

УДК 624.016

Стороженко Л. І., д.т.н., професор
Гасій Г. М. к.т.н., доцент, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-ВАНТОВИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Відображено результати експериментального дослідження нового виду просторового покриття, необхідність розроблення якого спричинена сучасними тенденціями до зростання потреб будівництва і розвитком будівельних конструкцій. Будова досліджених конструкцій забезпечує економічний ефект за рахунок раціонального використання матеріалів. Основним елементом таких конструкцій є просторовий сталезалізобетонний модуль, який складається із плити та трубчастих стрижнів. Модульні елементи виготовляються у заводських умовах. З просторових сталезалізобетонних модулів можуть збиратися різні несучі системи. Кількість модульних елементів, що необхідна для збирання просторових конструкцій визначається розрахунком та варіантним проектуванням. Встановлено, що прийнятий спосіб армування плити забезпечує достатню несучу здатність елементів. Визначено особливості напружено-деформованого стану досліджуваних конструкцій.

Ключові слова: сталезалізобетон, плита, структура, ванта, болт, напружено-деформований стан.

Storozhenko L. I., ScD, Professor
Gasii G. M., Ph.D., Associate Professor,
Doctoral student of the Department of Structures from a metal, wood and plastics
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

THE RESEARCH STEEL AND CONCRETE COMPOSITE CABLE SPACE FRAMES

There is a problem often in building sector, which lies in the complexity of work and material overruns due to no effective use. This situation in the construction has developed due non-compliance existing industry design solutions to modern requirements that over time morally and physically obsolete. These factors directly affect the overall cost and duration of the construction project, so there is a requirement to improve and finding the new structures systems, including space structures that would permit largely achieve savings of materials and reduce complexity of technological processes.

This was the cause of the idea of developing the new concept of the space steel and concrete composite systems that not only will combine in themselves the results of previous studies and will have positive properties of existing spatial structures, but will have own unique properties are specific to them

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 steel and concrete composite cable space frames. The effect of material savings achieved through reinforced concrete slab, which has a small height and used as the top belt, steel rope that are 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 small-scale samples. The analysis of previous works has showed that full-size elements of the steel and concrete composite cable space frames samples has not been studied, so development drawings of specimens and experimental research methods is an issue of the day. Using the results of previous studies were developed drawings of elements of steel and concrete composite cable space frames and prepared the basic provisions of the method of experimental research of stress-strain state of the design. Before developing the drawings 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. 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 steel and concrete composite cable space frames, such as tubular steel rods of lattice and steel plates of nodes are connected by welding.

Have made the experimental program for the further researches of the elements of the steel and concrete composite cable space frames. The program includes tests of the elements on nodal loads. Experimental elements is going to be loaded with special hydraulic press. Deformations are going to be recorded using strain gauges.

Keywords: composite steel and concrete, slab, lattice, cable, bolt, the stress-strain state.

Вступ. У будівництві при зведенні споруд часто має місце проблема трудомісткості робіт і не раціонального використання матеріалів. Такий стан речей у будівництві склався через невідповідність існуючих конструктивних рішень сучасним вимогам галузі у зв'язку з тим, що вони фізично застаріли. Ці фактори безпосередньо впливають на загальну вартість та тривалість проекту, тому з'явилася необхідність удосконалення існуючих та пошуку нових несучих систем, зокрема покриттів, які б дозволили значною мірою досягти економії матеріалів та зменшити трудомісткість монтажно-будівельних процесів. Тому питання пошуку нових і ефективних конструктивних рішень просторових сталезалізобетонних покриттів та їх подальшого дослідження є актуальним.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій показав, що сталезалізобетон ґрунтовно досліджується та широко застосовується в різних галузях будівництва в усьому світі [1, 2]. Значна частина праць присвячена удосконаленню існуючих конструкцій [3, 4] або пошуку нових [5, 6]. Приділяється увага і визначенню їх несучої здатності [7, 8]. Не винятком є конструкції покриття й перекриття промислових та громадських будівель і споруд [9, 10]. Детально досліджуються 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 їх маломасштабних зразків, макетів та моделей [13].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Спираючись на результати аналізу попередніх досліджень й беручи до уваги, що сталезалізобетонні структурно-вантові конструкції є новими, то частина питань загальної проблеми дослідження цих конструкцій залишаються не вивченими у повній мірі.

Постановка завдання. Завдання полягає в тому, щоб використовуючи результати попередніх досліджень з урахуванням особливостей конструктивного рішення та технологій виготовлення, експериментально дослідити роботу структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції.

