

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ВИБРАНЕЦЬ ЮРІЙ ЮРІЙОВИЧ



УДК 624.014+691.328

**МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАТИВНІСТЬ
КОМБІНОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ СИСТЕМ, ОБ'ЄДНАНИХ
У СУМІСНУ РОБОТУ ЗІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ПЛИТОЮ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Іваник Іван Григорович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
доцент кафедри будівельного виробництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Єрмоленко Дмитро Адольфович,
Полтавський національний технічний університет
імені Ю. Кондратюка,
професор кафедри автомобільних доріг, геодезії,
землеустрою та сільських будівель;

кандидат технічних наук, доцент
Шмиг Роман Андрійович,
Львівський національний аграрний університет,
доцент кафедри будівельних конструкцій.

Захист відбудеться «1» квітня 2016 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, навчальний корпус ІІ, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «29» лютого 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к. т. н., доцент



Холод П.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основні задачі в області вдосконалення будівельних конструкцій вимагають покращення їх структури, розширення використання ефективних видів прокату, забезпечення економії матеріалів і трудових затрат. Поставлені задачі можуть бути розв'язані шляхом розробки і вдосконалення ефективних конструктивних форм, які відповідають вимогам прогресивних технологій виготовлення та монтажу, вдосконалення методів розрахунку і норм проектування.

Сталезалізобетонні шпренгельні конструкції застосовують при зведенні та реконструкції житлових, громадських і виробничих будівель. З них виконують несучі елементи покриттів та перекриттів, також прогонові будови. Застосування комбінованих металевих систем в сумісній роботі з залізобетонною плитою дозволяє зменшити вагу конструкцій при забезпеченні експлуатаційних вимог (на початок).

Робота елементів конструкцій в умовах неодноосного напруженого стану визначає особливості їх деформативних властивостей і несучої здатності. Вимоги з врахування фізичної нелінійності металевих і сталезалізобетонних елементів сформульовані в стандартах та нормативних документах (ДБН В.2.6-163:2010, ДБН В.2.6-160:2010), інструкціях і рекомендаціях. Але врахування цих вимог на практиці проектування ускладнене. Недостатня розробка відповідних методів і програм розрахунку може спричинити використання традиційних методів розрахунку до некоректної оцінки роботи конструкції в цілому і прийняттю нераціональних проектних рішень. Тому просторова модель – це один з перспективних напрямків вдосконалення теорії розрахунку комбінованих сталезалізобетонних конструкцій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науково-технічній політиці України в галузі збереження будівельного фонду і надійності будівель, що підтверджується Постановою Кабінету Міністрів України № 409 від 05.05.1997р. “Про забезпечення надійної і безпечної експлуатації будівель та інженерних мереж”, рішенням міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України від 14.02.2002р. “Про технічний стан і залишковий ресурс конструкцій і споруд основних галузей господарства в Україні”.

Дисертаційна робота виконана згідно з тематикою наукових досліджень кафедри «Будівельне виробництво» Національного університету «Львівська політехніка»: «Технологія будівництва, дослідження прогресивних конструкцій і методів зведення будівель і споруд, сучасні технології енергоефективного будівництва, бетонів поліфункціонального призначення та ефективних оздоблювальних, гідроізоляційних, антикорозійних матеріалів», а також в рамках госпдоговірних тем (номер держреєстрації 0106U008821).

Мета роботи та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка математичної моделі й алгоритму просторового розрахунку металевих шпренгельних систем, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою різної конструкції, вивчення характеру роботи їх елементів та знаходження резервів несучої здатності.

Досягнення поставленої мети здійснюється вирішенням таких задач:

- на основі методик розрахунку перехресно-ребристих та комбінованих шпренгельних систем створити математичну модель розрахунку, алгоритм та програму визначення зусиль і вертикальних переміщень у просторових шпренгельних сталезалізобетонних системах;
- теоретично дослідити міцність та деформативність шпренгельних сталезалізобетонних конструкцій на симетричні та несиметричні навантаження;
- виконати випробування комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою різної форми, та визначити залежність міцності та деформативності дослідних зразків;
- дослідити експериментальним шляхом тріщиностійкість сталезалізобетонних шпренгельних конструкцій з різним типом монолітної плити перекриття та зафіксувати характер руйнування дослідних зразків;
- на основі аналізу економічної ефективності, теоретичних та експериментальних досліджень розробити рекомендації для розрахунку, проектування та застосування сталезалізобетонних шпренгельних конструкцій.

Об'єкт дослідження – металева шпренгельна статично невизначена комбінована система, об'єднана у сумісну роботу з залізобетонною плитою.

Предмет дослідження – міцність та деформативність металевих шпренгельних статично невизначених конструкцій, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою різної форми.

Методи дослідження. При виконанні поставлених у дисертаційній роботі задач, застосовувались методи математичного моделювання, метод прямого експерименту, метод прямого заміру переміщень прогиномірами та індикаторами для визначення деформацій та прогинів, порівняльний аналіз збіжності теоретичних даних і даних, отриманих експериментальним шляхом.

Наукова новизна отриманих результатів:

- на основі методик розрахунку перехресно-ребристих та комбінованих шпренгельних систем створена математична модель розрахунку, алгоритм та програма визначення зусиль та вертикальних переміщень в просторових шпренгельних сталезалізобетонних системах;
- отримано теоретичні та експериментальні дані параметрів міцності та деформативності елементів комбінованих металевих шпренгельних систем, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою різної форми;
- для запропонованих сталезалізобетонних шпренгельних систем встановлено зниження нормальних напружень в перерізах елементів у порівнянні з конструкціями іншого типу;
- отримано подальший розвиток дослідження напружено-деформованого стану шпренгельних сталезалізобетонних систем з регулюванням зусиль в затяжці.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці математичної моделі, алгоритму та програми розрахунку, які використані при проектуванні нових і перерахунку існуючих комбінованих сталезалізобетонних шпренгельних систем. Результати роботи дають можливість визначити параметри міцності та деформативності у всіх елементах конструкції. Результати досліджень

впроваджено при розробленні конструктивних рішень сталезалізобетонних перекриттів громадських будівель та будівель виробничого призначення.

Рекомендації з розрахунку сталезалізобетонних конструкцій будівель та споруд, що наведені в дисертаційній роботі, застосовуються у навчальному процесі на кафедрі будівельного виробництва Національного університету “Львівська політехніка” при викладанні дисципліни “Розрахункові методи в технології зведення будівель та споруд” для спеціальності 8.006010103 «Міське будівництво та господарство».

Особистий внесок здобувача. Результати наукових досліджень, що представлені у роботі, отримані автором самостійно та виносяться до захисту вперше. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить:

- розробка математичної моделі, алгоритму та програми визначення зусиль і вертикальних переміщень в шпренгельних сталезалізобетонних системах;
- проведення випробувань металевих шпренгельних конструкцій, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою різної форми;
- обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень;
- визначення економічної ефективності сталезалізобетонних шпренгельних конструкцій на реальних об'єктах у порівнянні з конструкціями іншого типу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на Міжнародних науково-технічних конференціях на VII Міжнародному симпозиумі «Механіка і фізика руйнування матеріалів та конструкцій» в м. Києві (2007 р.), на XI Міжнародній науковій конференції «Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля» (Львів, 2007 р.), на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Energia w nauce i technice» (Białystok-Suwalki, 2008р.), на LXV науково-практичній конференції у м. Києві (2009 р.), на II Міжнародній науково-практичній конференції «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій» (Львів-Дубляни, 2012р.), на X Міжнародній науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (Полтава, 8-12 жовтня 2012 р), на III міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (Луцьк, травень-червень 2014 р), на XI Міжнародній науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (Полтава, 27-30 жовтня 2014 р).

Публікації. Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковані у 11 наукових працях, у тому числі 10 наукових публікацій у спеціалізованих фахових виданнях, внесених до переліку ВАК України, 1 стаття у періодичному виданні, що є в переліку наукометричних баз даних: AGRO, Index Copernicus International.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 158 найменувань, 2 додатків. Робота викладена на 158 сторінках, у тому числі містить 126 сторінок основного тексту, з них 15 повних сторінок з рисунками і таблицями, 18 сторінок списку використаних джерел та 10 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність, новизну та практичне значення дисертаційної роботи, зазначено необхідність теоретичних та експериментальних досліджень міцності та деформативності комбінованих шпренгельних металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою.

