

УДК 624.04

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛИТИ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Канд. техн. наук Г. М. Гасій (ПолтНТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Канд. техн. наук Г. М. Гасій (ПолтНТУ)

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATIONS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE SLAB OF THE STEEL AND CONCRETE COMPOSITE CABLE SPACE FRAME

Cand. of techn. sciences G. M. Gasii

У статті наведено методику та результати експериментальних досліджень, а також скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану залізобетонної плити, яка є складовою частиною структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції. Установлено, що розподіл напружень у плиті, отриманий числовим методом, цілком відповідає експериментальним даним. Виконано порівняльний аналіз, який показав добру збіжність експериментальних та числових даних. Середня розбіжність отриманих результатів не перевищила 7%.

Ключові слова: сталезалізобетон, структура, ванта, деформація, напруження.

В статье приведена методика и результаты экспериментальных исследований, а также конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной плиты, которая является составной частью структурно-вантовой сталежелезобетонной конструкции. Установлено, что распределение напряжений в плите, полученное численным методом, полностью соответствует экспериментальным данным. Выполнен сравнительный анализ, который показал хорошую сходимость экспериментальных и численных данных. Среднее расхождение полученных результатов не превысило 7%.

Ключевые слова: сталежелезобетон, структура, ванта, деформация, напряжение.

The article presents both a methodology and results of experimental studies, also finite element analysis of the stress-strain state of reinforced concrete slab, which is part of the steel and concrete composite cable space frame. As a result of the tests, the magnitude of the destructive load was set, for each individual sample it was different and was in the range 45-47 kN. The nature of destruction of experimental samples is established. For simulation of physical and mechanical properties and boundary conditions, the results of experimental studies were applied. Creation of finite-element models of reinforced concrete slabs was carried out on the basis of a preliminary study, the purpose of which was to determine the optimal size of the finite element. As a result of the analysis, it was found that the distribution of stresses in the plate completely corresponds to the experimental data. A comparison of the experimental and numerical data was performed. The average difference of the results did not exceed 7%.

Keywords: composite steel and concrete, space structure, cable, stress, strain.

Вступ. До ефективних рішень належать просторові структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції, сутність яких полягає у раціональному використанні матеріалів [1]. Структурно-вантова сталезалізобетонна конструкція є збірною та складається з просторових модулів. Модулі складаються зі стрижнів та плити. Сумісна робота складових елементів досягається за рахунок інтеграції стрижневих елементів у плиту під час її бетонування. За рахунок такого підходу отримується цілісний елемент. Плити для таких конструкцій можуть мати різне армування, яке є характерним як для армоцементних, так і для залізобетонних конструкцій.

Огляд останніх джерел і публікацій показав, що застосування у просторових конструкціях покриття сталезалізобетонних модульних елементів є доцільним [2], а поєднання сталевих стрижнів і залізобетонних плит в одній конструкції є ефективним рішенням [3, 4]. До таких конструкцій належать структурно-вантові сталезалізобетонні покриття, актуальність

розроблення яких обґрунтована [5, 6]. На цей час на моделях уже досліджено деформативність таких конструкцій, проведено експериментальні випробування та досліджено напружено-деформований стан вузлових з'єднань [7].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. На цей час питання щодо дослідження напружено-деформованого стану елементів верхнього пояса є невирішеним.

Постановка завдання. Провести випробування експериментальних зразків елементів верхнього пояса (залізобетонних плит) та встановити особливості їх напружено-деформованого стану. Виконати скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану залізобетонних плит структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції покриття з урахуванням особливостей реальної роботи.

Основний матеріал і результати. Для вирішення поставленого завдання було розроблено дослідні зразки залізобетонної плити, яка є складовою частиною просторових модулів (рис. 1).

