

form of metal cargo, the traverse system was applied. Testing of the full-scale experimental sample of the steel and concrete composite cable space frame was carried out in several stages. For measuring strain in the cross-sections of the full-scale experimental sample were used wire strain gauges resistance. Physical and mechanical properties of steel and concrete, which were used to manufacture the full-scale experimental sample were similar materials that commonly used to the manufacture steel and concrete structures. The result of the experiment are the stress-strain state of the structure members and distribution of stress in the solid of structure. Found out that the members of the experimental sample under the operating load were working jointly. From the analysis of the obtained data and curves, it was established that the spatial steel reinforced concrete modules and the lower belt, joined together by bolts, operated as a single system, and the designed joint nodes ensured the reliable and joint operation of the structural elements. The deformations in the cross-sections were of a linear nature. The relative deformations in the lattice elements were distributed in the same way as in conventional rod structures, in particular trusses and structures. The maximum deformation in the belts arose along the middle of the structure. The deformations in the mirror-like sections with respect to the longitudinal and transverse axis of symmetry of the structure had approximately the same values.

Keywords: module, stress, deformation, experiment, structure, cable.

Вступ. Структурно-вантова сталезалізобетонна конструкція є новим збірним композитним покриттям, яке збирається з просторових сталезалізобетонних модулів і гнучкого нижнього пояса [1]. Сутність розроблених конструкцій полягає у новому способі поєднання конструктивних елементів, у результаті чого досягається суміщення несучої і огорожувальної функцій, скорочення термінів будівництва, просторова робота та жорсткість. Розроблені конструкції мають простіший спосіб забезпечення сумісної роботи елементів ніж у звичайних сталезалізобетонних конструкціях, менш складні у виготовленні й улаштуванні вузлів з'єднання, ніж традиційні структурні конструкції та меншу деформативність, ніж вантові конструкції. До того ж розроблені конструкції є архітектурно виразними та ресурсоекономнішими, ніж інші види конструкцій при аналогічних розмірах та несучій здатності [2]. Застосовуючи розроблені конструкції можна зводити покриття різних розмірів, обрисів і форм [3].

Ціль розроблення просторових структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій полягала у отриманні нових конкурентно здатних рішень покриття будівель і споруд, у тому числі різноманітних оболонок та інших просторових форм, за рахунок об'єднання переваг та позбавлення недоліків найближчих аналогів [4].

Аналіз останніх досліджень показав, що серед існуючих композитних просторових рішень найчастіше зустрічаються сталезалізобетонні конструкції, особливості яких полягає у поєднанні залізобетонних плит зі сталевими стрижневими елементами [5, 6]. Конструкції, які поєднують переваги структурних, сталезалізобетонних і комбінованих конструкцій є структурні сталезалізобетонні конструкції [7]. Такі конструкції складаються із монолітної залізобетонної плити (верхнього пояса) і структурної сталевий решітки.

Зважаючи на викладене, ідея об'єднати новим способом плити і стрижні в одну

конструкцію є перспективною. Таке рішення дозволить вирізняти розроблені конструкції з-поміж існуючих у новий тип покриття. Розроблена конструкція покриття позбавлена недоліків, що властиві аналогам. Концепція запропонованого рішення полягає у синтезі досвіду, нових досягнень та використанні модулів елементів. Ефективність рішення просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції та її складових елементів – модулю, досліджена та обґрунтована [8–11].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. З аналізу попередніх праць видно, що комбіновані сталезалізобетонні конструкції є ефективним рішенням, зокрема ефективним рішенням є запропоновані конструкції, однак не дослідженим залишається питання вивчення особливостей їх роботи під навантаженням на великомасштабних зразках.

УДК 624.07+692

НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Гасій Г. М., к.т.н., доцент
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
grigorigm@gmail.com

Анотація: В статті наведені методика та результати експериментального дослідження напружено-деформованого стану збірної структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття, яка складалася із просторових модулівних елементів та гнучкого нижнього пояса, з'єднаних між собою болтами. Випробування дослідної конструкції виконувалося при дії експлуатаційного навантаження. В результаті експерименту визначено деформації складових елементів, а також особливості розподілу напружень у тлі конструкції. Установлено, що складові елементи конструкції при дії експлуатаційного навантаження працюють сумісно.