В першому розділі розглянуто розвиток та застосування сталезалізобетонних конструкцій, виконано аналітичний огляд наукових та нормативних джерел, існуючих методів розрахунку.

Основи теорії проектування сталезалізобетонних конструкцій заклали: Є.М. Бабич, А.М. Бамбура, А.Я. Барашиков, А. Бегус, З.Я. Бліхарський, Г. Гансвел, Б.Г. Гнідець, М.В. Гоголь, Б.Г. Демчина, І.М. Добрянський, Д.А. Єрмоленко, В.Г. Кваша, Р.І. Кінаш, Ф.Є. Клименко, О.В. Семко, Л.І. Стороженко, М.М. Стрелецький, В.М. Тимошенко, Е.Д. Чихладзе, А.Л. Шагін, Р.А. Шмиг та ін. науковці.

Широке застосування сталезалізобетонні конструкції спочатку отримали у мостах (М.М. Стрелецький), пізніше – як конструкції покриття (Г.Д. Попов). Доцільність використання сталезалізобетонного верхнього поясу шпренгельних конструкцій викликана наявністю у ньому стиску, що підвищує його ефективність. Стальний профільований лист спочатку використовували в якості нез'ємної опалубки, потім – в якості зовнішньої арматури плити (Л.І. Стороженко, Ф.Є. Клименко).

Існуючі теоретичні й експериментальні напрацювання в цих напрямках дозволили сформулювати основні завдання дисертаційних досліджень.

У другому розділі на основі методик розрахунку перехресно-ребристих та шпренгельних конструкцій створена математична модель, алгоритм та програма розрахунку шпренгельних сталезалізобетонних систем. Дана методика була розроблена І.Г. Іваником під керівництвом В.Г. Кваші та базується на способі введення уявних шарнірів в перерізах конструкції. У наукових роботах С.І. Віхоть вдосконалила дану методику для розрахунку металевих шпренгельних систем.

Просторову комбіновану сталезалізобетонну шпренгельну систему представимо у вигляді перехресно-ребристої конструкції, що складається з n поздовжніх металевих шпренгельних конструкцій, які обперті на жорсткі опори, та m поперечних балок, що уявно розчленовують залізобетонну плиту в поперечному напрямі (рис.1).

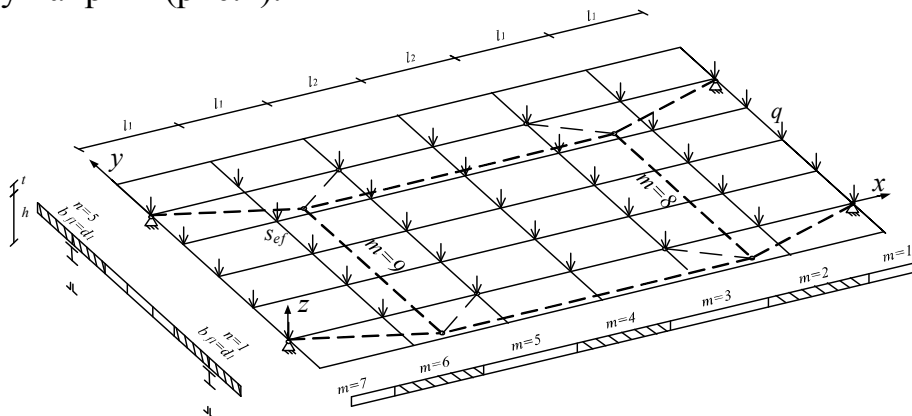


Рис. 1. Статична схема перехресно-ребристої системи.

Напруження в балці жорсткості комбінованої сталезалізобетонної шпренгельної конструкції знаходимо за формулою:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_{red}} \pm \frac{M_{Ed}}{W_{red}} \quad (1)$$

Методика розрахунку передбачає поетапну роботу системи в цілому і окремих її елементів з врахуванням приведених до сталі геометричних та механічних характеристик перерізів балки жорсткості. Розрахункова схема сталезалізобетонного перерізу, що складався зі сталевих двотавра і залізобетонної плити, зображена на рис. 2, а. На першій (монтажній) стадії – до набуття бетоном заданої міцності – навантаження від власної ваги, ваги залізобетонних плит, опалубки, монтажного обладнання, атмосферних впливів під час монтажу та інші сприймаються сталевими комбінованими шпренгельними конструкціями (рис. 2, б). Друга стадія (зведення) передбачає об'єднання монолітної залізобетонної плити з металевією балкою жорсткості комбінованої шпренгельної конструкції. В такій конструкції змінилися положення нейтральної осі сталезалізобетонного перерізу і точки перетину з осями елементів підвіски. Конструкція сприймає повне постійне, атмосферні та інші навантаження і впливи (рис. 2, в). Враховуючи принцип додавання епюр напружень від першої стадії та навантаження, прикладеного у другій стадії, отримаємо сумарну епюру (рис. 2, г). Третя стадія – експлуатаційні навантаження, навантаження від власної ваги, конструкції підлоги і т. п. сприймаються всією сталезалізобетонною конструкцією (2, д). При цьому враховують, що у другій стадії прикладено лише постійне навантаження і деформації у бетоні мають переважно пружний характер, тобто коефіцієнт приведення обчислюють за початковим модулем пружності бетону. На останній стадії роботи, під час дії повного навантаження, переважають пластичні деформації та деформації повзучості бетону, що зумовлює зменшення його модуля деформування.

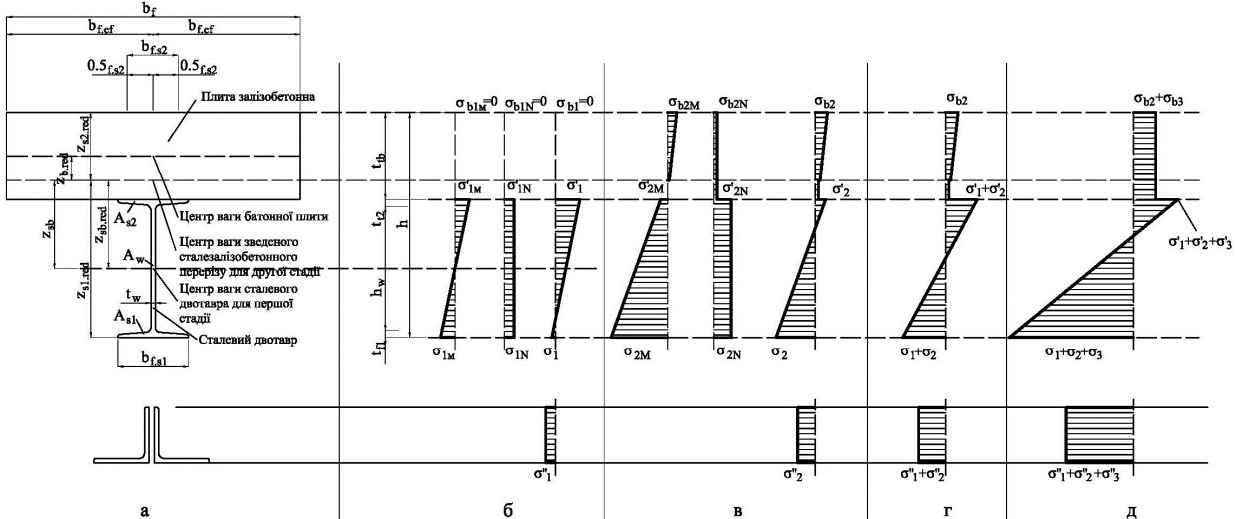


Рис. 2. Епюри напружень при різних стадіях навантаження балки жорсткості: а) розрахункова схема сталезалізобетонного перерізу; б) епюра напружень у першій стадії; в) епюра напружень у другій стадії; г) сумарна епюра від першої та другої стадій; д) сумарна епюра напружень у третій стадії.