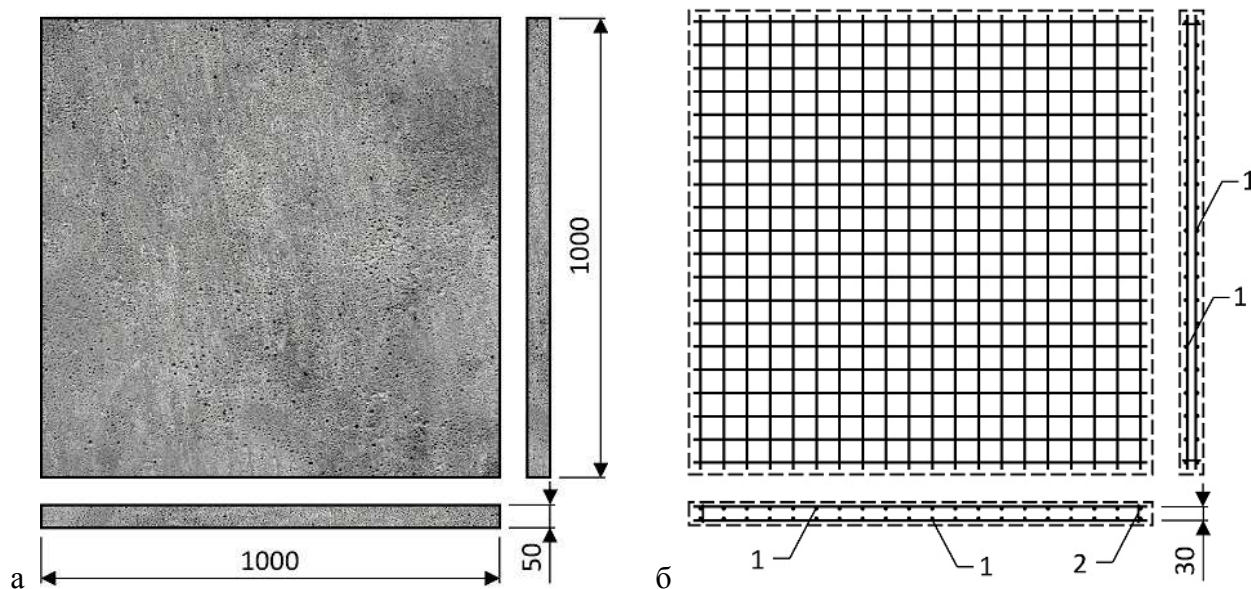


Рис. 1. Експериментальний зразок:

а – геометричні розміри; б – схема армування;

1 – сітка з дротяної арматури діаметром $\varnothing 3$ мм; 2 – відрізок арматури, який призначено для фіксування сіток у просторі до бетонування

Для армування плит було використано сітки з розміром чарунки 50×50 мм, що виготовлені з дротяної арматури діаметром 3 мм. Армування здійснювалося двома сітками.

Для виготовлення дослідних зразків було використано бетонну суміш відповідно до ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Склад використаної суміші підбирався за ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Прийнятий склад бетону відповідав класу за міцністю С25/30 (пісок – 1225 кг/м³; цемент – 700 кг/м³; В/Ц 0,4). Як в'язуче для її виготовлення було використано портландцемент М500 згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Як заповнювач було використано дрібнозернистий кварцовий пісок з фракцією від 0,2 до 0,3 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95.

Деформації дослідних зразків вимірювали за допомогою дротяних тензорезисторів, а показання знимали багатоканальною вимірювальною

тензометричною системою для статичних випробувань ВНП-8М. Для заміру деформацій було використано тензорезистори 2ПКБ-50-325В з базою 50 мм. Перед використанням тензорезистори було протестовано на придатність згідно з положеннями ГОСТ 21615-76. Кріплення тензорезисторів до поверхні конструкції здійснювалося за допомогою клею БФ-2. Місця розміщення тензорезисторів та робочу поверхню самих тензорезисторів було попередньо очищено та покрито тонким шаром клею БФ-2. Після наклеювання тензорезистори прокачували гумовим валиком. Деформації вимірювалися у двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 2). Для випробування експериментальних зразків було сконструйовано та виготовлено спеціальну дослідну установку, що кріпилася до силової підлоги та складалася з гідродомкрата, штанг та силової траверси (рис. 3).

