

УДК 624.074.5

**КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ ВУЗЛІВ СЕРЕДИННОЇ ПОВЕРХНІ
МЕТАЛЕВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОДНОСІТЧАСТИХ ПОКРИТТІВ**

**КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ УЗЛОВ СРЕДИННОЙ
ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ
ОДНОСЕТЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ**

**STRUCTURAL DECISION OF KNOTS OF MIDDLE SURFACE OF
METALLIC CYLINDRICAL ONE RETICULATED COVERINGS**

Сіянов О.І., к.т.н., доцент (Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця)

Сиянов А.И., к.т.н., доцент (Винницкий национальный технический
университет, г. Винница)

Siyanov O.I., candidate of technical sciences, associate professor (Vinnytsya
National Technical University, Vinnytsya)

Запропоновано конструктивне рішення вузла серединної поверхні металевих циліндричних односітчастих покриттів. Обґрунтовано необхідність проведення комп'ютерного і фізичного моделювання розробленого вузлового з'єднання. Створено методику конструювання вузла за умови введення підкріплювальних елементів.

Предложено конструктивное решение узла срединной поверхности металлических цилиндрических односетчатых покрытий. Обоснована необходимость проведения компьютерного и физического моделирования разработанного узлового соединения. Создана методика конструирования узла при условии введения подкрепляющих элементов.

Structural solution of knot of middle surface of metallic cylindrical one reticulated coverings is offered. The necessity of realization of computer and physical design of the worked out knot connection is reasonable. The algorithm of constructing of knot is created on condition of introduction of the special supporting elements.

Ключові слова:

Вузол, з'єднання, покриття, поверхня, конструкція, конструювання.

Узел, соединение, покрытие, поверхность, конструкция, конструирование.

Knot, connection, covering, surface, construction, constructing.

Формулювання проблеми. Незважаючи на наявну кількість публікацій [1–5] по металевим циліндричним односітчастим покриттям, застосованим для об'єктів широкого призначення, питання розробки ефективних вузлових з'єднань поки ще залишається практично не вирішеним. Невизначеність щодо прийняття уніфікованого рішення вузлів викликана багатьма факторами, у тому числі різними габаритними розмірами конструкції. В значній мірі від величини площі, що перекривається залежить порядок компонування вузлового з'єднання. Вказане питання набуває особливого значення при збільшенні ширини покриття, що визначає зміну решта геометричних параметрів.

Стан досліджень і аналіз публікацій. Нині існують тільки пропозиції і не має конкретних даних про детальну розробку вузлових з'єднань.

Такий стан справ викликає занепокоєння, адже розрахунками доведена можливість використання конструкцій покриттів більших розмірів, ніж вказано у попередніх роботах [1, 2, 4]. В результаті постає задача раціонального вирішення вузлових з'єднань з орієнтацією на значне збільшення габаритних параметрів покриття.

Необхідність ґрунтовної розробки конструктивних рішень вузлів металевих циліндричних односітчастих покриттів диктується у першу чергу не повним використанням ресурсу конструкції з шириною 24 м, адже, одним з вагомих факторів, який обмежує використання покриття являється недосконале рішення вузлів. У даному випадку слід переглянути наявні моделі вузлових з'єднань і на підставі них запропонувати нові прийнятні варіанти.

Якщо здійснити докладний огляд літературних джерел [3–5], в яких наведено комплекс вузлових з'єднань, то можна побачити, що найбільш повно розроблені вузли для просторових структурних конструкцій, які можуть мати надзвичайно різноманітну форму, у тому числі і циліндричну. Проте, односітчастий варіант конструкції характеризується розробками вузлових з'єднань в основному на рівні раціоналізаторських пропозицій, авторських свідоцтв чи патентів, які на жаль не отримали належного практичного використання.

Здійснюючи аналіз існуючих варіантів відомих вузлів, можна зазначити, що кожне конструктивне рішення є неповторним з окремими вузловими елементами різного профілю, що розроблене з єдиною метою, яка полягає в забезпеченні необхідної жорсткості конструкції у напрямку нормалі до поверхні покриття, оскільки недостатнє затиснення елементів у вузлах може стати причиною великого деформування конструкції, або навіть призвести до механізму – геометричної змінності системи в цілому. Тому, слід уважно поставитись до характеру роботи покриття, а разом з тим і до конструювання реальних вузлових з'єднань, які мають забезпечувати працездатний стан прийнятого конструктивного рішення.

