

М.Р. Більський, М.Р. Котів  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельного виробництва

## РОБОТА СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНИХ РАМ, ПІДСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

© Більський М.Р., Котів М.Р., 2011

**Викладені результати досліджень роботи статично невизначених сталевих рам, підсилюваних під навантаженням, а також аналіз основних результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Показаний ефект регулювання.**

**Ключові слова:** сталеві рами, регулювання, підсилення.

**In this article deals with the results of research of steel frames work stability intensified under the loading and main results of theoretical and experimental researches are given. Show the quantitative best effect of the artificial control regulation of forces.**

**Key words:** steel frames, regulation, stability.

**Постановка проблеми і її актуальність.** Сталеві рами каркасів будівель та споруд, що експлуатуються, часто потребують підсилення як під час їх реконструкції, так і у зв'язку з появою в результаті довготривалої експлуатації недопустимих дефектів та пошкоджень. Загальна маса сталевих конструкцій, що експлуатуються на території України, становить майже 30 млн тонн.

Для проектування раціонального підсилення статично невизначених сталевих рам каркасів будівель і споруд необхідно враховувати дійсну роботу рамної системи загалом. Варто мати на увазі, що зміна жорсткості якої-небудь ділянки або окремого елемента рами в результаті підсилення призведе до перерозподілу в ній зусиль, загалом. Так, наприклад, 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 підсилювати її не потрібно. Тому підсилення окремих стрижнів рами інколи можна розглядати як часткове підсилення рамної системи, загалом. Підсилення рами, загалом, шляхом збільшення жорсткості (перетину) її окремих елементів доречно проводити таким чином, щоб забезпечити загальну стійкість рами. Тому під час підсилення рамних каркасів часто виникає проблема, яку кількість елементів треба підсилити, щоб досягти максимального підвищення стійкості рами, загалом. Тому раціональне підсилення статично невизначених рамних систем під час реконструкції будівель та споруд з одночасним забезпеченням їх загальної стійкості є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій і не вирішені раніше частини проблеми.** В роботах [1–2] розглянуті загальні принципи підсилення сталевих каркасів. У [2–3] показано, що попереднє напруження підсилювального елемента, який потім повинен збільшувати жорсткість підсилюваної конструкції, що перебуває під навантаженням і має певні деформації, дає змогу забезпечити початкові деформації підсилювального елемента на розраховану величину. До того ж вплив зміни жорсткості підсилених елементів рамної системи на її стійкість досліджений недостатньо.

**Метою досліджень** є визначення впливу збільшення жорсткості окремих елементів рам каркасів будівель та споруд на роботу підсиленої рамної системи загалом.

**Завдання досліджень.** 1. Визначення дійсної роботи сталевих статично невизначених рам каркасів будівель та споруд, підсилюваних збільшенням жорсткості окремих їх елементів. 2. Якісна оцінка стійкості підсилюваних рамних систем.

**Виклад основного матеріалу.** На стійкість рамних систем, як відомо, впливає жорсткість ригелів. У деяких випадках, збільшуючи жорсткість ригелів, можна уникнути підсилення колон. Однак часто збільшення жорсткості всього ригеля важко здійсненне або пов'язане з неефективним використанням металу. У цих випадках жорсткість ригеля можна збільшувати тільки біля опор (у вузлах). Як же впливає змінна жорсткість ригелів на значення критичної сили в рамах? Під час розрахунків рам із збільшеною жорсткістю ригелів у опор (рам з вутами) жорсткість таких ригелів приймали в деяких випадках по найменшому її значенню. Було показано, що збільшується критичне навантаження в рамах, якщо врахувати зміну жорсткості ригелів по їх довжині. Це питання тісно пов'язане з питанням підсилення рамних систем. За певних співвідношень висоти ригеля на опорі до висоти ригеля посередині критична сила стійок рам збільшується на 15–25 %. Причому для ригелів з прямолінійними вутами це збільшення більше ніж для ригелів з вутами параболічного контуру. При деяких значеннях погонної жорсткості ригелів і стійок (для різних рам). Збільшення критичної сили стійок має помітне значення (рис. 1).

