



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 1, 51–61

УДК 624.072.33

(11)-0232-0

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ПЛОСКОЇ РАМИ ІЗ УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНИХ НЕДОСКОНАЛОСТЕЙ

А. М. Югов, О. Б. Бондарев

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: amyrus@mail.ru*

Отримана 13 січня 2011; прийнята 28 січня 2011.

Анотація. У статті досліджено питання щодо впливу показників точності виготовлення та монтажу металевих конструкцій плоскої П-подібної рами на параметри напружено-деформованого стану. Виконано розрахунок плоскої металевої П-подібної рами з урахуванням дефектів виготовлення. Проаналізовано отримані розрахункові значення зусиль в елементах П-подібної рами при відхиленні довжини елементів рами від номінальної. Значення, які отримано під час розрахунку, свідчать про необхідність врахування дефектів при визначенні фактичного напружено-деформованого стану стержневих металевих конструкцій. Наведено спосіб, який дозволяє моделювати відхилення довжини елемента від номінальної під час статичного розрахунку. Наведено рекомендації щодо використання розробленого методу при проектуванні металевих конструкцій. Методика розрахунку, наведена у статті, може використовуватися при проектуванні стержневих систем.

Ключові слова: металеві конструкції, напружено-деформований стан, дефекти виготовлення, монтаж, МСЕ, точність.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛОСКОЙ РАМЫ С УЧЁТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ

А. М. Югов, А. Б. Бондарев

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: amyrus@mail.ru*

Получена 13 января 2011; принята 28 января 2011.

Аннотация. В статье исследован вопрос влияния показателей точности изготовления и монтажа металлических конструкций П-образной рамы на параметры напряжённо-деформированного состояния. Выполнен расчёт плоской металлической П-образной рамы с учётом дефектов изготовления. Проанализированы полученные расчётные значения усилий в элементах П-образной рамы при отклонении длины элементов рамы от номинальной. Значения, которые получены при расчёте, свидетельствуют о необходимости учёта дефектов при определении фактического напряжённо-деформированного состояния стержневых металлоконструкций. Приведён способ, который позволяет моделировать отклонение длины элемента от номинальной во время статического расчёта. Приведены рекомендации по использованию разработанного метода при проектировании металлических конструкций. Методика расчёта, приведенная в статье, может использоваться при проектировании стержневых систем.

Ключевые слова: металлические конструкции, напряжённо-деформированное состояние, дефекты изготовления, монтаж, МКЭ, точность.

STRESSED AND STRAINED STATE OF FLAT FRAME MEMBERS INVESTIGATION WITH REGARD TO GEOMETRIC IMPERFECTIONS

Yugov Anatoly, Bondarev Oleksiy

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: amyus@mail.ru

Received 13 January 2011; accepted 28 January 2011.

Abstract. The paper deals with the problem of impact of indices of manufacturing accuracy and erection of U-shaped frame metal structures to the parameters of the stressed and strained state. The analysis of the U-shaped flat metal frame with regard to its manufacturing defects has been made. The design-basis values of forces in the U-shaped frame members at length deviation of the frame members from their nominal one have been analyzed. The values obtained at design indicate the necessity to provide the defects at determination of the actual stressed and strained state of bar metal structures. The method enabling to simulate the length deviation of a member from the nominal one during the static analysis has been cited. The recommendations on application of this method at the design work of metal structures have been given. The design technique cited in the paper can be used at the design work of bar structures.

Keywords: metal structures, stressed and strained state, manufacturing defects, erection, MFE, accuracy.

Вступ

Стержньові металеві конструкції використовуються для зведення громадських і промислових будівель та інженерних споруд, або окремих конструктивних елементів (покриттів, перекриттів і т. і.). Широке використання стержньових конструкцій викликано тим, що вони мають підвищену надійність при місцевому руйнуванні. Це дозволяє найбільш раціонально використовувати фізико-механічні характеристики матеріалу при його роботі на розтяг або стиск.

Підвищення технічного рівня об'єктів із металевих конструкцій вимагає розробки більш точної методики визначення їх дійсного напружено-деформованого стану. Це відноситься не тільки до тих конструкцій, що проектуються, але й тих, що експлуатуються. Постає питання створення універсального розрахунково-графічного ПК, який забезпечить постійний контроль за станом споруди.

1. Постановка задачі

Виготовити абсолютно точно окремі елементи стержньових конструкцій (особливо структурних конструкцій великого прольоту) технологічно майже неможливо. У зв'язку з цим стержні будуть постійно мати відхилення від

проектних розмірів. При відхиленні розмірів стержнів статично невизначеної конструкції від номінальних виникають внутрішні зусилля, які звичайно не враховуються під час проектування нових об'єктів.