Найбільш поширеними видами вузлових з'єднань, які використовується для такого роду покриттів являються розробки як ближнього, так і дальнього зарубіжжя. Однак, найбільшій уваги заслуговують вузли, конструктивні

рішення яких отримали масове визнання придатності в просторових покриттях, що викликано їх широкою сферою використання за різною кількістю елементів, кутів нахилу стержнів до горизонту і один до одного, можливістю швидкого складання елементів в єдине ціле та мінімальним числом вузлових деталей. Деякий перелік вузлів, розроблених до нині провідними фірмами різних країн світу розміщено в таблиці 1.

Таблиця 1

Вузли просторових покриттів

Країна	З'єднання		Фірма-виробник	Максимально можливе число приєднань стержнів у вузлі	Маса вузлів, (% від маси несуч. констр.)
	система	вид			
Росія	“ЦНИИСК”	Зварюв.	ЦНИИСК	9	1,5...2
Німеччина	“ІФІ”	Болтове	Руланд	8	15...20
	“Октаплатте”	Зварюв.	Маннесман	9	
	“Вупперман”	Болтове	Шульц	6	
Канада	“Тріодетик”	Болтове	Фентімен	6	
Франція	“SDC”	Зварюв.	–	6	

Аналізуючи наведені вузли, можна зауважити, що поряд з болтовими, мають місце і зварні з'єднання. Доцільнішими, однак, виступають болтові, оскільки вони дозволяють в найкоротші терміни виконати складання покриття і прискорити процес монтажу. Характерними прикладами вузлів на болтах є з'єднання “ІФІ” та “Тріодетик”, де в місцях прилягання до фасонних деталей кінці труб сплющують і обрізують під необхідним кутом. Болт, який вводиться в центр вузла виконує в основному фіксуючу функцію, стягуючи вузол [2, 3–8].

З'єднання елементів за допомогою зварювання дещо сприяє затягуванню термінів монтажу. Такий підхід виправдовує себе лише при збільшенні розмірів покриття, особливо у поперечному напрямку. Тут в нагоді можуть стати зварні з'єднання трубчастих елементів “ЦНИИСК” та “Октаплатте” [3–8]. Обидва вони є раціональними вузловими з'єднаннями завдяки малій кількості введених деталей. Але, порівняно з вузлом “Октаплатте”, а також з іншими варіантами вузлів, комплекс “ЦНИИСК” вважається найлегшим, оскільки для з'єднання його стержнів необхідні спеціальні кондуктори. Процес утворення вузла виконується поетапно. Кінці труб сплющують і в розкосах зрізують під необхідним кутом, стержні з'єднують так, щоб створився зазор біля 3 см. Вузол закріплюється в кондукторі, підводиться мідна прокладка і зазор заповнюється плавким металом. Результати випробувань підтвердили високу якість з'єднання даного типу [6–8].

Розглянуті варіанти вузлів добре зарекомендували себе на практиці шляхом використання в багатьох просторових конструкціях різних форм і призначень

[1–8]. Деякі з описаних варіантів вузлів з певною модифікацією можуть бути запропоновані для металевих циліндричних односітчастих покриттів. Необхідно тільки змоделювати такі вузли з використанням програмного забезпечення [9–12], отримати фізичний прототип і поширити з'єднання на поверхні покриття з подальшим розрахунком на дію прикладеного експлуатаційного навантаження. Крім того, значну допомогу у встановленні працездатності вказаних вузлів можна отримати шляхом виготовлення експериментальних моделей покриття з вказаними різновидами вузлів для проведення необхідної кількості серійних випробовувань конструкцій.

Попередні розрахунки покриттів з існуючими розробками вузлових з'єднань на даний час вже проведені за допомогою багатофункціональних модулів програмних продуктів [10]. За результатами виконаних розрахунків виявлена неможливість покриття чинити опір діючому навантаженню з шириною понад 24 м.

Виділення невирішених раніше питань. Поступове збільшення габаритних розмірів, а особливо ширини покриття до 30 м негативно впливає на його експлуатаційні якості, що потребує використання підкріплювальних елементів або збільшення стріли підйому чи площі поперечних перерізів стержнів. Зрозуміло два останніх варіанти не заслуговують на увагу, оскільки потребують або додаткових витрат тепла на обігрів приміщення або використання важких товстостінних стержнів, що призводить до значного збільшення маси конструкції. Залишається перший варіант, який дозволяє забезпечити необхідну працездатність покриття шляхом використання підкріплювальних елементів і створення відповідних вузлових з'єднань.