Ключові слова: модуль, напруження, деформація, експеримент, структура, ванта.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Гасий Г. М., к.т.н., доцент
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Аннотация: В статье приведены методика и результаты экспериментального исследования напружено-деформированного состояния сборной структурно-вантовой сталезалезобетонной арочной конструкции покрытия, которая была собрана из просторственных модульных элементов и гибкого нижнего пояса, соединенных между собой болтами. Испытания опытной конструкции выполнялось при действии эксплуатационной нагрузки. В результате эксперимента определены деформации составляющих элементов и особенности распределения напряжений в теле конструкции. Установлено, что составляющие элементы конструкции при действии эксплуатационной нагрузки работают совместно.

Ключевые слова: модуль, напряжение, деформация, эксперимент, структура, ванта.

THE STRESS-STRAIN STATE OF THE STEEL AND CONCRETE COMPOSITE CABLE SPACE FRAME

Gasiy G. M., PhD, Associate Professor
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

Abstract: The article presents the methodology and results of experimental studies of stress-strain state of the full-scale steel and concrete composite cable space frame that consists of space modular elements and flexible rods of the lower belt, which were connected with bolts. Methodology of experimental studies included testing of prototype span of 5.3 m to the effect of static load. Testing of the full-scale steel and concrete composite cable space frame were conducted in the training-research laboratory of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. The prototype was loaded with metal cargo. For the application to the prototype of the weight in the

труб у вигляді смуг і відрізків круглої сталі. Для визначення властивостей арматурної сталі вирізали стрижки довжиною 600 мм, які також випробувалися на осьовий розтяг.

З метою отримання розрахункових значень міцності сталі прокату було виконано статистичну обробку отриманих даних.

Методика експериментального дослідження передбачала випробування дослідного зразка прольотом 5,3 м на дію статичного навантаження. Випробування було проведено в навчальній лабораторії Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Випробування експериментального зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції було виконано тільки після того, як вона була остаточно змонтована, а рекомендований термін набору бетоном проектної міцності було вичерпано, тобто через 28 днів після бетонування (рис. 2, а).

Оскільки габарити дослідного зразка були значні, то застосування стандартного лабораторного обладнання, зокрема пресів для створення та прикладення навантаження на конструкцію було неможливим. Тому завантаження дослідного зразка було здійснено за допомогою металевих вантажів. Для прикладення до дослідної конструкції ваги у формі металевих дисків було застосовану систему траверс, яка складалася із перекладини і двох штанг на які навішувалися диски. З однієї сторони штанги був зроблений шарнір, який дозволяв штанзі обертатися відносно своєї осі, а з іншої сторони був зроблений наконечник на який укладалися диски. Такі траверси укладалися перекладино на верхній пояс конструкції у вузлах з'єднання просторових сталезалізобетонних модулів (рис. 2, б).

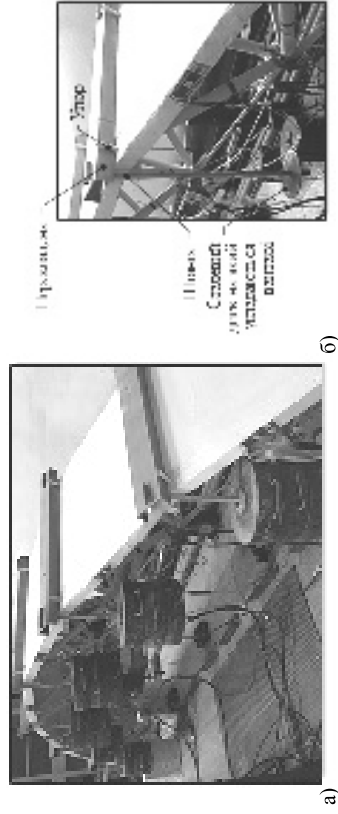


Рис. 2 – Загальний вигляд зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття (а) та траверса для завантаження (б)

Для фіксування та запобігання зсуву або переміщення траверси під час завантаження конструкції у місцях укладання траверс було улаштовано упори. Завдяки такому рішення, випробування запропонованої конструкції на дію статичного навантаження за схемою відповідно до методики експериментального дослідження було можливим.

Згідно методики експериментальних досліджень вивчався вплив статичного навантаження на напружено-деформований стан розробленої конструкції. Для вирішення поставленої мети, було досліджено поперечні перерізи елементів конструкції, в яких закономірність розподілу напружень найбільш чітко і ясно характеризувала напружено-деформований стан розробленої конструкції. Для більш точного визначення таких перерізів було здійснено попереднє комп'ютерне моделювання роботи конструкції під дією навантаження.