Не врахування початкових (додаткових) зусиль від технологічних недосконалостей елементів конструкцій може призвести до руйнування самих конструкцій або усїєї будівлі чи споруди. У зв'язку з цим рівень надійності (безвідмовності) у статично невизначених стержньових конструкціях зменшується. У теперішній час не розроблено однозначної, ефективної та універсальної методики розрахунку стержньових (плоских, просторових) металевих конструкцій із урахуванням, хоча б основних дефектів (неточностей виготовлення, зведення і т. і.), які зустрічаються на усіх етапах життєвого циклу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій [2], [5], [7], [8], [9], [10], [11], [13], [15], [16], [17], [18], а також нормативних документів [4], [6] показав, що визначенню дійсного стану стержньових металевих конструкцій із урахуванням дефектів присвячено багато робіт. За допомогою сучасного розрахунково-графічного програмного комплексу Structure CAD (ПК Structure CAD) майже не можливо відобразити дійсну роботу

об'єкта чи його частини (у тому числі під час зведення), із урахуванням усіх існуючих (можливих) дефектів на таких етапах життєвого циклу, як виготовлення та зведення.

Зведення та експлуатація сучасних (технічно складних) будівель і споруд із використанням стержньових металевих конструкцій вимагає визначення фактичного (дійсного) стану елементів конструкції із урахуванням дефектів, яких набувають вони на усіх етапах життєвого циклу. Деякі питання щодо забезпечення надійної експлуатації будівельного об'єкту на етапах життєвого циклу відображено у роботі [14].

Надійна експлуатація будівель і споруд вимагає їхнього своєчасного технічного діагностування. Оцінка технічного стану є однією із регламентованих процедур, яка використовується з метою перевірки рівня надійності (безвідмовності) та довговічності конструкцій і встановлення можливості їх використання за призначенням у передбачених проектом умовах і на певний термін експлуатації, що прогнозується у відповідності до нормативного документа [6].

У нормативному документі [6] п. 2.23 сказано, що «... Розрахунок конструкцій, як правило, треба виконувати на ЕОМ за уточненими розрахунковими схемами ...». Складність сучасних об'єктів вимагає вирішення питань щодо адекватності моделювання і відтворення істинних процесів, та НДС конструкцій, якими займаються розробники розрахунково-графічних ПК. У статті [2] на основі досвіду будівництва пропонується розробити систему моніторингу для складних будівель, а у статтях [7], [9] методику динамічної діагностики будівель, які дозволяють точніше відобразити дійсний стан конструкцій.

Технічне діагностування будівель та споруд у ряді випадків вимагає їхнього розрахунку із урахуванням дійсного фізичного стану, геометричних розмірів та фактичного геометричного положення відносно головних осей споруди (із урахуванням дефектів у відповідності до п. 2.7, 2.8 [6]). Питанням розрахунку стержньових металевих конструкцій із урахуванням деяких дефектів виготовлення та монтажу присвячено роботи [10], [13].

Підвищений термін експлуатації металевих конструкцій у наш час вимагає більш високої швидкості та точності визначення дійсного стану цих конструкцій для можливості їх подаль-

шої надійної експлуатації. Невиконання технічної діагностики та розробки паспортів, рекомендацій щодо подальшої експлуатації може призвести до зупинки виробництва та навіть загибелі людей [5], [14].

2. Мета, задачі та об'єкт дослідження

Аналіз впливу показників точності виготовлення та монтажу стержньових металевих конструкцій, що змодельоване різними способами, на параметри напружено-деформованого стану із урахуванням деяких дефектів стержньових металевих конструкцій, яких вони набувають під час виготовлення, на прикладі плоскої П-подібної рами – мета дослідження.

Задачею дослідження є визначення та аналіз напружено-деформованого стану елементів плоскої П-подібної рами при відхиленні вісі стійки від вертикалі, а вісі ригеля від горизонталі. Також необхідно виконати порівняльний аналіз варіантів досягнення мети дослідження при різних варіантах сполучення стійки з ригелем (жорстке та шарнірне), із наступним визначенням самого оптимального. Надати рекомендації щодо можливих варіантів вирішення деяких питань розрахунку при проектуванні нових чи діагностиці існуючих будівель та споруд із урахуванням геометричних недосконалостей (дефектів).

Плоска металева П-подібна рама є об'єктом дослідження. Предмет дослідження – залежність впливу відхилення осі ригеля П-подібної рами від горизонталі, а вісі стійки від вертикалі на напружено-деформований стан елементів рами. Результати досліджень призначені для підвищення точності статичного розрахунку металевих конструкцій та їх надійності на етапах життєвого циклу.

Схеми варіантів відхилень П-подібної рами зображені на рисунках 2...7: по-перше, за допомогою температурного навантаження; по-друге, за допомогою навантаження «задане переміщення» через переміщення в'язі; по-третє, за допомогою навантаження «задане переміщення» через переміщення нуля-елемента. Наведений спосіб розрахунку можна використовувати для визначення дійсного напружено-деформованого стану елементів конструкції, при проектуванні нових та ремонті тих, що експлуатуються, стержньових систем на деякі відхилення, за табли-

цею 10 [6]. Результати були отримані за допомогою чисельного методу із використанням розрахунково-графічного ПК Structure CAD.

3. Методика дослідження

Складність (багатоваріантність) створення розрахункової схеми (обробки даних) із урахуванням всіх можливих і неможливих (з точки зору норм) відхилень обумовлює необхідність розробки додатку до вітчизняних розрахунково-графічних ПК, в якому на основі статичного розрахунку буде враховано основні можливі варіанти відхилення геометричних розмірів елементів конструкцій від номінального. Для вирішення мети цієї роботи необхідно визначити та проаналізувати, яким чином впливає відхилення вісі стійки від вертикалі, а вісі ригеля від горизонталі на напружено-деформований стан плоскої сталеві П-подібної рами.

