

Стороженко Л.І., д.т.н., професор

Гасій Г.М., к.т.н., доцент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПОВНОРОЗМІРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА СТРУКТУРНО-ВАНТОВОГО СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

Розглянуто новий вид просторового покриття, необхідність у розробленні якого спричинена сучасними тенденціями зростання потреб будівництва і розвитку будівельних конструкцій, будова яких забезпечує економічний ефект за рахунок раціонального використання матеріалів. Ідеться про експериментальний зразок структурно-вантового сталезалізобетонного покриття прольотом 8,6 м, яке включає в себе просторову решітку, верхній і нижній пояси та складається із семи окремих елементів, що мають розміри в плані 1,25 × 1,25 м і висоту 0,57 м, до того ж як верхній пояс використовується залізобетонна плита товщиною 6 см, нижній пояс – сталевий канат діаметром 16 мм. Встановлено, що застосування залізобетонної плити як стиснутого елемента верхнього пояса дає змогу зменшити загальні витрати сталі та відмовитися від трудомістких покрівельних робіт, оскільки суцільна плита виконує, крім несучої, ще й огорожувальну функцію.

Ключові слова: сталезалізобетон, плита, структура, ванта, болт.

Стороженко Л.И., д.т.н., профессор

Гасий Г.М., к.т.н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА СТРУКТУРНО-ВАНТОВОГО СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Рассмотрен новый вид пространственного покрытия, необходимость в разработке которого вызвана современными тенденциями роста потребностей строительства и развития строительных конструкций, строение которых обеспечивает экономический эффект за счет рационального использования материалов. Речь идет об экспериментальном образце структурно-вантового сталезалізобетонного покрытия пролетом 8,6 м, которое включает в себя пространственную решетку, верхний и нижний пояса и состоит из семи отдельных элементов, имеющих размеры в плане 1,25 × 1,25 м и высоту 0,57 м, к тому же в качестве верхнего пояса используется железобетонная плита толщиной 6 см, нижнего пояса – стальной канат диаметром 16 мм. Установлено, что применение железобетонной плиты в виде сжатого элемента верхнего пояса позволяет уменьшить общие расходы стали и отказаться от трудоемких кровельных работ, поскольку сплошная плита выполняет, кроме несущей, еще и ограждающую функцию.

Ключевые слова: сталезалізобетон, плита, структура, ванта, болт.

THE FEATURES OF STRUCTURAL CONCEPT AND DESIGNING OF THE FULL-LENGTH EXPERIMENTAL MODULE OF THE COMPOSITE STEEL AND CONCRETE GRID-CABLE ROOF

The modern conditions in the construction industry have caused the implementation of new designs, composition of which provides economic benefit through the efficient use of materials. It is about the experimental model of the composite steel and concrete grid-cable roof. The model has a span 8.6 m and includes a lattice, the top and bottom belts. It consists from seven modules with dimensions of $1,25 \times 1,25$ m and a height of 0,57 m. The effect of material savings achieved through reinforced concrete slab, which has thickness of 6 cm and used as the top belt, steel rope that has diameter of 16 mm and used as the bottom belt. In addition, when use the reinforced concrete slab as compressed element of the top belt then it makes possible to reduce the overall consumption of steel and abandon from labor-intensive and expensive roofing works, because the concrete slab is a bearing and covering construction. Review of recent researches and publications has showed that the composite steel and concrete is a material that has a wide field for using in various sectors of construction. No exception is the roof structure for industrial and public buildings and large-span structures. The main part of researches has been devoted to the study of stress-strain state of individual elements or roof small-scale samples. The analysis of previous works has showed that full-size composite steel and concrete grid-cable roof samples has not been studied, so development drawings of specimens and experimental research methods is an urgent problem. Using the results of previous studies were developed prototype drawings of roof and prepared the basic provisions of the method of experimental research of stress-strain state of the design. Before developing drawings of the composite steel and concrete grid-cable roof had been reviewed all kinds of roofs shapes, then was adopted the structural concept, which best showing the nature and the features of the developed constructions. This is part of the composite steel and concrete grid-cable roof, which has a segmental form. Boom arched of the construction is equal to 0,56 m. Curve of the roof was achieved by the difference of length top and bottom belts. As stated earlier top belt of roof is made as a concrete slab that is reinforced with grids from rebars class A-3. The rods of the steel lattice are made from steel tubes, which have an outer diameter of 57 mm and an internal diameter of 50 mm. All steel components of the composite steel and concrete grid-cable roof, such as tubular steel rods of lattice and steel plates of nodes are connected by welding. The full-length experimental sample of the composite steel and concrete grid-cable roof consists from two edge modules and five span modules. The difference between the edge and span modules is in the connection nodes. Connecting the edge and span modules to each other is performed using high strength bolts with a diameter of 24 mm. The edge module's weight without weight of concrete is 44,6 kg, the span module's weight without weight of concrete is 38,58 kg, the mass part of the bottom belt is 4,1 kg, so the total weight of constructions without weight of concrete is 335 kg, and with concrete and reinforcement 1,8 tons. This mass is less than the mass of counterparts with the same span. Have made the experimental program for the further researches of the roof. The program includes tests of the roof construction on nodal loads. Experimental module is going to be loaded with special metal weights. Deformations are going to be recorded using photogrammetric method.