За канонічне рівняння використано рівняння п'яти моментів, яке для пружно-просідаючої опори $s_{e,f}$ в напрямку осі OX з врахуванням сумісної дії згинальних моментів, поздовжніх і поперечних сил має наступний вигляд:

$$\delta_{xe-2,f} X_{xe-2,f} + \delta_{xe-1,f} X_{xe-1,f} + \delta_{xe,f} X_{xe,f} + \delta_{xe+1,f} X_{xe+1,f} + \delta_{xe+2,f} X_{xe+2,f} + \delta^*_{xe-2,f} X^{kp}_{xe-2,f} + \delta^*_{xe-1,f} X^{kp}_{xe-1,f} + \delta^*_{xe,f} X^{kp}_{xe,f} + \delta^*_{xe+1,f} X^{kp}_{xe+1,f} + \delta^*_{xe+2,f} X^{kp}_{xe+2,f} + \dots + \Delta_{e,f} P = 0; \quad (2)$$

в напрямку осі OY з врахуванням сумісної дії згинальних моментів і поперечних сил має наступний вигляд:

$$\delta_{ye-2,f} X_{ye-2,f} + \delta_{ye-1,f} X_{ye-1,f} + \delta_{ye,f} X_{ye,f} + \delta_{ye+1,f} X_{ye+1,f} + \delta_{ye+2,f} X_{ye+2,f} + \delta^*_{ye-2,f} X^{kp}_{ye-2,f} + \delta^*_{ye-1,f} X^{kp}_{ye-1,f} + \delta^*_{ye,f} X^{kp}_{ye,f} + \delta^*_{ye+1,f} X^{kp}_{ye+1,f} + \delta^*_{ye+2,f} X^{kp}_{ye+2,f} + \dots + \Delta_{e,f} P = 0. \quad (3)$$

При обчисленні коефіцієнтів і вільних членів цих рівнянь розглянуто взаємодію в перерізах елементів згинальних моментів, поздовжніх і поперечних сил. Коефіцієнти рівнянь (2, 3) знайдені перемноженням відповідних епюр.

Прогин на пружно-просідаючій опорі нерозрізної балки в напрямі OX в загальному випадку дорівнює сумарній реакції цієї опори, помноженій на коефіцієнт податливості $c_{xe,f}$.

$$z_{xe,f} = c_{xe,f} [X_{xe-1,f}/l_{xe,f} - X_{xe,f} (1/l_{xe,f} + 1/l_{xe+1,f}) + X_{xe+1,f}/l_{xe+1,f}] + c_{xe,f} R_{xe,f}, \quad (4)$$

в напрямі OY :

$$z_{ye,f} = c_{ye,f} [X_{ye-1,f}/l_{ye,f} - X_{ye,f} (1/l_{ye,f} + 1/l_{ye,f+1}) + X_{ye,f+1}/l_{ye,f+1}] + c_{ye,f} R_{ye,f} \quad (5)$$

Вирази (4) і (5) відображають один і той самий прогин у вузлі пружно-просідаючої опори. Прирівнявши праві частини цих виразів, отримано рівняння, яке відображає **статичну рівновагу зусиль** в вузлі пружно-просідаючої опори з врахуванням податливості опор.

Підставивши значення в рівняння (2, 3), отримано систему лінійних алгебраїчних рівнянь, що в повній мірі описує міцнісні та деформативні характеристики шпренгельних сталезалізобетонних конструкцій, і є достатньою для знаходження невідомих зусиль та переміщень. На основі рівняння п'яти моментів з курсу будівельної механіки виведено рівняння нерозривності деформацій (6) та (7), що дало можливість врахувати вплив згинальних моментів, поздовжніх і поперечних сил на роботу елементів системи в деформованому стані:

для n -них балок напрямку OX

$$X_{xe-1,f} \cdot l / (6B(x)_{xe-1,f}) + 2 X_{xe,f} \cdot l / (3B(x)_{xe,f}) + X_{xe+1,f} \cdot l / (6B(x)_{xe+1,f}) + z_{xe,f-1} / l - 2 z_{xe,f} / l + z_{xe+1,f} / l = 0; \quad (6)$$

для m -них балок напрямку OY

$$X_{ye,f-1} \cdot d / (6B(y)_{ye,f-1}) + 2 X_{ye,f} \cdot d / (3B(y)_{ye,f}) + X_{ye,f+1} \cdot d / (6B(y)_{ye,f+1}) + z_{ye,f-1} / d - 2 z_{ye,f} / d + z_{ye,f+1} / d = 0. \quad (7)$$

Жорсткість зведеного перерізу до появи тріщин матиме вигляд:

$$B(x) = 0,85 \cdot E_{cm} \cdot I_{red, xe,f}, \quad (8)$$

$$B(y) = 0,85 \cdot E_{cm} \cdot I_{red, ye,f}, \quad (9)$$

де коефіцієнт $0,85$ враховує зниження жорсткості під впливом деформацій в бетоні розтягнутої зони.

Жорсткість зведеного перерізу після появи тріщин:

$$B(x) = d_{0,xe,f} z_{xe,f} / \left[\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_c}{(\varphi_f + \xi) \lambda_c E_{cm} b_{xe,f} d_{0,xe,f}} \right]; \quad (10)$$

$$B(y) = d_{0,yef} z_{yef} // \left[\frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_c}{(\varphi_f + \xi) \lambda_c E_{cm} b_{yef} d_{0,yef}} \right]. \quad (11)$$

Для реалізації алгоритму розроблене програмне забезпечення розрахунку шпренгельних сталезалізобетонних конструкцій. Його перевага у порівнянні з відомими полягає в можливості підбирати січення, що відповідають певним обмеженням – геометричним розмірам, напруженню в елементах та ін.

У третьому розділі розроблена програма експериментальних досліджень, проведено випробування дослідних зразків та опрацьовано результати.

Для виконання задач дисертаційного дослідження було виготовлено 3 натурних дослідних зразки. Кожен натурний зразок складався з двох ідентичних металевих шпренгельних конструкцій, по верху яких була залита монолітна залізобетонна плита.

Загальна довжина металевої шпренгельної конструкції становила 6,14 м (проліт 6,0 м), висота – 0,475 м (в осях 0,4 м). Конструкція виготовлена згідно розроблених креслень (рис. 3). Верхній пояс металевої конструкції виконано з прокатного сталюого двотаврового профілю № 12. Шпренгельна підвіска та нижня затяжка виконана зі спарених сталюих кутиків розмірами 45x45x4 мм та 50x50x5 мм. Клас сталі конструкцій – С 245. Верхній пояс об'єднаний з елементами шпренгельної підвіски фасонками товщиною 5 мм. З'єднання виконано за допомогою електродугового зварювання.

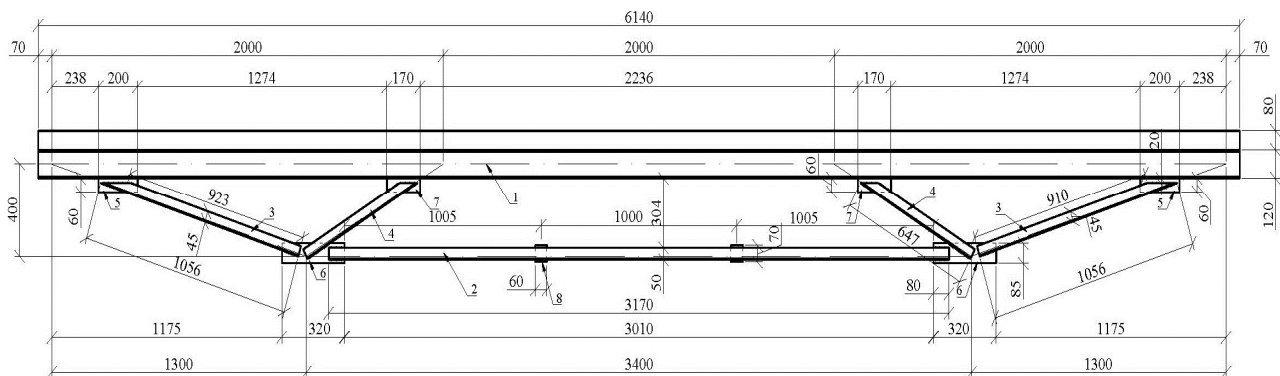


Рис. 3. Дослідна сталезалізобетонна шпренгельна конструкція прольотом $L=6$ м.

Монолітна залізобетонна плита, розміром 6,14x3,0 м, виконана по верху металевих балок. Клас бетону – С20/25. Крок армування – 200 мм, арматура робоча $\varnothing 8$ та 12 класу А400С, конструктивна – $\varnothing 8$ А240С згідно ДСТУ 3760-2006. Армування виконано у нижній зоні – суцільне та у верхній зоні – над опорами (рис. 4).

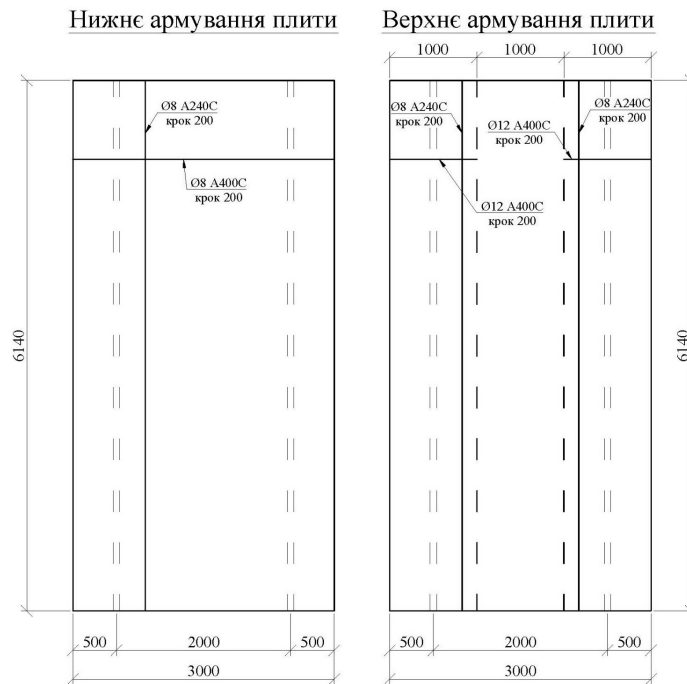


Рис. 4. Схема армування плити дослідних зразків.

Натурні зразки відрізнялися між собою формою плити:

КСБ-1: плита виконана по звичайній плоскій щитовій опалубці (рис 5, а).

КСБ-2: в якості опалубки використано сталевий профільований настил ТП-35, товщиною 0,5 мм згідно ТУ У В.2.6-28.7-30703438-001:2010, влаштований ребрами поперек металевих шпренгельних конструкцій (рис 5, б).

КСБ-3: в якості опалубки використано сталевий профільований настил ТП-35, товщиною 0,5 мм згідно ТУ У В.2.6-28.7-30703438-001:2010, влаштований ребрами вздовж металевих шпренгельних конструкцій (рис 5, в).

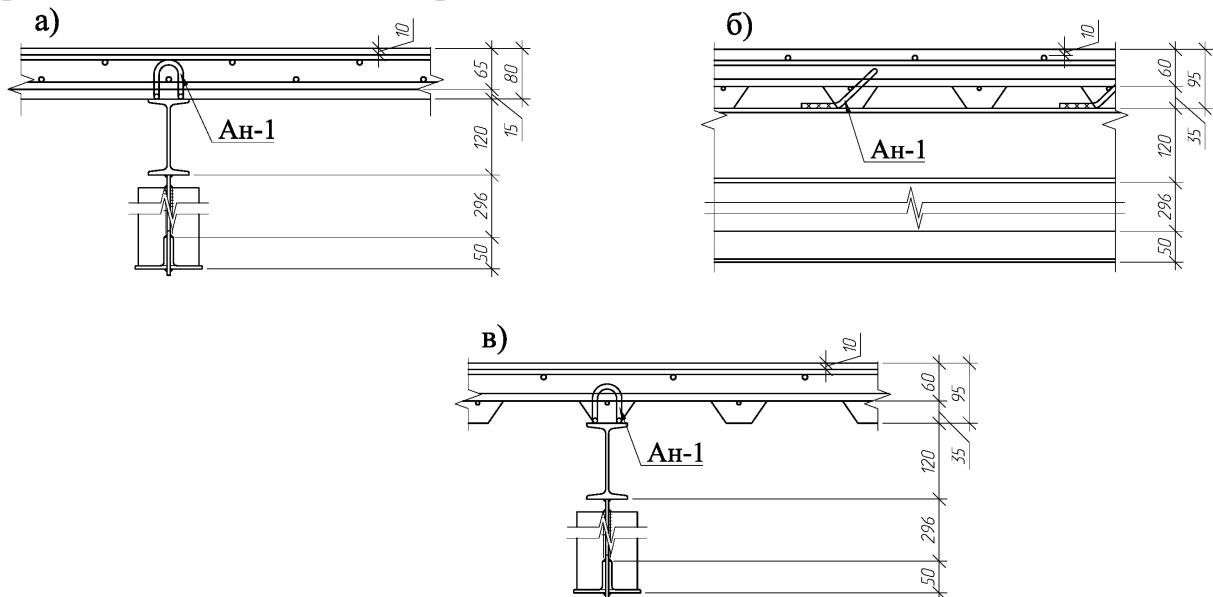


Рис. 5. Типи дослідних зразків плити: а) по звичайній плоскій щитовій опалубці; б) по профільованому настилі ребрами поперек шпренгельних конструкцій; в) по профільованому настилі ребрами вздовж шпренгельних конструкцій; Ан-1 – гнучкий анкер.

Натурні дослідні конструкції встановлено на кільцеві опори, які влаштовані на фундаментні блоки ФБС-24.4.6 на відстані (в осях) 2,0 м. Для забезпечення загальної стійкості конструкції та просторової її роботи влаштовано розкріплення нижніх вузлів шпренгельної підвіски металевими зв'язками з квадратної труби 40x40x3 мм (рис. 6, а). Згідно поставлених завдань навантаження на конструкцію здійснювалось як симетрично, так і несиметрично. В розрахунку прийнято рівномірно розподілене навантаження. Для моделювання його в умовах експерименту завантаження дослідних конструкцій здійснювалось мішками з піском (рис. 6, б), які були попередньо фасовані і зважені. Прикладалося навантаження до верху залізобетонної плити.

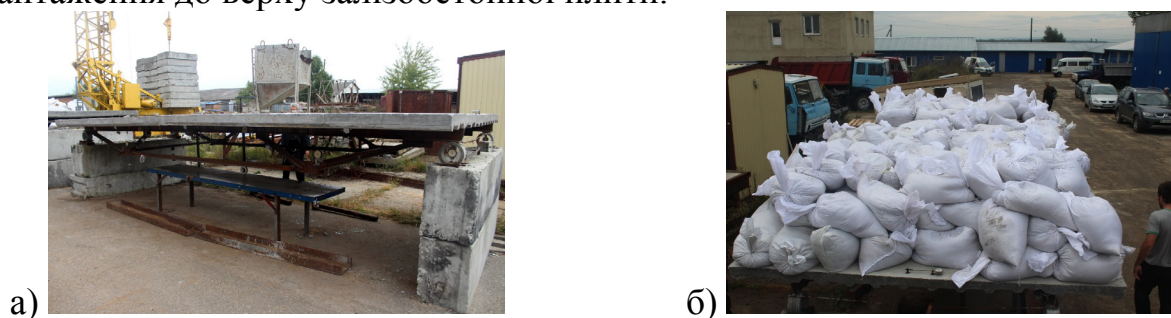


Рис. 6. Дослідна шпренгельна сталезалізобетонна конструкція:
а) загальний вигляд; б) навантаження.

В програмі експериментальних досліджень основною метою ставилося:

1. Апробація методики розрахунку, викладеної в розділі 2.
2. Визначення напружень в поперечних перерізах сталезалізобетонних конструкцій.
3. Визначення жорсткісних характеристик сталезалізобетонних конструкцій.
4. Визначення тріщиностійкості дослідних конструкцій.
5. Аналіз результатів експерименту та співставлення їх із теоретичними даними.