Для спрощення задачі, що вирішується, будемо розглядати: плоску П-подібну раму із сталі; жорсткі вузли сполучення колони з ригелем (перший варіант розрахункової схеми); шарнірні вузли сполучення колони з ригелем (другий варіант розрахункової схеми); жорсткі вузли сполучення стійки з фундаментом; постійні габаритні та геометричні характеристики елементів рами; постійне навантаження на плоску П-подібну раму від власної ваги стержнів; величину початкових зусиль у конструкції без врахування зміни жорсткості вузлів під час її збирання.

За допомогою розрахунково-графічного ПК Structure CAD будемо моделювати стан плоскої рами (рис. 1.), який зображено на рисунках 2...7 цієї роботи, чи на рисунках 5.1, 5.2, 9.1 таблиці 10 нормативного документа [6].

Для зменшення можливих варіантів навантажень будемо розгляди тільки деякі можливі положення елементів рами трьома способами. Перший спосіб – за допомогою температурного навантаження, що діє вздовж елементів рами, а другий – за допомогою навантаження «задане переміщення» через переміщення в'язі, третій – за допомогою навантаження «задане переміщення» через нуль-елемент.

Наведена методика розрахунку дозволяє визначати кількість конструкцій, що необхідно підсилити, чи замінити прийнятий при статичному розрахунку переріз елемента.

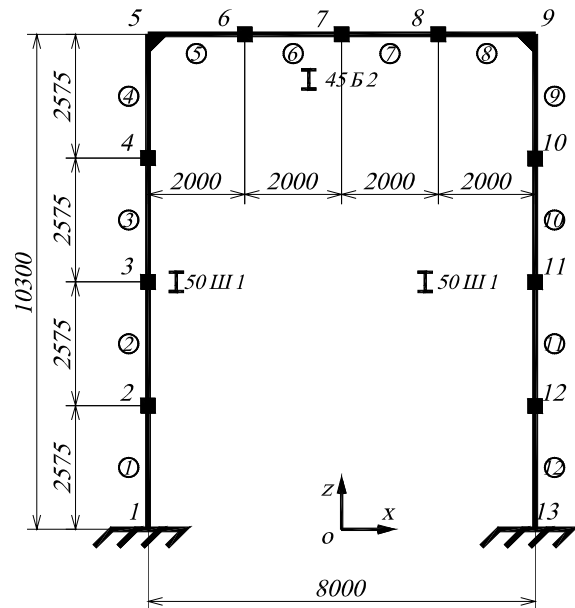


Рисунок 1. Розрахункова схема поперечної рами будівлі: 1...12 – номери елементів, 1...13 – номери вузлів.

4. Дослідження та аналіз впливу величини зусиль на НДС елементів поперечної П-подібної рами при наявності дефектів

Урахування дефектів, яких набуває конструкція (споруда) протягом життєвого циклу, вже під час проектування конструкції (споруди) дозволить підвищити рівень надійності (безвідмовності) об'єкта [3]. Для дослідження впливу відхилення положення елементів рами на їх напружено-деформований стан (внутрішні зусилля) було виконано розрахунок із урахуванням відхилення стійки від вертикалі та ригеля від горизонталі у межах $-50...0...+50$ мм. Розрахунок виконано для двох варіантів сполучення ригеля та стійки рами: перший – жорсткий, а другий – шарнірний. Крок зміни відхилення прийнято рівним 5 мм.

Розрахунок виконано для таких варіантів положення елементів поперечної рами:

- відхилення вісі лівої стійки рами № 1 від вертикалі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення» (рис. 2);
- відхилення вісі ригеля рами № 1 від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення» (рис. 3);

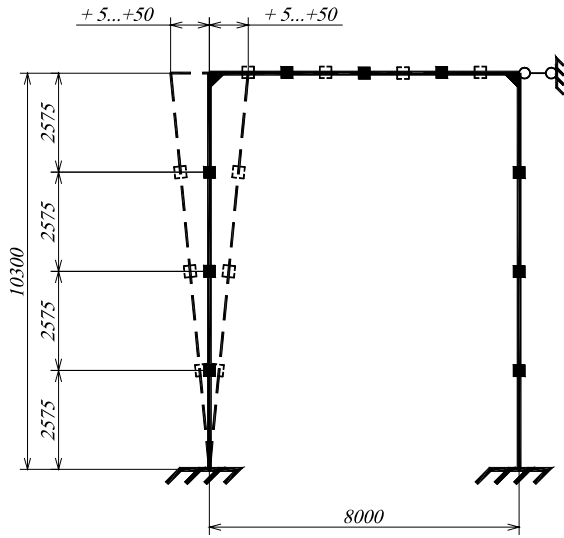


Рисунок 2. Схема відхилення вісі лівої стійки рами №1 від вертикалі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення».

