

---

**БУДІВНИЦТВО, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ**

---

УДК 624.014

**І. О. Склярів**, к.т.н., доцент**ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНІ РАМНІ КОНСТРУКЦІЇ ЗІ ЗВАРНИХ  
ДВОТАВРІВ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ З ГНУЧКОЮ СТІНКОЮ**

*Стаття присвячена викладенню та аналізу методів попереднього напруження сталевих порталних рам шляхом улаштування затяжок для зменшення розрахункових зусиль у перерізах та підвищення ефективності застосування двотаврів змінної жорсткості з гнучкою стінкою у якості несучих каркасів будівель.*

**Ключові слова:** *рами змінної жорсткості, попередньо напружені конструкції, двотаври з гнучкою стінкою, легкі сталеві конструкції, рамні каркаси.*

**И. А. Склярів**, к.т.н., доцент**ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ  
СВАРНЫХ ДВУТАВРОВ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ С ГИБКОЙ  
СТЕНКОЙ**

*Статья посвящена изложению и анализу методов предварительного напряжения стальных порталных рам путем устройства затяжек для уменьшения расчетных усилий в сечениях и повышения эффективности применения двутавров переменной жесткости с гибкой стенкой в качестве несущих каркасов зданий.*

**Ключевые слова:** *рамы переменной жесткости, предварительно напряженные конструкции, двутавры с гибкой стенкой, легкие стальные конструкции, рамные каркасы.*

**I. A. Skliarov**, candidate of technical sciences, associate professor**PRESTRESSED FRAME CONSTRUCTIONS OF WELDED I-BEAM OF  
VARIABLE STIFFNESS WITH A FLEXIBLE WALL**

*The article is devoted to the presentation and analysis of methods of prestressing of steel portal frames by constructing of tightenings in order to reduce the calculated efforts in the cross sections and to increase the efficiency of I-beams of variable stiffness with a flexible wall as bearing building frames.*

**Keywords:** *frames of variable stiffness, prestressed structures, I-beams with flexible wall, light steel structures, frame structures.*

**Актуальність теми дослідження.** Зважаючи на глобальні проблеми підвищення вартості енергетичних ресурсів, основними завданнями в сучасній галузі будівельних металевих конструкцій є зниження їх металоємності, трудомісткості виготовлення та монтажу. У цьому аспекті одними з найбільш привабливих є сталеві рамні каркаси зі зварних двотаврів змінної жорсткості, зокрема і рами зі зварних двотаврів з гнучкою стінкою. Використання резерву несучої здатності, яке полягає в урахуванні закритичної стадії роботи тонкої пластинки, дозволяє значно знизити вагу та вартість конструкцій. Застосування гнучкої стінки в двотаврових рамних конструкціях є еволюційним методом вдосконалення цієї технічної системи, адже дозволяє отримати економічний

---

**БУДІВНИЦТВО, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ**

---

ефект за рахунок використання внутрішнього ресурсу конструкції та принципу підвищення тонкостінності двотаврів на базі існуючих технологій заводів металевих конструкцій. На даний момент на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій КНУБіА проведено ряд досліджень щодо питання розрахунку даного класу конструкцій [1–3]. Подальше вдосконалення рамних конструкцій з гнучкою стінкою, яке полягає у зниженні їх металоємності, вбачається у штучному регулюванні внутрішніх зусиль.

