

ОГЛЯД МЕТОДІВ СТВОРЕННЯ ПОПЕРЕДНІХ САМОНАПРУЖЕНЬ У ЗГИНАНИХ ПРОСТОРОВИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

METHODS REVIEW OF PREVIOUS SELF-STRESSES CREATION IN BENDED SPATIAL STEEL REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Гасенко А.В., к.т.н., доцент, ORCID 0000-0003-1045-8077 (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)

Hasenko A.V., PhD, Associate professor, ORCID 0000-0003-1045-8077 (National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”)

Попередні самонапруження в елементах будівельних конструкцій можливо створити за рахунок вдало підібраної конструкції вузлів та розробки технології виготовлення чи попередньої укрупнювальної збірки під час монтажу. У цій роботі виконано огляд методів раціонального регулювання зусиль у елементах згинаних просторових сталезалізобетонних конструкціях під час їх виготовлення чи монтажу.

Bent reinforced concrete structures are usually structures for buildings covering of various functional purposes. Reinforced concrete spatial structures are structural forms of parts or a prefabricated building as a whole, the basis of which is a discrete-continuous building element. The creation of such structures is based on the principle: each of the elements used is in the most favorable working conditions: concrete for compression, and steel for tension. The concrete shelf working on compression, at the same time carries out functions of a hard disk. The load from the own weight of the reinforced concrete shelf can be compared with the payload on the floor in residential and office buildings. That is, a significant part of the deformation of the floor elements can be avoided by taking special measures on the construction site during the concreting of this slab.

Pre-stresses in structures of this type are created by pre-tensioning the stretched lower belt of the structure, which is realized mainly in the form of tightening. Self-stresses can be provided as follows. For example, by varying the number and pitch of the struts between the compressed upper reinforced concrete belt and the lower stretched rod system, as well as the boom of the upper reinforced concrete belt and the stretched lower belt, it is possible to achieve a rational distribution of forces between these components at the design stage. Structurally providing an inseparable scheme of operation of several typical spatial reinforced concrete structures, it is possible to achieve a rational redistribution

of forces in their sections by a step-by-step scheme of concreting the upper monolithic reinforced concrete shelf and the appropriate inclusion of stretched steel belt in the work.

Ключові слова: самонапруження, сталезалізобетон, конструкція, вузли, технологія
self-stress, steel reinforced concrete, structures, nodes, technology.

Вступ. Згинані сталезалізобетонні конструкції, зазвичай, являють собою конструкції перекриття чи покриття будівель та споруд різного функціонального призначення. Створення таких конструкцій базується на принципі: кожний із використовуваних елементів знаходиться в найбільш вигідних умовах роботи: бетон на стиск, а метал на розтяг [1].

Слід відмітити дві особливості, що були використані в нижче наведених викладках дослідження таких сталезалізобетонних конструкцій:

1) у випадку влаштування жорстких опорних вузлів таких конструкцій перекриття можливо створювати нерозрізні статично невизначені схеми їх роботи. Ця перевага дозволяє регулювати напружено-деформований стан в елементах перекриття, підвищити їх несучу здатність й жорсткість та, як результат, зекономити матеріали [2];

2) навантаження від власної ваги залізобетонної плити співставимо із корисним навантаженням на перекриття в житлових та офісних будівлях [3]. Тобто значну частину деформацій елементів перекриття можливо уникнути, вживши спеціальні заходи на час бетонування цієї плити.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні відомі результати досліджень, в яких науковці завдяки спеціально розробленій конструкції чи технології виготовлення згинаних сталезалізобетонних конструкцій досягають в них перерозподілу напружень між їх структурними частинами та попереднього напруження окремих елементів від їх власної ваги чи технології монтажу [4-12]. Таким чином, створюються *попередні самонапруження (попередні внутрішні напруження, протилежні тим, що виникають у процесі експлуатації)* структурних частин сталезалізобетонних конструкцій виключно від їх власної ваги без застосування інших заходів попереднього напруження (механічного, електротермічного чи електротермомеханічного).

Виділення невирішеної частини поставленої проблеми. Незважаючи на значну кількість опублікованих матеріалів щодо теоретичних, чисельних та експериментальних досліджень вказаних вище конструкцій, відсутній узагальнений аналіз конструктивних особливостей та принципів створення попереднього напруження частин згинаних сталезалізобетонних конструкцій від їх власної ваги чи технологій виготовлення і монтажу.