Keywords: composite steel and concrete, slab, lattice, cable, bolt.

Вступ. Розвиток будівельної галузі потребує змін та впровадження новітніх конструкцій. Обов'язковою умовою успішної реалізації проектних рішень у практику будівництва є їх експериментальне дослідження й відповідність потребам сьогодення: економічність та індустріальність. Такою конструкцією, яка повною мірою задовольняє зазначені вимоги, є структурно-вантове сталезалізобетонне покриття – просторова площинно-стрижнева система з принципово новим конструктивним рішенням. Оригінальність такого рішення полягає у поєднанні в одній конструкції різних елементів, ефективність застосування котрих визначається умовами їх роботи, зокрема розташуванням у тій зоні дії внутрішніх зусиль, на які вони працюють краще. Досліджуване покриття складається із трьох конструктивних елементів – просторова решітка, верхній та нижній пояси, при цьому як верхній пояс застосовують залізобетонну плиту, нижній пояс – сталевий канат, а решітку виготовляють зі сталевих труб. Слід зазначити, що верхній пояс виконує роль несучої та огорожувальної конструкції. Таке рішення дозволяє отримати економічний ефект за рахунок раціонального використання матеріалів та поліфункціональності елементів.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій показав, що сталезалізобетон – це матеріал, який вивчається в усьому світі й широко застосовується в різних галузях будівництва [1, 2]. Значна частина праць присвячена удосконаленню існуючих [3, 4] і пошуку нових конструкцій [5, 6] та визначенню їх несучої здатності [7, 8]. Не винятком є конструкції покриття й перекриття промислових та громадських великопрогінних будівель і споруд [9, 10]. Ґрунтовно вивчаються засоби армування і забезпечення сумісної роботи елементів покриття, балкові, часторебристі й просторові конструкції [11, 12]. Серед низки праць є дослідження, направлені на вивчення структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів, основну частину котрих присвячено вивченню напружено-деформованого стану окремих елементів покриття або їх маломасштабних зразків та макетів [13].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. З аналізу попередніх праць видно, що повнорозмірні зразки структурно-вантового сталезалізобетонного покриття не вивчалися, тому, беручи до уваги важливість експериментального підтвердження ефективності розроблення для подальшого дослідження, підготовка креслень прототипу структурно-вантового сталезалізобетонного покриття з метою його виготовлення та випробовування є актуальним питанням.

Постановка завдання. Завдання полягає в тому, щоб, використовуючи результати попередніх досліджень з урахуванням особливостей конструктивного рішення та технологій виготовлення й монтажу, розробити креслення та специфікації елементів експериментального зразка структурно-вантового сталезалізобетонного покриття й виділити основні положення, необхідні для складання методики експериментального дослідження напружено-деформованого стану конструкції.