Мета і задачі роботи. Включення в систему додаткових елементів вимагає аналізу існуючих конструктивних рішень вузлів і потребує пошуку нових раціональних форм вузлових з'єднань. Найбільша кількість вузлів в покритті відноситься до серединної поверхні. Тому в даній роботі у зв'язку з необхідністю збільшення ширини покриття ставиться мета запропонувати вузлове з'єднання, яке враховує присутність необхідних підкріплювальних елементів. Задачами роботи є: 1) виявлення наявних вузлів і вибір базового вузла для розробки; 2) конструювання вузлового з'єднання, в якому передбачено розташування підкріплювальних елементів; 3) формування залежностей між геометричними параметрами вузла і надання конкретних рекомендацій щодо його можливого використання.

Методика розв'язання проблеми. Раціональною конструкцію, що розглядається, будемо вважати таку, яка має симетричну форму розташування елементів у напрямку довжини і ширини покриття. Вказану умову розповсюдимо на сітчасту поверхню з чарунками, які утворюються шляхом перетину поздовжніх і поперечних ребер з одиночними діагональними елементами. Результати проведених раніше досліджень [7, 8] свідчать про те, що розкоси, які входять до складу граней покриття або окремих ферм, що набираються уздовж твірної циліндра, повинні бути

низхідними, оскільки саме такий варіант решітки граней є маловитратним, а значить і економічним.

Для розробки вузлового з'єднання конструкції покриття потрібно проаналізувати місця розташування елементів, які сходяться у вузлі з деталями, що виконують поєднану функцію. Важливою вимогою, якої обов'язково потрібно дотримуватись під час роботи над створенням раціонального варіанта вузлового з'єднання є одночасне забезпечення мінімальної кількості профілів з наданням максимальної простоти їх форми.

Потрібна якість вузла визначається конструктивними факторами, комплексне урахування яких дозволяє отримати надійний експлуатаційний варіант. Головним показником тут виступають задані параметри жорсткості.

Не виправдане відхилення в системі вузлового з'єднання може спричинити велике деформування середньої поверхні, що призведе до неминучого вичерпання несучої здатності конструкції.

Відмічена обставина вимагає негайного проведення комплексу заходів, спрямованих на удосконалення покриття, що безумовно потребує кількісних і якісних змін самої форми конструкції та, обов'язково, місць вузлових з'єднань.

Конфігурацію сітчастої поверхні змінювати не доцільно, що доведено попередніми дослідженнями [8], однак введення додаткових елементів, які позитивно вплинуть на поведінку покриття, являється логічним і виправданим кроком.

В кількох роботах [5, 13] детально розписано про застосування елементів, здатних істотно підкріпити конструкцію покриття завдяки підпружним діафрагмам і розтяжкам. Сформуємо вузол з'єднання елементів для таких покриттів.

Конструювання вузла. За основу приймемо розроблене і досить поширене конструктивне рішення вузла типу ІФІ (Німеччина), що характеризується зручністю з'єднання стержнів і наявністю бази для поєднань конструктивних елементів та розтяжок. Основними складовими зазначеного вузла є підпружні діафрагми і зовнішні розтяжки (рис. 1). Причому натяг розтяжок потребує перевірки доцільності їх комплексного використання у вузлі шляхом проведення комп'ютерного і фізичного моделювання. Такий вузол в розібраному вигляді наведено на рис. 2. Деталі вузла прості у виготовленні і складанні. Даний вузол доцільний для покриттів шириною 24...30 м і може окремими поєднаними елементами виготовлятися на заводах металевих конструкцій, де до дисків приварюються трубчасті елементи – відрізки труби відповідно для зовнішньої і внутрішньої розтяжок.

Для забезпечення сумісності роботи конструкції, підпружної діафрагми і зовнішньої розтяжки, відрізки труб пропонується виконувати у зігнутому вигляді за напрямком кривизни покриття. Запропонований вузол сприяє точному розташуванню зовнішньої і внутрішньої розтяжок уздовж кривизни покриття завдяки системі направляючих у вигляді труб, що дозволяє значно підвищити ефективність експлуатації конструкції.

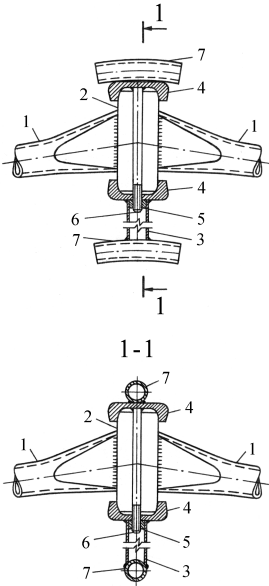


Рис. 1. Схема вузла покриття: 1 – стержні; 2 – наконечники; 3 – оболонка; 4 – диски; 5 – гайка; 6 – болт; 7 – відрізки труби

