

УДК: 624.21.004.69

**ВЛАШТУВАННЯ ПРОМІЖНИХ ПЕРЕКРИТЬ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ КОМБІНОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ СИСТЕМ**

кандидат технічних наук, Іваник І. Г.

<https://orcid.org/0000-0003-0079-2987>

кандидат технічних наук, Віхоть С. І.

<https://orcid.org/0000-0002-1063-2103>

кандидат технічних наук, Вибранець Ю. Ю.

<https://orcid.org/0000-0002-3842-9780>

кандидат технічних наук, Іваник Ю. І.

<https://orcid.org/0000-0002-3842-9780>

Національний університет «Львівська політехніка», Україна, Львів

В капітальному будівництві чи реконструкції все рідше застосовують однотипні модульні конструкції, а має місце широке застосування легких конструкцій для перекриття чи покриття різних прольотів. Використання балок чи інших конструкцій має кілька основних недоліків: трудомісткість виготовлення, загальна висота і т. ін. При реконструкції будівлі ТзОВ «Центральна консалтингова компанія» (м. Львів), виникла необхідність влаштування додаткового проміжного перекриття на рівні другого поверху.[1]. В ході виконання робочого проекту для вирішення поставленої задачі було запропоновано влаштувати перекриття над другим поверхом з використанням в якості несучих елементів статично невизначених комбінованих сталевих шпренгельних конструкцій.

Ключові слова: комбіновані шпренгельні конструкції, рівняння нерозривності деформацій, міцність, деформативність, сталезалізобетон, шпренгель.

кандидат технических наук, Иванык И. Г., кандидат технических наук, Вихоть С. И., кандидат технических наук, Выбранець Ю. Ю., кандидат технических наук, Иванык Ю. И. Устройство промежуточных перекрытий с применением комбинированных металлических систем / Национальный университет «Львівська політехніка», Украина, Львов

В капитальном строительстве или реконструкции все реже применяют однотипные модульные конструкции, а имеет место широкое применение легких конструкций для перекрытия или покрытия различных пролетов. Использование балок или других конструкций имеет несколько основных недостатков: трудоемкость изготовления, общая высота и т. д. При реконструкции здания ООО «Центральная консалтинговая компания» (г. Львов), возникла необходимость устройства дополнительного промежуточного перекрытия на уровне второго этажа. [1]. В ходе выполнения рабочего проекта для решения поставленной задачи было предложено устроить перекрытия над вторым этажом с использованием в качестве несущих элементов статически неопределенных комбинированных стальных шпренгельных конструкций.

Ключевые слова: комбинированные шпренгельные конструкции, уравнения совместности деформаций, прочность, деформативность, сталежелезобетон, шпренгель.

I. Ivanyk, PhD of Technical Sciences, S. Vikhot, PhD of Technical Sciences, Yu. Vybranets, PhD of Technical Sciences, Yu. Ivanyk PhD of Technical Sciences, Install of intermediate slabs with the application of combined metal systems / Lviv Polytechnic National University, Ukraine, Lviv.

Capital construction or reconstruction is increasingly used by the same type of modular structure, and there is widespread use of light structures to cover different spans. Using of beams or other structures has several major disadvantages: big labor intensity, the total height, etc. During the reconstruction of the building of the Central Consulting Company LLC (Lviv), there was a need to install an additional intermediate slab at the level of the second floor. [1]. During the implementation of the project, it was proposed to install a slab over the second floor with the use of statically indeterminate combined steel subdiagonal structures as load-bearing elements

Key words: combined subdiagonal structures, deformation continuity equation, strength, deformability, composite still and concrete, sprangel.

Вступ. На сучасному етапі розвитку будівельної галузі, як показує аналіз розвитку конструктивних форм конструкцій [2], [3] умов їх виготовлення та монтажу, одним з перспективних напрямів є застосування просторових комбінованих статично невизначених сталевих шпренгельних систем, основу яких складають жорсткі елементи, посилені шпренгельних затяжками.

Статично невизначені комбіновані сталеві шпренгельні конструкції представляють собою складні просторові елементи. Їх зазвичай розраховують, розділяючи просторові конструкції на ряд плоских систем. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження на дію як статичних, так і динамічних навантажень з метою оцінки напружено-деформованого стану конструктивних систем шпренгельного типу, показали на необхідність вдосконалення розрахункових моделей оцінки надійності та оптимізації параметрів комбінованих шпренгельних систем. Розробка і подальша реалізація на практиці нових розрахункових методів спричинила розвиток

конструктивних рішень комбінованих конструкцій завдяки створенню нових, більш досконалих, геометричних форм, використанню прогресивних профілів і матеріалів, розробкою нових способів штучного регулювання зусиль.