**Постановка проблеми.** Штучне регулювання внутрішніх зусиль, яке зазвичай полягає у створенні в конструкції зусиль, протилежних розрахунковим, вже досить давно використовується у практиці будівельних металевих конструкцій як метод зниження маси конструкції. Існує два основні методи штучного регулювання внутрішніх зусиль – попереднє напруження окремих елементів конструкції (наприклад, витягування полиці двотавра, що у конструкції буде стиснутою, перед зварюванням зі стінкою, чи попередній вигин елемента); зміна статичної роботи конструкції (введення затяжок, шпренгелів та ін.). Обидва методи мають певні недоліки у контексті застосування їх при проектуванні порталних легких рамних каркасів зі зварних двотаврів з гнучкою стінкою. Витягування чи вигин елементів конструкції вимагає розташування на технологічній лінії по зварюванню конструкції громіздких домкратів, опорних конструкцій, які значно ускладнюють технологічний процес автоматизованого чи напівавтоматизованого зварювання. Щодо розміщення затяжок, то у порталних рамах, як і у аркових конструкціях, затяжку в переважній більшості випадків розміщують в опорних вузлах, а тіло затяжки проходить під підлогою. Це ускладнює як улаштування затяжок через необхідність розміщення їх у захисних лотках, так і моніторинг зусилля натягу та технічного стану. Для усунення цих проблем пропонуються нові варіанти розміщення затяжок у конструкціях ефективних легких порталних рам.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Майже для будь-якої конструктивної форми можливо застосувати методи штучного регулювання зусиль для підвищення її ефективності. У кожному випадку метод створення напружень обмежується лише інженерною уявою та здоровим глуздом дослідника.

Попереднім напруженням можливо знизити витрати металу на 10–20%, знизити вартість, досягти більш раціонального розподілу матеріалу. Ефективність попереднього напруження пояснюється тим, що в конструкції під час її зведення створюються напруження, протилежні за знаком вантажним. Під час роботи конструкції ці попередні напруження використовуються в першу чергу, і тільки після їх вичерпання матеріал починає сприймати основні напруження аж до досягнення розрахункового опору. Найбільш широко задача створення зустрічних зусиль зустрічається при проектуванні звичайних сталевих балок. Досить докладно задача попереднього напруження балки введенням сталеві затяжки з високоміцної сталі описана у роботі [4]. У такій конструкції розрахунок балки виконується у два етапи – спочатку перевіряють її міцність та стійкість на дію зусиль попереднього напруження, а вже після цього виконують остаточний розрахунок балки під дією розрахункових навантажень. Враховуючи той факт, що розтягнутий пояс в цьому випадку буде умовно складатись із розтягнутого стержня та полиці перерізу, переріз проектується несиметричним – стиснуту полицю приймають більшого перерізу для забезпечення стійкості балки.

Досить цікавий метод напруження балок при дії рухомого навантаження описано у роботі [5] з посиланням на роботи Вахуркіна В.М. і названа системою «балка-тяж». Суть розробки полягає у притягуванні шарнірно опер-

**БУДІВНИЦТВО, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ**

тої балки до опори або фундаменту посередині прольоту з отриманням початкового вигину у тому ж напрямі, що і від подальшого навантаження. За умови вибору зусилля натягу таким чином, щоб тяж завжди залишався розтягнутим, він буде працювати як додаткова пружна опора і створювати нерозрізність розрахункової схеми.

Різні варіанти проектування попередньо напружених сталевих конструкцій (зокрема сталевих арок, ферм покриття, рамних мостових прольотів) також розглянуто у роботі [5]. В зазначених роботах залишаються поза увагою дослідників варіанти попереднього напруження рамних каркасів. Зважаючи на підвищений попит на малоенергоємні сталеві рамні каркаси зі зварних двотаврів на сучасному ринку будівельних конструкцій, а також велику кількість відповідних імпортованих будівель комплексного постачання, актуальність та своєчасність дослідження роботи попередньо напружених рамних конструкцій зі зварних двотаврів з гнучкою стінкою не викликає сумнівів.

**Постановка завдання.** Дослідити вплив сталевих затяжок як засобу штучного впливу на напружено-деформований стан рамних конструкцій змінної жорсткості та показати доцільність застосування таких попередньо напружених порталних рам як несучих каркасів будівель.

**Виклад основного матеріалу.** Метою розробки попередньо напруженої металевої рами із елементів змінного двотаврового перерізу є зниження витрат металу, а також підвищення несучої здатності рамних конструкцій. Введенням затяжок у рами можна також підвищити ресурс вже збудованих рам при реконструкції або під час капітального ремонту.

Мета досягається тим, що у двосхилому ригелі рами 1 улаштовується затяжка із круглої сталі або сталевого тросу 2 (рис. 1).