На підставі результатів такого моделювання було визначено найбільш напружені локації, міцність перерізів яких визначали міцність елементів конструкції. Таким чином були прийняті поперечні перерізи в елементах конструкції, в яких експериментально було досліджено напружено-деформований стан (рис. 3).

Постановка завдання. Експериментальним шляхом дослідити напружено-деформований стан запропонованої просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції.

Виклад основного матеріалу. Експериментальний зразок структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції покриття прольотом 5,3 м складався із просторових сталезалізобетонних модулів та гнучких елементів нижнього пояса, які були з'єднані між собою за допомогою болтів (рис. 1). Для виготовлення дослідної просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції було використано шість гнучких стрижкових елементів та сім просторових сталезалізобетонних модулів. Сталезалізобетонний модуль складався із двох частин: залізобетонної плити і сталевий просторової решітки.

Просторові сталезалізобетонні модулі мали розміри на плані 0,8×0,8 м та висоту 0,5 м. Залізобетонна плита такого модуля мала товщину 50 мм та армувалася сіткою.

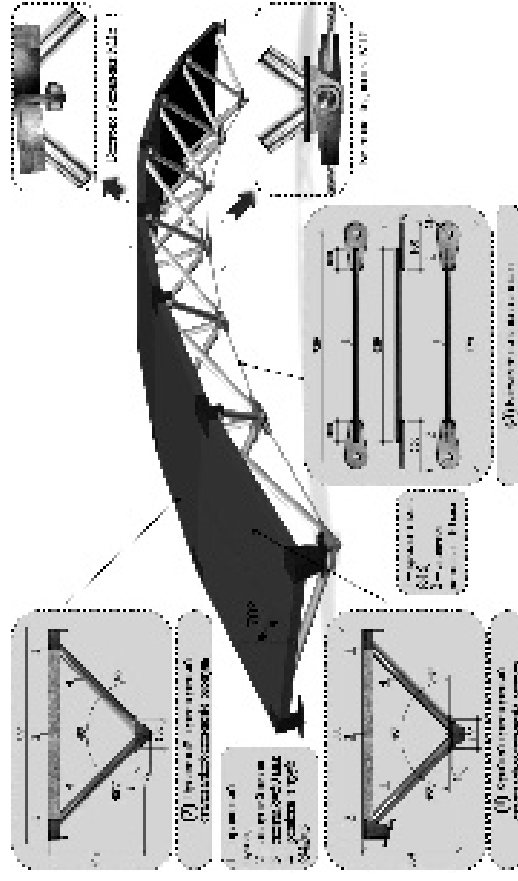


Рис. 1 – Дослідний зразок просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття

Визначення фізико-механічних властивостей сталі та бетону, що були використані для виготовлення експериментальної конструкції, виконано відповідно до положень чинних норм і правил із дотриманням всіх вимог. Визначення фізико-механічних властивостей бетону здійснювалося шляхом випробування на стиск стандартних бетонних кубів та призм на гідравлічному пресі ПММ-250. Зважаючи на те, що для отримання необхідної кількості бетонної суміші при виготовленні експериментального зразка було зроблено тільки один заміс, то для визначення міцності бетону було виготовлено по одній партії кубів та призм. Зразки зберігалися в тому самому приміщенні, що й експериментальні зразки при ідентичних умовах. Випробування контрольних бетонних зразків було виконано одночасно з проведенням експерименту...

Для вимірювання деформації контрольних бетонних зразків були використані тензорезистори з базою 50 мм, які мали ідентичні характеристики, що і тензорезистори, які були використані для заміру деформації бетонних елементів дослідної конструкції при проведенні експериментальних випробувань.

Визначення фізико-механічних властивостей сталевих елементів здійснювалося шляхом випробування на осьовий розтяг сталевих зразків, виготовлених з листової сталі та

під навантаженням. Одночасно зі зняттям показів з вимірювального обладнання, здійснено візуальний огляд дослідної конструкції на предмет виявлення тріщин, незворотних деформацій, руйнування вузлових з'єднань або елементів конструкції. Слід зазначити, що відповідно завдання конструкція досліджувалася на дію експлуатаційного навантаження, що складало 70% від руйнівного, тобто зразок не доводився до руйнування.

Спостерегаючи за конструкцією під час проведення експерименту встановлено, що її поведінка і схема деформування цілком відповідає теоретичним даним [2]. Також, слід зазначити, що під час огляду конструкції на кожній стадії навантаження та в кінці експерименту будь-яких пошкоджень вузлів чи елементів конструкції не виявлено, зокрема не виявлено тріщин.