Основним критерієм при застосуванні будівельних конструкцій є забезпечення надійності конструктивних елементів та зменшення їх вартості [4, 5]. Зниження економічних показників досягають за рахунок регулювання напружено-деформованого стану конструкції в цілому, яке можливо виконати запропонованим раніше розробленим методом [6, 7].

Метою роботи є розробка і реалізація для несучих елементів перекриття статично невизначених комбінованих металевих шпренгельних конструкцій на основі раніше апробованих методу і алгоритмів розрахунку параметрів в елементах стержневих комбінованих систем, вивчення характеру роботи їх елементів при дії статичних навантажень, регулювання напружено-деформованого стану з врахуванням реальних властивостей матеріалів та оптимального проектування.

Методика розрахунку. Для розрахунку статично невизначених комбінованих шпренгельних систем (рис. 1) використаємо змішаний метод будівельної механіки.

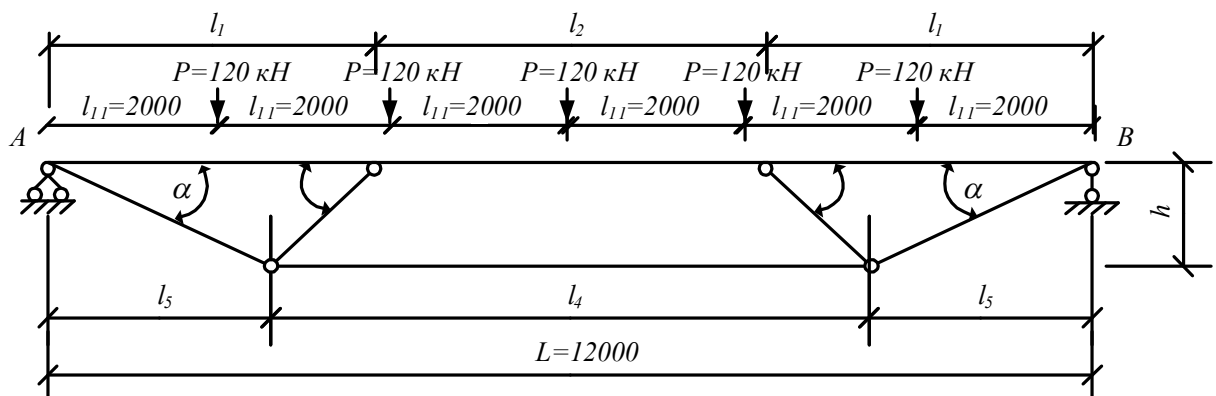


Рис. 1. Геометрична схема комбінованої шпренгельної конструкції.

На балки жорсткості комбінованої шпренгельної конструкції прольотом 12 м прикладено зосереджене навантаження, яке передається через другорядні багатопролітні металеві балки перекриття. Схема завантаження конструкції показана на рис. 1.

Запропонована методика базується на заміні фактичної пружної зігнутої осі балки на фіктивну з введенням уявних шарнірів з одночасним прикладанням згинальних моментів і пружних опорних реакцій в характерних точках. Пружну зігнуту вісь зобразимо як вісь з $n = 1, \dots, i$ кількістю проміжних шарнірів, які внаслідок деформації змістились в вертикальному напрямі відповідно на величину упр ($n=1, \dots, i$). Приймаємо виникнення згинальних моментів M_n , поперечних сил Q_m ($m=1, \dots, j$), поздовжніх сил N_m як наслідок переміщення упр точок (вузлів) пружної осі балки (рис. 2).