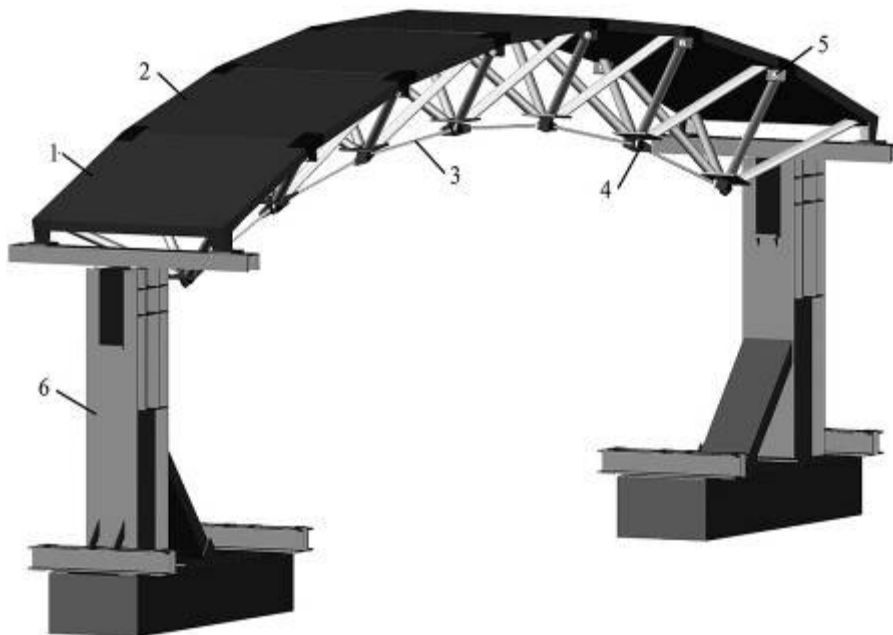
Основний матеріал і результати. Структурно-вантове сталезалізобетонне покриття є композитним та, як зазначалося раніше, складається із трьох різних елементів: залізобетонної плити, просторової структурної сталеві решітки й нижнього пояса з вантів.

В основі базових положень проектування структурно-вантового сталезалізобетонного покриття лежать результати раніше проведених теоретичних, експериментальних і чисельних досліджень, які були присвячені обґрунтуванню ефективності конструктивного рішення, вивченню способів забезпечення сумісної роботи сталі з бетоном та площинних елементів зі стрижнями, вивченню напружено-деформованого стану окремих елементів і характеру роботи макетів при різних способах завантаження [14]. Структурно-вантове сталезалізобетонне покриття має багато різних форм [15], але

найбільш характерним та цікавим представником таких конструкцій є покриття позитивної кривизни. При проектуванні структурно-вантового сталезалізобетонного покриття циліндричної, сегментної або аркової форми й прийнятті розмірів окремих елементів необхідно дотримуватися певних рекомендацій, виконання яких виключає ймовірність появи зусиль стиску в елементах нижнього пояса. Дотримання цих рекомендацій є обов'язковим, оскільки поява зусиль стиску в елементах нижнього пояса призведе до втрати несучої здатності всієї конструкції. З урахуванням особливостей роботи нижнього пояса були проведені чисельні розрахунки оптимальних геометричних параметрів структурно-вантового сталезалізобетонного покриття, у результаті чого отримано співвідношення прольоту до стріли підйому покриття, які виключають ймовірність появи зусиль стиску в елементах нижнього пояса [16].

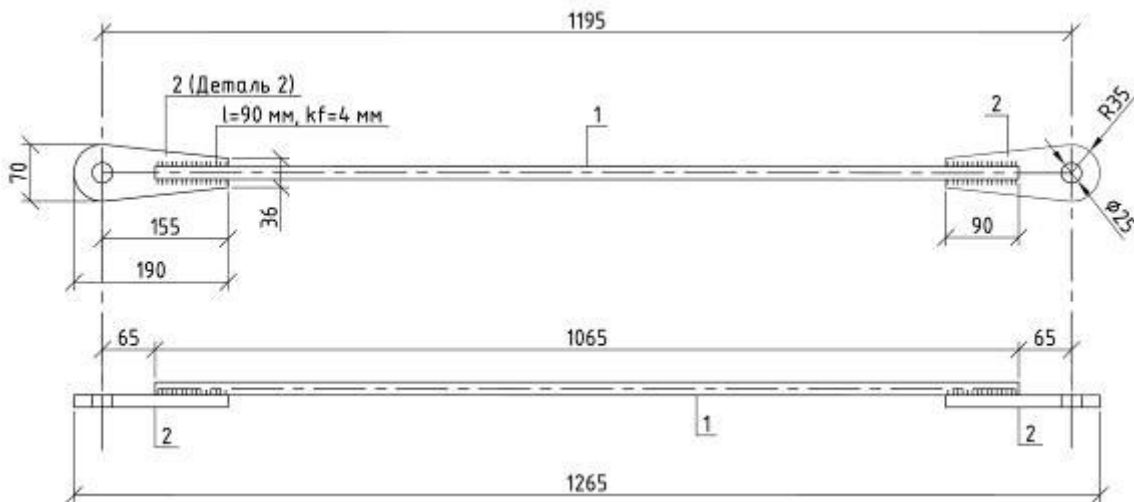
Отже, для проектування повнорозмірного експериментального структурно-вантового сталезалізобетонного зразка прийнято збірне покриття сегментної форми. Керуючись результатами [14, 16], прийнято пропорції покриття й основні геометричні параметри: проліт L і стріла підйому f . Досліджуване сегментне покриття (рис. 1) складається із шести елементів нижнього пояса (рис. 2) та семи просторових стрижнево-площинних модулів: двох крайніх (рис. 3) і п'яти пролітних (рис. 4). Розміри й кількість модулів закладалися такими, щоб отримати цілісну конструкцію покриття з необхідними прольотом та стрілою підйому. При цьому надання необхідного вигину покриттю досягалося шляхом варіювання довжини елементів нижнього пояса. У попередні розрахунки було поставлено за мету отримати покриття з прольотом у межах 8 – 10 м і стрілою підйому, не меншою ніж 0,5 м. Далі було визначено внутрішні зусилля, здійснено підбір поперечних перерізів та прийнято схему армування верхнього пояса.