У результаті оброблення експериментальних даних були отримані залежності інтенсивності розвитку деформації в досліджуваних перерізах конструкції (рис. 5).

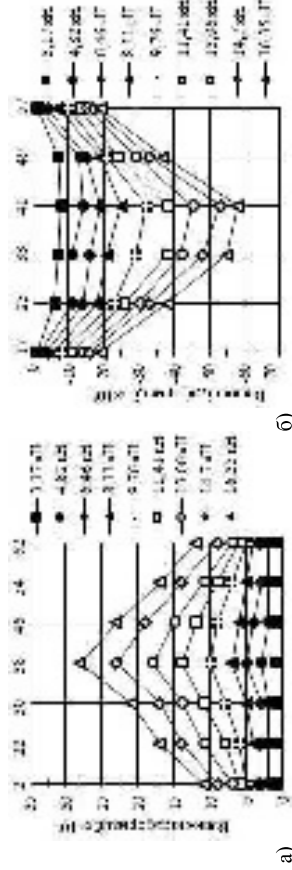


Рис. 5 – Деформації верхнього (а) та нижнього поясів (б) експериментального зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття

Максимальні деформації виникли по середині конструкції, які на 60% перевищували деформації у крайніх перерізах.

Деформації у дзеркально розміщених перерізах відносно поздовжньої і поперечної осей симетрії мали приблизно однакові значення. Максимальна розбіжність між усередненими значеннями деформацій (покази тензорезисторів з лицьового і зворотного боку в одному перерізі) в дзеркально розташованих перерізах відносно поперечної осі симетрії конструкції для верхнього пояса дорівнювала 8,7%, а для нижнього пояса 5,4% (рис. 6).



Рис. 6 – Розбіжність отриманих деформацій в поперечних перерізах верхнього пояса (а) та нижнього пояса (б) експериментального зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття

Незначна різниця деформацій в досліджуваних поперечних перерізах свідчить про те, що розвиток деформації був рівномірним по всій конструкції. Такий розподіл деформації вказує на те, що верхній пояс працював на осьовий стиск.

Висновки. Із аналізу отриманих даних та залежностей встановлено, що просторові сталезалізобетонні модулі та нижній пояс, об'єднані між собою болтами, працювали як єдина система, а розроблені вузли з'єднання забезпечили надійну і сумісну роботу елементів

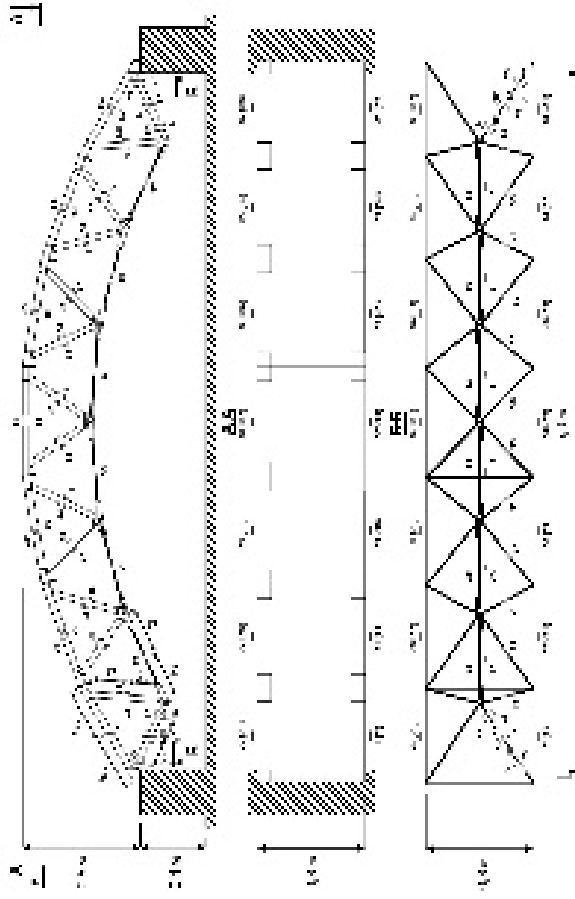


Рис. 3 – Схема розміщення досліджуваних перерізів експериментального зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття

Для заміру деформацій сталевих елементів конструкції були використані тензорезистори з базою 30 мм, для заміру деформацій бетонних елементів були використані тензорезистори з базою 50 мм. Тензорезистори кожного типу були однієї комплекстності, які були протестовані на придатність до використання згідно ГОСТ 21615-76.