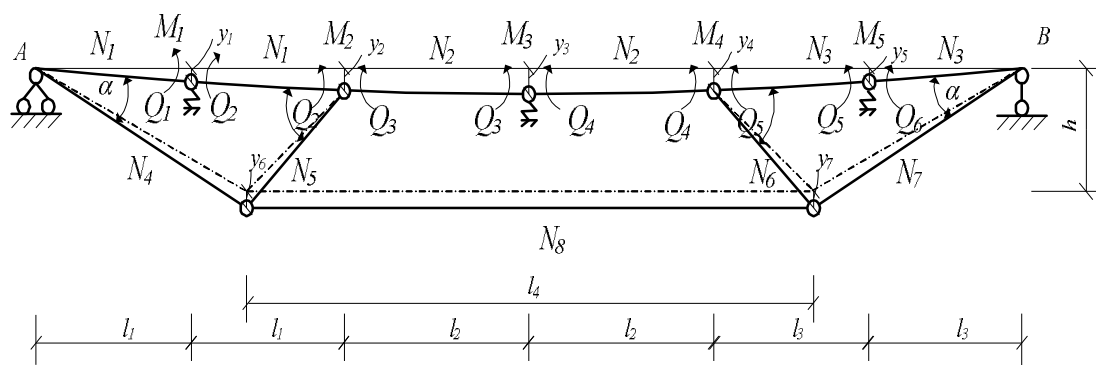


Рис. 2. Розрахункова схема комбінованої шпренгельної конструкції.

В залежності від кількості прийнятих в ході розрахунку перерізів n в балці жорсткості комбінованої шпренгельної конструкції загальне рівняння i -тих зусиль розв'язку системи матиме вигляд:

$$M_1 \cdot \delta_{1,1} + \dots + M_{n-1} \cdot \delta_{n,n-1} + M_n \cdot \delta_{n,n} + M_{n+1} \cdot \delta_{n,n+1} + \dots + M_i \cdot \delta_{i,i} + \Delta n_f = 0 \quad (1).$$

Рівняння нерозривності деформацій, яких недостатньо для знаходження невідомих M_i і u_i , разом з рівняннями статички, які знаходимо з рівноваги панелей і вузлів ферми в основній систем, формують математичну модель комбінованої шпренгельної конструкції.

Отримана таким чином система скінчених лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) є достатньою для знаходження невідомих зусиль в елементах балки жорсткості і системи підвіски. Враховуючи наявність в системі рівнянь як геометричних, так і пружних параметрів елементів конструкції, СЛАР дозволяє шляхом ітераційного пошуку знаходити залежності зусиль від зміни будь-яких параметрів, тобто проводити пошук оптимального підбору поперечних перерізів в конструкції.

Теоретичну розробку методики розрахунку регулювання напружено-деформованого стану комбінованих конструкцій проводили поетапно з метою вивчення впливу різноманітних факторів на напружено-деформований стан перерізів конструкцій.

На першій стадії проектування згідно розробленої методики розрахунку комбінованих статично невизначених однопрольотних металевих шпренгельних конструкцій шляхом оптимізації отримано геометричні та пружні параметри їх елементів (рис. 4). Критерієм розрахунків є досягнення в елементах статично невизначених комбінованих конструкцій рівнонапруженого стану, при якому витрати матеріалів є мінімальними.

Випробування і теоретичні розрахунки металевих однопрольотних конструкцій виконані з метою визначення їх напружено-деформованого стану, оцінки впливу геометричної топології і навантажень на величину напружено-деформованого стану в перерізах конструкції в цілому і оцінки несучої здатності конструкцій.

Для комбінованих систем проводились розрахунки по встановленню реальних діаграм «згинальний момент - прогин», «поздовжня сила - прогин» в залежності від величини і місця прикладання зовнішнього навантаження з метою подальшого використання отриманих діаграм для розрахунків, їх якісної і кількісної оцінки на кінцевий результат.

Розроблена методика передбачає покроковий метод підбору рівнонапруженого стану в елементах конструкцій шляхом зміни топології конструкції, прокату елементів і навантаження.

У даному випадку при дії фіксованого навантаження $q=60$ кН/м на балку жорсткості комбінованої шпренгельної конструкції критеріями пошуку рівнонапруженого стану є кут нахилу крайніх підкосів α , довжина крайніх проміжків балки жорсткості $2l_1$, жорсткісні параметри металевих елементів і висота h (рис.3).