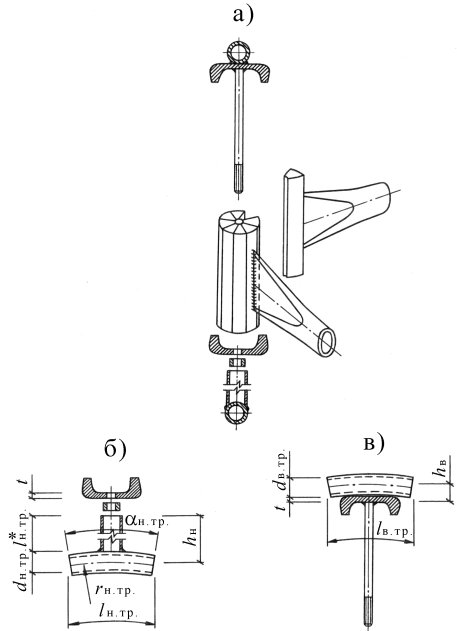


Рис. 2. Вузол покриття в розібраному вигляді з наведеними геометричними параметрами складових його елементів

Відстань від низу вузла до центру внутрішньої розтяжки конструктивно змінюється і залежить від кривизни покриття, а відстань від центру зовнішньої розтяжки до верху вузла залишається незмінною

$$h_a = d_{a,\delta\delta} / 2 + t, \quad (1)$$

де $d_{a,\delta\delta}$ – діаметр відрізка верхньої труби;

t – товщина диска вузла ІФІ.

Довжина відрізка труби нижньої частини вузла визначається за формулою:

$$l_{i,\delta\delta} = \sqrt{l_{i,mp}^{*2} + \frac{16}{3} d_{i,mp}^2}, \quad (2)$$

де $l_{i,mp}^{*2}$ – довжина оболонки, яка приєднана до нижньої труби

$$l_{i,mp}^{*2} = 2r_{i,mp} \sin \frac{\alpha_{mp}}{2}; \quad (3)$$

$d_{i.mpr.}$ – діаметр відрізка нижньої труби;

$r_{i.mpr.}$ – радіус кривизни відрізка нижньої труби;

$\alpha_{mpr.}$ – кут описаного кола відрізка нижньої і верхньої труби

($\alpha_{mpr.} = \alpha/300$);

α – кут описаного кола покриття.

Висновки. За результатами виконаного аналізу відомих і апробованих на практиці вузлових з'єднань просторових стержневих конструкцій створено методику конструювання вузла серединної поверхні металевих циліндричних односітчастих покриттів. Конструктивне рішення розробленого вузла орієнтовано на покриття з підпружними діафрагмами шириною 24...30 м. Вузол утворено з простих деталей, повне виготовлення яких здійснюється в заводських умовах. Структура вузла характеризується зручністю з'єднання стержнів і наявністю бази для поєднань конструктивних елементів. Дане рішення вузла знаходиться на рівні розробки і потребує перевірки доцільності використання комплексу розтяжок шляхом проведення комп'ютерного та фізичного моделювання. Можливо подальше уточнення конструкції вузла і його геометричних параметрів.

1. Таиров В. Д. Сетчатые пространственные конструкции / В. Д. Таиров. – К. : Будівельник, 1966. – 73 с.
2. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции : пер. с немецк. / О. Патцельт. – М. : ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. – 95 с.
3. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа – сетчатых оболочек [сост. Л. Лубо, науч. ред. С. Верижников, ред. Э. Любченко] / ЛенЗНИИЭП. – Л., 1971. – 63 с.
4. Рюле Г. Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения : пер. с немецк. / Г. Рюле. – М. : Стройиздат, 1974. – Том 2. – 247 с.
5. Трушев А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пособие для вузов / А. Г. Трушев. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с.
6. Свердлов В. Д. Металеві циліндричні стержневі покриття : монографія / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. – 134 с.
7. Сіянов Олександр Ілліч. Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Сіянов Олександр Ілліч. – Київ, 2002. – 200 с. – Бібліогр. : с. 181–194.
8. Сіянов О. І. Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок : монографія / О. І. Сіянов. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 140 с.
9. Вычислительный комплекс SCAD / [В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко и др.]. – М. : Издательство «СКАД СОФТ», 2009. – 656 с.
10. ЛИРА 9.2. Примеры расчета и проектирования : учеб. пособие / [М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский, Д. В. Марченко, В. П. Титок]. – К. : Изд-во «Факт», 2005. – 106 с.
11. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for Windows / Д. Г. Шимкович. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 704 с.
12. Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
13. Сіянов О. І. Аналіз конструктивних рішень металевих одношарових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наукових праць. – Рівне : НУВГП, 2004. – Вип. 11. – С. 279–282.