Постановка мети і задач досліджень. Метою досліджень є узагальнення конструктивних особливостей та методів створення попереднього

самонапруження частин згинаних просторових сталезалізобетонних конструкцій.

Методика досліджень. Вирішення поставленої мети досліджень розв'язувалося в три етапи:

- 1) аналіз конструктивних особливостей та принципів роботи відомих згинаних самонапружених конструкцій;
- 2) формування узагальненого переліку розглядуваних конструкцій;
- 3) розроблення нової технології створення згинаних самонапружених сталезалізобетонних конструкцій.

Результати досліджень. В Україні роботу просторових сталезалізобетонних конструкцій досліджували в наукових школах: у НУПІ імені Юрія Кондратюка (м. Полтава) під керівництвом д.т.н., професора Стороженка Л.І. [4], у УкрДУЗТ (м. Харків) під керівництвом д.т.н., професора Чихладзе Е.Д. [5-8], у НУ «Львівська політехніка» під керівництвом д.т.н., професора Демчина Б.Г. [9-12] та ін.

Під керівництвом д.т.н., професора Стороженка Л.І. узагальнююча робота виконана Гасієм Г.М. Створено та запатентовано новий раціональний тип конструкцій: просторові структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції, які складаються з тривимірних модулів, складених з плити та стержнів. Окрім модулів створені конструкції включають стержневі елементи нижнього поясу, які можуть сприймати лише зусилля розтягу. Для об'єднання модулів і стержневих елементів нижнього поясу в цілісну конструкцію розроблено вузли болтового з'єднання. Зі створених конструкцій можуть збиратися одно- або багатопролітні покриття з різною кривизною й контуром. Загальний вигляд фрагменту такого покриття показано на рисунку 1.

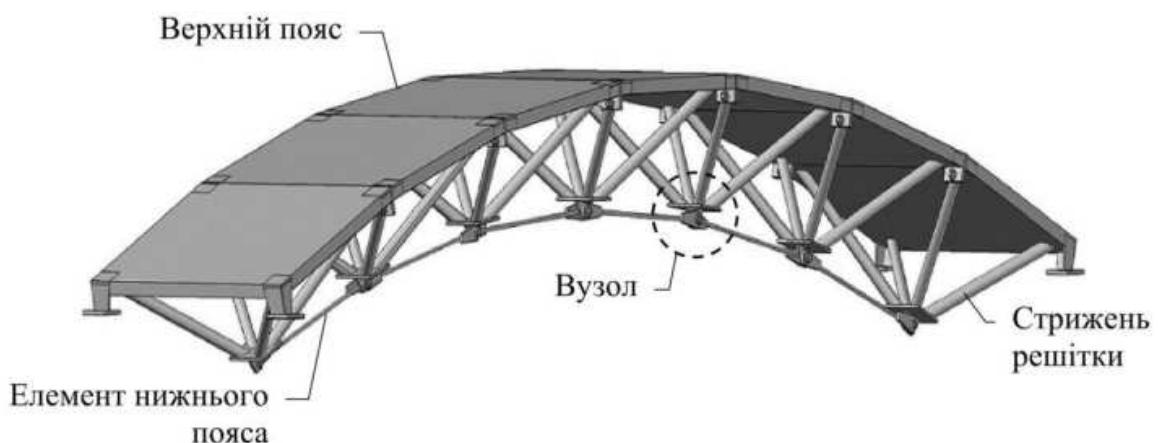


Рис. 1 – Загальний вигляд та вузол з'єднання фрагменту просторового структурно-вантового сталезалізобетонного покриття

Якісною ознакою технології виготовлення просторових модулів є спосіб бетонування плити, який відбувається у перевернутому положенні на рівній поверхні із застосуванням мінімуму опалубки або взагалі без неї при наявності сталевих обрамлення плити. Забезпечення сумісної роботи залізобетонної

плити і жорстких стрижнів відбувається шляхом з'єднання труб стрижнів з армуванням.

До конструктивних переваг таких просторових структурно-вантових конструкцій відноситься те, що вони є модульними збірними системами, у яких втілено принцип раціонального використання матеріалів завдяки оригінальному поєднанню несучих плитних і стрижневих елементів, у тому числі просторове поєднання для сумісної роботи стиснутих жорстких та розтягнутих гнучких стрижнів. Окрім цього, до особливостей відноситься суміщення несучої та огорожувальної функцій верхнім поясом.