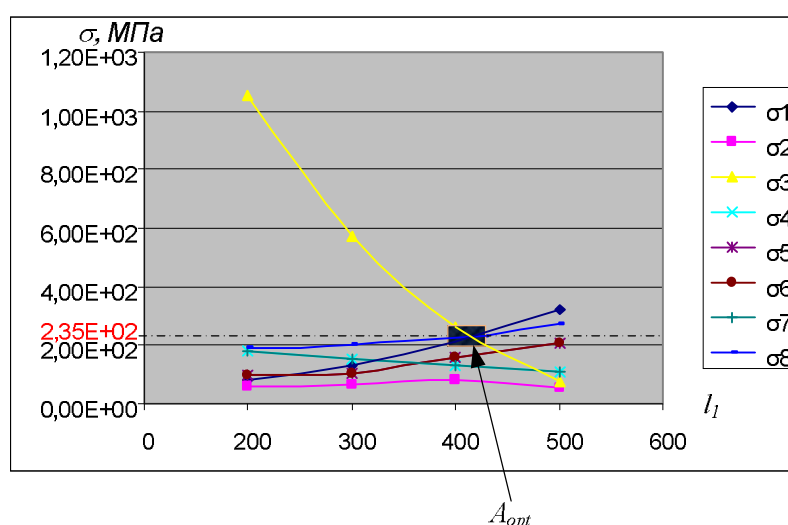


Рис. 3. Залежність напружень в елементах комбінованої конструкції від зміни величини прольоту $2l_1$, кута нахилу крайнього відкосу α і висоти h : 1 – напруження в середній частині крайнього прольоту балки; 2 - напруження в вузлі примикання до балки лівого проміжного підкосу; 3 – напруження в середній частині середнього прольоту балки; 4 - напруження в лівому крайньому підкосі; 5- напруження в лівому проміжному

підкосі; 6 - напруження в правому проміжному підкосі; 7 -
напруження в правому крайньому підкосі;
8 - напруження в затяжці.

Згідно проведеного ітераційного розрахунку на стадії проектування встановлено область оптимального пошуку вихідних результатів A_{opt} і відповідні перетини елементів металевої комбінованої конструкції. Як показано на рис. 4, існує така область оптимального пошуку A_{opt} , в якій напруження σ_i в елементах комбінованої шпренгельної конструкції менші за розрахунковий опір сталі $R_y=235$ МПа і задана при розрахунку різниця складала не більше 5%.

Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити наступні показники статично-невизначеної комбінованої конструкції (СНKK) при куті нахилу крайнього відкосу $\alpha=170$, висоті $h=1000$ мм та довжині крайнього прольоту $2l_1=450$ см наступні параметри: загальна висота - 107 см, верхній пояс (балка жорсткості) – двотавр №45, нижня затяжка – кутник рівнополичковий 140x10, підкоси – кутики рівнополичкові 125x10 та 100x8 (рис.4). Загальна вага комбінованої конструкції складає 1315 кг. Обпирання СНKK згідно проекту передбачено на оголовки залізобетонних колон.

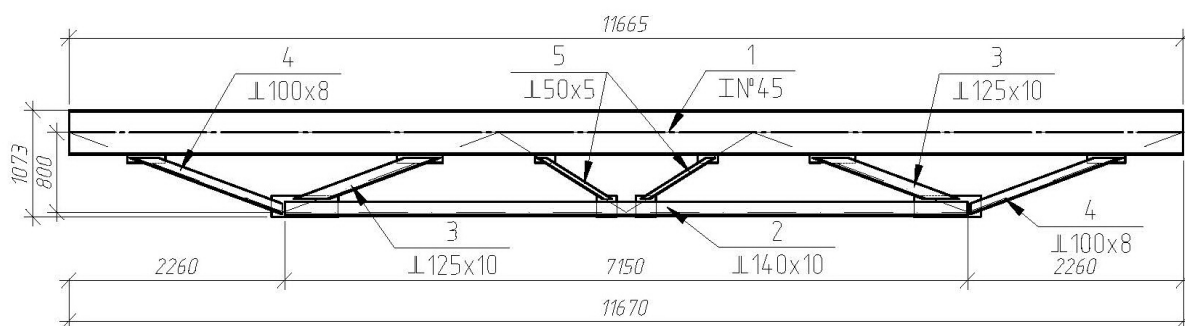


Рис. 4. Комбінована металева конструкція

Поверх СНКК влаштовувались другорядні балки – швелер №27, з кроком 1,9 ... 2,03 м. На другорядних балках влаштовувався профільований настил залізобетонного перекриття (рис. 5, рис. 6) .



Рис. 5. Загальний вигляд цеху під час реконструкції



Рис. 6 Вигляд цеху після реконструкції

Залізобетонна плита перекриття 3-го поверху виконувалась з бетону класу С16/20, товщиною 110 мм по другорядних балках (рис. 7).

