

питаннях архітектури. Зовнішній вигляд нових будівель приходить до нас із заходу, змінюючи та осучаснюючи їх зовнішній вигляд. Спайдерні фасади в наших містах ще досить рідкісне явище, але всьому свій час. Вони також поступово заслуговують довіру і полонять серця архітекторів та споживачів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Спайдерні фасади [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://viknotex.at.ua/news/spajderni_fasadi/2010-04-22-6
2. Sadev: architectural glass systems [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sadev.com/accueil-groupe-sadev/?lang=en>
3. Стекло и стеклопакеты для систем "спайдерного" остекления. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.glasspro.ua/index.php?q=products/spider/glass.html>

Аннотация.

В статье приведены основные проблемы и особенности проектирования фасадных конструкций с использованием предварительно напряженных вантово-спайдерных систем. Элементом крепления является несущий шарнир, который предназначен для соединения стеклянных панелей с конструкцией. Несущий шарнир воспринимает на себя основные ветровые и снеговые нагрузки и предотвращает разрушение стекла за счет своей подвижности. Эффективность предварительно напряженной вантово-спайдерной системы обеспечивается предварительным натяжением тросов с целью создания в конструкции усилия, противоположного расчетному с почти полным исключением сжатых элементов. Это дает возможность выполнять элементы фасадной фермы из стальных тросов небольшого диаметра, придавая фасаду уникальный индустриальный дизайн и максимальное светопропускание.

Abstract.

The article presents the main problems and features of the design of facade designs using prestressed rope-spider systems. Fixing element is a ball joint, which is designed to connect the glass panels to the structure. Ball Joint takes over the main wind and snow loads and prevent glass breakage due to its mobility. Effectiveness of pre-stressed rope-spider system is provided preload cables to create a design effort, opposite the settlement with almost complete except for the struts. This makes it possible to carry out elements of the facade girder of steel cables with small diameter, giving the facade a unique industrial design and maximum light transmission.

УДК 624.014

к.т.н., доцент Склярів І.О.,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ РАМ ЗІ ЗВАРНИХ ДВОТАВРІВ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ З ГНУЧКОЮ СТІНКОЮ

Розглянуто питання розрахунку тонкостінних рамних конструкцій зі зварних двотаврів на основі теоретичних досліджень та проведення експериментальних випробувань елементів рам змінної жорсткості. Наведено основні розрахункові положення для проектування легких сталевих рам зі змінною висотою перерізу.

Ключові слова: *рамні каркаси, змінний переріз, зварні двотаври, двотаври з гнучкою стінкою.*

Дослідження в області металобудування зазвичай присвячуються пошуку нових технічних рішень будівель і споруд з упором на зменшення вартості матеріалів. При цьому ефективність конструкції може досягатись вибором вигідної статичної схеми каркасу та раціональних розподілом матеріалу по довжині елементів. Найбільш раціональною конструктивною формою несучого каркасу з точки зору розподілу внутрішніх зусиль є портална рама із жорстким поєднанням колон та ригелів. Сталеві порталні рами на даний момент є одними з найбільш розповсюджених проектних рішень для несучих каркасів одноповерхових будівель прольотом від 18-20 м. Такі рами можуть бути виконані як із елементів суцільного перерізу, так і з решітчастих конструкцій.

Незважаючи на широке розповсюдження решітчастих конструкцій, вони не відповідають сучасним вимогам щодо технологічності, адже їх виробництво не відповідає рівню автоматизації галузі. Будь-яка решітчаста конструкція складається з великої кількості відправних одиниць. Кожен елемент на заводі проходить кілька стадій обробки: правка, маркування, механічна та газова різка, виконання отворів, фрезерування та ін. При виготовленні конструкцій окремі деталі проходять до кілометра шляху на заводі від однієї ділянки до іншої. Механізація та автоматизація виробничого процесу, впроваджена на таких заводах, значно полегшує людську працю, але майже не впливає на загальну швидкість виготовлення конструкції. І, як наслідок, тривалість виробництва кінцевого продукту практично не зменшується.

Тому для заводського виробництва більш раціональними є конструкції з суцільними перерізами, виготовленими листової сталі. Витрати на виробництво при цьому можуть бути зменшені у 1.5-2 рази.

Досвід проектування сталевих рам показав, що використання елементів змінного перерізу забезпечує більш економічні рішення в порівнянні з елементами постійного перерізу.