У результаті розрахунку було отримано остаточні розміри конструкції: проліт покриття склав 8,6 м, стріла підйому – 0,56 м.



**Рисунок 1 – Структурно-вантове сталезалізобетонне покриття:
1 – крайній просторовий модуль; 2 – пролітний просторовий модуль;
3 – ванта (нижній пояс); 4 – болтове з'єднання елементів нижнього пояса;
5 – болтове з'єднання елементів верхнього пояса; 6 – опора**

Для надання покриттю визначеного прольоту було розраховано довжину одного елемента нижнього пояса з урахуванням його будови. Елемент нижнього пояса складається із трьох частин: двох пластин товщиною 15 мм з отвором під високоміцний болт М24 та гнучкої частини довжиною 1056 мм. Таким чином, загальна довжина одного елемента нижнього пояса склала 1195 мм. З'єднання пластин із гнучкою частиною виконується зварюванням. Особливістю нижнього пояса є те, що його гнучка частина виконана зі сталевго суцільного стрижня діаметром 16 мм. Крім цього, у зібраній конструкції покриття елементи нижнього пояса знаходяться у дзеркальному положенні один до одного відносно поздовжньої осі, – так забезпечується співвісність усіх елементів конструкції.



**Рисунок 2 – Елемент нижнього пояса структурно-вантового сталезалізобетонного покриття:
1 – гнучкий стрижень; 2 – стальва деталь**

Специфікація елементів нижнього пояса наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Специфікація елементів нижнього пояса структурно-вантового сталезалізобетонного покриття

Номер деталі	Переріз	Довжина, мм	Кількість	Маса, кг		
				Деталі	Усіх	Разом
1	●16	1065	1	1,68	1,68	4,10
2	—50×15	190	2	1,19	2,38	
1% на зварні шви					0,04	

Отже, загальні витрати сталі на виготовлення шести елементів нижнього пояса складають $4,10 \times 6 = 24,60$ кг.

Стрижнево-площинні модулі структурно-вантового сталезалізобетонного покриття являють собою наскрізні елементи пірамідальної форми. Основа модуля виконана із залізобетонної плити, армованої двома сітками стрижневої арматури.

Специфікації елементів крайнього та прольотного модулів наведені у таблицях 2 і 3 відповідно.