В ході проведення експериментальних випробувань вимірювали:

- поздовжні деформації як по металевій шпренгельній конструкції, так і по залізобетонній плиті;
- вертикальні переміщення, за якими визначали фактичний прогин.

Схеми розташування приладів зображені на рис. 7 та рис. 8.

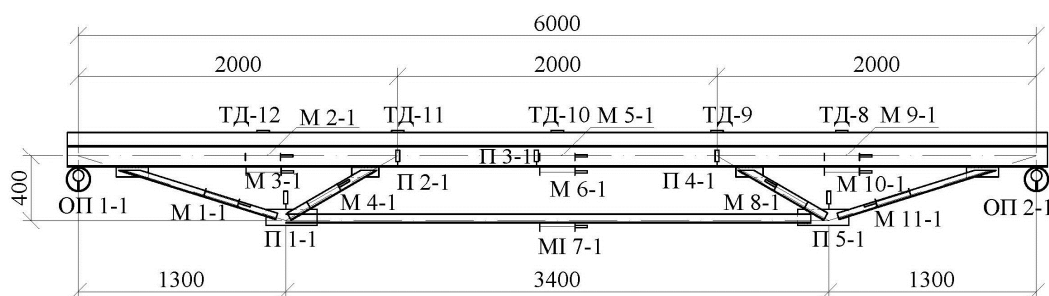
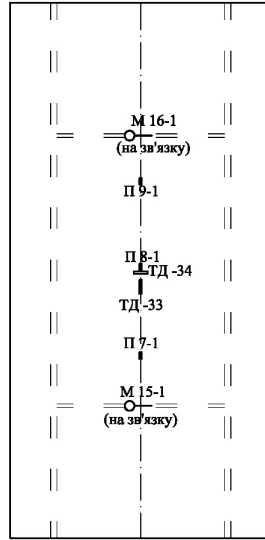


Рис. 7. Схема розташування приладів на металевій шпренгельній конструкції: М – мікроіндикатори, П – прогиноміри, ТД – тензорезистор.



Низ плити



Верх плити

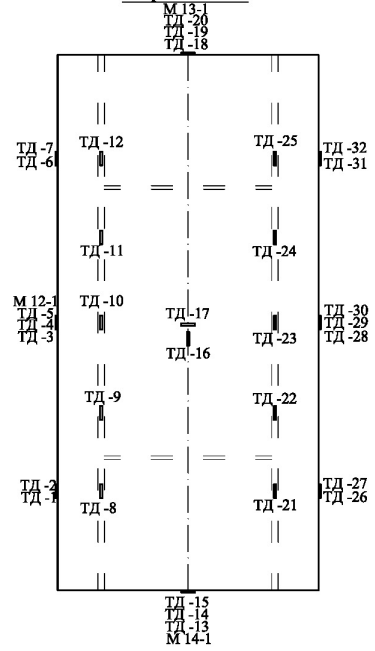


Рис. 8. Схема розташування приладів на залізобетонній плиті та металевих зв'язках: М – мікроіндикатори, П – прогиноміри, ТД – тензорезистори.

За результатами експериментальних досліджень побудовано графіки залежності напружень в перерізах шпренгельної металевої конструкції (рис. 9) та відносних деформацій верхньої стиснутої зони бетону (рис. 10) від ступінчато прикладеного навантаження.

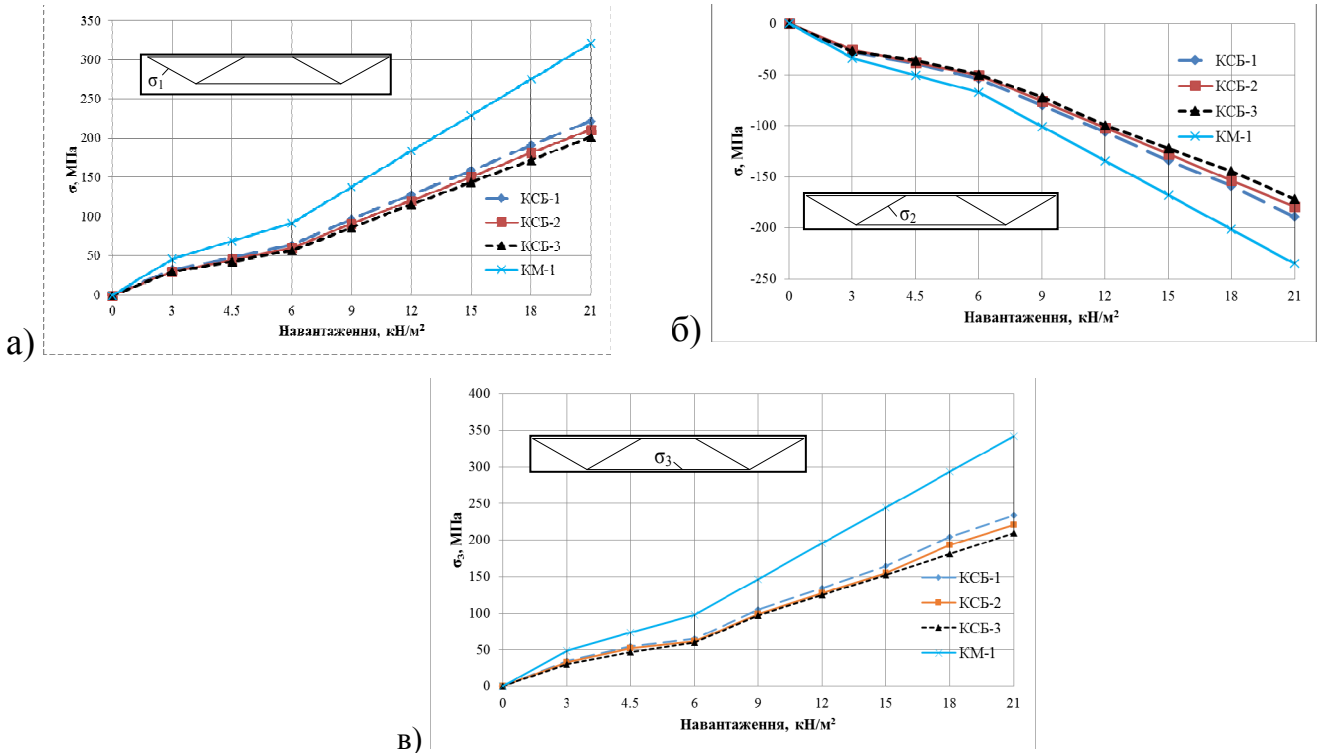


Рис. 9. Графіки залежності напружень від ступінчато прикладеного навантаження в елементах металевої конструкції: а) у крайньому підкосі; б) у внутрішньому підкосі; в) у нижній зтягці.

Перевірочні розрахунки виконані із застосуванням розробленої математичної моделі та програмного комплексу ЛІРА.

Прийнято два варіанти моделювання сталезалізобетонного перерізу. Для вивчення характеру роботи плити і розподілу в ній напружень та деформацій, металеві шпренгельні конструкції змодельовані кінцевими елементами (КЕ) стержнів, а плита – КЕ пластини. Зміщення осей металеві та залізобетонної частини перерізів задано жорсткими вставками стержнів.

Також приймався спосіб моделювання конструкції як перехресно-ребристої. В даному випадку плита прийнята як балка відповідної ширини, а сталезалізобетонний пояс задано числовим значенням. Його жорсткість визначено відповідно до рекомендації ДБН «Сталезалізобетонні конструкції» по прийняттю розрахункової ширини полицки.