До переваг технологічно характеру відноситься проста будова конструкції в цілому та нескладна конструкція вузлів болтового з'єднання зокрема. Завдяки запропонованим болтовим вузлам з'єднання, на відміну від класичних структурних конструкцій, у розроблених конструкціях досягається зменшення загальної кількості болтів. Одночасно з цим до переваг цієї групи належить проста технологія виготовлення модульних елементів і монтажу конструкції, яка не передбачає застосування складних та дорогих ріштувань чи опалублення.

Узагальнюючою роботою наукової школи під керівництвом д.т.н., професора Чихладзе Е.Д. по дослідженню згинаних сталезалізобетонних конструкцій є робота Ватулі Г.Л. Окрім оптимізації комбінованих сталобетонних конструкцій з врахуванням мінімуму їх маси та вартості, особливістю його роботи є дослідження вказаних конструкцій крім силових на температурні впливи.

При дослідженні просторових згинаних сталезалізобетонних конструкцій значна увага приділена дослідженню та оптимізації шпренгельним балкам покриття [5], розвитку методик по уточненому її розрахунку. Доведено, що включення шпренгеля в роботу балки є ефективним засобом для збільшення її несучої здатності, жорсткості і у багатьох випадках економічності [6]. Подібне конструктивне рішення використовується як при створенні нових, так і при підсиленні існуючих конструкцій. Раціональні конструкції досягаються шляхом варіації розташування розпірок між шпренгелем і верхнім поясом x та величин стріл підйому f та h_1 .

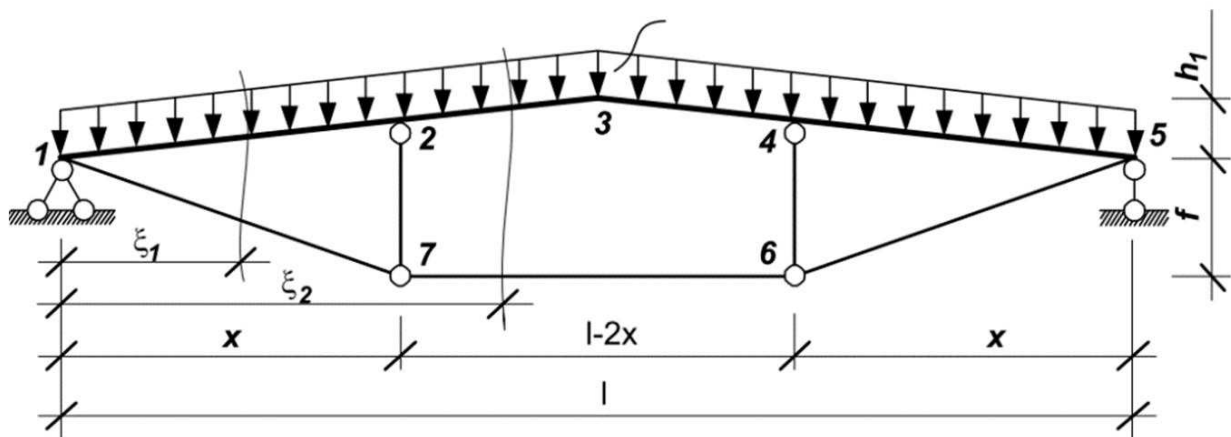


Рис. 2 – Розрахункова схема статично невизначної шпренгельної балки

Подібний шлях раціоналізації використано і для шпренгельної тришарнірної балки (арки) : величина згинаючого моменту в балці залежить від кількості стійок та розміщення їх по загальному прольоту конструкції (рис. 3). При цьому нижній пояс шпренгеля окреслюється по мотузковій кривій.

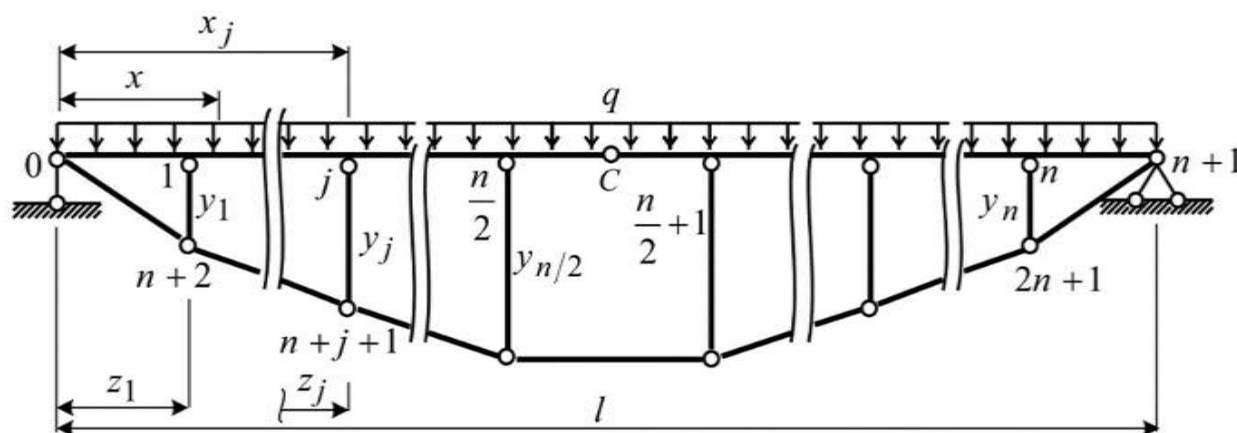


Рис. 3 – Схема шпренгельної балки

У НУ «Львівська політехніка» Вибранекь В.В. під керівництвом к.т.н., доцента Іваника І.Г. провів експериментально-теоретичні дослідження сталевих шпренгельних конструкцій (рис. 4), об'єднаних у сумісну роботу із залізобетонною плитою різної форми: звичайною плоскою, ребристою поперек та вздовж сталевих шпренгельних конструкцій [9]. Верхній пояс сталеві частини був виготовлений із прокатного двотавру, а шпренгельна підвіска та нижня зтяжка із спарених сталевих кутиків.

Паралельно Іваником Ю.І. під керівництвом д.т.н., професора Демчини Б.Г. проводилися роботи по оптимізації вказаних на рисунку 3 конструкцій регулюючи зусилля в її елементах шляхом попереднього напруження нижньої зтяжки шпренгеля (рис. 5). Для створення попереднього натягу використовувалися два арматурні стержні з різьбою на кінцях (рис. 6); натяг стержня здійснювався закручуванням гайок. Створення попереднього натягу в зтяжці змінили параметри сталеві балки жорсткості. Економічний ефект за рахунок створення попереднього натягу в зтяжці у порівнянні з комбінованою металевією шпренгельною конструкцією склав 17.72%



Рис. 4 – Загальний вигляд однопролітної сталезалізобетонної шпренгельної конструкції під час випробувань

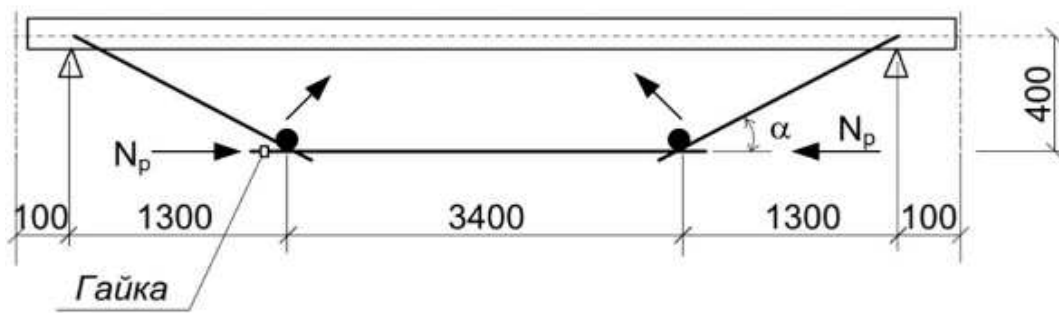


Рис. 5 – Схема створення зусиль натягу в зтяжці шпренгельної сталезалізобетонної конструкції



Рис. 6 – Вузол шпренгеля натурної моделі комбінованої попередньо напруженої сталезалізобетонної конструкції

Окрім конструктивних заходів регулювання зусиль, запропоновано регулювати напружено-деформований стан технологічним методом, тобто поетапним залученням в роботу різних частин конструкцій за умови нерозрізної схеми роботи сталезалізобетонної шпренгельної конструкції. Розглянуто регулювання зусиль у *нерозрізній* трипролітній комбінованій сталезалізобетонній конструкції під час розробки робочого проекту реконструкції басейну санаторію “Женева” в м. Трускавець. Регулювання зусиль в нерозрізній трипролітній балці жорсткості статично невизначеної комбінованої конструкції здійснювалося у три стадії (рис. 7):