Принцип проектування елементів рам змінного перерізу базується на раціональному розподілі матеріалу відповідно до схем згинальних моментів, а також на розвантажувальному ефекті, викликаному зміщенням центра ваги перерізів.

Найпростіший спосіб полегшення елементів рам зі зварних двотаврів змінного перерізу і підвищення їх ефективності – це використання тонкої стінки з умовною гнучкістю $\lambda w=6...10$. Використання зварних двотаврів змінного перерізу з гнучкою стінками дозволяє отримати найкращий розподіл сталі між стінкою та полицями [1] при забезпеченні умов міцності та стійкості.

Особливості роботи тонкостінних двотаврів викликані нелінійною поведінкою гнучкої пластини у за критичній стадії роботи, тобто після втрати місцевої стійкості. При цьому несуча здатність конструкції в цілому зберігається, система переходить до нового стійкого стану рівноваги. Використання цього резерву несучої здатності, який полягає в урахуванні закритичної стадії роботи гнучкої стінки, дозволяє значно зменшити вартість конструкцій.

Систематичному дослідженню поведінки пластин після втрати стійкості у складеному перерізі чи окремо при різних граничних умовах присвячено роботи вчених Фешля, Кармана, Бубнова, Вагнера, Ромашевського, Баслера, Тюрлімана та ін. [2-7].

Але враховуючи складність аналітичної формалізації роботи тонкостінних двотаврів у складі рамних конструкцій, що пов'язана з нелінійною поведінкою конструкції після місцевої втрати стійкості стінки перерізу, перерозподілом внутрішніх напружень і розвитком пружно-пластичних деформацій у полицях перерізу, а також неминучою наявністю початкових недосконалостей стінки, яких при малій товщині та значній гнучкості майже неможливо уникнути, найпростішим шляхом дослідження цього питання є проведення натурного експерименту та розробка наближеної методики розрахунку таких конструкцій.

З метою запланованого дослідження розроблено конструкцію експериментальної установки у вигляді консольно защемленої стійки, навантаженої зосередженим навантаженням на вільному кінці, від дії якої в опорному вузлі виникає одночасно позовжнє зусилля, перерізуєча сила та згинальний момент. Схема експериментальної установки наведена на рис. 1.

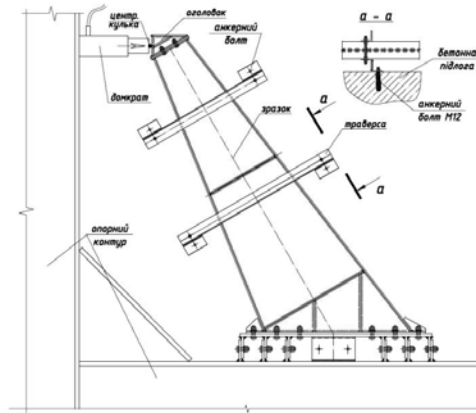


Рис. 1. Схема експериментальної установки

Конструкцію розміщено в горизонтальній площині. Умовна гнучкість стінки у перерізі з максимальною висотою складає 10,7. Передача навантаження виконувалась в 11 стадій зі збільшенням зусилля у домкраті на кожній стадії на 10 кН з фіксацією показників вимірювальних приладів на кожній стадії.

Для прогнозування результатів експериментальних випробувань та попереднього аналізу роботи конструкції було розроблено чисельну модель зразка. Дослідження реалізовано в середовищі програмного комплексу Лира 9.6. Моделювання виконувалось плоскими оболонковими скінченими елементами. Розрахунок виконано в лінійній та нелінійній постановці. За результатами чисельного експерименту отримано значення напружень в розрахункових перерізах, форми втрати стійкості стінки та загальні переміщення системи (рис. 2).

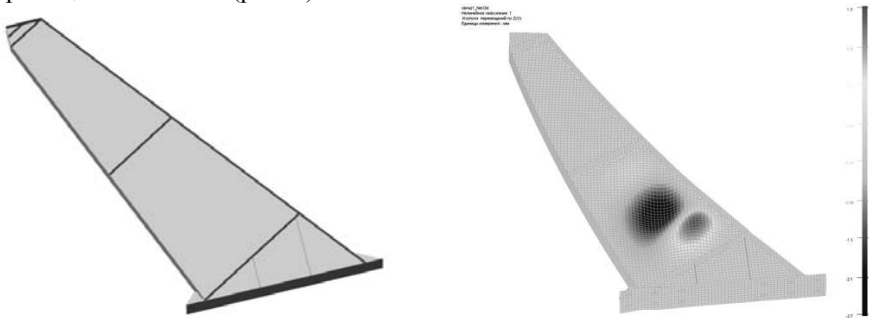


Рис. 2. Чисельна модель та деформована схема установки у середовищі програмного комплексу «Лира»

Фіброві деформації в поперечних перерізах вимірюються методом електротензометрії. Показники деформацій стінки також фіксувались на кожній стадії за допомогою штативу з індикаторами типу ИЧ-10 (рис. 3).



Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки

В результаті проведення експерименту було встановлено параметри деформування конструкції, визначено характер втрати стійкості стінки та вичерпування несучої здатності перерізів.

Проведення експериментальних випробувань показало, що робота тонкостінних двотаврових рамних елементів принципово відрізняється від роботи елементів зі стійкими стінками. В конструкціях із тонкостінних двотаврів, внаслідок підвищеної деформативності стінки та її неминучих початкових недосконалостей, випучування починалось майже одразу з прикладенням зовнішнього навантаження. Зі збільшенням навантаження бічні прогини стінки набували характерного вигляду, що визначалось напруженим станом окремих ділянок.

Початкові прогини стінки визначають напрями бічного випучування. Незважаючи на значні прогини стінок при навантаженні, які досягали 4-5 t_w , робота рамних елементів в цілому мала пружний характер аж до граничних навантажень. Залишкові деформації в стінці на проміжних етапах завантаження не перевищували її товщини.

Встановлено, що в закритичній стадії роботи гнучкої стінки у полицях перерізу виникають додаткові напруження від дії місцевих згинальних моментів. Згинальний момент у стиснутій полиці виникає внаслідок деформацій стінки та «просідання» полиці, яка працює як балка на пружній основі зі змінними коефіцієнтами постелі (залежно від характеру деформування

стінки). Таким чином, максимальні нормальні напруження у стиснутому поясі рами з гнучкою стінкою можуть бути визначені за формулою:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{N}{A_{red}} + \frac{M}{W_{red}} + \frac{M_{fii} k_c}{2 I_{fc}} \delta_0 \leq R_y \gamma_c, \text{ де} \quad (1)$$

N , M – стискаюче зусилля та згинальний момент від дії зовнішніх навантажень; A_{red} , W_{red} – площа та момент опору послабленого двотаврового перерізу з гнучкою стінкою; M_{fc} – додатковий згинальний момент, який виникає у поясі після втрати стійкості стінки; I_{fc} – момент інерції таврового перерізу, утвореного стиснутою полицею та частиною стінки висотою h_{wred} ;

y_0 – відстань від центра ваги таврового перерізу стиснутого поясу до грані поясу; k_c – коефіцієнт, що враховує перерозподіл довантажуючого згинального моменту та залежить від гнучкості стінки:

$$k_c = 1 \quad \text{для перерізів, у яких } \bar{\lambda}_w > 9;$$

$$k_c = \bar{\lambda}_w / \bar{\lambda}_{wu} \quad \text{для перерізів, у яких } \bar{\lambda}_w \leq 9.$$

Аналіз результатів показав непридатність існуючих методик для розрахунку рамних елементів з гнучкою стінкою. Розходження теоретичних та експериментальних результатів за існуючими методиками складає до 30%, у той час як за формулою 1 різниця складає менше 3%.

Враховуючи загальний підхід за будівельними нормами для елементів рам з відносним ексцентриситетом $m_x \geq 15$, на основі власних експериментальних досліджень, встановлено розрахункову умову міцності рамних елементів з гнучкою стінкою при сумісній дії поздовжнього, поперечного зусилля та згинальних моментів:

$$\left| \frac{N}{N_u} \right| + \left(\frac{M_x}{M_{u\phi}} \right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_u} \right)^4 \leq \gamma_c. \quad (2)$$

У наведених формулах граничне значення згинального моменту позначено через: $M_{u\phi} = R_y (1 - \frac{\alpha}{2}) W_{xred}$; граничне значення стискаючої сили: $N_u = \varphi A_{red} R_y$. Коефіцієнт умов роботи γ_c , враховуючи складний напружено-деформований стан елементів сталевих рам змінної жорсткості з гнучкою стінкою, слід обмежити значенням 0,95.

Загальні висновки. Проведені дослідження показали, що робота тонкостінних рамних конструкцій зі зварних двотаврів змінного перерізу принципово відрізняється від роботи конструкцій з суцільною стінкою. На основі власних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено