

УДК 624.014.2 : 624.024

к.т.н., доцент В.О. Семко,
Д.А. Прохоренко,
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ПРОГОННИХ СИСТЕМ ІЗ ЛЕГКИХ СТАЛЕВИХ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ

В статті розглянуто питання вибору конструктивних схем прогонів покриття, описано основні типи в'язей та опорних вузлів прогонних систем.

Ключові слова: *покрівлі, легкі сталеві тонкостінні конструкції, прогони, в'язі, опори.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Останнім часом в Україні все частіше використовуються будівельні системи із застосуванням холодноформованих легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК). Найчастіше такі конструкції використовуються у складі покриттів та мансардних надбудов будівель. Нерозуміння проектувальниками та будівельниками особливостей роботи таких конструкцій може призводити до нерационального проектування та нівелювання переваг даної технології, або навіть до різного роду аварій та відмов несучих конструкцій (рис. 1).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В країнах Заходу даний тип конструкцій має широке впровадження і відображений в нормах Єврокод [7], AISI [5], та інших, а також частково – у вітчизняному ДСТУ [2]. У зв'язку з очікуваною гармонізацією вітчизняних норм із Єврокодами, ми вважаємо за необхідне орієнтуватись при проектуванні легких сталевих конструкцій на [7].

Напружено-деформований стан прогонів покриттів досліджували І. В. Астахов [1], D. Dubina [6], К. В. Katnam [8], L. Li [9] та інші. Питання конструювання легких сталевих тонкостінних конструкцій розглянуто такими авторами, як А. Newman [10], Т. Sputo та L. J. Turner [11], Т. В. Назмеевою [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Темі конструювання легких сталевих тонкостінних конструкцій, в тому числі й прогонних систем, приділяється надзвичайно мало уваги вітчизняними дослідниками. До найбільш важливих при конструюванні прогонних систем відносяться питання в'язевих систем, взаємодії прогонів з настилом та проектування опорних вузлів.



Рис. 1. Аварійний стан покриття гіпермаркету «Епіцентр К» в м. Миколаїв

Метою даної статті є визначення основних особливостей конструювання прогонних систем із ЛСТК для забезпечення найбільш повного використання потенціалу холодноформованих конструкцій та попередження відмов.

Виклад основного матеріалу. Основними елементами розглядуваного типу покрівель є прогони у вигляді холодноформованих сталевих тонкостінних балок, настил - сталевий або із OSB-плит та ефективний утеплювач.

Сталеві настили можуть бути профільованими або складатись із плоских панелей, з'єднаних фальцами.

Ухил покрівлі повинен складати не менше ніж $2-5^\circ$ для фальцових настилів та більше 14° - для покрівель із профнастилу.

В якості прогонів застосовується здебільшого С- або Z-подібні профілі. Вони можуть застосовуватись за розрізною та нерозрізною схемами. *Нерозрізність* прогонів досягається шляхом заведення прогону за опору на 300 мм, але не менше ніж на 0,1 довжини елемента, та з'єднання його із сусіднім елементом болтами (рис. 2). Питання врахування підвищеної жорсткості в місцях накладання прогонів та визначення оптимальної довжини заведення є недостатньо вивченими.

Такі *особливості перерізу* холодноформованого прогону, як віддаленість центру кручення від лінії прикладання навантаження та наявність кута нахилу головних осей відносно площини дії сили, робить його схильним до кручення та поперечної (в площині, паралельній настилу) втрати стійкості навіть при повній відсутності ухилу покрівлі. З цієї причини, С-подібні профілі доцільно

застосовувати при незначних ухилах покрівель. При значних ухилах потрібно використовувати Z-профілі, розташовуючи верхню полицку в напрямку гребеню даху (рис. 3,а).

Також можливо застосовувати Z-подібні прогони з перемінною напрямленістю перерізу для малоуклонних покрівель (рис. 3,б), або односклих дахів за умови достатньої жорсткості сталевого профільованого настилу.

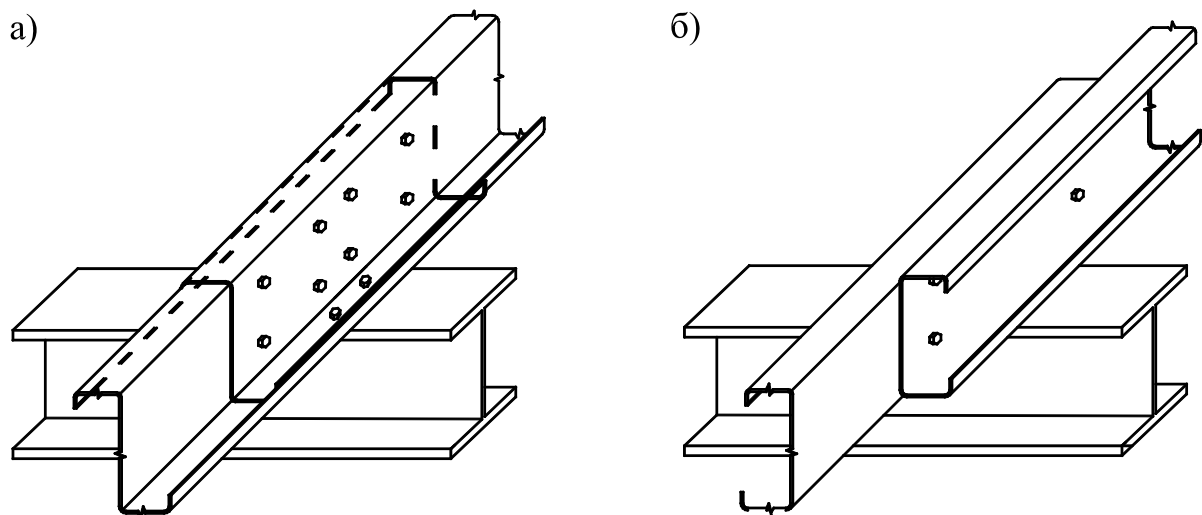


Рис. 2. Нерозрізні прогони покриття:
а) із Z-профілів; б) С-прогони

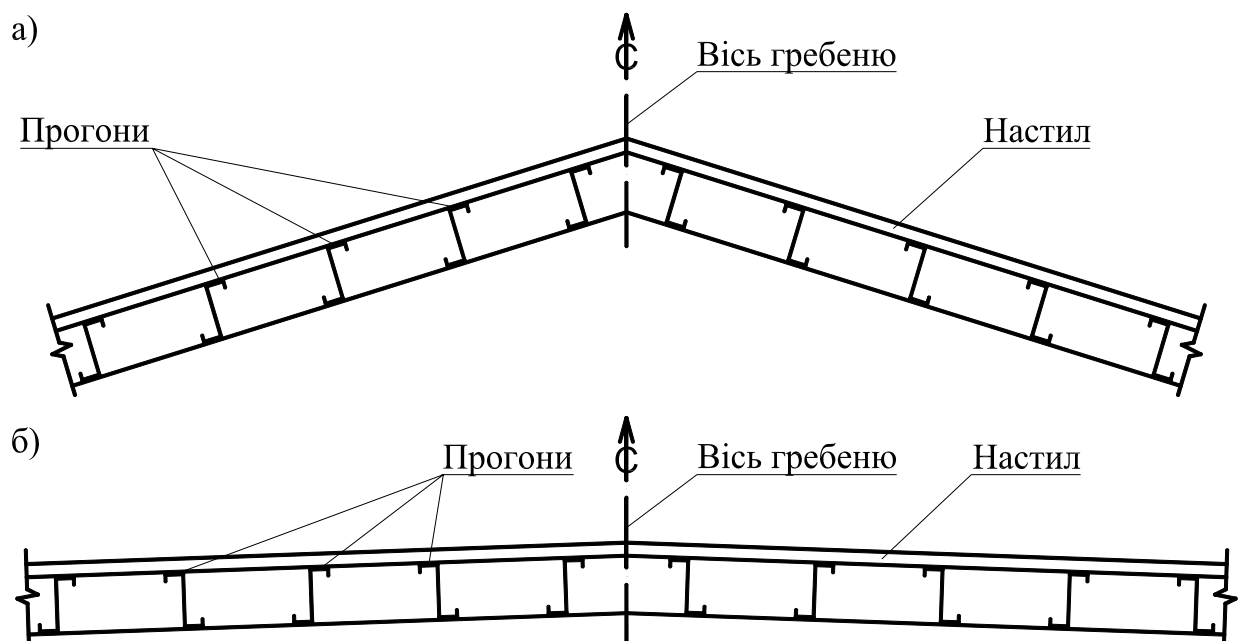


Рис. 3. Схеми розміщення прогонів для покрівель зі значним ухилом (а) та малоуклонних (б)

При проектуванні прогонних систем на основі легких сталевих тонкостінних конструкцій необхідно завжди передбачати *систему в'язей* для забезпечення ефективної роботи холодноформованих елементів.

До основних *функцій в'язевих систем покрівель* належать: забезпечення поперечного розкріплення полички прогону, розкріплення прогону від повороту та сприйняття крутильних навантажень, зменшення поперечних переміщень усього масиву прогонів та настилу.

В якості в'язей прогонних систем можуть використовуватись сталеві профільовані настили або системи із роздільних в'язей: ряди розпірок із С-подібних профілів; сталеві стрічки або кутики, розміщені паралельно або під кутом до площини настилу; сталеві стрічки, що розташовуються під кутом до прогонів у плані.

За умови достатньої жорсткості та якісного кріплення, *профнастили* можуть розкріплювати прогони від втрати стійкості в площині схилу та, частково, від кручення та зміщення масиву прогонів в площині настилу.

Верхня поличка прогону при гравітаційному навантаженні стиснута майже по всій довжині прогону, крім приопорних зон. Можна вважати, що в таких місцях настили, безпосередньо з'єднані з прогоном, забезпечують надійне розкріплення прогону від втрати загальної стійкості. Також профільовані сталеві настили при достатній жорсткості можуть передавати та розподіляти зусилля між суміжними прогонами, забезпечувати сумісну роботу всієї конструкції при переміщеннях в площині настилу та розкріплювати верхню поличку прогону від кручення.

Сумісна робота настилів з прогонами є на сьогодні недостатньо вивченим явищем, особливо для фальцових настилів, які набирають все більшої популярності в будівництві.

Найпростішим вирішенням є використання сталевих *стрічок*, приєднаних гвинтами до поличок профілів, *паралельно площині настилу* (рис. 4, а). Стрічки потрібно туго натягувати при монтажі та перехрещувати через кожні три прогони і біля карнизного й гребеневого прогонів. Використання сталевої стрічки несе в собі небезпеку провисання, неправильного закріплення прогонів при монтажі, та не дає можливості проектувати роботу в'язі на стиск. Тому такий тип в'язей є найменш ефективним, хоча і найбільш розповсюдженим в практиці.

На відміну від стрічки, в'язі у вигляді холодноформованих *кутиків* (рис. 4, б, в) можуть бути з високою точністю нарізані на мірні довжини при виготовленні. Перевагами такого методу є простота та швидкість монтажу, забезпечення точного встановлення прогону в проектне положення.

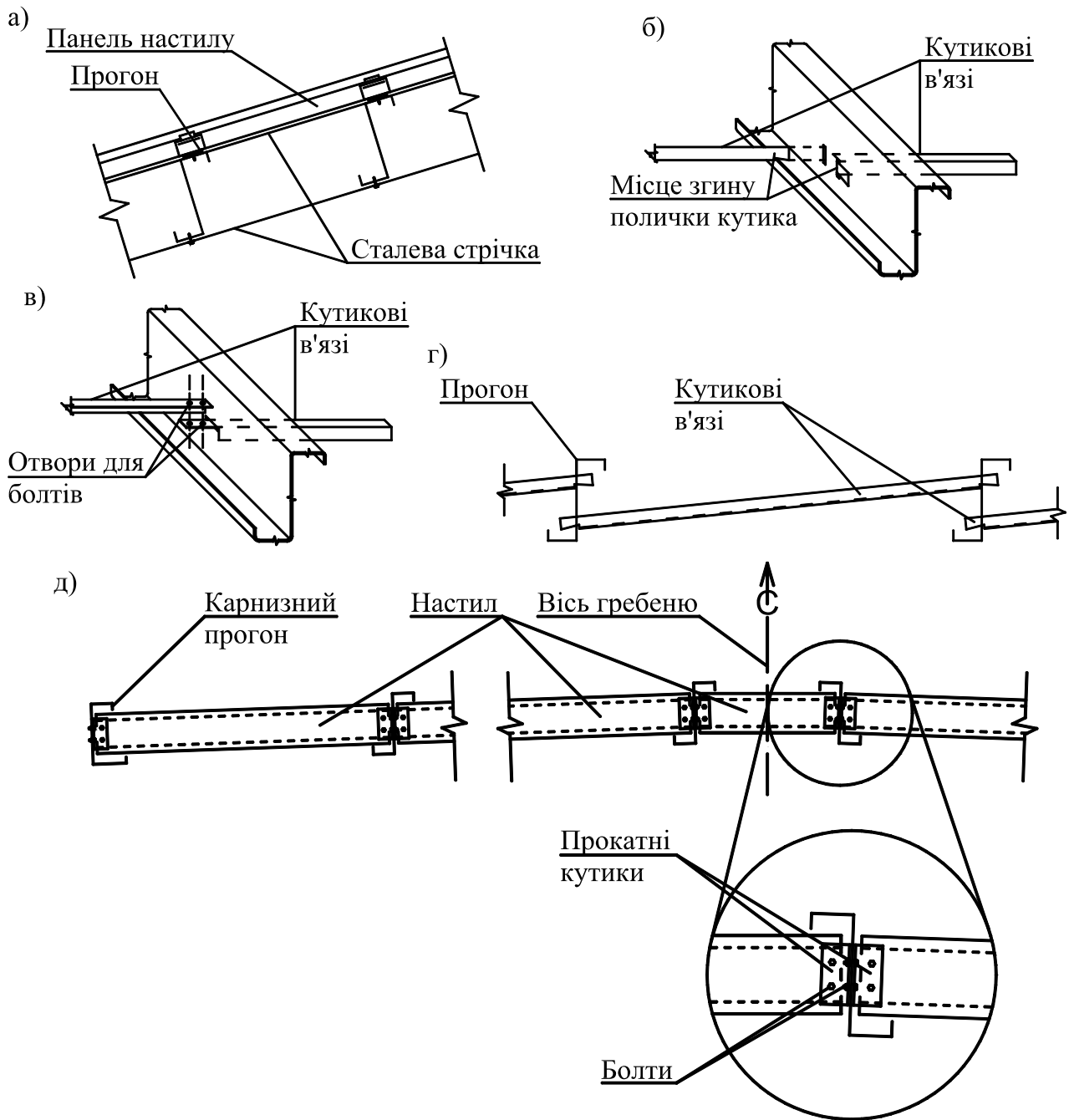


Рис. 4. В'язі по прогонах: а) стрічкові в площині настилу; б) кутикові в площині настилу(просте з'єднання); в) кутикові в площині настилу (болтове з'єднання); г) кутикові діагональні; д) ряди із С-профілів

Недоліками є складність забезпечення необхідної міцності з'єднання в'язі з прогоном та неможливість розташування в'язей на одній прямій для забезпечення передачі зусиль від однієї в'язі до іншої. Через нелінійність розміщення кутиків виникають напруження місцевого згину стінки профілю. Для уникнення їх, кутики можуть з'єднуватись за допомогою болтів чи гвинтів.

Найбільш ефективним вирішенням є застосування нерозрізних кутиків, що проходять над верхньою та під нижньою поличками прогону і з'єднуються з

ними гвинтами. При значній ширині схилів доцільно також перехрещувати кутики аналогічно до стрічкових в'язей.

В'язі, розташовані *під кутом до площини настилу*, або *діагональні* (рис. 4, г), також влаштовуються з холодноформованих сталевих кутиків, які з'єднують верхню полицку кожного прогону із нижньою полицкою наступного. При достатніх характеристиках настилу такі в'язі утворюють низку жорстких трикутників, тому використання їх із фальцовими настилами небажане. Особливості кріплення та недоліки даного типу здебільшого аналогічні до в'язей, паралельних площині настилу.

С-профілі, розміщені перпендикулярно прогонам та з'єднані з ними болтами через кутики (рис. 4, д), є найбільш ефективним та одночасно найдорожчим способом улаштування в'язевої системи.

Разом із вищепереліченими типами, можливо також застосовувати в'язі у вигляді сталевих *стрічок*, розташованих над верхньою та під нижньою полицкою елемента *під кутом до прогонів у плані*. Стрічки з'єднуються із гребневим або рядовим прогоном з одного кінця та ригелем основної несучої рами – з іншої, зварюванням або на болтах, також утворюючи жорсткі трикутники в плані. Кількість діагоналей у кожному прольоті прогонів залежить від кількості рядів в'язей по прогонах.

Серед розглянутих конструктивних вирішень в'язей по прогонах на практиці жодна не забезпечує повного виконання всіх накладених на них функцій. Тому в кожному випадку необхідно підбирати такі типи систем, які найбільше б відповідали конкретним умовам та задачам проектування.

Для забезпечення неможливості кручення профілю елементи в'язей потрібно розташовувати якомога ближче до відповідної полицки профілю. На практиці для полегшення монтажу часто зміщують точку приєднання в'язі ближче до нейтральної осі перерізу прогону. У випадку застосування систем, паралельних настилу, це призводить до часткового виключення в'язі із роботи на розкріплення прогону від кручення.

На гребені кожен ряд в'язей має бути закріплений до С-подібного холодноформованого профілю, прокатного швелера або кутика із високою міцністю та жорсткістю, здатного сприймати зусилля від в'язей з обох схилів.

Біля карнизу кріплення в'язей виконується до карнизного прогону так само як для рядових, або із уведенням додаткової діагональної в'язі.

Кількість рядів в'язей безпосередньо впливає на розрахунок прогонів. Так, наприклад, зі збільшенням довжини нерозкріпленої ділянки профілю необхідно збільшувати переріз елемента для забезпечення його стійкості під навантаженням, та навпаки.

Знаходження оптимальної кількості в'язей для зменшення вартості конструкції можливе шляхом порівняння декількох можливих варіантів, виходячи із досвіду проектувальника.

Відстані між точками розкріплення, не повинні перевищувати значення $\frac{1}{4}$ довжини прогону та 1,5-1,8м.

З'єднання прогонів із ригелями основних рам будівлі відбувається за допомогою зварювання, болтів або спеціальних деталей.

Однією із особливостей легких сталевих тонкостінних конструкцій є висока схильність до зминання стінок елементів. В прогонах зминання стінки профілю найчастіше відбувається на опорах. Для посилення небезпечних перерізів, спирання прогону може відбуватись через несучі опорні елементи.

Однак такі опори не розкріплюють прогін від закручування, а тонкі стінки опорних елементів рідко забезпечують розкріплення профілів від переміщень в площині настилу.

Також, з'єднання прогонів системою стрічок або кутиків не виключає можливості втрати стійкості та закручування групи прогонів разом або до зміщення всієї конструкції по схилу даху під навантаженням.

Для попередження таких деформацій використовуються спеціальні фіксатори кручення (рис. 5). Такі деталі можуть мати ребра жорсткості, які сприймають поперечні зусилля від прогону та передають їх на ригель рами.

Можливо застосовувати фіксатори через декілька прогонів при використанні сталевих профільованих настилів, які можуть забезпечити розподілення поперечних зусиль від фіксованого прогону до інших в межах його секції.

Висновки. Холодноформовані прогони покриття можуть застосовуватись за розрізною або нерозрізною схемами. Для забезпечення нормальної роботи конструкції потрібно передбачати влаштування в'язевої системи для запобігання переміщень в площині настилу, страти стійкості та закручування прогонів. В'язями можуть виступати сталеві профільовані настили, системи зі сталевих стрічок або холодноформованих кутиків.

Недостатньо вивченими питаннями при конструюванні прогонних систем, які суттєво впливають на роботу конструкції та можуть призводити до відмов, на сьогодні залишаються: оптимальна кількість в'язей, яку необхідно накладати на прогони покриття для забезпечення їх роботи; врахування сумісної роботи прогонів з настилом, особливо з фальцовим; довжина заведення профілів за опору для забезпечення нерозрізності прогону; мало вивченими є особливості роботи холодноформованих конструкцій покриття при нерівномірному їх завантаженні.