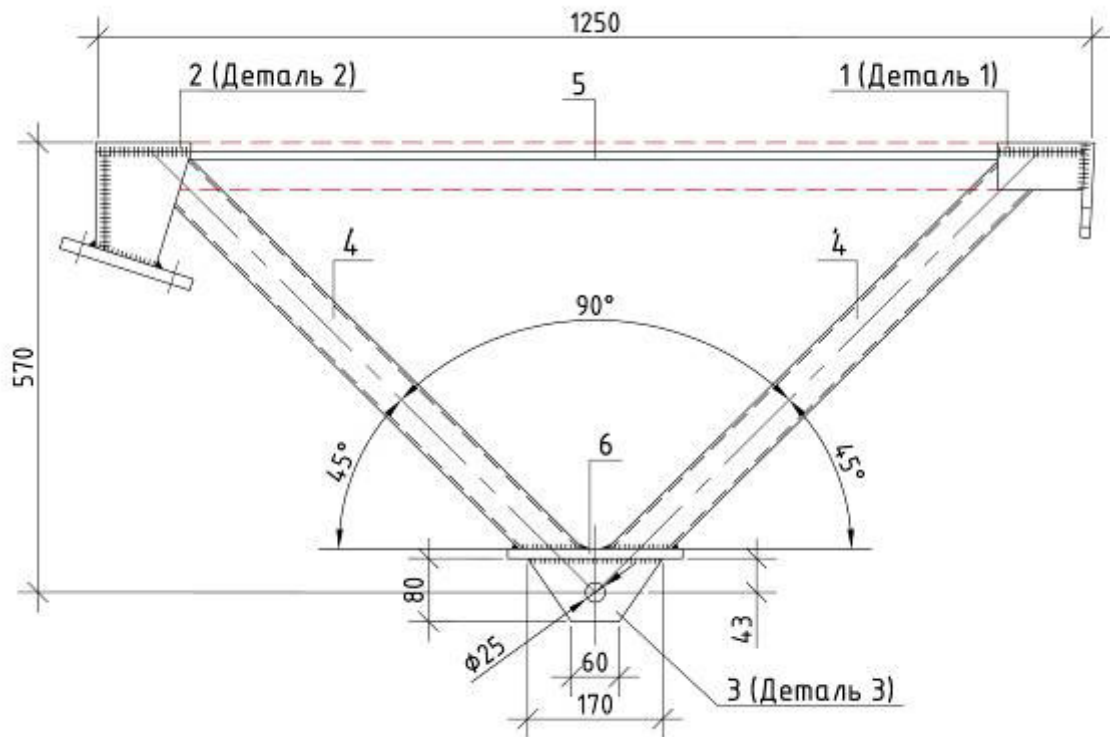


Рисунок 3 – Крайній модуль структурно-вантового сталезалізобетонного покриття:

- 1 – вузол з'єднання модулів покриття; 2 – опорний вузол;
 3 – сталева пластина, через яку з'єднуються елементи нижнього пояса;
 4 – стрижні просторової решітки; 5 – арматурний стрижень;
 6 – сталева пластина**

Таблиця 2 – Специфікація елементів крайнього модуля структурно-вантового сталезалізобетонного покриття

Номер деталі	Переріз	Довжина, мм	Кількість	Маса, кг			Примітки
				Деталі	Усіх	Разом	
1			2	3,07	6,14	44,60	Деталь 1
2			2	6,05	12,10		Деталь 2
3	—80×15	170	1	1,05	1,05		Деталь 3
4	○57×3,5	955	4	4,41	17,65		
5	●10	1090	4	0,67	2,69		A-I
6	—220×12	220	1	4,53	4,53		
1% на зварні шви					0,44		

