

УДК 624.072.014

ОПТИМІЗАЦІЯ СТАЛЕВИХ СТЕРЖНЕВИХ РАМНИХ СИСТЕМ ПРАЦЮЮЧИХ ЗА МЕЖЕЮ ПРУЖНОСТІ

OPTIMIZATION OF STEEL ROD FRAME SYSTEMS WORKING BEYOND THE ELASTIC LIMIT

Купченко Ю.В., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Kupchenko Y.V., Ph.D., senior lecturer (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Для плоских сталевих рам виконується оптимізація перерізів стержневих елементів з урахуванням розвитку пластичних деформацій.

In the study of the operation of steel statically indeterminate frames with different degrees of static uncertainty beyond the elastic limit, a deformation criterion of calculation is used. The task of determining the design strength load for the development of ultimate plastic deformations is carried out, and the cross sections of the elements of the frame construction are optimal for steel consumption. To determine the relatively optimal core frame system, it is necessary to take into account that as a result of the redistribution of forces into the elastic-plastic work of the material, new sections of rods, which in turn affect the redistribution of forces, can be involved.

Ключеві слова: перерізи, стержні, міцність, сталеві рами, межа пружності, обмежені пластичні деформації.

Keywords: cross-sections, rods, strength, steel frames, elastic limit, limited plastic deformation

Важливим державним завданням, однією з головних проблем науково-технічного прогресу в області сталевих конструкцій, є всемірна економія сталі. Одним із шляхів економії металу є вдосконалення інженерних розрахунків несучої здатності об'єктів,

які забезпечують високу надійність і економічність споруд. Для цього постійно розвивається метод розрахунку за граничним станом, реалізований у вітчизняних [1] і європейських [2] нормах. Вдосконаленню цієї методики сприяє розвиток розрахунку сталевих конструкцій по експлуатаційній придатності, що гарантує від надмірного розвитку пластичних деформацій, тобто розрахунок міцності сталевих конструкцій по деформаційному критерію.

При розрахунках міцності сталевих плоских рам за допомогою методики врахування непружної роботи сталі в згинних стержневих конструкціях з врахуванням розвитку обмежених пластичних деформацій [1, 3], тобто в елементах і конструкціях 2-го класу залежно від виду напружено-деформованого стану розрахункового перерізу [1], актуальним стає завдання раціонального підбору перерізів стержнів.

При дослідженні роботи сталевих статично невизначених рам з різною мірою статичної невизначеності методом послідовних наближень з відновленням заданої величини інтенсивності пластичних деформацій ϵ_p на кожному кроці ітераційного процесу [4, 5, 6] (використовуючи деформаційний критерій розрахунку) вирішується завдання визначення розрахункового навантаження по міцності при розвитку граничних пластичних деформацій (перевірочний розрахунок при відомих розмірах перерізів, схемі споруди і характеристиках матеріалу). В процесі її вирішення ставиться задача по знаходженню оптимальних по витратам сталі перерізів елементів в системі із заданим контуром осей стержнів і виглядом їх зв'язків у вузлах, прикладеним навантаженням при виконанні умов міцності, жорсткості і стійкості.

Получити аналітичне рішення задачі оптимізації у зв'язку з нелінійною роботою системи досить важко. Тому для вирішення задачі об'єкт розглядається не як окрема система, а безліч систем, що представляють сукупність рішень, з яких повинно бути вибрано найкраще. Оптимальним рішенням є система з такими перерізами стержнів, коли в кожному стержні розвиваються граничні пластичні деформації.

При цьому беруться до уваги наступні обмеження: вибір перерізів елементів із заданого сортаменту; групова рівність перерізів стержнів (наприклад, колони в одному ярусі); конструктивне обмеження зменшення перерізів;

забезпечення стійкості стержнів; забезпечення жорсткості стержнів і системи.

Окрім цього, зміна перерізів окремих стержнів спричиняє зміну відношення жорсткостей елементів рами, що впливає на напружений стан рами. Також слід врахувати, що при появі першої і подальших ділянок пружно-пластичної роботи матеріалу зміна згинальних моментів носить нелінійний характер. Поява кожної нової ділянки, на якій виникає напруження, що перевищує межу текучості, приводить до зміни перерозподілу зусиль в стержнях рамної конструкції. Згідно з обмеженнями, досягти такого стану конструкції, коли всі стержні мають пружно-пластичну зону роботи матеріалу можливо в симетрично завантаженій рамі. У практичних розрахунках така схема завантаження конструкції не представляє інтересу. У зв'язку з цим в підбраній відносно оптимальній системі пластичні деформації розвиватимуться не у всіх стержнях.

Був виконаний розрахунок рами, ригелі і крайні стійки якої завантажені рівномірно розподіленим навантаженням. Перерізи прийняті для стійок з прокатних колонних двотаврів, а для ригелів з нормальних двотаврів; пластичні деформації обмежувалися величиною $\epsilon_{p,lim} = 0.4\%$. Результати розрахунку рами показані на рис. 1, а.