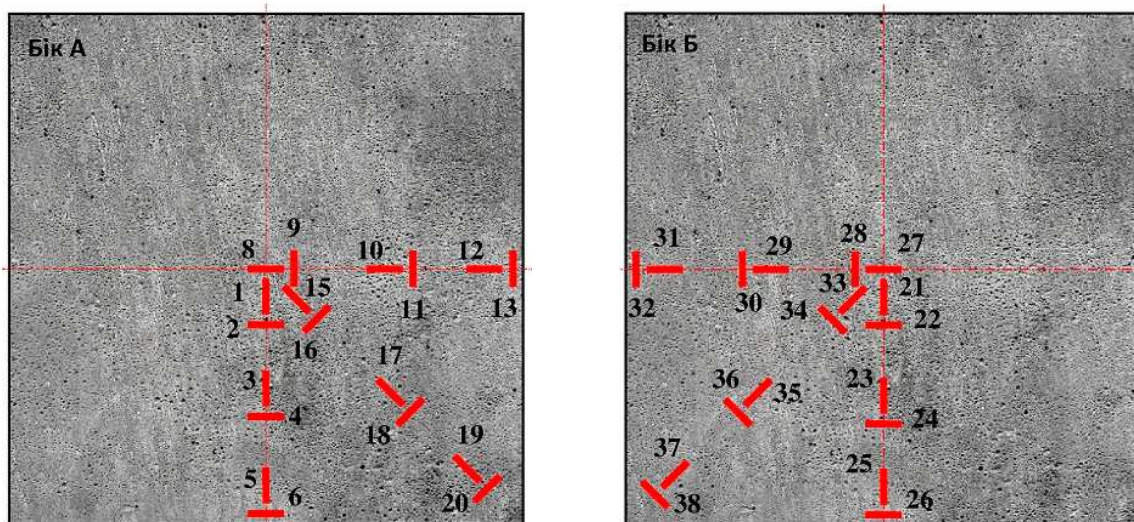


Рис. 2. Схема розміщення тензорезисторів

Дослідні конструкції випробовувалися на дію тимчасового навантаження при шарнірному опиранні на чотири точки. Рівень прикладеного навантаження встановлювався за манометром силового обладнання. Навантаження прикладалися ступенями з 10-хвилинною витримкою,

впродовж якої виконувалося опитування тензорезисторів та проводився візуальний огляд.

Упродовж усього випробування дослідні зразки працювали як одне ціле, тобто спостерігалася сумісна робота сталевих та бетонних елементів. На

початкових стадіях завантаження спостерігалася пружна робота, а при поступовому збільшенні навантаження спостерігався розвиток тріщин у плиті (рис. 4). З досягненням критичного рівня завантаження відбувалося руйнування

залізобетонної плити. Руйнування зразків відбулося при навантаженні 45-47 кН внаслідок досягнення текучості арматури, надмірного розкриття тріщин та руйнування опорної ділянки.