– стадія I: бетонуєчи крайні прольоти, комбінована сталева конструкція сприймає постійне навантаження від монолітної залізобетонної плити лише в крайніх прольотах (рис. 7, а). При цьому в середньому прольоті сталеві конструктивні елементи отримують зворотні прогини, а також знакоперемінні зусилля – відбувається додаткове регулювання зусиль в елементах сталеві балко-ферми. У результаті набору міцності бетоном в крайніх прольотах поперечні перерізи балок в цих прольотах з металевих перетворюються в сталезалізобетонні, характеристики жорсткості яких значно перевищують початкові; зміщується положення центральної осі перерізів у сталезалізобетонній конструкції;

– стадія II: бетонування середніх прольотів (рис. 7, б). Комбінована сталева конструкція сприймає постійне навантаження від монолітної залізобетонної плити в середньому прольоті, а крайні прольоти при цьому працюють вже як сталезалізобетонні;

– стадія III: набір міцності бетону в середніх прольотах; отримуємо нерозрізну балку по всій довжині сталезалізобетонної плити (рис. 7, в). Розрахункова схема такої складної конструкції являє собою нерозрізну комбіновану сталезалізобетонну і сталеву конструкцію з врахуванням зміни положення по вертикалі центральної осі.

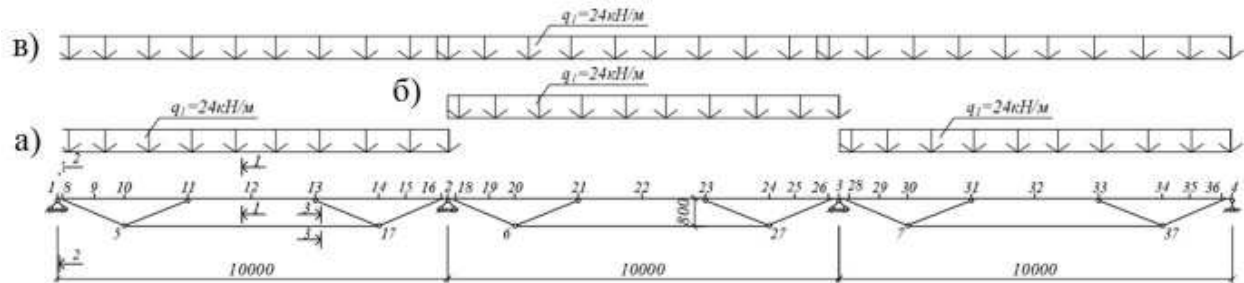
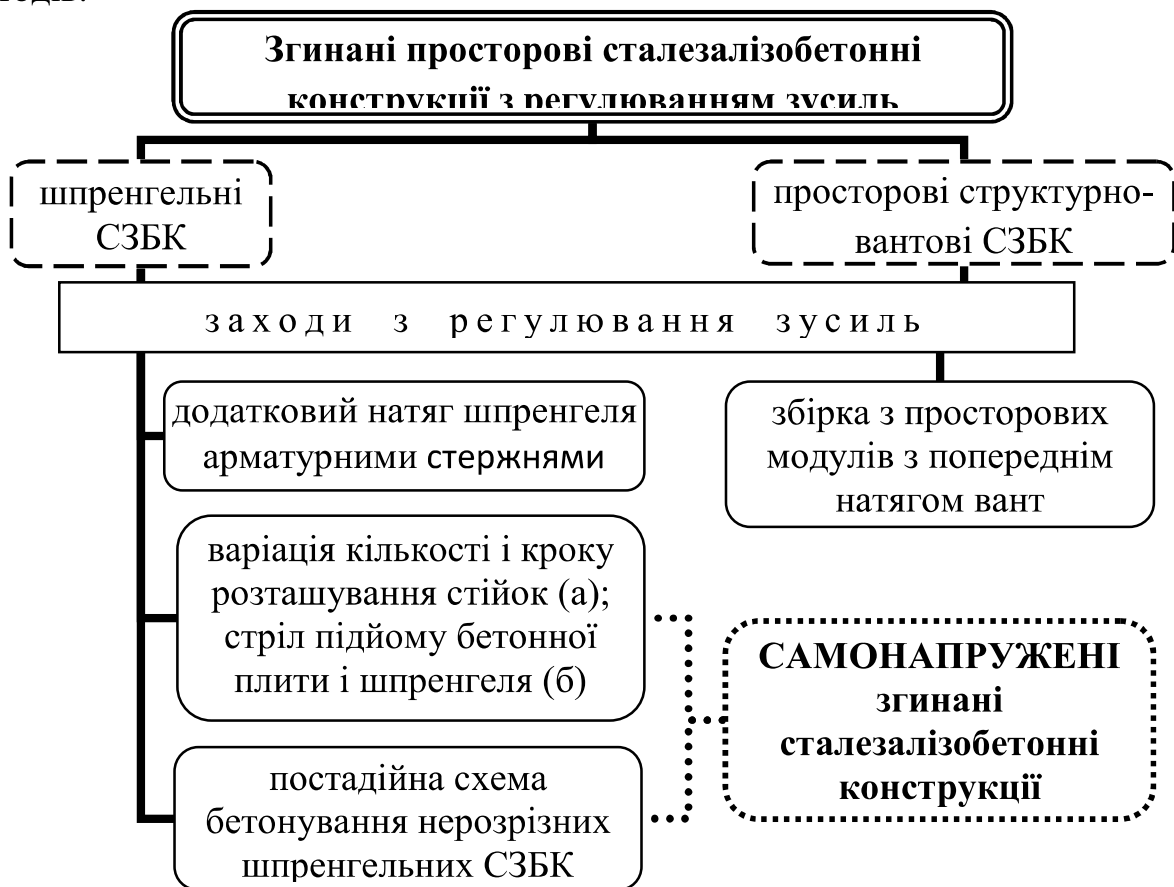