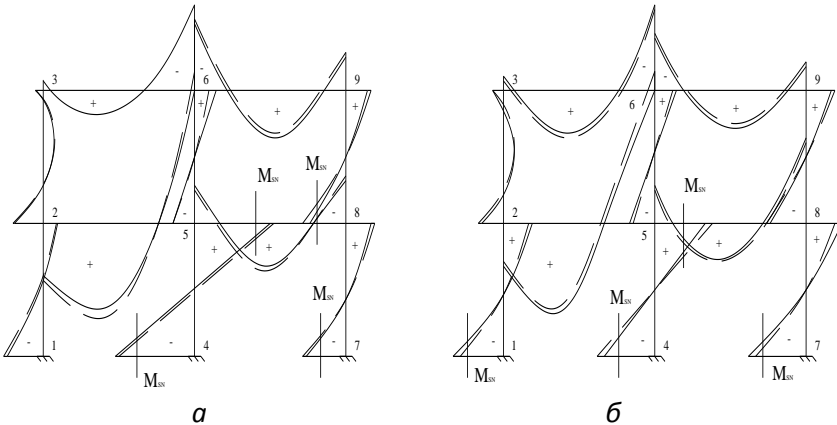


Рис. 1. Результати розрахунку рами

При прийнятих жорсткостях стержнів і співвідношенні навантажень в рамі в трьох стійках виникли чотири ділянки пружно-пластичної роботи матеріалу. Дві ділянки розвинулися в середній стійці першого поверху – на опорі пластичні деформації досягли граничної величини, а в перерізі, що примикає до вузла 5, пластичні деформації дорівнювали $\epsilon_p = 0.053\%$. У пружно-пластичній стадії роботи матеріалу виявилися також ділянка правої нижньої стійки (що примикає до вузла 7, $\epsilon_p = 0.31\%$) і ділянка правої стійки другого поверху (що примикає до вузла 8, $\epsilon_p = 0.083\%$).

Перерозподіл згинальних моментів в максимально напружених перерізах для кожного стержня рами склав: у стійках першого поверху – 1.2%, 0.7%, 3.3 %; у стійках другого поверху – 2.7 %, 2.8 %, 1.9 %; для ригелів верхнього ярусу 0.7 %, 0.065%; для ригелів нижнього ярусу – 0.8%, 1.7%. Невеликий перерозподіл зусиль пояснюється тим, що граничні пластичні деформації розвинулися в перерізі лише однієї стійки.

На рис. 1, б показані результати розрахунку рами, в якій зменшені перерізи середньої нижньої стійки (на 13%) і ригелів нижнього ярусу (на 7.5%), пластичні деформації також обмежувалися величиною 0.4%. В результаті дослідження роботи цієї рами визначено чотири ділянки стержнів, що працюють в пружно-пластичній стадії. Це стійки першого поверху: у лівій колоні пластичні деформації біля опори склали 0.025%; в середній стійці значення пластичних деформацій по кінцях досягли граничної величини; на опорі правої стійки величина пластичної деформації також досягла граничного значення.

Перерозподіл згинальних моментів для перерізів стержнів рами, в яких виникають максимальні напруження, істотніше і склав: для стійок другого поверху – 14.1%, 5.5 %, 4.3%; для стійок першого поверху – 6.7%, 19.1%, 6.3%; для ригелів верхнього ярусу – 0.19%, 0.33%; для ригелів нижнього ярусу – 3.7%, 2.6%. Перерозподіл зусиль збільшився у зв'язку із збільшеними по довжині ділянками стійок, що працюють в пружно-пластичній стадії, і з'явилися три перерізи з граничними значеннями обмежених пластичних деформацій (у тому числі в характерному місці сполучення ригелів і колон першого і другого поверхів рами). Порівняння приведених результатів розрахунку рам показує, що зусилля в стержнях рами із зменшеними перерізами середньої

стійки і ригелів першого ярусу розподілилися більш рівномірно, що викликало появу пружно-пластичних ділянок роботи матеріалу у всіх стійках першого поверху, при цьому на трьох ділянках пластичні деформації досягли граничних, по обмеженню, значень (0.4%).

Для здобуття відносно оптимальної стержньової рамної системи необхідно враховувати, що в результаті перерозподілу зусиль в пружно-пластичну роботу матеріалу можуть бути залучені нові ділянки стержнів, що у свою чергу впливають на перерозподіл зусиль. Для більш рівномірного розподілення зусиль в елементах рами, крім зміни перерізів окремих стержнів, можливо застосовувати додаткові зв'язки, стержні із змінними перерізами по довжині. У досліджуваній рамі економія сталі її окремих елементів досягла 13 %.

1. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування // К.: Мінрегіон України. – 2014. – 199 с.

2. ДБН А.1.1-94:2010 Проектування будівельних конструкцій за єврокодами. Основні положення // К.: Мінрегіонбуд України. – 2012. – 38 с.

3. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд // К.: Мінрегіонбуд України. – 2011. – 150 с.

4. Чернов Н.Л., Стрелецкий Н.Н., Любаров Б.И. Расчеты стальных конструкций на прочность по критериям ограниченных пластических деформаций // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – №7. – с. 1...9.

5. Купченко Ю.В. Прочность сечений стальных тонкостенных стержней при ограниченных пластических деформациях / Чернов Н.Л., Купченко Ю.В., Ебрахим Валид, Шибанин В.С., Артюшкин И.А. // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – №4. – с. 1...5.

6. Купченко Ю.В. Работа стальных многоэтажных рам с учетом физической нелинейности по деформируемой схеме / Купченко Ю.В., Мещанинов А.А. // Збірник докладів міжнародного симпозиуму «Современные строительные конструкции из металла и древесины». О.: – 1995. – с. 58...63.