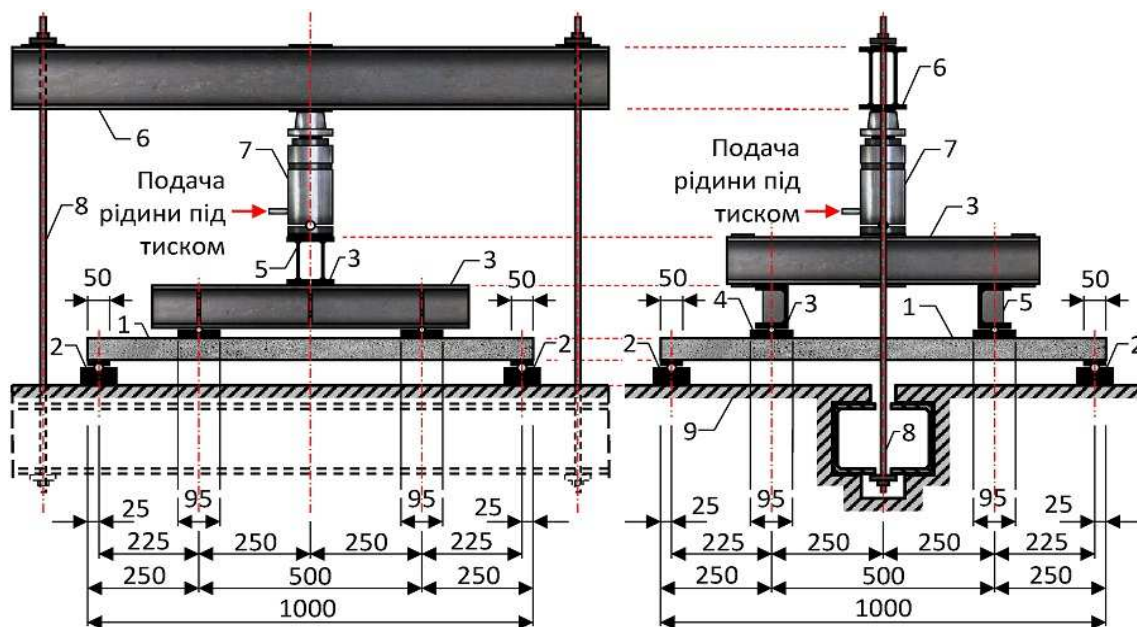


Рис. 3. Схема дослідження зразків:

1 – дослідний зразок; 2 – шарнірні опори; 3 – розподільча траверса; 4 – сталевий диск Ø95 мм; 5 – шарнір; 6 – силова траверса; 7 – гідродомкрат; 8 – штанга; 9 – силова підлога

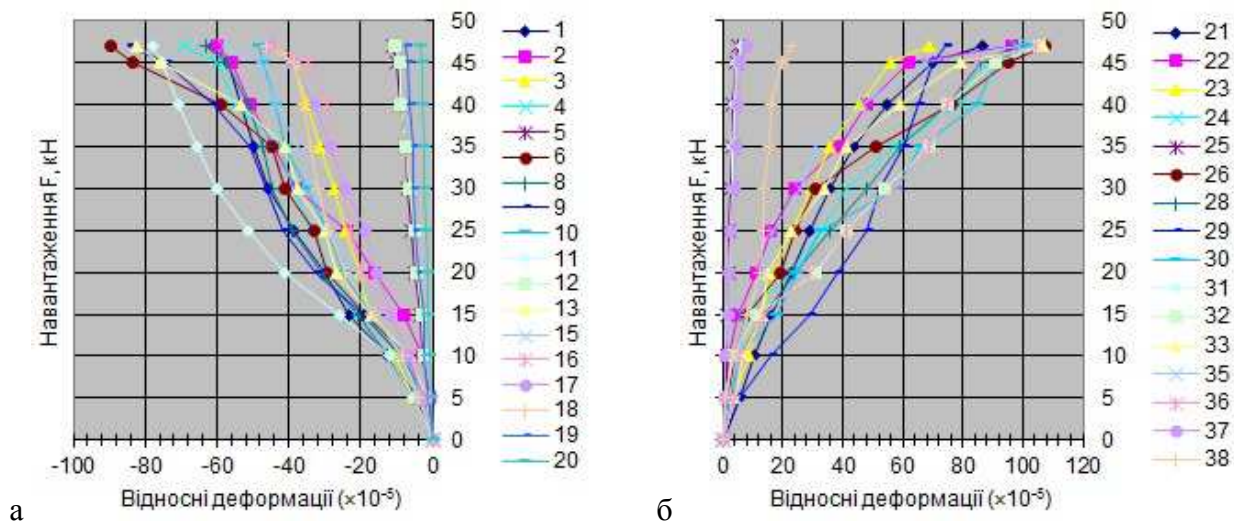


Рис. 4. Відносні деформації плити:

а – бік А; б – бік Б

Аналогічні дослідження було проведено за допомогою числового методу. Особливості роботи та напружено-

деформований стан плит досліджувалися на плоских і об'ємних моделях (рис. 5).