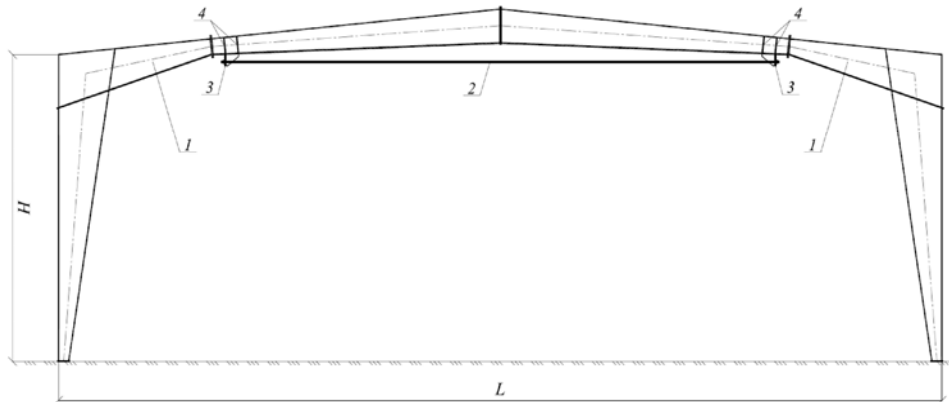


Рис. 1. Сталева портална рама змінної жорсткості з жорстким карнизним вузлом, попередньо напружена затяжкою у ригелі

Зусилля натягу затяжки забезпечує виникнення згинального моменту, протилежного тому, що виникає від дії розрахункових навантажень на раму. Сумарний згинальний момент зменшується, що зменшує необхідні розміри поперечного перерізу, і, як наслідок, призводить до зменшення витрат металу до 25% на кожну поперечну раму каркаса.

Затяжка кріпиться до рами шляхом приварювання упорів та ребер 3 (рис. 1). Натяг затяжки забезпечується закручуванням гайок в упорі. Натяг виконується після монтажу рам та системи в'язей каркаса будівлі. В місцях приєднання упорів та ребер для зменшення концентрації напружень встанов-

---

**БУДІВНИЦТВО, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ**


---

люються поперечні ребра жорсткості 4 (рис. 1). Монтажні стики в рамі – жорсткі фланцеві на високоміцних болтах чи на болтах звичайної міцності.

На рис. 2 наведено значення згинальних моментів у рамі легкого каркаса прольотом 36 м для типових умов центральної України. Зусилля за умови проектування рами без попереднього напруження складає 639 кНм. За умови введення в конструкцію рами сталевोї затяжки з зусиллям натягу 500 кН значення згинального моменту змінюється до 434 кН·м, що складає 67% від випадку без регулювання зусиль. За умови застосування відносно дешевої круглої сталі 40Х, 30ХГСА такого зусилля натягу можна досягти застосуванням перерізу діаметром 30-32 мм.

