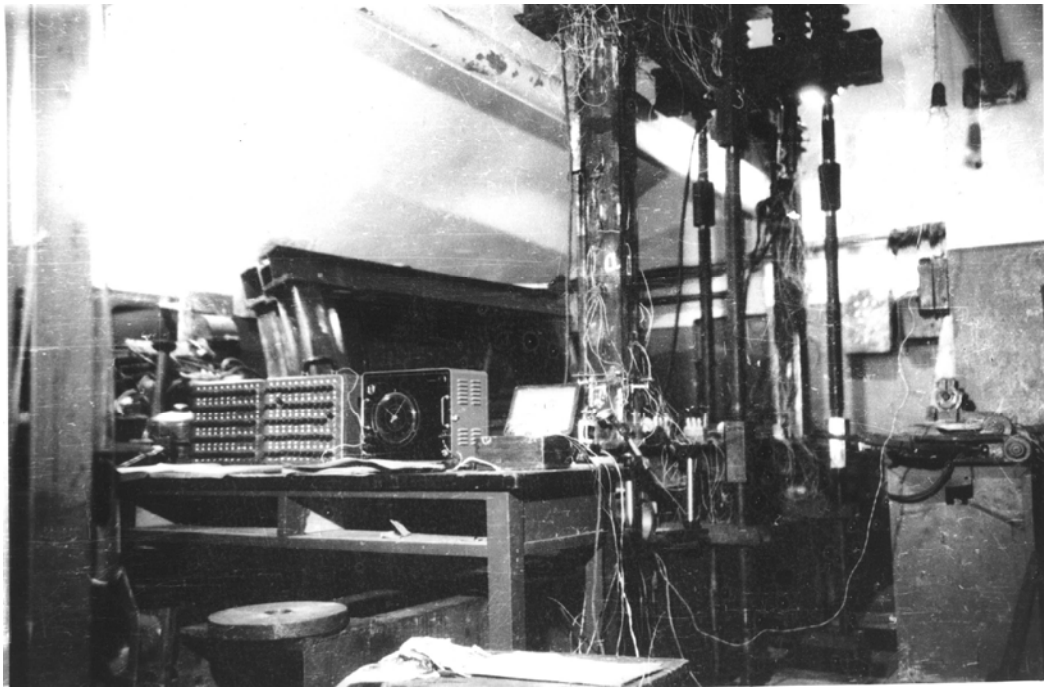


Рис. 1. Рама на стенді під час випробування

Зразки інших типів виготовляли з різнобоких кутників 60×5 (тип 2) і 50×5 (типи 3, 4). Рами останніх двох типів (3, 4) мали різну кількість прольотів (1 і 2) і одного-два поверхи, причому в наступній комбінації – однопролітні двоповерхові (12 рам), двопролітні одноповерхові (12 рам) і двопролітні двоповерхові (12 рам). Разом 36 рам типу 3, 4. Зовнішні габарити цих рам $0,8 \times 1,5$ м з меншим розміром у бік ригелів. Рами типу 2 одноконтурні розміром $1,32 \times 1,02$ м. Для вимірів фібрових деформацій в характерних місцях підсилюваних і підсилювальних зразків наклеювали тензорезистори(сенсори) і для взаємоконтролю встановлювали тензометри Аістова і Гугенбергера. Загальні лінійні деформації і переміщення заміряли індикаторами і мікроіндикаторами годинникового типу ПАО-1.

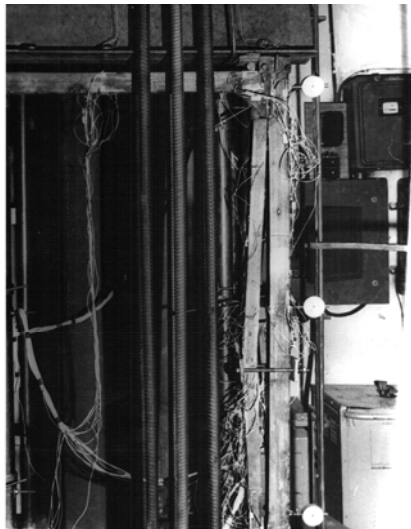


Рис. 2. Рама на стенді під час випробування (фрагмент)

Кутові деформації у вузлах рам заміряли клинометрами Гугенбергера.