Основний матеріал і результати. Сталезалізобетонне структурно-вантове покриття є новим видом просторових конструкцій. Ці конструкції об'єднують у собі переваги існуючих просторових покриттів, як металевих так і залізобетонних. Сутність досліджуваних конструкцій полягає у раціональному використанні матеріалів. Сталезалізобетонне структурно-вантове покриття є збірним і складається з елементів нижнього пояса та просторових модульних елементів [14], які у свою чергу складаються із залізобетонних плит, які використовуються як верхній пояс і сталевих трубчастих стрижнів, які використовуються як елементи просторової решітки. Нижній пояс виготовляється із гнучких сталевих елементів – вантів, які працюють тільки на розтяг [15]. З'єднання модулів у цілісну конструкцію покриття здійснюється по верхньому та по нижньому поясах. Поєднання просторових модулів здійснюється завдяки розробленим вузловим з'єднанням на болтах [16–18].

Плитні елементи покриття у залежності від навантаження та умов роботи виготовляються із бетону та можуть армуватися як плетеними сітками так і окремими стрижнями [19,20]. Розміри плити залежать від прольоту будівлі та від величини й характеру прикладення навантаження. Елементи решітки найефективніше виготовляти з трубчастих елементів, довжина яких приймається виходячи із розмірів плити, а діаметр та товщина стінки визначаються розрахунком як і для звичайних сталевих ферм.

Для підтвердження ефективності конструктивних рішень були досліджені модульні елементи сталезалізобетонного структурно-вантового покриття. Стрижні були виготовлені із сталевих безшовних труб. Стрижні знаходилися під кутом 45° до своєї горизонтальної проекції. Методика експериментальних досліджень передбачала випробовування зразків на дію навантаження яке

прикладалося ступінчасто за допомогою гідравлічного домкрата й системи траверс (рис. 1).

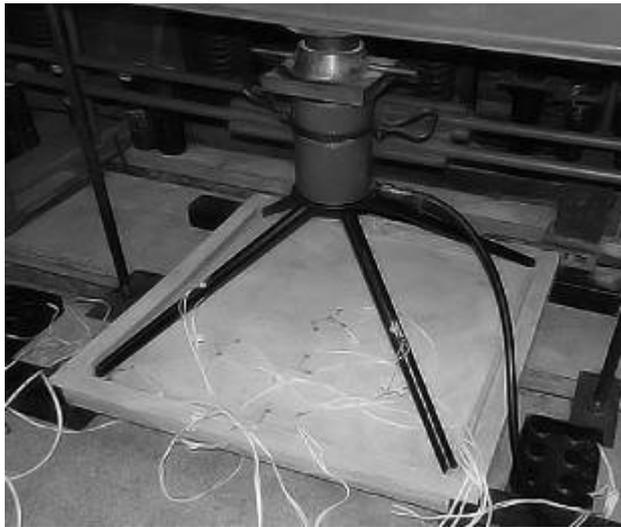


Рисунок 1 – Модульний елемент сталезалізобетонного структурно-вантового покриття

Замір деформацій здійснювався за допомогою тензорезисторів та багатоканальної вимірювальної тензометричної системи для статичних випробувань ВВП-8М. Тензорезистори розміщувалися у найбільш напружених і характерніших місцях конструкції.

Для заміру деформацій на бетонних поверхнях використовувалися датчики з базою 20 мм. Спосіб та методика наклеювання тензорезисторів відповідали загальноприйнятим правилам, тобто включали всі необхідні процедури, такі як очищення та ґрунтування поверхні конструкції. Для наклеювання тензорезисторів використовувався клей БФ-2. Схема розміщення датчиків наведена на рис. 2–3.

Відповідно до прийнятої програми експериментальних досліджень розроблені зразки завантажувалися ступенями з 15 хвилинною витримкою до моменту повної втрати несучої здатності або до моменту виключення тензорезисторів із роботи.