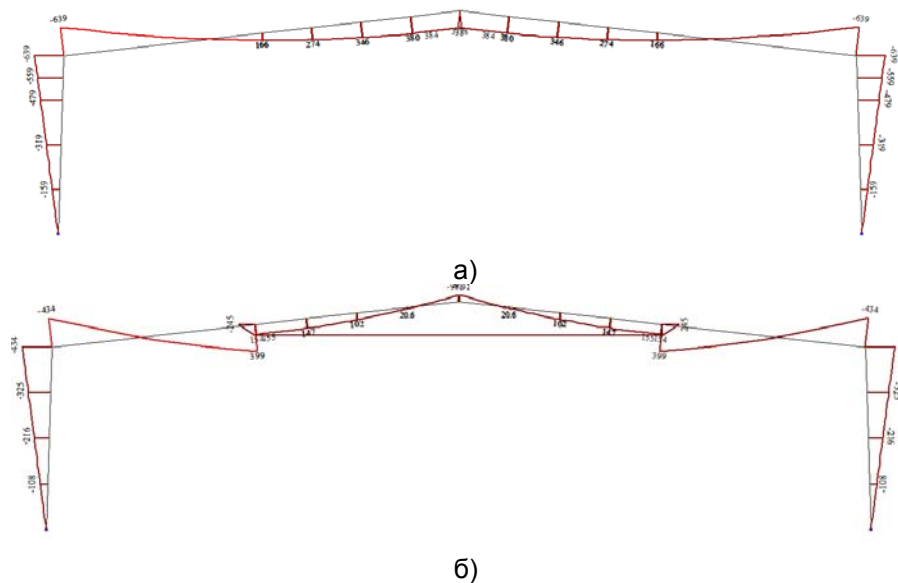


Рис. 2. Згинальні моменти у порталній рамі з жорстким карнизним вузлом без попереднього напруження (а) та при введенні затяжки (б)

У випадку застосування затяжок у тришарнірній рамі (рис. 3) ефективність застосування наведеного методу регулювання зусиль досягає ще більших масштабів – у аналогічній рамі з такими ж прольотом та навантаженням максимальне значення згинального моменту без попереднього напруження складає 944 кН·м. При введенні затяжки з зусиллям натягу 500 кН згинальний момент зменшується до 358 кН·м, що майже втричі менше (рис. 4).

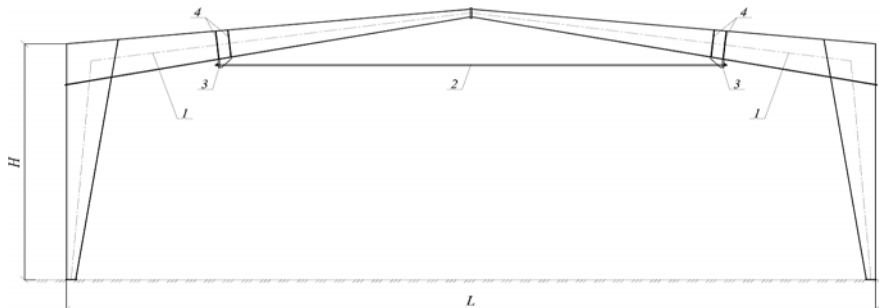


Рис. 3. Сталева портална рама змінної жорсткості з шарнірним карнизним вузлом, попередньо напружена затяжкою у ригелі

**БУДІВНИЦТВО, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ**

Зрозуміло, що для забезпечення умов згинально-крутильної стійкості до конструкцій в'язей жорсткості таких рам слід висувати більш жорсткі вимоги, але можливий економічний ефект безумовно вартий цих витрат.

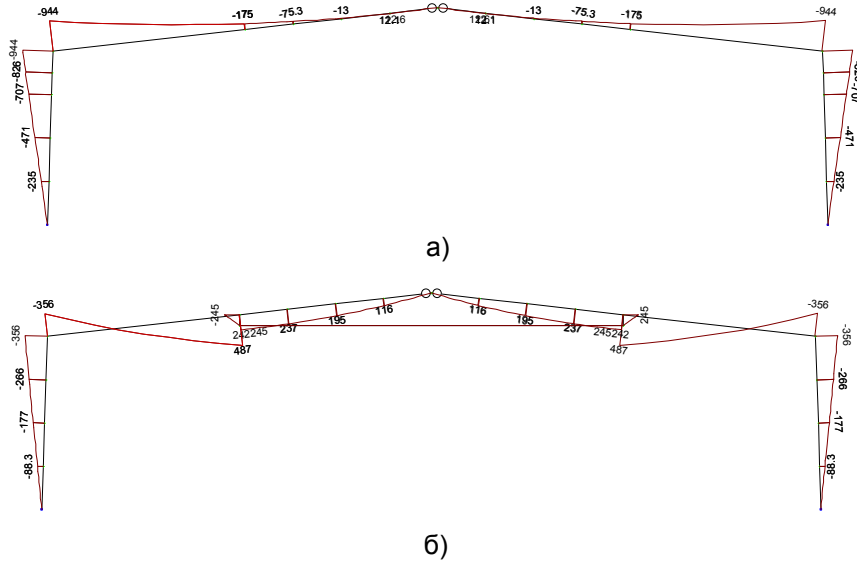


Рис. 4. Згинальні моменти у порталній рамі з шарнірним карнизним вузлом без попереднього напруження (а) та при введенні зтяжки (б)