Завантажували рами, що підсилювались телескопічними трубами і похилими стійками, симетрично з таким розрахунком, щоб відстань точки додатка до ригеля зосередженої сили до осі найближчої стійки сприяла вирівнюванню напружень у ригелях і стійках. Для порівняння результатів випробовували також рами, підсилені в ненапруженому стані і без попереднього напруження елементів підсилення.

Результати випробувань рам, які підсилюються елементами з високоміцних труб, що заздалегідь напружуються, показали, що попереднє напруження забезпечує повну спільну роботу основного і підсилювального металу.

Експериментальні значення попереднього напруження і тримкості стійок рам, підсилених елементами, що заздалегідь напружуються задовільно узгоджувались з теоретичними даними. Наприклад, середні експериментальні значення зниження початкових напружень готовими

заздалегідь напруженими елементами в стійках рами, що підсилюються, досягали $82,7\text{--}18$ МПа для різних схем посилення, або на $40\text{--}18$ % менше від теоретичних величин. Така розбіжність була зумовлена втратами попереднього напруження елементів підсилення під час їх установки в проектне

положення внаслідок податливості (зминання) упорів. Для підсилювальних елементів, значення цих втрат були порівняно малі (5–8 %).

Випробування рам, підсилених жорсткими ригелями і діагональними розкосами, проводили на горизонтальне навантаження в трьох станах: а) без підсилення; підсиленому жорстким ригелем на рівні половини висоти стійки; з доданням діагональних розкосів над жорстким ригелем (раніше встановленим елементом посилення), тобто у верхньому ярусі.

Рами, що випробовуються, закріплювалися в силовій площині попарно за допомогою поперечних зв'язків, не перешкоджаючи вільному деформуванню рам у вертикальній площині. Отже, дві рами становили один просторовий елемент, тобто блок. Рами випробовували на горизонтальне навантаження, що прикладається у верхніх вузлах, за викладеною вище методикою.

Експериментальні значення несучої здатності підсилених стійок рам були на 5–10 % більше: від теоретичних, що можна пояснити частково завищенням вільної розрахункової довжини. Рами, посилені діагональними розкосами, що заздалегідь напружуються, втрачали свою несучу здатність при приблизно однаковому рівні максимальних напружень в основних і підсилювальних елементах. Рами, підсилені ненапруженими розкосами, починали втрачати несучу здатність (стійкість) вже під час роботи їх в пружно-пластичній ділянці, коли максимальні напруження в діагональних розкосах досягали лише 60–80 МПа. Попереднє напруження діагональних розкосів збільшило несучу здатність посиленних рам (на вертикальне навантаження в середньому на 20–30 %).

Випробування моделі просторової чотиристійкової рами на горизонтальне навантаження показали, що підсилення її досить жорстким ригелем (на половині висоти рами) зменшило нормальну силу в стійках верхнього ярусу (над жорстким ригелем згинальні моменти у верхніх і нижніх вузлах рами до 50 %. Майже наполовину поменшали і переміщення вузлів рами. Діагональні розкоси, встановлені в межах висоти у верхній частині рами, знизили напруження в нижньому ярусі в середньому на 25–30 %, а в окремих місцях верхнього ярусу на 80–90 %. Таке комбіноване посилення було застосоване під час реконструкції високих етажерок під технологічне обладнання.

Експериментальні дослідження рам, підсиленних елементами, що заздалегідь напружуються, проводили на моделях типу замкнутого контуру. Рами мали коробкові перерізи ригелів і стійок зварених із двох кутків 50×5 мм. Розміри моделей рам в осях 1400×800 мм. Моделі рам випробовували попарно на важільному стенді (див. рис. 2), що створює безперервно стежаче навантаження.

Моделі рам підсилювали під навантаженням елементами, що заздалегідь напружуються з швелера висотою перетину 65 мм. Вертикальне навантаження (стискаюча сила) на кожен стійку під час підсилення дорівнювало 168 кН. Горизонтальне навантаження (зосереджене), що передається через верхній вузол рами під час підсилення, становило 80 кН.

Попереднє напруження елементів підсилення проводили “в розпір” шляхом стягання поперечних болтів, що дозволило отримати в цьому випадку 20-кратний вииграш у силі. Гайки болтів загвинчували по мірі поступового наварювання кінцевих швів. Зусилля попереднього напруження (подовжнього розтягу) кожної стійки рами дорівнювало 52 кН.

Після підсилення, напруження і деформації в стійках рам меншали більше ніж наполовину. Посилені рами навантажували додатково. Граничне навантаження, при якому рами втрачали свою стійкість (здатність сприймати подальше збільшення навантаження), коливалося для різних зразків в межах 340–347 кН (в поєднанні з горизонтальною силою у верхньому вузлі 17–17,3 кН).

Залишкові горизонтальні деформації (зміщення верхніх вузлів) після повного розвантаження рами були порівняно великими 25–30 мм, при повних зміщеннях під навантаженням 40–46 мм. Пружні деформації були близькі до розрахункових.

Результати випробувань наведені у вигляді графіків (рис. 3, 4) показали таке. Введення в роботу просторової рами жорсткого ригеля на рівні половини висоти стійок рами дає ефект зменшення напружень на 36–40 %, а вузлових переміщень – більше ніж наполовину, а також зменшення нормальних сил у стійках верхнього ярусу та згинальні моменти у верхніх і нижніх

вузлах рами приблизно на 40,2 %. Ведення діагональних розкосів дало відомий ефект. Діагональні розкоси також помітно поліпшили роботи стійок нижнього ярусу.

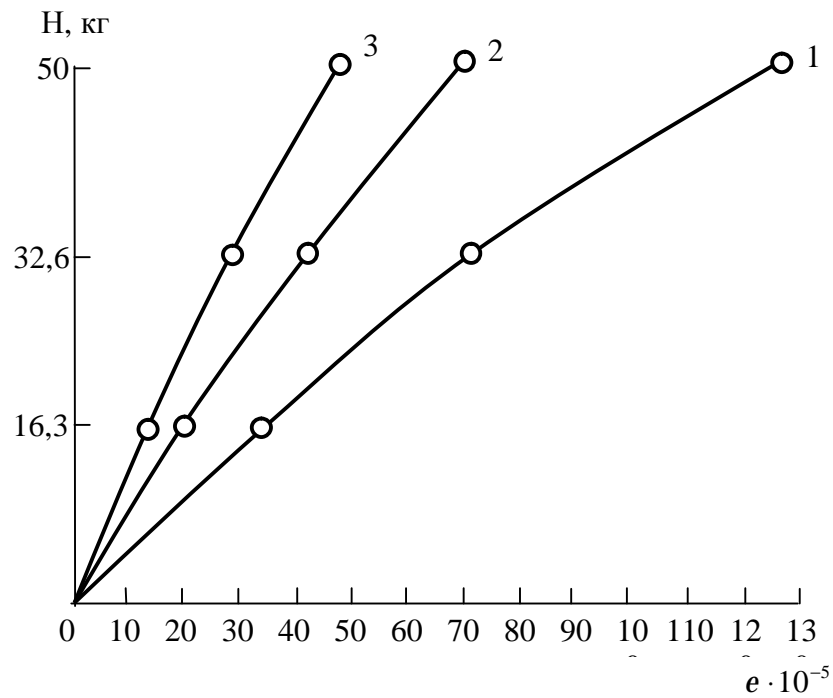


Рис. 3. Графіки залежності відносних деформацій волокон найнапруженіших перерізів рами:
 1 – до підсилення; 2 – після підсилення жорстким ригелем;
 3 – те саме, з додаванням діагональних розкосів у верхньому ярусі

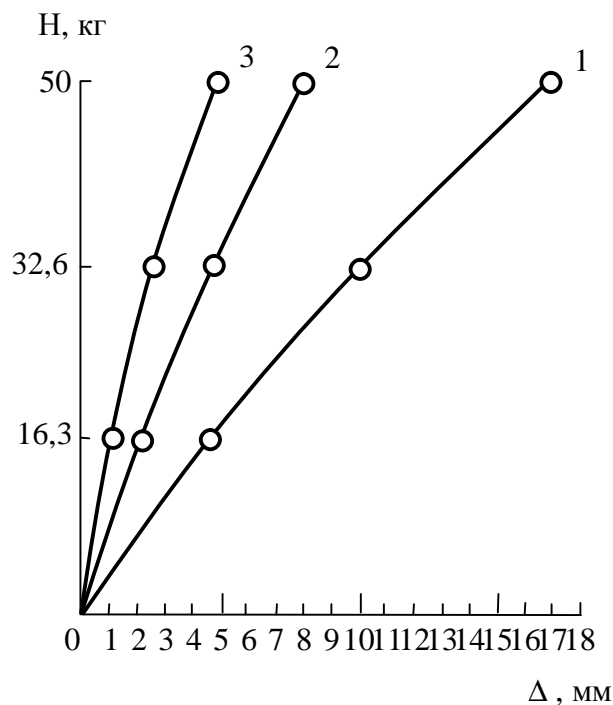


Рис. 4. Графіки переміщень верхніх вузлів рами.
 1 – до підсилення; 2 – після підсилення жорстким ригелем; 3 – те саме,
 з додаванням діагональних розкосів в верхньому ярусі

Для проектування раціонального підсилення стислих стержнів рами каркасів будівель і споруд необхідно враховувати їх дійсну роботу в рамній системі. При цьому потрібно враховувати також і те, що зміна жорсткості якої-небудь ділянки або окремого елемента рамної системи приведе до перерозподілу в ній зусиль загалом. Інакше кажучи, підсилення окремої стійки рами може змінити величину зусиль у ригелях і сусідніх стійках, а підсилення ригеля може так змінити зусилля в якій-небудь стійці, що зусилля її не зажадається, тому підсилення окремих стержнів рами повинно розглядатися як часткове підсилення рамної системи загалом, а підсилення рамної системи загалом як одночасне підсилення всіх її елементів.

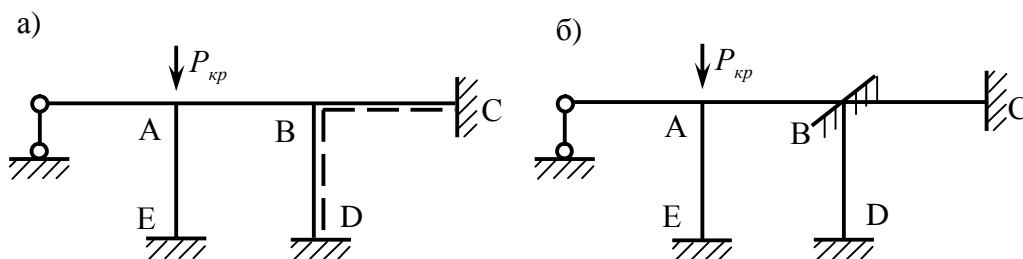


Рис. 5. Розрахункові схеми підсилюваних рам.

а – при підсиленні збільшенням жорсткості окремих стержнів; б – те саме, вузлів

Якщо говорити про деяке підсилення рамної системи, загалом, збільшуючи жорсткість (збільшення перетину) її окремих елементів, то доречно навести приклади раціонального підсилення рамних систем, що мають недостатній запас стійкості [3]. У разі підсилення рамних каркасів може виникнути питання, які елементи треба підсилити, щоб добитися максимального підвищення стійкості рами, загалом. Так, для рами, розрахункова схема якої показана на рис. 5, розглядається ефективність підсилення окремого контуру (ДВС) на підвищення критичної сили сусідньої стійки АЕ. Очевидно, що ніяке підсилення контуру (ДВС) не підвищить критичну силу в стійці настільки, наскільки це можна досягнути шляхом закладення вузла В (рис. 5). Підсилення самої стійки дає значно більший ефект, ніж підсилення контуру або закладення вузла.

Висновки: 1. Підсилення під навантаженням статично невизначених сталевих рам має відмінні особливості, порівняно з підсиленням окремих стержнів, які полягають у перерозподілі зусиль між елементами рами, залежно від збільшення поперечного перерізу (підсилення) окремих стержнів, що входять до складу рами.

2. Під час проектування збільшення запасу стійкості підсилюваних рам необхідно враховувати їх напружено деформований стан під час підсилення, враховуючи всі чинники втрати стійкості, зокрема і локальні.

3. Розраховуючи стійкість підсилених рам, необхідно враховувати вплив збільшення жорсткості їх вузлів та окремих підсилених стержнів на величину критичних сил стиснутих елементів.

1. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель та споруд / З.Я. Бліхарський. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2008. – 106 с. 2. Бельський М.Р. Усиление металлических конструкций под нагрузкой. – К.: Будивельник, 1975. – 120 с. 3. Бельський М.Р. Усиление сжатых стержней стальных конструкций под эксплуатационной нагрузкой. – М.: Стройиздат, 1984. – 152 с. 4. 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. 5. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с. 6. Перельмутер А.В. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, Є.В. Горохов та ін.; за ред. д-ра техн. наук А.В. Перельмутера. – К.: Вид-во «Сталь», 2002. – 166 с. 7. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП П-23-81*) / УкрНИИпроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 159 с.