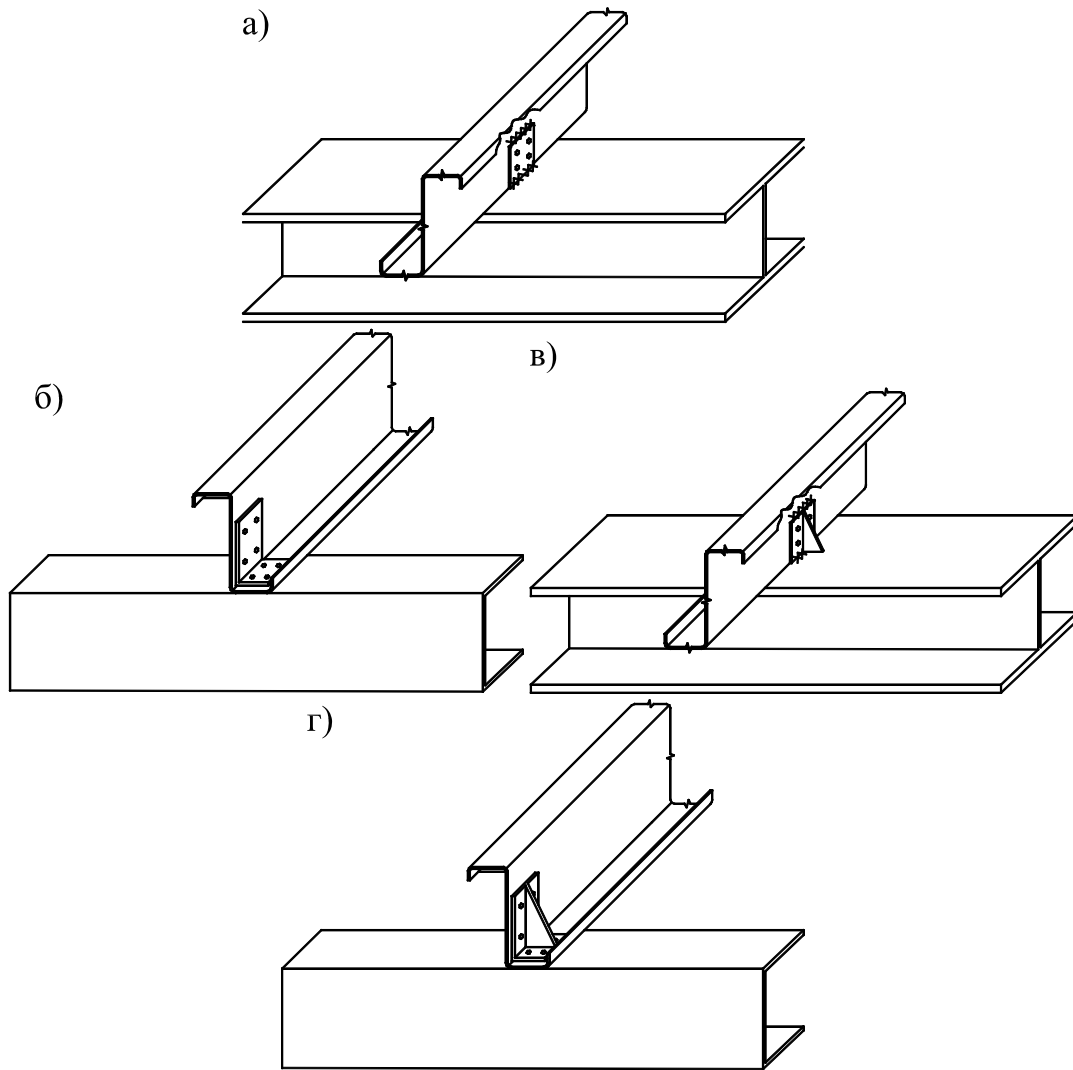


Рис. 5. Приклади опорних деталей прогонів: а) без ребер жорсткості; б) із ребрами жорсткості

Література

1. Астахов И. В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутох профилей: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.01 / И. В. Астахов. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2006. – 24 с.
2. ДСТУ – Н Б В.2.6-87-2009. Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів. –К.: НДІБК, 2009. – 55с.
3. Назмеева Т. В. Обеспечение пространственной жесткости покрытия в зданиях из ЛСТК / Т. В. Назмеева // Инженерно- строительный журнал. – СПб : СПбГАСУ, 2009. – №6. – С. 12 – 15.
4. Рекомендации по проектированию изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутох

стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балт-Профиль». – М.: ЦНИИПСК, 2006. – 69с.

5. AISI S100-2007. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. – Washington : American Iron and Steel Institute, 2007. - 198 p.

6. Dubina D. Behaviour of multi-span cold-formed Z-purlins with bolted lapped connections / D. Dubina, V. Ungureanu // Thin-Walled structures. — 2010. — №48. — P. 866 — 871.

7. EN 1993-1-3:2004. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels : CEN, 2004. – 125 p.

8. Katnam K. B. A theoretical numerical study of the rotational restraint in cold-formed steel single skin purlin-sheeting systems / K. B. Katnam, R. Van Impe, G. Lagae, M. De Strycker // Computers and structures. — 2007. — №85. — P. 1185 — 1193.

9. Li L. Lateral-torsional buckling of cold-formed zed-purlins partial-laterally restrained by metal sheeting / L. Li // Thin-Walled structures. — 2004. — №42. — P. 995 — 1011.

10. Newman A. Metal Building Systems Design and Specifications, 2nd edition / A. Newman. – New York : McGraw-Hill, 2003. – 576 p.

11. Sputo T. Bracing cold-formed steel structures : a design guide / T. Sputo, J. L. Turner. – Reston : American Society of Civil Engineers, 2006. – 146 p.

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос выбора конструктивных схем прогонов покрытий, описаны основные типы связей и опорных узлов прогонных систем.

Annotation

In paper roof purlins construction arrangement is considered, main types of bracing and supporting details are described.