Ще один із можливих варіантів розміщення зтяжки – по колоні рами (рис. 5). У такому варіанті зусилля зменшується лише у колоні (у нашому випадку з 639 кН·м до 404 кН·м), тож сумарний ефект дещо менший. Та все ж за певних умов, наприклад, за великих прольотів та незначної висоти колон, можна на 15-20% знизити вагу колони рами.

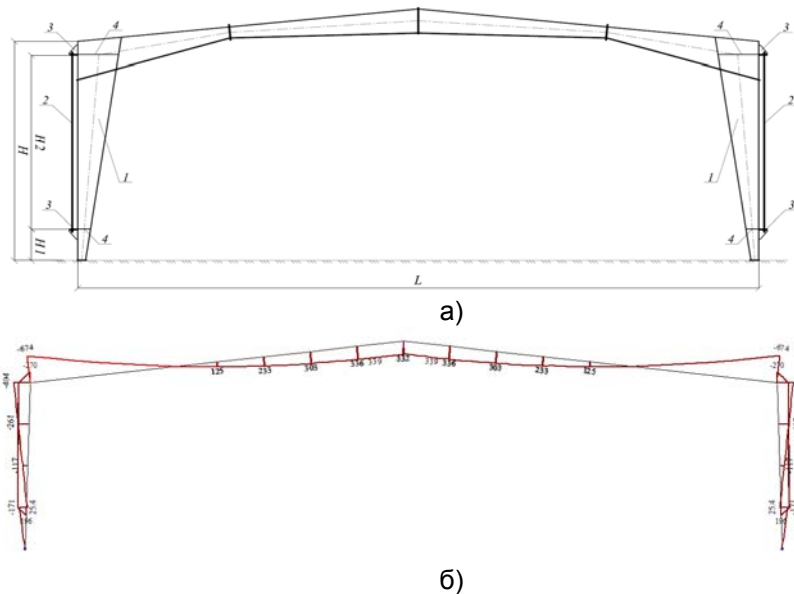


Рис. 5. Загальний вигляд рами за умови розміщення попередньо напруженої зтяжки по колоні (а) та значення згинальних моментів (б)

---

**БУДІВНИЦТВО, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМУНІКАЦІЇ**

---

**Висновок.** Проведені дослідження рамних конструкцій змінної жорсткості з використанням штучного регулювання внутрішніх зусиль шляхом введення в конструкцію сталевих затяжок показало їх високу ефективність та значний потенційний економічний ефект.

Використання даного типу конструкцій вбачається не тільки у новому будівництві як метод зниження витрат металу, але і при реконструкції та ремонті будівель з несучим каркасом зі сталевих рам як спосіб подовження ресурсу існуючих конструкцій.

**Література**

1. Склярів І. О. Деякі аспекти проектування легких сталевих каркасів зі зварних двотаврів з гнучкою стінкою / І. О. Склярів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – 2012. – Вип. 23. – С. 745-750.
2. Склярів І. О. Експериментальні дослідження тонкостінних рамних двотаврів / І. О. Склярів, С.І. Білик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – 2012. – Вип. 24. – С. 248-254.
3. Склярів І. О. Перспективи розвитку рамних каркасів зі зварних двотаврів з гнучкою стінкою / І. О. Склярів // Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа. – 2011. – №2 (2). – С. 128-133.
4. Металлические конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов / Г.С. Ведеников, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др.; Под ред. Г.С. Веденикова. – [7-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1998. - 760 с.
5. Металлические конструкции: Специальные конструкции и сооружения: Учеб. для строит. вузов / [под ред. В.В. Горева]. – [2-е изд., исправл.]. – М.: Высш. школа, 2002. – Т.3. – 544с.

Надійшла 29.11.2012 р.