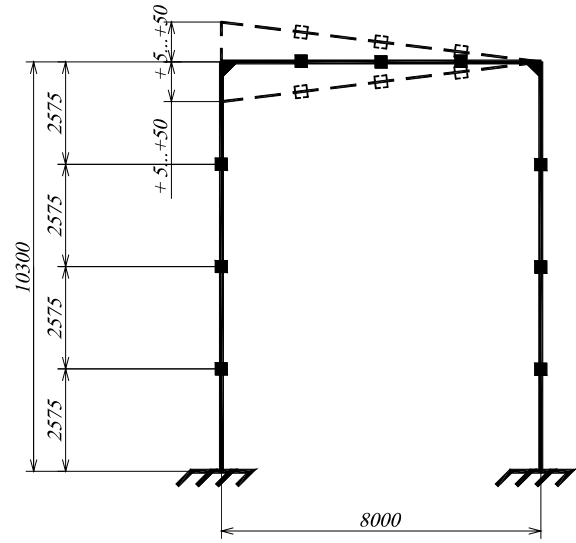


Рисунок 3. Схема відхилення вісі ригеля рами № 1 від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення».

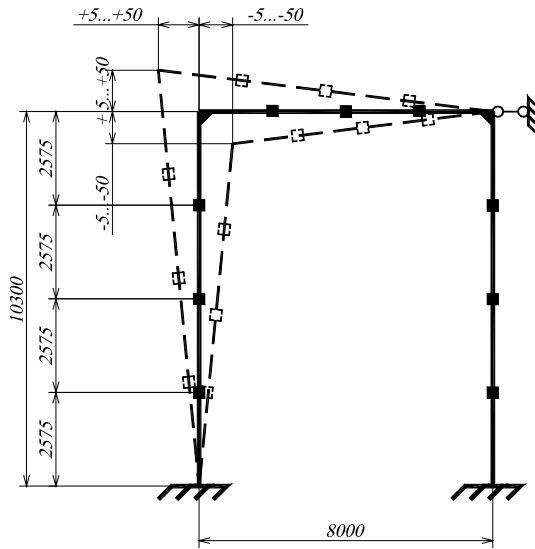


Рисунок 4. Схема відхилення вісі лівої стійки рами № 1 від вертикалі та ригеля від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення».

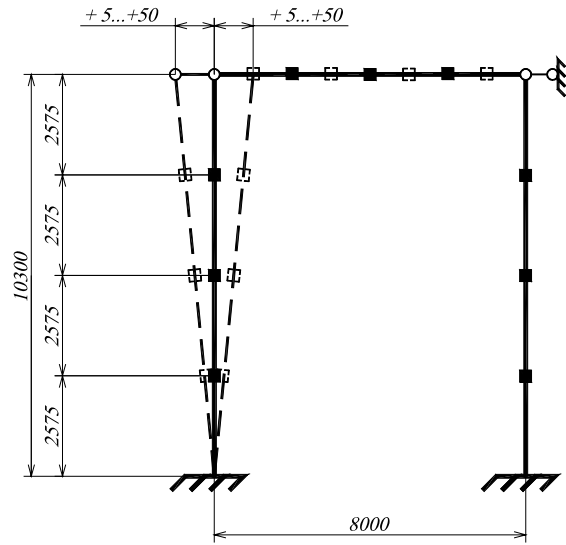


Рисунок 5. Схема відхилення вісі лівої стійки рами № 2 від вертикалі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення».

- відхилення вісі лівої стійки рами № 1 від вертикалі та ригеля від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення» (рис. 4);
- відхилення вісі лівої стійки рами № 2 від вертикалі, що моделювалося за допомогою

- температурного навантаження та навантаження «задане переміщення» (рис. 5);
- відхилення вісі ригеля рами № 2 від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення» (рис. 6);

– відхилення вісі лівої стійки рами № 2 від вертикалі та ригеля від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення» (рис. 7);

При розрахунку П-подібної рами із урахуванням відхилень, які зображені на рисунках 2...7, отримано дані, що зведено у таблицю 1. Для аналізу даних відібрані значення зусиль при відхиленні 15 мм, оскільки воно є допустимим, за нормами [6] і наведено у таблиці 10 цих норм.

В результаті розрахунку отримано, що не всі методи моделювання відхилень довжини відображають дійсний напружено-деформований стан елементів рами, що експлуатується із наявністю дефектів. Значення зусиль у таблиці 1 для повздовжньої та поперечної сил наведені в кН, а для згинального моменту в кНм. Зусилля у лівій стійці при ідеалізованій схемі рами № 1: $N = 14,2$ кН; $M = 2,7$ кНм; $Q = 0,39$ кН, а у рами № 2: $N = 14,2$ кН; $M = 0$ кНм; $Q = 0$ кН. Зусилля у ригелі при ідеалізованій схемі рами № 1: $N = 0,39$ кН; $M = -2,7$ кНм; $Q = -2,65$ кН, а у рами № 2: $N = 0$ кН; $M = 5,3$ кНм; $Q = -2,65$ кН.

Моделювання неточності (відхилення довжини елемента від номінальної) за допомогою тем-

пературного навантаження більше відображає неточність (дефект), що розглядається. Моделювання відхилення дійсної довжини елемента від номінальної пропонується застосовувати при розробці технологічної карти на укрупнювальне збирання, та розрахунку збірності конструкції. Навантаження «задане переміщення» через нуль-елемент та теплове відображають різні варіанти поведінки конструкції. Більш детальна інформація із технології (методів, способів, прийомів) виконання робіт по збиранню металевих конструкцій на заводі наведено у [1] та [12].

Це обумовлено тим, що початкові зусилля перерозподіляються завдяки жорсткості вузлів сполучення елементів стержньової конструкції. Лінійна пропорційність між температурою матеріалу конструкції та деформацією визначається коефіцієнтом лінійного розширення матеріалу. Залежність між температурним навантаженням та деформацією елемента не лінійна, що обумовлено податливістю вузлів рами.

Застосування лінійної залежності між силою та деформацією за законом Гука, як для окремого стержня, не відображає дійсного напружено-деформованого стану елементів конструкцій. Це обумовлено тим, що цей спосіб також не враховує перерозподілу зусиль в елемен-

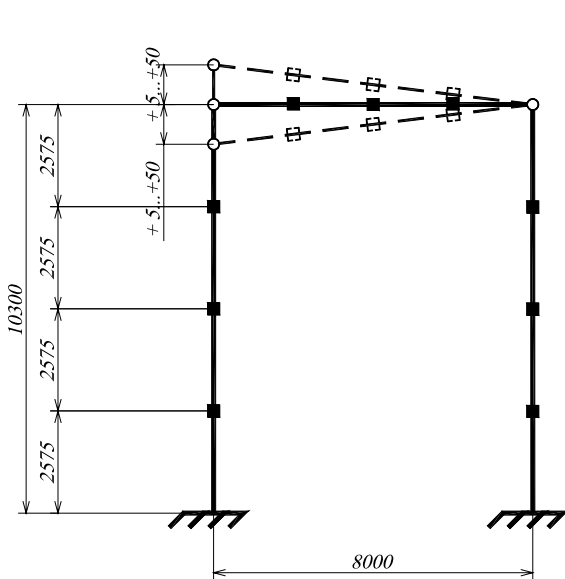


Рисунок 6. Схема відхилення вісі ригеля рами № 2 від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення».

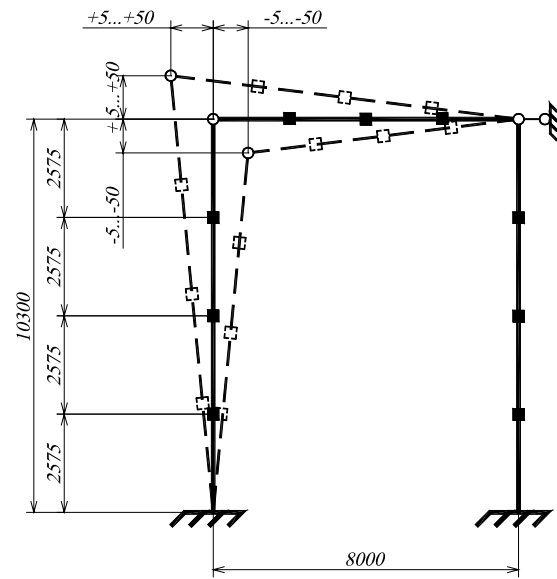


Рисунок 7. Схема відхилення вісі лівої стійки рами № 2 від вертикалі та ригеля від горизонталі, що моделювалося за допомогою температурного навантаження та навантаження «задане переміщення».

тах статично невизначеної системи. При застосуванні навантаження «задане переміщення» через переміщення в'язі та через нуль-елемент відображає лінійну залежність між силою та деформацією, та між температурою і деформацією матеріалу, але також не враховує перерозподілу внутрішніх зусиль в елементах, так як змінюється первинна розрахункова схема об'єкта.

При відхиленні вісі ригеля від горизонталі в межах $-15...0...+15$ мм, за схемою на рис. 2 внутрішні зусилля зазнали значних змін у порівнянні із ідеалізованою схемою у стійці рами № 1: повздовжня сила збільшилась приблизно в 23,3 рази, згинальний момент майже у 26,6 разів, поперечна сила майже у 27,1 рази. Для ригеля рами № 1: повздовжня сила збільшилась у 27,1 рази, згинальний момент майже у 13,9 разів, поперечна сила у 2,3 рази.

При відхиленні вісі ригеля від горизонталі в межах $-15...0...+15$ мм, за схемою на рис. 6 внутрішні зусилля зазнали різноманітних змін у порівнянні із ідеалізованою схемою рами № 2 у

стійці: повздовжня сила збільшилась у 30,7 разів, а згинальний момент, поперечна сила не виникають. Для ригеля рами № 2: повздовжня сила, згинальний момент та поперечна сила не виникають.

Можна сказати, що жорстке сполучення стійки з ригелем призводить до збільшення початкових зусиль при відхиленні елементів рами від проектного положення, а шарнірне – майже не призводить. Рекомендується використання температурного навантаження для моделювання відхилення дійсної довжини елементів від номінальної для визначення початкових зусиль у конструкціях, а також це рекомендується у роботі [10].

Для елементів ідеалізованої П-подібної рами необхідно наступні номери профілів: стійка I 23 Б-1 за умовою гнучкості, а ригель – I 10, як самий менший із сортаменту, тільки із умови міцності. Номер профілів для ригеля та лівої стійки рами при відхиленні дійсної довжини елементів від номінальної зведено у таблицю 2.

Таблиця 1. Значення зусиль в елементах П-подібної рами № 1 та рами № 2 при відхиленні довжини елементів від номінальної

Схема (рисунок)	Моделювання за допомогою температурного навантаження		Моделювання за допомогою навантаження «задане переміщення» (через нуль-елемент)		Моделювання за допомогою навантаження «задане переміщення» (через переміщення в'язі)	
	Стійка*	Ригель	Стійка*	Ригель	Стійка*	Ригель
1	2	3	4	5	6	7
Плоска П-подібна рама № 1						
Схема № 1 (рис. 2.2)	N = -8,7 M = -80,2 Q = 13,2	N = -13,2 M = -55,6 Q = 8,7	N = 6,3 M = 72,1 Q = 10,7	N = 3320 M = -37,8 Q = 6,3	N = 6,3 M = 72,1 Q = 10,7	N = 3320 M = -37,8 Q = 6,3
Схема № 2 (рис. 2.3)	N = 14,9 M = -59,7 Q = -8,7	N = 8,7 M = -59,7 Q = -14,9	N = 4371 M = 43,5 Q = 6,3	N = -6,3 M = -43,5 Q = 10,9	N = 4371 M = 43,5 Q = 6,3	N = -6,3 M = -43,5 Q = 10,9
Схема № 3 (рис. 2.4)	N = -23,6 M = -115 Q = 21,9	N = -21,9 M = -115 Q = 23,6	N = 4371 M = 93,94 Q = 17	N = 3320 M = -81,4 Q = 17,2	N = 4371 M = 93,94 Q = 17	N = 3320 M = -81,4 Q = 17,2
Плоска П-подібна рама № 2						
Схема № 4 (рис. 2.5)	N = 0 M = -53,2 Q = 5,2	N = -5,2 M = 0 Q = 0	N = 0 M = 53,2 Q = 5,2	N = 3320 M = 0 Q = 0	N = 0 M = 53,2 Q = 5,2	N = 3320 M = 0 Q = 0
Схема № 5 (рис. 2.6)	N = 0 M = 0 Q = 0	N = 0 M = 0 Q = 0	N = 4371 M = 0 Q = 0	N = 0 M = 0 Q = 0	N = 4371 M = 0 Q = 0	N = 0 M = 0 Q = 0
Схема № 6 (рис. 2.7)	N = 0 M = -53,2 Q = 5,2	N = -5,2 M = 0 Q = 0	N = 4371 M = 53,2 Q = 5,2	N = 3320 M = 0 Q = 0	N = 4371 M = 53,2 Q = 5,2	N = 3320 M = 0 Q = 0
*- розглянуто вплив тільки на ліву стійку						

Таблиця 2. Номер профілю елементів П-подібної рами № 1 та рами № 2 при відхиленні довжини елементів від номінальної

Схема (рисунок)	Моделювання за допомогою температурного навантаження		Моделювання за допомогою навантаження «задане переміщення» (через нуль-елемент)		Моделювання за допомогою навантаження «задане переміщення» (через переміщення в'язі)	
	Стійка*	Ригель	Стійка*	Ригель	Стійка*	Ригель
1	2	3	4	5	6	7
Плоска П-подібна рама № 1						
Схема № 1 (рис. 2)	I 26 Б-2 23,38** 8,1***	I 23 Б-2 22,95 20,5	I 26 Б-1 23,29 0	I 70 Б-1 21,44 150	I 26 Б-1 23,29 0	I 70 Б-1 21,44 150
Схема № 2 (рис. 3)	I 26 Б-2 17,64 8,1	I 23 Б-2 23,3 20,5	I 70 Б-3 23,23 165,9	I 23 Б-1 20,6 18,1	I 70 Б-3 23,23 165,9	I 23 Б-1 20,6 18,1
Схема № 3 (рис. 4)	I 35 Б-1 17,89 18,6	I 35 Б-1 20,41 36,7	I 70 Б-4 22,13 184,9	I 70 Б-1 22,7 150	I 70 Б-4 22,13 184,9	I 70 Б-1 22,7 150
Плоска П-подібна рама № 2						
Схема № 4 (рис. 5)	I 23 Б-2 22,71 2,4	I 10 0,48 0	I 26 Б-1 22,75 0	I 26 Б-1 17,06 23,3	I 26 Б-1 22,75 0	I 26 Б-1 17,06 23,3
Схема № 5 (рис. 6)	I 23 Б-1 0 0	I 10 0 0	I 80 Б-2 22,0 189,9	I 10 0 0	I 80 Б-2 22,0 189,9	I 10 0 0
Схема № 6 (рис. 7)	I 23 Б-1 22,71 0	I 10 0,48 0	I 70 Б-3 22,3 165,9	I 70 Б-1 22,7 150	I 70 Б-3 22,3 165,9	I 70 Б-1 22,7 150
*- розглянуто вплив тільки на ліву стійку;						
**- фактичні напруження в елементі (сталь С-255);						
***- збільшення площі поперечного перерізу елемента у порівнянні із ідеалізованою схемою (см ²).						

Вплив неточності виготовлення стержнів стержнєвої споруди великого прогону значно більше, що розглянуто у науковій роботі [10], ніж на просту стержнєву систему. Це обумовлено тим, що металеві стержнєві конструкції великого прогону мають велику кількість елементів, великі габарити, вагу і помилок на різних етапах життєвого циклу (проекування, виготовлення, зведення, реконструкція і т. і.).

Загальні висновки, результати, рекомендації та пропозиції

Результати, отримані при моделюванні відхилення із використанням температурного навантаження, значно відрізняються від моделювання, за допомогою навантаження «задане переміщення». Рекомендується визначати початкові зусилля в елементах конструкції (відхи-

лення дійсної довжини елемента від номінальної), за допомогою теплового навантаження.

Можна сказати, що дефект у вигляді відхилення довжини елемента від номінальної надає значних змін на напружено-деформований стан П-подібної рами та її несучу здатність (початкові зусилля збільшують загальну величину зусилля).

Для елементів стержнєвих конструкцій необхідно враховувати початкові недосконалості елементів несучих конструкцій. Невраховання початкових недосконалостей елементів може призвести до зменшення рівня надійності та живучості об'єкта, чи навіть його невідповідності експлуатаційним вимогам та руйнуванню.

Незначна власна вага елементів рами, відсутність зовнішніх навантажень та проста розрахункова схема обумовлюють появу невеликих початкових зусиль.

Для зменшення впливу геометричних недосконалостей (виготовлення конструкції, зведення) рекомендується виконувати шарнірне сполучення стійки з ригелем, так як величина внутрішніх зусиль в елементах П-подібної рами, тоді менше, ніж при жорсткому сполученні.

Треба виконувати наведений розрахунок при розробці технологічної карти щодо збирання конструкцій на заводі. На основі наведеного у роботі розрахунку необхідно обирати таку технологію, яка дозволить отримати максимальне зменшення початкових зусиль та напружень в окремих елементах конструкції під час її збирання.

Дефекти, навіть в окремих елементах конструкцій, є комплексними (довжина, відповідність

розмірів перерізу і т. і.) і враховувати їх треба комплексно за допомогою ПК Structure CAD, як варіант. Наявність комплексу дефектів вимагає їхнього визначення при виконанні статичного розрахунку конструкцій. Рекомендується виконувати розрахунок на наявність початкових технологічних недосконалостей при проектуванні нових конструкцій та виконанні робіт з обстеження існуючих конструкцій.

Пропонується зменшити величини нормативних відхилень параметрів конструкцій, що наведені у таблиці 10 [6]. Пропонується розробити комплексну методику врахування основних дефектів металевих конструкцій під час статичного розрахунку конструкцій за допомогою ПК Structure CAD.

Література

1. Изготовление стальных конструкций. Справочник монтажника / А. А. Абаринов, Б. И. Гампель, Е. Л. Воронов и др. ; Под ред. В. М. Краснова. – М. : Стройиздат, 1978. – 335 с.
2. Моніторинг складних технічних систем / Є. В. Горохов, В. Ф. Мушчанов, В. Р. Касімов [та ін.] // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, No. 4. – С. 299–313.
3. Надёжность в технике. Модели отказов. Основные положения : ГОСТ 27.005-97. – Введ. 01.01.99. – К. : Госстрой Украины, 1997. – 45 с.
4. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету : ГОСТ 27751-88*. – Введ. 1988-07-01. – М. : Госстрой СССР, 1988. – 6 с.
5. Губанов, В. В. Досвід ліквідації наслідків аварії промислової будівлі / В. В. Губанов, В. І. Москаленко // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, No. 3. – С. 181–188.
6. Державні будівельні норми. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації : ДБН 362-92. – Введ. 1992-07-01. – К. : Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.
7. Динаміка конструкцій та обладнання цехів зі спільної стінкою та з різним рівнем допустимої вібрації / Є. М. Єрмак, В. В. Кулябко, А. В. Масловський, А. О. Ісмагілов // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, No. 3. – С. 143–161.
8. Колесниченко, В. Г. Расчёт металлических конструкций и приспособлений при производстве монтажных работ / В. Г. Колесниченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Будівельник, 1981. – 152 с.
9. Динамическая паспортизация и диагностика технического состояния зданий с новым виброак-