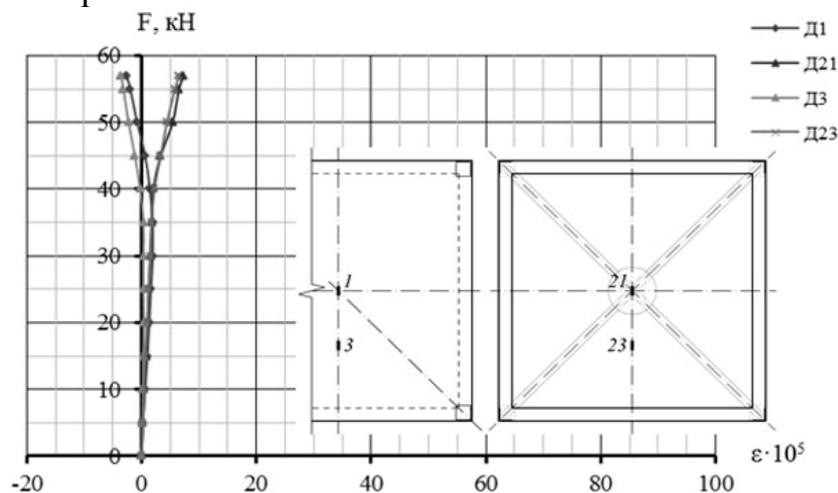


Рисунок 2 – Розміщення тензодатчиків на плиті

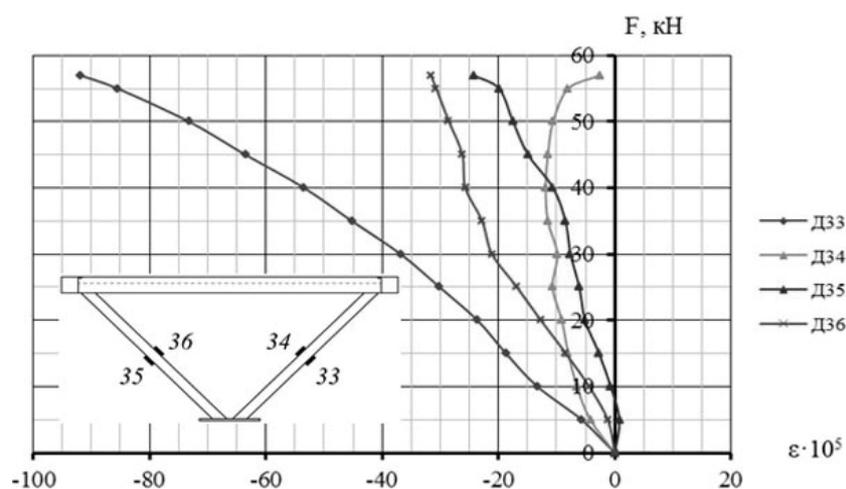


Рисунок 3 – Розміщення тензодатчиків на металевих елементах

За результатами випробовування були отримані експериментальні дані, які у достатній мірі дають можливість судити про несучу здатність запропонованих конструкцій, встановлені залежності деформацій від навантаження [21], аналіз яких показав, що на початковій стадії завантаження були наявні пружні деформації. Пружні деформації арматури та бетону спостерігалися до моменту досягнення навантаження, яке відповідало 70% руйнівного. Пластичні деформації почали проявлятися при досягненні навантаження, яке спричинило початок розвитку тріщин та текучість. Повне руйнування дослідного зразка відбулося при навантаженні 34 кН.

Висновки. За результатами проведеного експерименту можна говорити про достатню надійність і міцність окремих несучих елементів сталезалізобетонного структурно-вантового покриття. Сталь та бетон завдяки конструктивному рішенні у ході експерименту працювали сумісно, що підтверджує ефективність прийнятого способу армування. Таким чином, результати експерименту свідчать про доцільність використання досліджуваних елементів для зведення великопролітних 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 // International 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. – T. 9. – №. 6. – P. 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 / Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка.* – Полтава: 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 [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво.* – 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. – P. 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 / Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка.* – Полтава: 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. – vol. 62. – P. 1264 – 1269.
12. Johnson R. P. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings, 3rd Edition / R. P. Johnson. – Blackwell, 2004. – 252 p.
13. Стороженко Л. І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття: монографія / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
14. Стороженко Л. І. Особливості конструктивного рішення та проектування повнорозмірного експериментального зразка структурно-вантового сталезалізобетонного покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка.* – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – Вып.1 (46). – С. 51–59.
15. 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.* – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – Вып. 9. – С. 173–179.

16. *Стороженко Л. І. Дослідження напруженого стану елементів вузлових з'єднань структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів на основі результатів моделювання умов їх роботи / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2016. – Вип. №61. – С. 343–347*

17. *Гасій Г. М. Аналіз напружено-деформованого стану трапецієподібної сталевий пластини вузла з'єднання елементів нижнього пояса експериментальної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки / Г. М. Гасій // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 162. – С.41–47.*

18. *Гасій Г. М. Напружено-деформований стан сталевий пластини прямокутної форми вузла з'єднання стрижневих елементів структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки / Г. М. Гасій // Вісник ОДАБА. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2016. – С. 215–219.*

19. *Стороженко Л. І. Експериментальні дослідження армоцементних елементів покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко, В. В. Волошин // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 1(40). – С. 97–103.*

20. *Стороженко Л.И. Особенности конструкции и технологии монтажа новых пространственных сталежелезобетонных структурно-вантовых покрытий [Текст] / Л.И. Стороженко, Г.М. Гасий, С.А. Гапченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №.1(70). Т.4. – С. 67–72.*

21. *Стороженко Л. І. Експериментальне дослідження деформативності окремих несучих елементів сталезалізобетонного структурно-вантового покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научных трудов. – Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2015. – Вип. 82. – С. 219–225.*