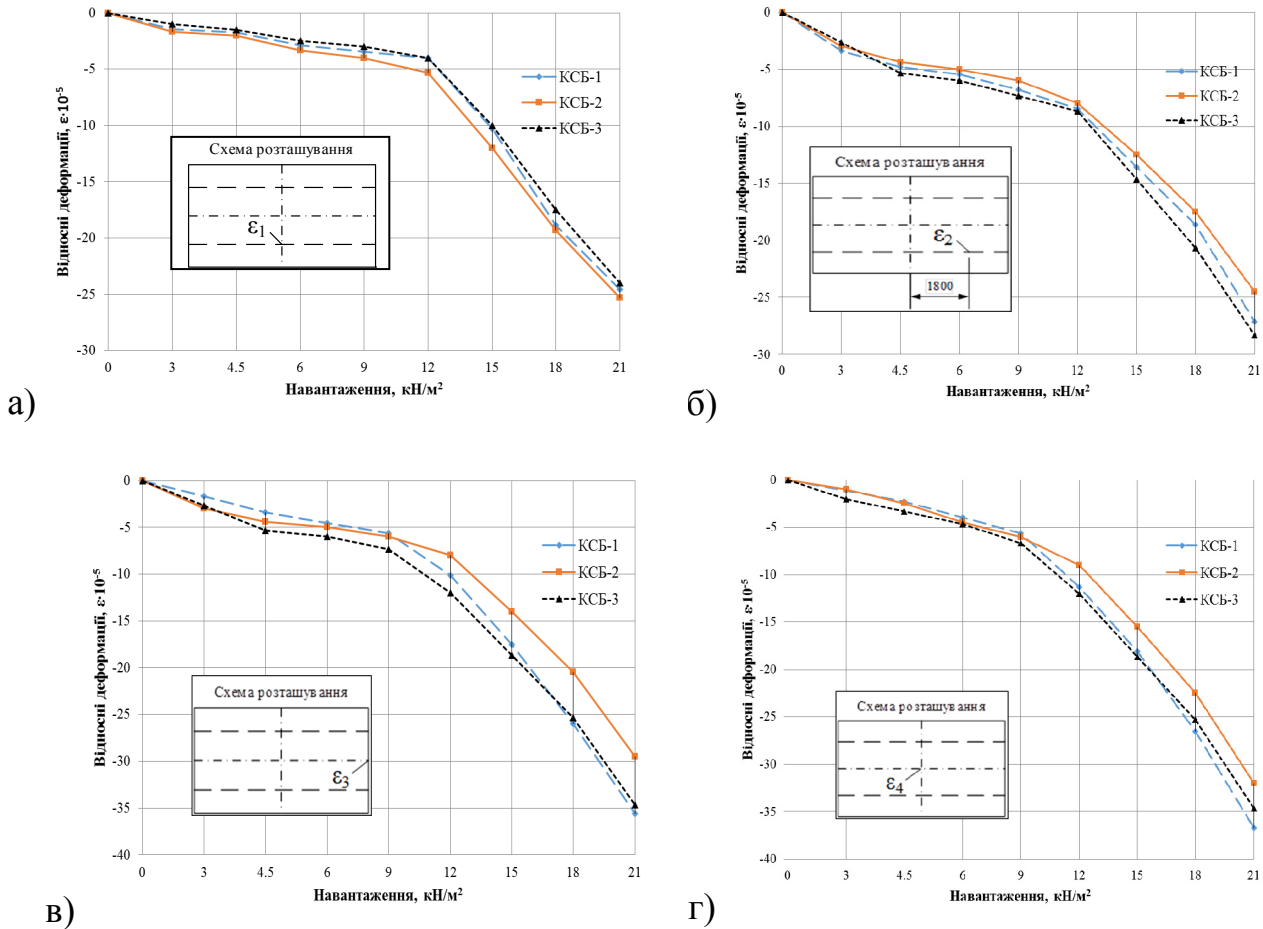


Рис. 10. Графіки залежності відносних деформацій верхньої стиснутої зони бетону від навантаження: а) по середині балки жорсткості; б) на відстані 1,8 м від середини; в) по середині плити між балками жорсткості; г) по середині плити.

Порівняння теоретичних і експериментальних вертикальних переміщень вузлів конструкцій зведені в табл.1. Прогини знаходили за формулою:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \quad (12)$$

де $\delta_1 \dots \delta_3$ – переміщення вузлів сталезалізобетонної шпренгельної конструкції відповідно на першій ... третій стадіях.

Експериментальні та теоретичні прогини вузлів конструкцій

№ з/п	Шифр	Ступені навантаження	Прогин експериментальний, мм	Прогин теоретичний, мм	Збіжність результатів, %
1	КСБ-1	1	2.43	2.46	1.23
2		2	3.63	3.68	1.38
3		3	4.52	4.91	8.63
4		4	7.35	7.37	0.27
5		5	9.51	9.83	3.36
6		6	11.97	12.28	2.59
7		7	14.32	14.74	2.93
8		8	17.01	17.19	1.06
9	КСБ-2	1	2.03	2.14	5.42
10		2	3.12	3.21	2.88
11		3	4.11	4.38	6.57
12		4	6.37	6.43	0.94
13		5	8.24	8.57	4.00
14		6	10.52	10.71	1.81
15		7	12.75	12.85	0.78
16		8	14.87	14.99	0.81
17	КСБ-3	1	2.03	2.18	7.39
18		2	3.12	3.27	4.81
19		3	4.35	4.36	0.23
20		4	6.19	6.54	5.65
21		5	8.52	8.72	2.35
22		6	10.84	10.9	0.55
23		7	12.89	13.08	1.47
24		8	15.02	15.26	1.60

У четвертому розділі представлено застосування комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою перекриття при розробці проектів будівництва та реконструкції будівель та споруд.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень шпренгельних сталезалізобетонних систем дозволили застосовувати конструкції даного типу в перекриттях громадських будівель.

При реконструкції будівлі виробничого корпусу «Бізнес-центр «Підзамче» по вул. Б. Хмельницького, 176 у м. Львові сталезалізобетонні шпренгельні конструкції виконувались прольотом 11,5м (рис.11).

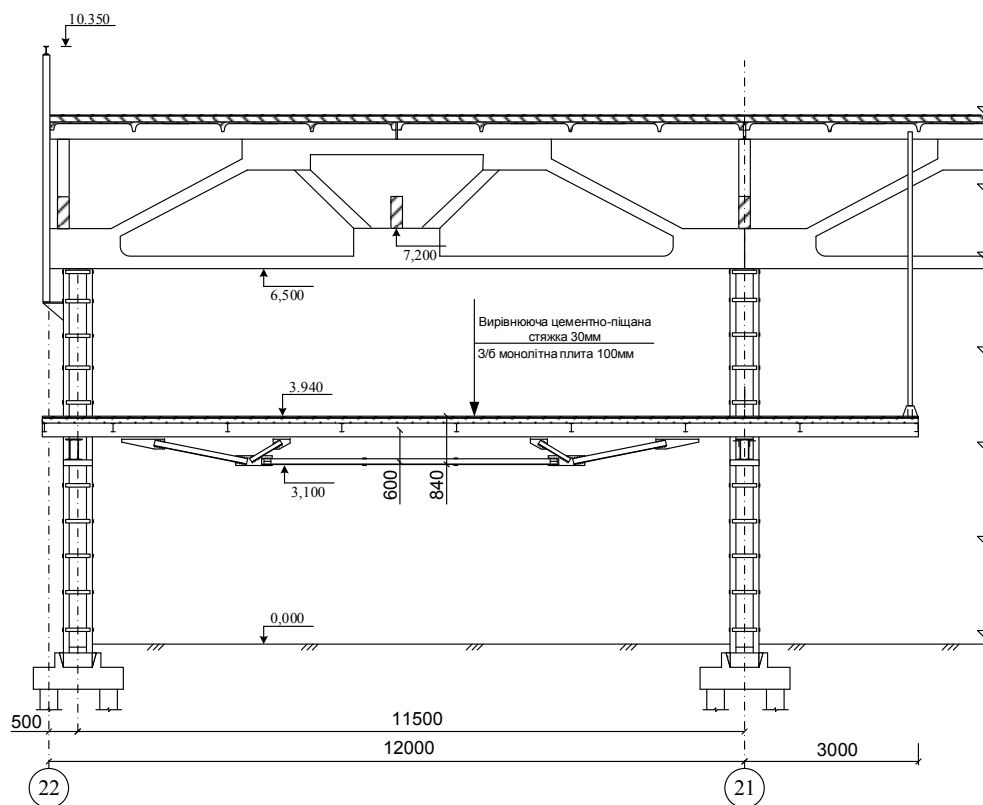


Рис. 11. Головна несуча конструкція сталезалізобетонного перекриття, прольотом 11,5 м.