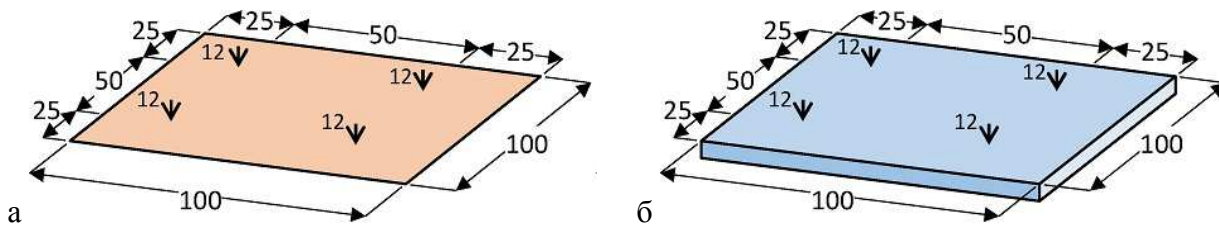


Рис. 5. Розрахункова схема залізобетонної плити:
а – плоска модель; б – об'ємна модель

При виконанні числового розрахунку кожної зі схем розглядалося по декілька моделей з різним ступенем подрібнення. Було виконано аналіз отриманих даних для встановлення їх збіжності та визначення точності результатів.

На підставі детального аналізу ізополів напружень, отриманих у результаті пошуку рішення, виявлено вразливі ділянки конструкції – місця обпирання та прикладення зосередженої сили, а також

бічні ділянки плити. Визначений шляхом моделювання напружено-деформований стан залізобетонної плити кореспондується з результатами експериментальних досліджень, а ділянки з найбільшими напруженнями відповідають характеру руйнування експериментальних зразків.

Числові дані було порівняно із результатами експериментальних досліджень (рис. 6, 7).

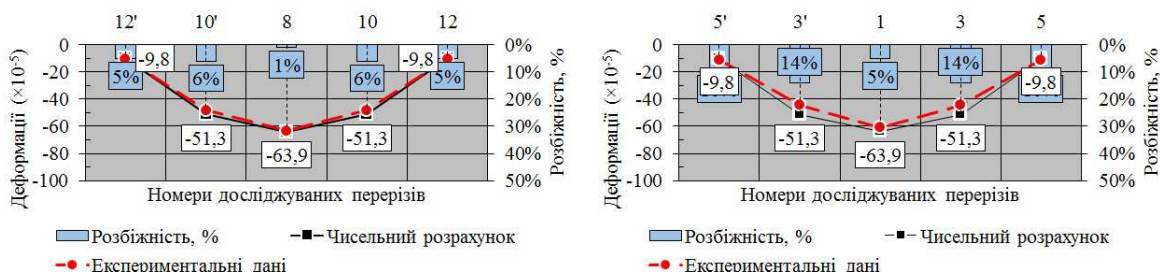


Рис. 6. Порівняння поздовжніх деформацій, отриманих числовим розрахунком, з результатами експериментальних досліджень

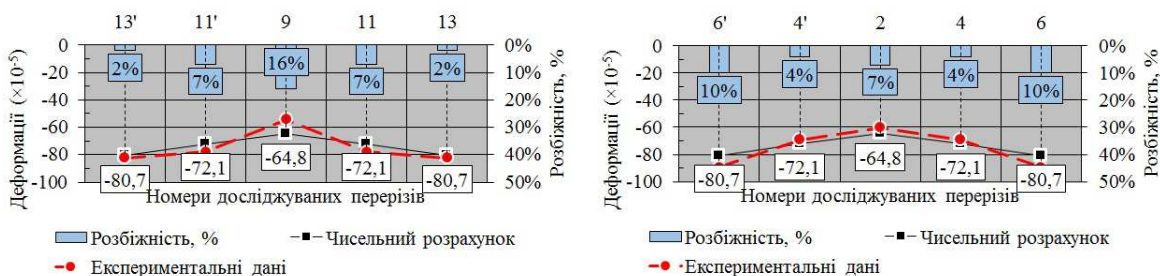


Рис. 7. Порівняння поперечних деформацій, отриманих числовим розрахунком з результатами експериментальних досліджень