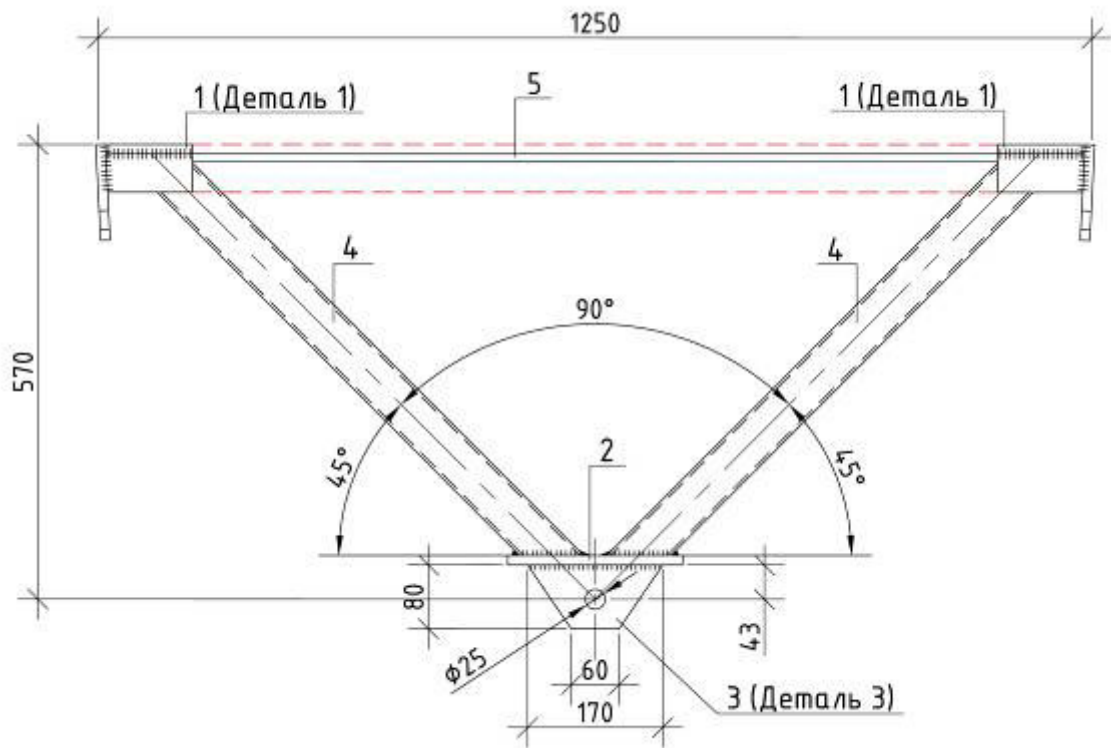


Рисунок 4 – Прольотний модуль структурно-вантового сталезалізобетонного покриття:

- 1 – вузол з'єднання модулів покриття; 2 – сталева пластина;
3 – сталева пластина, через яку з'єднуються елементи нижнього пояса;
4 – стрижні просторової решітки; 5 – арматурний стрижень**

Таблиця 3 – Специфікація елементів прольотного модуля структурно-вантового сталезалізобетонного покриття

Номер деталі	Переріз	Довжина, мм	Кількість	Маса, кг			Примітки
				Деталі	Усіх	Разом	
1			4	3,07	12,28	38,58	Деталь 1
2	—220×12	220	1	4,53	4,53		
3	—80×15	170	1	1,05	1,05		Деталь 3
4	○57×3.5	955	4	4,41	17,65		
5	●10	1090	4	0,67	2,69		А-І
1% на зварні шви					0,38		

Особливість і оригінальність модулів полягає у технології їх виготовлення та способі забезпечення сумісної роботи сталі й бетону. У першу чергу виконуються заготівельні роботи: нарізання та фрезерування торців пластин і труб; формування просторового каркаса модуля. Коли всі елементи модуля будуть об'єднані між собою, виконують бетонування, причому бетонується модуль у перевернутому положенні.

Слід зазначити, що ті сталеві частини модуля, які опиняються в бетоні, виконують роль анкерів, що забезпечують сумісну роботу та цілісність модуля.

Відмінність крайніх модулів від прольотних полягає у наявності опорних вузлів. Конструкція опорних вузлів виконана так, щоб була змога закріпити структурно-вантове сталезалізобетонне покриття шарнірних в'язей.

Об'єднання площинно-стрижневих модулів та елементів нижнього пояса в цілісну конструкцію покриття по верхньому й нижньому поясах здійснюється за допомогою спеціальних вузлових з'єднань на високоміцних болтах М24.

Беручи до уваги особливості конструктивного рішення структурно-вантового сталезалізобетонного покриття, передбачається дослідити напружено-деформований стан конструкції на дію навантаження, що прикладатиметься у вузлах нижнього пояса. Для цього була розроблена їх спеціальна конструкція, яка забезпечує об'єднання елементів та можливість кріплення траверси для вантажів. Завантаження буде здійснюватися ступінчасто за допомогою металевих вантажів. Як граничні умови закріплення покриття прийнято, з одного боку, шарнірно-рухому, а з іншого – шарнірно-нерухому опори.

Виходячи з того, що дослідний зразок є натурним і використання тензодатчиків для заміру деформацій є трудомістким процесом, переміщення будуть фіксуватися за допомогою прогресивного фотограмметричного методу [17]. Для цього буде використаний стенд з нанесеними на ньому мітками. Також аналогічні мітки будуть закріплені й на конструкції. Деформації конструкції визначатимуться, виходячи з відносного переміщення міток. Отримані дані дадуть можливість достатньою мірою судити про характер та особливості роботи структурно-вантового сталезалізобетонного покриття на дію вузлового навантаження.

Загальна вага натурального зразка буде становити 1,85 т. Для виготовлення такої конструкції необхідно 0,56 м³ бетонної суміші й 0,45 т сталі.

