

УДК 539.3

І.О. Охтень

Є.О. Гоцуляк, д-р техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІДКРИТОГО ПРОФІЛЮ З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ РОЗКРІПЛЕННЯ

На прикладі сталевого каркасу будівлі торговельного комплексу у м. Миколаїв досліджено роботу тонкостінних прогонів покриття з урахуванням особливостей їх розкріплення до рам каркасу. Зроблено висновок про вплив способу розкріплення багатопрольотних прогонів (балок) до крокв'яних конструкцій.

Причиною до початку дослідження елементів покриття торговельного комплексу стала понаднормова деформація і втрата стійкості елементів покриття під дією снігового навантаження (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Технічний стан конструкцій покриття
а) вигляд з даху будівлі; б) вигляд з середини будівлі

Основними пошкодженнями несучих конструкцій покрівлі, які відносять до категорії А по ДБН [7], що становлять безпосередню небезпеку для руйнування будівлі, є: деформації прогонів покрівлі, що свідчать про вичерпання їх несучої здатності внаслідок втрати загальної стійкості за згинально-крутильною формою і виникнення прогину величиною до 926 мм (що складає 1/13 від прольоту, при допустимих 1/200) у крайньому прольоті; пластичні деформації прогонів покрівлі у перерізах на кінці з'єднань з напуском; локальні пластичні деформації прогонів покрівлі у перерізах на кінці напущки, а також у місцях

примикання підкосів. Дані дефекти пов'язані з загальною чи місцевою втратою стійкості тонкостінного прогону покриття.

Основними несучими конструкціями блоку В будівлі є трьохрольотні двоскатні сталеві рами з ухилом покрівлі рівним 6%. Прольоти рам складають 24,0 м, крок поперечних рам 12,0 м (рис. 2). Висота будівлі складає: 9,18 м – на рівні карнизного вузла поперечних рам, та 11,34 м – на рівні гребеневого. Несучі елементи поперечних рам каркасу запроектовані зі зварних двотаврів перемінного перерізу. Висота перерізу колон змінюється в межах 400-740 мм, ригелів – 500-740.

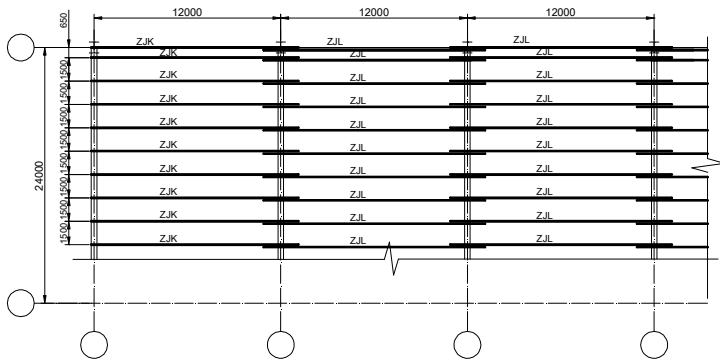


Рис. 2. Фрагмент схеми розташування покрівельних прогонів

Основними елементами дослідження є прогони покрівлі, які виконані із Z-подібних холоднодеформованих оцинкованих профілів висотою 254 мм: ZJL у середніх прольотах (рис. 3, а) і ZJK у крайніх прольотах (рис. 3, б). Матеріал прогонів - сталь з межею текучості 355 МПа. Прогони розміщені з кроком 1500 мм і запроектовані за нерозрізною схемою. В околі парапету крок прогонів прийнятий меншим (близько 600 мм), що відповідає більшому накопиченню снігового покриву у цій зоні покрівлі. Прогони з'єднуються по довжині внапусток і прикручуються до несучих конструкцій покриття за допомогою самонарізних гвинтів.

Перевірні розрахунки по діючим державним нормам [4], а також по EuroCod [5,6], показали достатню несучу здатність елементів покриття по міцності і стійкості. При аналізі можливої причини руйнування, виявлена особливість конструкції покриття, яка полягає у наявності прокладки з утеплювача і пароізоляції (товщина шару у стиснутому стані 110 мм) між профільованим листом і верхньою полицею прогону (рис. 4). Така конструктивна особливість може негативно впливати на стійкість

прогонів покриття по згинально-крутильній формі, оскільки зменшує жорсткість розкріплення верхньої полицки прогону з площини. Виходячи з цього, проведене дослідження роботи прогонів з закріпленням максимально наближеним до реального, тобто розкріпленням прогонів покриття профільованим листом через пружні в'язі і виконане порівняння його роботи з класичними видами розкріплення.

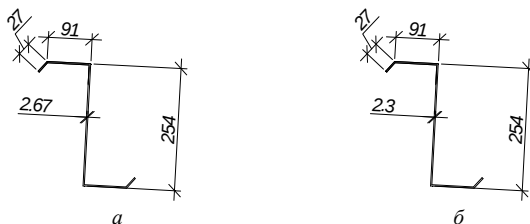


Рис. 3. Поперечні перерізи прогону

Для перевірних розрахунків взятий нерозрізний п'ятипрольотний прогон (величина прольотів – 12 м) з відповідними до проекту поперечними перерізами: ZJL у середніх прольотах і ZJK – у крайніх. Навантаження задане згідно проекту – 150 кг/мп (сумарне граничне розрахункове навантаження на покрівлю). При розрахунках диск покриття, враховуючи наявність системи в'язей по каркасу, вважається жорстким, а прокладка між прогоном і профільованим листом такою, що не заважає переміщенню і деформації самонарізного гвинта.

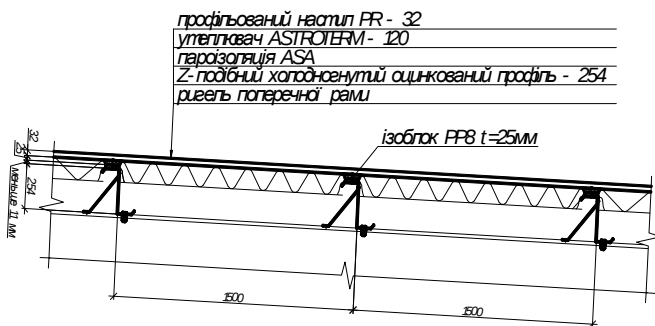


Рис. 4. Конструкція покрівлі

Серія розрахунків виконана з чотирма варіантами закріплення прогонів. Перші три відрізнялися способом закріплення верхньої полицки при шарнірно-рухомому закріпленні на опорах: варіант №1 - не розкріплена верхня полицка (рис. 5, а), варіант №2 - розкріплена за

допомогою пружній в'язей (рис. 5, б), варіант №3 - розкріплена повністю (рис. 5, в). Для забезпечення геометричної незмінюваності системи одна крайня опора у вище наведених варіантах залишалась шарнірно-нерухомою. Четвертий варіант розкріплення прогону - шарнірно нерухомі опори і повне розкріплення полицки з площини (рис. 10, г).

Шарнірно-рухомі опори (рис. 5, а, б, в) задавалися шляхом обмеження переміщень трьох вузлів нижньої полицки математичної моделі прогону у місцях його примикання до ригеля рами по напрямкам x , y і звільненням переміщень вздовж власної осі стержня z . Відповідно, у шарнірно-нерухомих опорах обмежувались переміщення по всім трьом напрямкам x , y і z (рис. 5, г). Для моделювання розкріплена за допомогою пружній в'язей у математичну модель введені стержневі елементи, які за жорсткістю, геометрією та розташування відповідають реальній конструкції (рис. 5, б). Повне розкріплення верхньої полицки досягалося введенням обмеження переміщень вузлів верхньої полицки по осі x (рис. 5, в, г); таке розкріплення класифікується за п. 5.16 [10] як повне.

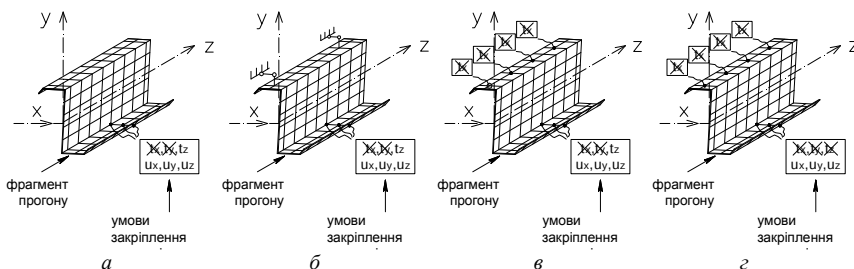


Рис. 5. Варіанти розкріплення прогону

а – варіант №1; б – варіант №2; в – варіант №3; г – варіант №4; tx , ty , tz – переміщення вздовж осей x, y, z , відповідно; ux, uy, uz – поворот відносно осей x, y, z , відповідно.

Перекреслене переміщення/поворот означає закріплення від даного переміщення/повороту

Скінченноелементна (математична) модель стержня сформована за допомогою обчислювального комплексу NASTRAN. Полички, стінки і відгини стержня моделювалися плоскими скінченними чотирикутними елементами розмірами 5x5 см, всього у моделі 13200 елементів і 14440 вузлів. Як матеріал закладено сталь з наступними механічними характеристиками: $E=2.1 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu=0.3$, $R_y=355$ МПа.

Результати розрахунків (табл. 1) показали, що пружне розкріплення, у даному випадку, не значно зменшує критичну силу по відношенню до варіанта з повним розкріпленням. Однак, знайдена інша залежність, а саме вплив закріплення на опорах на стійкість стержня. Як видно з табл. 1, критична сила при шарнірно-нерухомих опорах в тричі вища (1,792

проти 0,536) ніж при шарнірно-рухомих, при інших рівних умовах. Це вказує на необхідність детального дослідження даної особливості, оскільки норми по конструюванню і розрахунку таких елементів не вказують на можливість зменшення критичної сили при зміні способу розкріплення на опорах.

Таблиця 1

Коефіцієнти втрати стійкості

Форми втрати стійкості	Варіанти розкріплення			
	№1 Рис. 5, а	№2 Рис. 5, б	№3 Рис. 5, в	№4 Рис. 5, г
Перша	0,15	0,557	0,536	1,792
Друга	0,171	0,624	0,75	1,793
Третя	0,225	0,708	0,75	2,037

З цією метою проведена серія тестових розрахунків у яких виконане порівняння втрати стійкості прогону при шарнірно-рухомому (рис. 6, а) та шарнірно-нерухомому розкріпленнях (рис. 6, б). При цьому верхня полицка в обох випадках повністю розкріплена.

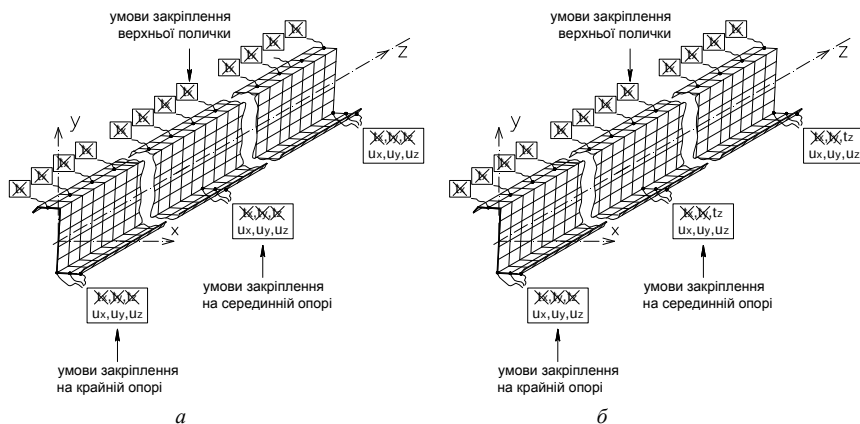


Рис. 6. Схема розкріплення прогнів.

а) шарнірно-нерухоме закріплення; б) шарнірно-рухоме закріплення; t_x, t_y, t_z – переміщення вздовж осей x, y, z , відповідно; u_x, u_y, u_z – поворот відносно осей x, y, z , відповідно. Перекреслене переміщення/поворот означає закріплення від даного переміщення/повороту

Серія розрахунків складається з сорока обчислень, які відрізняються кількістю прольотів та товщиною елементів. Таким чином були проведені

порівняльні розрахунки прогонів за різними конструктивними схемами (одно- і багатопрольотних) і різною геометрією, яка досягалась зміною товщини елемента. За основу для розрахунків вибрано той же прогон з попереднього етапу робіт у якому було змінено кількість прольотів і товщину листа, при цьому навантаження, орієнтація прогону в просторі, спосіб задання математичної моделі і граничних умов в ній залишені незмінними. Результати розрахунків зведені у табл. 2, 3.

Розрахунки підтвердили, що спосіб обпирання тонкостінного прогону має суттєвий вплив на його стійкість. Так, в багатопрольотних схемах при шарнірно- нерухомому обпиранні критична сила (коефіцієнт втрати стійкості) в 2..3 рази вища ніж при шарнірно нерухомому (див. табл. 2). При однопрольотній схемі вплив закріплення суттєво менший.

Таблиця 2

Коефіцієнти втрати стійкості

Товщина листа, мм	Спосіб закріплення серединних опор	Кількість прольотів				
		1	2	3	4	5
2,3	рухомі	1,0787	0,5713	0,4621	0,4473	0,43149
	шарнірно-нерухомі	0,966	1,0536	1,2166	1,2196	1,2207
2,9	рухомі	1,771	0,7728	0,6358	0,6205	0,6012
	шарнірно-нерухомі	1,8865	1,6784	1,937	1,9442	1,946
3,5	рухомі	2,6636	1,0032	0,8417	0,8278	0,8059
	шарнірно-нерухомі	2,8482	2,4259	2,7837	2,7973	2,8001
4,1	рухомі	3,7722	1,267	1,085	1,0746	1,0509
	шарнірно-нерухомі	3,8753	3,2406	3,6441	3,6599	3,6626

У табл. 3 наведені перші форми втрати стійкості, відповідно, при одно-, дво-, трьох-, чотирьох- і п'ятипрольотній схемах. З рисунків наведених у табл. 3 можна побачити принципову різницю між формами втрати стійкості для шарнірно-нерухомих і шарнірно-рухомих випадків для багатопрольотних схем. Втрата стійкості у першому випадку проходить у вигляді зминання нижньої полицки у місці виникнення

максимального згинального моменту. У другому випадку зминання на опорах не відбувається, натомість прогон втрачає стійкість за загальною формою при значно вищих критичних силах. Форми втрати стійкості при однопрольотних схемах суттєво відрізняються від багатопрольотних.

Таблиця 3

Форми втрати стійкості

Розрахункова схема	Шарнірно-нерухоме закріплення	Шарнірно-рухоме закріплення
Однопрольотна		
Двохпрольотна		
Трьохпрольотна		
Чотирьохпрольотна		
П'ятипрольотна		

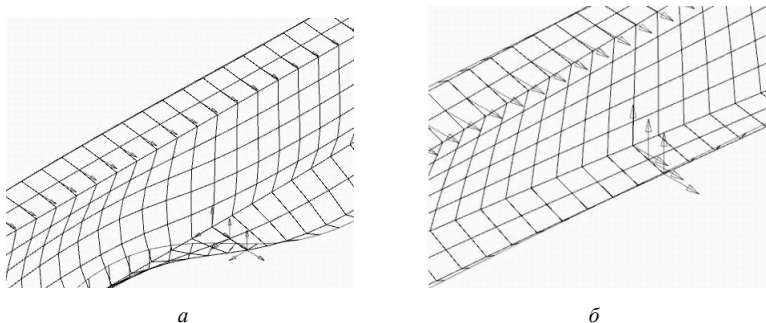


Рис. 7. Деформації прогонів поблизу крайньої опори (фрагмент прогону)

На основі розрахунків можна зробити висновок, що для тонкостінних багатопрольотних прогонів (балок) суттєвий вплив на стійкість має спосіб їх закріплення до ригелів, що не зазначено у нормативних документах до розрахунку та конструювання таких прогонів. Цей висновок має дуже важливий практичний зміст, оскільки у практиці будівництва використовується як шарнірно-рухомі так і шарнірно-нерухомі прогони.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ракиш С.В.* Связная потеря устойчивости и весовая оптимизация тонкостенных стержней открытого профиля. Дисертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Днепропетровск – 2003.
2. *Вольмир А.С.* Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984с.
3. *Тимошенко С.П.* Устойчивость стержней, пластин и оболочек – М.: Наука, 1971. – 807с.
4. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции/Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. –96с.
5. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1.3: General rules-Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting.
6. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1.1: General rules and rules for buildings.
7. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації-К.: Держкомітет України буд-ва і архіт., 2003.- 82 с.

Отримано 25.05.10

Охтенъ И.А., Гоцуляк Е.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ С РАЗНЫМИ ВАРИАНТАМИ РАСКРЕПЛЕНИЯ

На примере стального каркаса здания торгового комплекса в г. Николаев исследовано работу тонкостенных прогонов покрытия с учетом особенностей их раскрепления к рамам каркаса. Сделан вывод о влиянии способа раскрепления многопролетных прогонов (балок) к стропильным конструкциям.

Okhten I.O., Gotsuliak E.O.

THE RESEARCH OF FIRMINESS IN OPEN PROFILE THIN-WALLED ELEMENTS WITH DIFFERENT VARIANTS OF JOINING

On an example of trading complex building steel framework in Nikolaev was researched the work of thin-walled beams of coverage with the account of their features in joining to the frames of framework. It was made a conclusion about influence the way of joining multiflight beams to the bearing frames.