Із наведених графіків видно, що отримані результати мають добру збіжність з експериментальними. У середньому розбіжність результатів перебуває в межах 7 %, що дає змогу об'єктивно оцінити напружено-деформований стан плити, оскільки більшою мірою ця розбіжність спричинена не стільки точністю розрахунку, скільки невідповідністю реальної роботи конструкції розрахунковій схемі та складністю це врахувати при моделюванні. Причинами цього можуть бути: невідповідність геометрії конструкції проектним розмірам; неточності у виготовленні, накладанні в'язей, прикладанні навантаження; неоднорідність матеріалу; нелінійна залежність деформування бетону тощо. Усе це в сукупності може сформувати зазначену розбіжність.

Висновки. Відповідно до поставленої мети було розроблено методику експериментальних досліджень залізобетонних плит, що є елементами верхнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції. Прийнята схема дослідження враховувала особливості реальної роботи конструкції. Згідно з розробленою методикою було

випробувано дослідні зразки. У результаті випробувань установлено величину руйнівного навантаження, для кожного окремого зразка вона була іншою та перебувала в діапазоні 45–47 кН. Установлено характер руйнування дослідних зразків. Також було виконано скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану моделей залізобетонних плит. При моделюванні фізико-механічних властивостей та граничних умов було застосовано результати експериментальних досліджень. Створення скінченно-елементних моделей залізобетонних плит здійснювалося на підставі попередньо проведеного дослідження, метою якого було визначення оптимального розміру скінченного елемента. У результаті аналізу встановлено, що розподіл напружень у тілі плити цілком відповідає експериментальним даним. Було порівняно отримані експериментальні та числові дані. Порівняння показало добру збіжність результатів. В окремих випадках максимальна розбіжність досягала 16 %. Середня розбіжність отриманих результатів не перевищила 7 %, що є цілком задовільним результатом.

Список використаних джерел

1. Стороженко, Л. І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття [Текст]: монографія / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
2. Wong H.T. Behaviour and modelling of steel-concrete composite shell roofs: PhD Thesis / Hon-Ting Wong. – Hong Kong: PolyU, 2005. – 420 p.
3. Вибранець, Ю. Ю. Міцність і деформативність комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Юрій Юрійович Вибранець. – Львів, 2016. – 158 с.
4. Краснов, С. М. Удосконалення систем прогонних будов пішохідних мостів при динамічному впливі [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Сергій Миколайович Краснов. – Харків, 2015. – 268 с.
5. Gasi G.M. Comparative characteristics of the spatial grid-cable steel-concrete composite slab / G.M. Gasi // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 260–265.
6. Gasi G.M. Types of steel and concrete composite cable space frames / G.M. Gasi // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2016. – №6 (66). – P. 158 – 165.

7. Storozhenko 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. Storozhenko, G.M. Gasii // Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2016. – №2. – P. 81–86.

8. Gasii G.M. The flat double-layer grid-cable steel-concrete composite / G.M. Gasii // Proceedings of the METNET Seminar 2016 in Castellon. – Hämeenlinna: HAMK University of Applied Sciences. – 2016. – P. 56–62.

9. Гасій, Г. М. Основи формотворення і проектування просторових покриттів із структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій [Текст] / Г. М. Гасій // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – 2016. – №87. – С. 48–53.

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

Гасій Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.
E-mail: grigorii_g_m@ukr.net.

Gasii Grygorii Mykhailovych, cand. of techn. sciences, associate professor, doctoral student of the department of structures from a metal, wood and plastics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University.
E-mail: grigorii_g_m@ukr.net.