Після налагодження всього обладнання та пристосувань було проведено випробування дослідної конструкції на дію статичного навантаження (рис. 4). Зняття показів із вимірювального обладнання здійснювалося на кожному етапі після певної витримки.

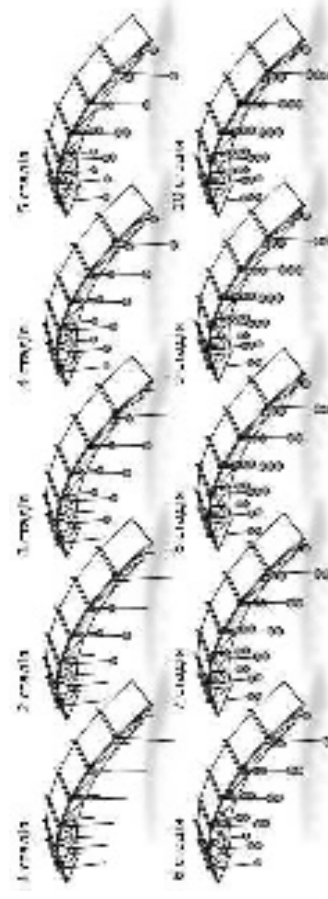


Рис. 4 – Схеми та послідовність завантаження експериментального зразка просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції покриття

У результаті виконаного експерименту за допомогою вимірювального обладнання було отримано необхідні дані, аналіз яких дозволив дослідити особливості поведінки конструкції

конструкції. Деформації в досліджуваних перерізах мали лінійний характер, що є звичайним для сталевих елементів при роботі у пружній стадії. Відносні деформації в елементах решітки розподілялися таким самим чином як і у звичайних стрижневих конструкціях, зокрема фермах та структурах. Як і очікувалося, максимальні деформації в поясах виникли по середині конструкції, а в решітці – в опорних стрижнях конструкції, які в середньому на 20-30% перевищували деформації в інших стрижнях. Деформації у дзеркально розміщених перерізах відносно поздовжньої і поперечної осей симетрії конструкції мали приблизно однакові значення.

Список літератури

1. Стороженко Л. І. Особливості конструктивного рішення та проектування повнорозмірного експериментального зразка структурно-вантового сталезалізобетонного покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво. – 2016. – Вип. 1. – С. 51–59.
2. Стороженко Л. І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття: Монографія / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
3. Гасій Г. М. Основи формотворення і проектування просторових покриттів із структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій / Г. М. Гасій // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Создание высокотехнологических эококомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития. – 2016. – Вип. 87. – С. 48–53.
4. Gasii G. M. Types of steel and concrete composite cable space frames / G. M. Gasii / Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2016. – № 6. – P. 158–165. DOI: 10.15802/stp2016/90514.
5. Демчина Б. Г. Розрахунок просторових поперечно напружених комбінованих сталевих залізобетонних шпрингельних конструкцій / Б. Г. Демчина, Ю. Ю. Вибранець, Ю. І. Іванчик // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – 2015. – Вип. 82. – С. 77–83.
6. Шмуклер В. С. Экспериментальные исследования пролётного строения пешеходного моста нового типа / В. С. Шмуклер, Е. С. Краснова, С. Н. Краснов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2012. – Вип. 58. – С. 70–77.
7. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій: Монографія / [Л. І. Стороженко, В. М. Тимошенко, О. В. Нижник та ін.]. – Полтава: АСМІ, 2008. – 262 с.
8. Gasii G. M. Comparative characteristics of the spatial grid-cable steel-concrete composite slab / G. M. Gasii / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 260–265.
9. Gasii G. M. The flat double-layer grid-cable steel-concrete composite / G. M. Gasii // Proceedings of the METNET Seminar 2016 in Castellon. – Hameenlinna: HAMK University of Applied Sciences, 2016. – P. 56–62.
10. Storozenko L. I. Analysis of stress-strain state of the steel-concrete composite ribbed slab as a part of the spatial grid-cable suspended structure / L. I. Storozenko, G. M. Gasii // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво. – 2016. – Вип. 2. – P. 81–86.
11. Стороженко Л. І. Великопролітні структурно-вантові сталезалізобетонні покриття для будівель і споруд аеропортів / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // Проблеми розвитку міського середовища. – 2016. – Вип. 2. – С. 72–79.