Для порівняння економічної доцільності використання проведено розрахунок конструкцій перекриття прольотом 11,5 м з кроком головних балок 3 м і навантаженням 10 кН/м^2 : звичайної металевої балки, металевої шпренгельної конструкції (МШК) і сталезалізобетонної шпренгельної конструкції (СЗШК).

За результатами проведених теоретичних досліджень встановлено:

- недонапруження перетинів сталезалізобетонної комбінованої конструкції в порівнянні з МШК дає можливість зменшити січення верхнього поясу на 25%;
- економічний ефект використання СЗШК в порівнянні з МШК складає 16%, з двотавровою металевою балкою – 21%.

При виконанні проекту будівлі мережі «Sport Life» по вул. Зубрівській, 38 у м. Львові прийнято рішення застосувати сталезалізобетонне перекриття, прольотом 12 м з використанням металевих шпренгельних конструкцій.

За конструктивною схемою будівля каркасна, з несучими металевими колонами. Сталезалізобетонне шпренгельне перекриття в даній споруді виконувалось по металевому профільованому настилі в якості опалубки (рис.12).

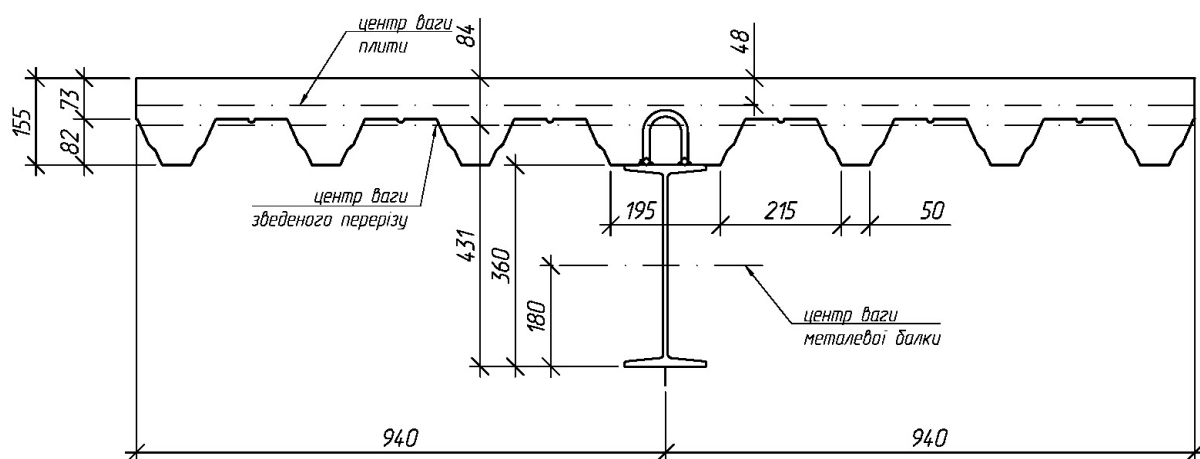


Рис. 12. Сталезалізобетонний верхній пояс шпренгельної конструкції.

Проведено порівняння ефективності техніко-економічних показників сталезалізобетонної конструкції із металевою шпренгельною конструкцією та звичайною металевою балкою для використання як несуча конструкція перекриття. Як показали результати досліджень, економічний ефект використання СЗШК в порівнянні з МШК становить 17%, а з металевою двотавровою балкою – 23%.

У будівлі відпочинкового корпусу ТзОВ «Трускавецьінвест» у перекритті застосовано металеві шпренгельні конструкції в складі комбінованого сталезалізобетонного перекриття. Їхній проліт складав 10 та 18 м (рис.13, рис.14).

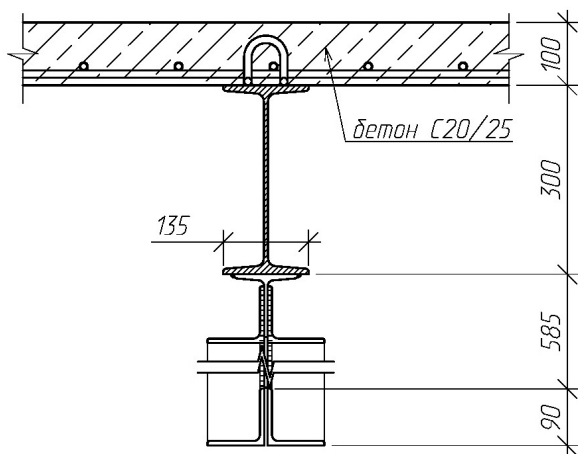


Рис. 13. Переріз шпренгельної сталезалізобетонної конструкції перекриття після бетонування, прольотом 10 м.



Рис. 14. Сталезалізобетонне шпренгельне перекриття на стадії бетонування будівлі відпочинкового корпусу ТзОВ «Трускавецьінвест» (проліт 10 м)

За результатами проведених теоретичних досліджень встановлено, що ефективність використання шпренгельних сталезалізобетонних конструкцій, розрахованих за запропонованою методикою, складає 15% у порівнянні з аналогічною металевою конструкцією перекриття.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішено науково-прикладне завдання з вдосконалення розрахунку та проведення експериментальних досліджень просторових шпренгельних сталезалізобетонних систем, що знайшло відображення в наступному:

1. В роботі запропонована математична модель, алгоритм і програма розрахунку сталезалізобетонних шпренгельних комбінованих конструкцій, в тому числі з врахуванням фізичної нелінійності, яка дозволяє знайти значення зусиль в елементах і вертикальні переміщення вузлів за граничними станами першої і другої груп.

2. На основі розробленої математичної моделі розрахунку сталезалізобетонних шпренгельних конструкцій теоретично досліджено міцність і деформативність елементів конструкцій під дією симетричного і несиметричного навантаження.

3. Виконано експериментальні дослідження комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою різної форми: звичайною плоскою, ребристою поперек та вздовж металевих шпренгельних конструкцій.

4. Визначено залежність міцності та деформативності металевих шпренгельних статично невизначених конструкцій, об'єднаних у сумісну роботу з залізобетонною плитою, від її форми. Збіжність результатів з теоретичними складає 85...95%.

5. Досліджено експериментальним шляхом тріщиностійкість сталезалізобетонних конструкцій з різним типом монолітної плити перекриття. Встановлено, що найбільша ширина розкриття тріщин склала $a_{crc} = 0,51$ мм.

6. Характер тріщиноутворення, який отриманий в ході проведення експерименту, показує, що процес руйнування відбувся в перерізах залізобетонної монолітної плити при її роботі в короткому напрямку.

7. Нормальні напруження в перерізах балки жорсткості сталезалізобетонної шпренгельної конструкції є на 25% меншими у порівнянні з аналогічною металевою шпренгельною конструкцією. В перелічених варіантах ефективність використання сталезалізобетонних шпренгельних систем перекриття на 12-15% більша від аналогічних металевих шпренгельних конструкцій.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

Статті у фахових виданнях України:

1. Іваник І.Г. Експериментальні дослідження деформованого стану комбінованих статично невизначених сталезалізобетонних конструкцій / І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Р.С. Пожар, Ю.Ю. Вибранець // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теорія і практика будівництва: зб. наук. пр. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2007. – № 600. – С. 142-147. *(Особистий внесок: проаналізовано отримані експериментальні дані деформованого стану комбінованих сталезалізобетонних конструкцій).*

2. Іваник І.Г. Методика регулювання зусиль в комбінованих статично невизначених сталезалізобетонних конструкціях / І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Ю.Ю. Вибранець // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірник наукових праць фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка. – Львів, 2007. – Вип. 7. – С. 443-453. *(Особистий внесок: проведений аналіз методів регулювання зусиль в статично невизначених металевих шпренгельних конструкціях в складі залізобетонної плити).*

3. Іваник І.Г. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану комбінованих статично-невизначених металевих конструкцій / І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Ю.Ю. Вибранець // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теорія і практика будівництва: зб. наук. пр. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 627 – С. 106-111. *(Особистий внесок: проведено аналіз досліджень напружено-деформованого стану металевих шпренгельних систем).*