Рис. 7 – Схеми завантаження нерозрізної комбінованої конструкції:
а) стадія I; б) стадія II; в) стадія III

Висновки. Результати аналізу методів створення раціональних попередніх напружень у елементах просторових сталезалізобетонних конструкцій представлено у вигляді структурної схеми із виділенням *самонапружуючих* методів.



1. Абовський Н.П., Інжутов І.С., Енджієвський Л.В., Деордієв С.В., Палагушкін В.І. Активне формоутворення конструкцій – творчий процес навчання. Нові комбіновані просторові конструкції. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса, 2013. №17. С. 9–16.

Abovskiy N.P., Inzhutov I.S., Endzhiievskiy L.V., Deordiiev S.V., Palahushkin V.I. Aktyvne formoutvorennia konstruktsii – tvorchyi protses navchannia. Novi kombinovani prostorovi konstruktsii. *Suchasni budivelni konstruktsii z metalu ta derevyny*. Odessa, 2013. №17. S. 9–16.

2. Pavlikov A.M., Mykytenko S.M., Hasenko A.V. Effective structural system for the construction of affordable housing. *International Journal of Engineering & Technology: Publisher of International Academic Journals. Science Publishing Corporation, RAK Free Trade Zone*, 2018. Vol. 7, No 3.2. P. 291–298. doi: 10.14419/ijet.v7i3.2.14422.

3. Семко О.В., Гасенко А.В. Оптимізація прольотів монолітної плити сталезалізобетонних перекриттів. *Тези ХІХ міжн. наук.-практ. конф. «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі»* (м. Чернігів, 19–22 вересня 2021 р.). Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2021. С. 289–290.

Semko O.V., Hasenko A.V. Optymizatsiia prolitiv monolitnoi plyty stalezalizobetonnykh perekryttiv. *Tezy ХІХ mizhn. nauk.-prakt. konf. «Innovatsiini tekhnolohii u budivnytstvi, tsyvilnii inzhenerii ta arkhitekturi»* (m. Chernihiv, 19–22 veresnia 2021 r.). Dnipro: DVNZ PDAVA, 2021. S. 289–290.

4. Стороженко Л.І., Гасій Г.М. Особливості будови та базові положення щодо проектування й виробництва просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. Київ, 2017. № 2. С. 29-33. Storozhenko L.I., Hasii H.M. Osoblyvosti budovy ta bazovi polozhennia shchodo proektuvannia y vyrobnytstva prostorovoi strukturno-vantovoi stalezalizobetonnoi konstruktsii. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*. Kyiv, 2017. № 2. S. 29-33

5. Фалендиш А. П., Ватуля Г.Л. До питання раціоналізації конструкції комбінованих систем. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2013. Вип. 136. С. 177–183.