Висновки. Попередні теоретичні та експериментальні дослідження структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів дали можливість отримати необхідні вихідні дані для проектування конструкцій у натурну величину. Відповідно до поставленої мети було запроєктовано дослідний зразок структурно-вантового сталезалізобетонного покриття прольотом 8,6 м, загальна вага якого склала 1,85 т. Отримані характеристики покриття є задовільними, оскільки запроєктовані конструкції є легшими за традиційні плити покриття аналогічного прольоту. Підготовлені проектні рішення дають можливість виготовити експериментальний повнорозмірний структурно-вантовий сталезалізобетонний зразок покриття, випробувати його на дію навантаження й отримати дані про деформативність та несучу здатність. На основі отриманих експериментальних даних можна буде твердити про ефективність розроблених конструкцій, що сприятиме подальшому дослідженню структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів.

Література

- 1. Eurocode 4. General Rules for Buildings. Design of Composite Steel and Concrete Structures. Committee Members of the European Union, EN 1994-1-1, 2004.*
- 2. Gasii G. M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete / G. M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – № 4. – P. 23 – 25.*
- 3. Galjaard H. C. Static tests on various types of shear connectors for composite structures / H. C. Galjaard, J. C. Walraven // Inter. Symposium on Connections between Steel and Concrete, University of Stuttgart, Germany. – RILEM Publications SARL, 2001. – P. 1313 – 1322.*

4. Al-Emrani M. *Experimental and numerical investigation of the behaviour and strength of composite steel-CFRP members* / M. Al-Emrani, R. Kliger // *Advances in Structural engineering*. – 2006. – Т. 9. – №. 6. – Р. 819 – 831.
5. Лапенко О. І. *Сучасні прогресивні сталезалізобетонні конструкції* / О. І. Лапенко, Г. І. Гришко // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научных трудов*. Вып. 65. – Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – С. 314 – 317.
6. Стороженко Л. І. *Нові сталезалізобетонні структурно-вантові конструкції* / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – П. : ПолтНТУ, 2014. – Вып. 1(40). – С. 91 – 96.
7. Семко О. В. *Про результати натурних випробувань сталезалізобетонних ригелів* / О. В. Семко, Д. В. Бібік // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – П. : ПолтНТУ, 2011. – Вып. 1. – С. 166 – 170.
8. Storozhenko L. I. *Experimental research of strain-stress state of ferrocement slabs of composite reinforced concrete structure elements* / L. I. Storozhenko, G. M. Gasii // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2014. – № 6. – Р. 40 – 42.
9. Нижник О. В. *Будівництво сталезалізобетонного безбалкового перекриття* / О. В. Нижник // *Будівельні конструкції*. – 2013. – Вып. 78(1). – С. 144 – 149.
10. *Структурно-вантова положиста оболонка* / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко, В. В. Волошин // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – П. : ПолтНТУ, 2014. – Вып. 3(42). – С. 178 – 182.
11. Vainiunas P. *Analysis of longitudinal shear behaviour for composite steel and concrete slabs* / P. Vainiunas, J. Valivonis // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2006. – № 62. – Р. 1264 – 1269.
12. Johnson R.P. *Composite structures of steel and concrete - beams, slabs, columns, and frames for buildings* / R. P. Johnson. – Blackwell: Wiley-Blackwell, 2004. – 248 p.
13. Стороженко Л. І. *Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття: монографія* / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко. – П. : ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
14. *Експериментальне дослідження моделей структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції* / Л. І. Стороженко, Д. А. Єрмоленко, Г. М. Гасій, Ю. Л. Гладченко // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – П. : ПолтНТУ, 2012. – Вып. 3(33). – С. 243 – 249.
15. Стороженко Л. І. *Структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції покриттів* / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – П. : ПолтНТУ, – 2012. – Вып. 3(33). – С. 230 – 234.
16. Стороженко Л. І. *Пошук оптимальних параметрів структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів за критерієм напружень розтягу в нижньому поясі* / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, Ю. Л. Гладченко // *Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. наук. статей*. – П. : ПолтНТУ, 2011. – Вып. 9. – С. 173 – 179.
17. Єрмоленко Д. А. *Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: монографія* / Д. А. Єрмоленко. – П. : Видавець Шевченко Р. В., 2012. – 316 с.

© Стороженко Л.І., Гасій Г.М.
Надійшла до редакції 23.11.2015