References

1. Abarinov, A. A.; Gampel, B. I.; Voronov, E. L. et al. Ed. V. M. Krasnov. Steel structure manufacture. Constructor's reference book. Moscow: Stroizdat, 1978. 335 p. (in Russian)
2. Gorokhov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kasimov, V. P.; Nazim, Ya. V.; Kuznetsov, S. G.; Vasylev, V. M. Monitoring of complex engineering systems. *Metal Constructions*, 2008, Vol. 14, No. 4, p. 299–313. (in Ukrainian)
3. Reliability in engineering. Failure models. Fundamentals: GOST 27.005-97. Kyiv: Gosstroif of Ukraine, 1997. 45 p. (in Russian)
4. Reliability of building structures and foundations. The main provisions for the calculation: GOST 27751-88*. Moscow: Gosstroif SSSR, 1988. 6 p. (in Russian)
5. Gubanov, V. V.; Moskalenko, V. I. Experience in the elimination of the consequences of the industrial building accident. *Metal Constructions*, 2008, T. 14, No. 3, p. 181–188. (in Ukrainian)
6. Building Norms and regulations. Evaluation of the technical state of steel structures of industrial buildings and facilities in operation: DBN 362-92. Kyiv: Ukrarhbuildinform, 1995. 46 p. (in Ukrainian)
7. Ermak, E. M.; Kulyabko, V. V.; Maslovskiy, A. V.; Ismagilov, A. O. Dynamics of constructions and the equipment of Workshops with the general wall and with a various level of admissible vibration. *Metal Constructions*, 2008, T. 14, No. 3, p. 143–161. (in Ukrainian)
8. Kolesnichenko, V. G. Analysis of metal structures and accessories in carrying out the erection works. 2nd edition, revised and supplemented. Kyiv: Budivelnik, 1981. 152 p. (in Russian)

- тивным технологическим оборудованием / В. В. Кулябко, Е. М. Ермак, А. О. Исмагилов, А. В. Масловский // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2008. – № 12. – С. 2–9.
10. Моисеев, М. И. Начальные усилия и собираемость стальных структурных конструкций при случайных отклонениях длин стержней : дисс. ... канд. техн. наук / М. И. Моисеев. – Казань, 2004. – 164 с.
 11. Перельмутер, А. В. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.
 12. Пешковский, О. И. Технология изготовления металлических конструкций: Учеб для техникумов / О. И. Пешковский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – 350 с.
 13. Югов, А. М. Действительная работа металлических решётчатых конструкций с несовершенствами : дисс. ... канд. техн. наук / Анатолий Михайлович Югов. – Макеевка, 1988. – 200 с.
 14. Югов, А. М. Оценка надёжности металлических конструкций на этапах жизненного цикла / А. М. Югов. – Макеевка : ДонГАСА, 2003. – 141 с.
 15. Bruno, Robin J. Identification of nonlinear joints in a truss structure / Robin J. Bruno // AIAA/ASME Adapt. Structure. Forum, Hilton Head, S.C., Apr 21–22, 1994: Collect. Techn. Pap. – Washington, 1994. – P. 402–410.
 16. Chilton, John. Space Grid Structures / John Chilton. – Great Britain : Architectural Press, 2000. – 180 p.
 17. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
 18. René, Motro. An anthology of structural morphology / René Motro. – London, Singapore : World Scientific, 2009. – 202 p.
 9. Kulyabko, V. V.; Ermak, E. M.; Ismagilov, A. O.; Maslovsky, A. V. Dynamic passporting and diagnostics of the technical state of the buildings with new vibroactive manufacturing equipment. *Assembling and special works in the construction*, 2008, No. 12, p. 2–9. (in Russian)
 10. Moiseev, M. I. Initial efforts and assemblability of steel structures at random deviates of the bar lengths: Candidate's thesis in engineering. Kazan, 2004. 164 p. (in Russian)
 11. Perelmuter, A. V.; Slivker, V. I. Design models of structures and a possibility of their analysis. *Kiyv: Stal*, 2002. 600 p. (in Russian)
 12. Peshkovskiy, O. I. Technique of manufacturing metal structures: Textbook for technical schools. 3rd edition, revised and supplemented. Moscow: Stroiizdat, 1990. 350 p. (in Russian)
 13. Yugov, A. M. The useful output of metal lattice unperfected structures: Candidate's thesis in engineering. Makiivka, 1988. 200 p. (in Russian)
 14. Yugov, A. M. Estimation of the reliability of metal structures at the life cycle stages. Makiivka: DonGASA, 2003. 141 p. (in Russian)
 15. Bruno, Robin J. Identification of nonlinear joints in a truss structure. *AIAA/ASME Adapt. Structure. Forum, Hilton Head, S.C., Apr 21–22, 1994: Collect. Techn. Pap.* Washington: 1994, p. 402–410.
 16. Chilton, John. *Space Grid Structures*. Great Britain: Architectural Press, 2000. 180 p.
 17. Makoto, Ohsaki. *Optimization of Finite Dimensional Structures*. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.
 18. René, Motro. *An anthology of structural morphology*. London, Singapore: World Scientific, 2009. 202 p.

Югов Анатолий Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології, організації і охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція і посилення будівельних металевих конструкцій, технологія і організація робіт при будівництві і реконструкції будівель і споруд.

Бондарев Олексій Борисович – магістрант кафедри технології, організації і охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж металевих та комбінованих конструкцій.

Югов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция и усиление строительных металлических конструкций, технология и организация работ, при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Бондарев Алексей Борисович – магистрант кафедры технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж металлических и комбинированных конструкций.

Yugov Anatoly – D. Sc. (Eng.), a Professor, the Chair of the Methods, Organization and Protection of Labour in Civil Engineering Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: designing, erection, operation, engineering diagnostics, technical state evaluation, refurbishment and reinforcement of building metal structures, methods and organization of works at building and refurbishment of constructions and structures.

Bondarev Oleksiy – a master's-student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, the Methods, Organization and Protection of Labour in Civil Engineering Department. Research interests: designing, erection of metal and combined structures.