4. Вибранець Ю.Ю. Застосування комбінованих сталезалізобетонних конструкцій перекриття будівлі виробничого корпусу / І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Ю.Ю. Вибранець // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірник наукових праць фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка. – Львів, 2009. – Вип. 8. – С. 433-439. *(Особистий внесок: проаналізовано можливість застосування сталезалізобетонних конструкцій в якості перекриття виробничих приміщень).*

5. Вибранець Ю.Ю. Регулювання зусиль в сталобетонних комбінованих статично невизначених конструкціях з врахуванням положення нейтральної осі балки жорсткості / І.Г. Іваник, Ю.Ю. Вибранець // Вісник Львівського територіального відділення Академії будівництва України. – Львів, 2010. – № 5/10. – С. 116-121. *(Особистий внесок: визначення величини вертикальних прогинів вузлів комбінованої конструкції з врахуванням ступінчатого навантаження).*

6. Іваник І.Г. Робота сталезалізобетонних комбінованих конструкцій з врахуванням попереднього натягу зтяжки нижньої підвіски / І.Г. Іваник, Ю.Ю. Вибранець, Ю.Ю. Іваник // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2013. – №49, частина 1. – С. 155-161. (*Особистий внесок: визначення залежності згинальних моментів та напружень в елементах балки жорсткості від зміни прольоту l_1*).

7. Іваник І.Г. Дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій при зміні положення пружної осі / І.Г. Іваник, Ю.Ю. Вибранець, Ю.Ю. Іваник // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць: Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. – Київ, 2013. – вип. 78. – С. 165-169. (*Особистий внесок: проведення теоретичних розрахунків з формування рівнянь нерозривності деформацій для шпренгельних металевих систем, об'єднаних в спільну роботу з залізобетоном*).

8. Іваник І.Г. Вплив умов обпирання комбінованих стержневих систем на напружено-деформований стан її елементів / І.Г. Іваник, Ю.Ю. Вибранець, Ю.І. Іваник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теорія і практика будівництва: зб. наук. пр. – Львів.: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2013. – № 755. – С. 139-143. (*Особистий внесок: визначення напружень в перерізах шпренгельної комбінованої конструкції в складі залізобетонної плити*).

9. Іваник І.Г. Натурні випробування металевої шпренгельної статично невизначеної конструкції прольотом 18,0 м / І.Г. Іваник, Ю.Ю. Вибранець, Ю.І. Іваник // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». – Луцьк, 2014. – №46. – С. 207-212. (*Особистий внесок: обробка даних, отриманих в результаті випробувань металевої шпренгельної комбінованої конструкції*).

10. Вибранець Ю.Ю. Просторовий розрахунок комбінованих сталезалізобетонних систем / І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Ю.Ю. Вибранець, Іваник Ю.І. // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. – Вип. 3(42). – С. 86-91. (*Особистий внесок: формування математичної моделі розрахунку просторової шпренгельної сталезалізобетонної конструкції*).

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

1. Ivanyk I. Research of composite combined prestressed constructions / I Ivanyk, Y. Vybranets, Y. Ivanyk // Czasopismo naukowe Acta, – Architectura Budownictwo. – 2014. – № 13(2). – S. 81-88 (ISSN 1644-0633). (*Особистий внесок: визначення оптимальних параметрів комбінованої шпренгельної конструкції в складі залізобетонної плити*).

АНОТАЦІЯ

Вибранець Ю.Ю. Міцність і деформативність комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню методики розрахунку, розробці програми та вивченню роботи комбінованих металевих шпренгельних систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою різної форми. Проведені експериментальні дослідження зразків з різними типами монолітної плити – плоскою та ребристою в різних напрямках. Зазначено особливості роботи елементів на дію симетричного та несиметричного навантаження. Зафіксовано характер тріщиноутворення дослідних зразків, який показує процес їх руйнування. Збіжність теоретичних та експериментальних значень склала 85-95%. Виконано моделювання дослідних зразків за допомогою розробленого програмного комплексу.

Дослідження комбінованих металевих шпренгельних систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою, супроводжувалися проектуванням реальних конструкцій та впровадженням їх у будівництво. З використанням розроблених рекомендацій запроєктовано конструкції прольотом від 6 до 18 м, які застосовано для будівель громадського призначення як при новому будівництві, так і при реконструкції.

Ключові слова: шпренгельна сталезалізобетонна конструкція, комбінована металева шпренгельна система, міцність, деформативність.

АННОТАЦИЯ

Выбранец Ю.Ю. Прочность и деформативность комбинированных металлических систем, объединенных в совместную работу с железобетонной плитой. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. Национальный университет "Львовська політехніка" Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертация посвящена совершенствованию методики расчета, разработке программы и изучению работы комбинированных металлических шпренгельных систем, объединенных в совместную работу с железобетонной плитой различной формы. Проведенные экспериментальные исследования образцов с различными типами монолитной плиты – плоской и ребристой в разных направлениях. Указано особенности работы элементов на действие симметричной и несимметричной нагрузки. Зафиксированный характер трещинообразования опытных образцов показывает процесс их разрушения. Сходимость теоретических и экспериментальных значений составила 85-95%. Выполнено моделирование образцов с помощью разработанного программного комплекса.

Исследование комбинированных металлических шпренгельных систем, объединенных в совместную работу с железобетонной плитой, сопровождалось проектированием реальных конструкций и внедрением их в строительство. С использованием разработанных рекомендаций запроектировано конструкции пролетом от 6 до 18 м, которые применены для зданий общественного назначения как при новом строительстве, так и при реконструкции.

Во введении обоснована актуальность, новизна и практическое значение диссертационной работы, указана необходимость теоретических и экспериментальных исследований прочности и деформативности комбинированных металлических шпренгельных систем, объединенных в совместную работу с железобетонной плитой.

В первом разделе рассмотрено развитие и применение сталежелезобетонных шпренгельных конструкций, выполнено обзор научных и нормативных источников, существующих методов и способов расчета.

Существующие теоретические и экспериментальные наработки в этих направлениях позволили сформулировать основные задачи диссертационных исследований.

Во втором разделе усовершенствована методика расчета перекрестно-ребристых и комбинированных шпренгельных систем, основанная на способе введения мнимых шарниров в характерных сечениях конструкции.

В третьем разделе разработана программа экспериментальных исследований, проведено испытание опытных образцов и обработаны результаты.

Для выполнения задач исследования были испытаны 3 опытных образца.

Каждый образец состоял из двух идентичных металлических шпренгельных конструкций, по верху которых была залита монолитная железобетонная плита.

В четвертом разделе представлены применения комбинированных металлических шпренгельных систем, объединенных в совместную работу с

железобетонной плитой перекрытия при разработке проектов строительства и реконструкции зданий и сооружений.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований шпренгельных сталежелезобетонных конструкций, позволили применять конструкции данного типа в перекрытиях общественных зданий. В диссертационной работе приведены выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

В приложениях представлены программа расчета параметров прочности и деформативности элементов комбинированных металлических шпренгельных систем, объединенных в совместную работу с железобетонной плитой, и справки о внедрении.

Ключевые слова: шпренгельная сталежелезобетонная конструкция, комбинированная металлическая шпренгельная конструкция, прочность, деформативность.

ABSTRACT

Vybranets Yu.Yu. Strength and strain of combined metal systems, composite with concrete plate. – On the right of manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.23.01 – constructions and buildings. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

The thesis is devoted to improving of calculation methods, program development and study of combined metal subdiagonal systems, composite with concrete plate of different shapes. Fulfilled experimental study of specimens with different types of monolithic plates – flat and smooth in different directions. Defined specific features of elements work under the action of symmetric and asymmetric loads. It is reported about crack formation character of prototypes that shows the process of destruction. The convergence of theoretical and experimental values was 85-95%. Modeling of prototypes fulfilled using developed software.

The study of combined metal systems, composite with concrete plate, accompanied by the design and implementation of real structures. Using the developed recommendation, the structures with span from 6 to 18 m. where designed. These structures are used for public buildings, both new construction and the renovation.

Keywords: composite subdiagonal construction, combined metal subdiagonal construction, strength, strain.