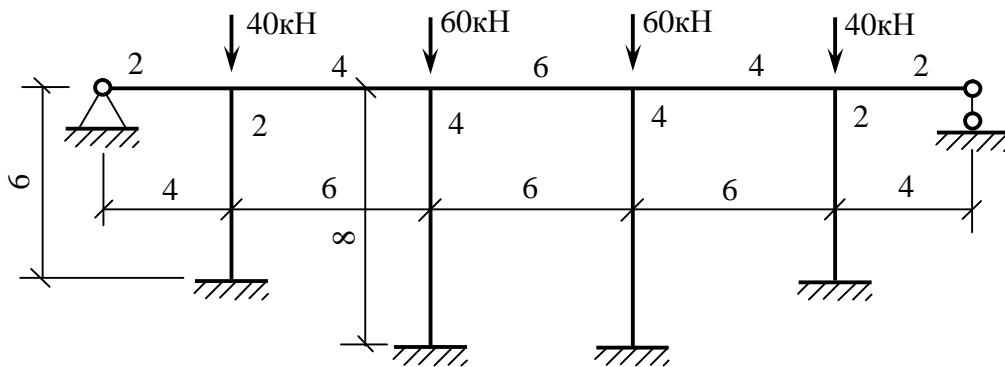


Рис. 1. Розрахункова схема рами

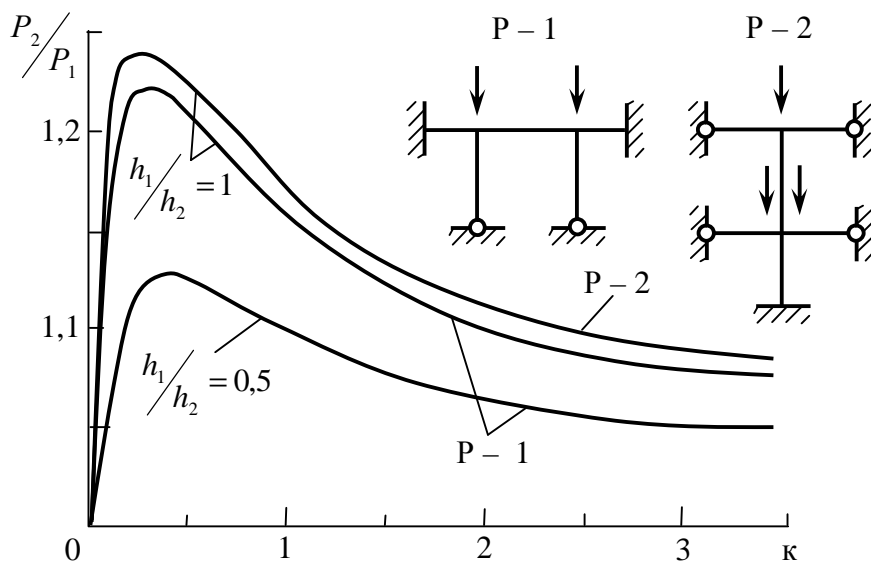


Рис. 2. Графіки критичних сил стійок рам, підсилюваних збільшенням жорсткостей ригелів на опорах

Вирішуючи питання підсилення статично невизначних рамних систем, необхідно враховувати, що їх тримкість визначається, як правило, їх стійкістю. Рами існуючих каркасів будівель і споруд мають певний запас стійкості. У разі підсилення таких рам збільшенням жорсткості окремих вузлів, стержнів, дільниць (блоків) їхня стійкість після завантаження достатнім експлуатаційним навантаженням забезпечена, однак не у всіх випадках буде забезпечена загальна стійкість рами загалом. Отже, важливо встановити, підсилення саме яких елементів впливає на загальну стійкість рами. Відомо також, що збільшення або зменшення жорсткості певних окремих елементів рами на її загальну стійкість не впливає.

Розглянемо для прикладу трипролітну п'ятиповерхову раму [рис. 2]. Рама була розрахована на загальну стійкість при рівномірно розподіленому навантаженні на всіх ригелях п'яти поверхів. Потім по чергово розглядалися підсилені рами, в кожній з яких жорсткість однієї крайньої стійки в межах одного поверху збільшувалася в два рази. Для кожної рами із збільшеною жорсткістю крайньої стійки розрахунки повторювалися. Результати розрахунків показали, що за збільшення жорсткості крайньої стійки в межах 4-го поверху критичне навантаження збільшилося на 21,71 %. Відповідні результати були отримані і при збільшенні в два рази жорсткості середньої стійки в межах кожного з поверхів. Ці результати дозволили вважати, що загальна стійкість рами найбільшою мірою залежить від жорсткості стійок нижніх поверхів. Такий чинник необхідно враховувати, підсилюючи рами. Тому насамперед необхідно підсилювати такі елементи рами, недостатня жорсткість яких знижує несучу здатність рами загалом. У наявних рамних системах визначити це часто буває скрутно. У такому разі методом спроб за допомогою ЕОМ [3].

Під час розрахунку стійкості підсилених рам для отриманих результатів, близьких до дійсних, необхідно враховувати їх деформований стан. Наприклад, за результатами пружного розрахунку без урахування зміщень вузлів рами і вигину її елементів рама може мати великий запас стійкості, а під час розрахунку за схемою, що деформується, може знаходитися в граничному стані, близькому до обвалення [3]. Отже, при розрахунку рам, що підсилюються, на стійкість необхідно враховувати початкові і подальші деформації її елементів, всі чинники втрати стійкості, зокрема і локальні.

Розрахунок пружних рам за деформованою схемою дає все ж велике значення критичної сили. Експериментальні значення критичних навантажень для різних рам були значно меншими внаслідок появи в них пластичних деформацій. У рамах, що підсилюються, під навантаженням в момент підсилення можуть бути пластичні (безповоротні) деформації. Після підсилення такі рами будуть мати декілька знижену тримкість порівняно з еквівалентними з іншими геометричними характеристиками рамами. Для уникнення цих недоліків доцільно використовувати регулювання зусиль [3–5].

Роботу рам перших поверхів у пружно-пластичній стадії детально дослідив Е. І. Беленя на великогабаритних моделях. У результаті був отриманий об'ємний матеріал про роботу рам залежно від податливості основи, місцевих деформацій окремих її елементів, просторової жорсткості і інших чинників. Облік просторової жорсткості існуючих рамних систем під час їх перерахунку в деяких випадках дозволяє уникнути підсилення.

Підсилення рамних каркасів збільшенням їх просторової жорсткості [2] часто є одним з найприйнятніших способів підсилення. Так, для збільшення просторової жорсткості рамних каркасів будівель і споруд можна використати такі прості прийоми, як постановка нових, додаткових зв'язків, [1] збільшення жорсткості існуючих зв'язкових систем, використання (підсилення) існуючих і постановка нових діафрагм жорсткості. Під час реконструкції може проводитися як постановка нових, так і перестановка наявних зв'язків для збільшення як загальної просторової жорсткості споруди, загалом, так і окремих його блоків.

Збільшення просторової жорсткості рамних систем може бути досягнуте різними способами. Наприклад, по парних зв'язках плоских рам, щоб вони працювали як просторові системи, зменшенням вільної довжини стислих стержнів, а також розтягнутих елементів, якщо довжина останніх дуже велика. Жорсткість торцевих рам можна збільшити підсиленням зусиллям існуючих або встановленням нових, додаткових зв'язків, що так само поліпшує роботу каркасу, загалом, а також фундаменти. Збільшення просторової жорсткості рамних систем іноді буває недостатнім.

Тоді доводиться попутно підсилювати окремі плоскі рами загалом або окремі їх елементи (ригелі, колони, вузли).

Великий ефект часто дає підсилення рамної конструкції, загалом, однак це не завжди можливе. Здебільшого доводиться вдаватися до підсилення окремих елементів рам, оскільки загальне підсилення ускладнює, а іноді і повністю робить неможливою роботу технологічного обладнання деяких видів. Наприклад, у будівлях з мостовими кранами майже всі способи загального підсилення поперечної рами каркасу в крановому прольоті в межах поверху з середини неможливі. Загальне підсилення таких рам можливе тільки за межами кранового прольоту, поверху, якщо, звичайно, дозволяють конкретні умови. Для прикладу можна навести підсилення рамного каркасу будівлі сушильно-фільтрувального відділення калійного підприємства. Проектом було передбачене підсилення стійок і ригелів основних рам каркасу будівлі збільшенням їх перетинів заздалегідь напруженими елементами. Загальне підсилення колон і ригелів за допомогою підкосів можна було виконати тільки в блоці етажерок під стаціонарне обладнання.

Для підсилення рам від горизонтальних навантажень можна рекомендувати тяжі або відтяжки. Вони різко зменшують згинальні моменти від горизонтальних впливів, збільшуючи своєю чергою стискальні зусилля в стійках рам. Особливо ефективно є влаштування тяжів по обидві сторони стійок у високих рамах. Тяжі звичайно роблять заздалегідь напруженими. Вони добре сприймають знакозмінні навантаження (вітер, горизонтальне гальмування кранів тощо).

Підсилення рам, може бути як загальним, так і обмеженим у межах тих або інших елементів (стійок, ригелів, вузлів тощо). Кожне з цих видів підсилення можна застосовувати окремо і у взаємному поєднанні залежно від конкретних умов. Основні способи підсилення рамних систем подані в роботах [1–3], тому тут обмежимося способами підсилення, які застосовні у найскладніших випадках підсилення. До таких випадків можна зарахувати відсутність габаритів для розташування елементів підсилення через насиченість технологічним обладнанням, сильне пошкодження корозією елементів, що підсилюються, і їхніх вузлових з'єднань, недоступність для підсилення закритих частин елементів конструкцій, наприклад, нижніх кінців колон нижче від рівня підлоги тощо.

Найважче піддаються підсиленню відомими вже способами рами каркасів будівель з мостовими кранами. Так, при значному збільшенні вантажопідймальності кранів, що часто буває під час реконструкції, доводиться збільшувати тримкість підкранової частини колон більше ніж у два рази. Значного підсилення в цих випадках вимагають також інші елементи каркаса.

Найефективнішим в таких випадках, як показала практика, є підсилення колон за допомогою заздалегідь напружених телескопічних труб [2–3], що мають порівняно з іншими елементами підсилення підвищену несучу здатність.

Площа групи стиснутих труб, що доводяться на одну гілку колони, можна визначити за формулою

$$A_y = \left[ N / \left( K / j_{ef1} \right) + N_{ps} / A_c \right] / \left( R_y / K - N_{ps} / A_c \right),$$

де  $K = D + 0,007(1/d)$ ;  $N$  – нормальна сила в гілці колони при максимальному навантаженні;  $N_{ps}$  – зусилля (нормальна сила), що сприймається стиснутими трубами при максимальному навантаженні у цьому разі напруження в старому і доданому перетинах рівні.  $R_y$  – розрахунковий опір металу (для старого і нового перетину прийнято однаковим).  $A_c$  – площа гілки колони, що підсилюється;  $l, d$  – довжина і середній діаметр внутрішньої труби;  $j_{ef1}$  – коефіцієнт, що приймається згідно з нормативними документами. Підкранову частину колони підсилюють з площини рами відомими способами, (ригелі підсилюють) також окремо. Для того, щоб уникнути підсилення стрижнів наявних ґраток, елементи підсилення взаємно з'єднуються власною ґраткою.

**Висновки:** 1. Підсилення під навантаженням статично невизначених сталевих рам має відмінні особливості, порівняно з підсиленням окремих стрижнів, які полягають у перерозподілі

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