Falendysh A. P., Vatulia H.L. Do pytannia ratsionalizatsii konstruktsii kombinovanykh system. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*. 2013. Vyp. 136. S. 177–183.

6. Ватуля Г.Л., Орел Є.Ф., Сінчук С.Д., Величко С.А. Задача оптимального проектування шпренгельної балки при дії постійного навантаження. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип. 147. С. 118–122.

Vatulia H.L., Orel Ye.F., Sinchuk S.D., Velychko S.A. Zadacha optymalnoho proektuvannia shprenhelnoi balky pry dii postiinoho navantazhennia. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*. 2014. Vyp. 147. S. 118–122.

7. Ватуля Г.Л., Орел Є.Ф., Левчук С.В., Андрущенко І.М. Вплив параметрів проектування на оптимальність конструкції трьохшарнірних арок. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків, 2013. Вип. 141. С. 191-196.

Vatulia H.L., Orel Ye.F., Levchuk S.V., Andrushchenko I.M. Vplyv parametriv proektuvannia na optymalnist konstruktsii trokshsharnirnykh arok. *Zb. nauk. prats UkrDUZT*. Kharkiv, 2013. Vyp. 141. S. 191-196.

8. Ватуля Г.Л., Китов Ю.П., Веревичева М.А., Синчук С.Д. Деякі особливості задачі оптимізації шпренгельних балок. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 161. С. 36 – 47.

Vatulia H.L., Kytov Yu.P., Verevycheva M.A., Synchuk S.D. Deiaki osoblyvosti zadachi optymizatsii shprenhelnykh balok. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT*. 2016. Vyp. 161. S. 36 – 47.

9. Іваник І.Г., Віхоть С.І., Вибранець Ю.Ю., Іваник Ю.І. Просторовий розрахунок комбінованих сталезалізобетонних систем. *Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка*. Полтава, 2014. Вип. 3 (42). С. 86–91.

Ivanyk I.H., Vikhot S.I., Vybranets Yu.Iu., Ivanyk Yu.I. Prostorovyi rozrakhunok kombinovanykh stalezalizobetonnykh system. *Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo: zb. nauk. prats PoltNTU im. Yu. Kondratiuka*. Poltava, 2014. Vyp. 3 (42). S. 86–91.

10. Іваник Ю.І., Демчина Б.Г. Дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонних попередньо напружених шпренгельних конструкцій в умовах постадійної роботи. *Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник*. Київ, 2016. №61. С. 50–61.

Ivanyk Yu.I., Demchyna B.H. Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu stalezalizobetonnykh poperedno napruzhenykh shprengelnykh konstrukttsii v umovakh postadiinoi roboty. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: Nauk.-tekhn. zbirnyk*. Kyiv, 2016. №61. S. 50–61.

11. Іваник І.Г., Вибранець Ю.Ю., Віхоть С.І. Методика регулювання зусиль в комбінованих статично невизначених сталезалізобетонних конструкціях. *Зб. наук. пр. «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій»*. Львів: «Каменярь», 2007. Вип. 7. С. 443–453.

Ivanyk I.H., Vybranets Yu.Iu., Vikhot S.I. Metodyka rehuliuвання zusyl v kombinovanykh statychno nevyznachenykh stalezalizobetonnykh konstrukttsiiakh. *Zb. nauk. pr. «Mekhanika i fizyka ruinuvannia budivelnnykh materialiv ta konstrukttsii»*. Lviv: «Kamenyar», 2007. Vyp. 7. S. 443–453.

12. Іваник І.Г., Вибранець Ю.Ю., Віхоть С.І. Регулювання зусиль в сталобетонних комбінованих статично невизначених конструкціях з врахуванням положення нейтральної осі балки жорсткості. *Зб. наук. пр. НУ «Львівська політехніка»*. Львів, 2010. С. 116–121.

Ivanyk I.H., Vybranets Yu.Iu., Vikhot S.I. Rehuliuвання zusyl v stalebetonnykh kombinovanykh statychno nevyznachenykh konstrukttsiiakh z vrakhuvanniam polozhennia neitralnoi osi balky zhorstkosti. *Zb. nauk. pr. NU «Lvivska politekhnika»*. Lviv, 2010. S. 116–121.