Проведені теоретичні дослідження на початковій стадії проектування показали, що в порівнянні зі зварною металевою сталлюю балкою при однаковій схемі навантаження переріз зварної

балки складає: верхній і нижній пояси шириною 350 мм і товщиною 16 мм, стінка висотою 600 мм і товщиною 16 мм. Вага такої балки складає 1905 кг.

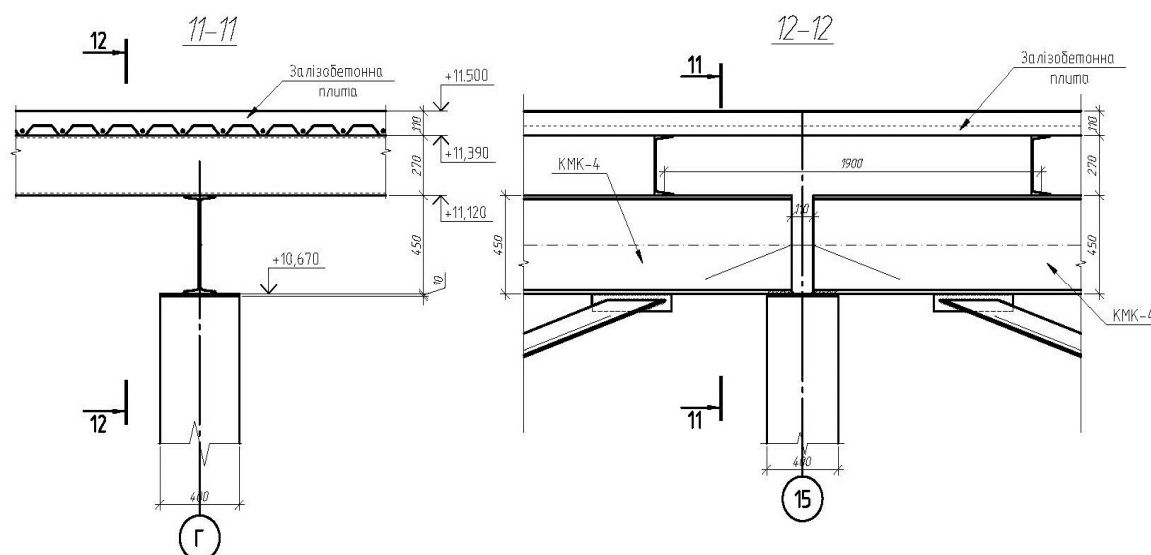


Рис.7. Вузли перекриття по металевих комбінованих конструкціях.

Економія на одній конструкції складає 590 кг. Враховуючи загальну кількість конструкцій (60шт.), загальна економія сталевих несучих конструкцій перекриття на рівні другого поверху об'єкту реконструкції склала 35,4 т, що дозволило зменшити собівартість конструкції з врахуванням виготовлення та монтажу склала приблизно 1,83 млн. грн.

Висновки: на основі раніше апробованих методу і алгоритмів розрахунку параметрів в елементах стержневих комбінованих систем, вивчення характеру роботи їх елементів при дії статичних навантажень, регулювання напружено-деформованого стану з врахуванням реальних властивостей матеріалів та оптимального проектування виконано теоретичні дослідження і запроектовано металеві комбіновані статично невизначені конструкції шпренгельні перекриття. Проведені теоретичні дослідження дозволити

запроектувати надійні несучі конструкції, маса яких на 31 % менша за масу балкових конструкцій.

Література:

1. Робочий проект *«Реконструкція в існуючому об'ємі частини промислової будівлі з пристосуванням з пристосуванням під склади з адміністративно-побутовими приміщеннями на вул. Зеленій, 301 у м. Львові»*, (2013) ТзОВ «Компанія «Спецпроектбуд». Львів.
2. Бельський Г.Е. (1956). *Развитие практических методов расчета и норм проектирования металлических конструкций*. Строительная механика и расчет сооружений, № 6, 8-13.
3. Абовский П.П., Енджиевский Л.В, Савченков В.И., Деруга А.П и др. (1985) *Регулирование, синтез, оптимизация*, изд-во Красноярского ун-та, 384 с.
4. ДБН В.2.6 – 163: 2010. Стальні конструкції. Норми проектування.
5. Под ред. Мельникова Н.П., (1980) *Справочник проектировщика. Металлические конструкции*, Москва, Стройиздат, 776.
6. Іваник І.Г., Віхоть С.І. (2005). Розрахунок комбінованих конструкцій з використанням методу уявних шарнірів, Теорія і практика будівництва, 545, 74-78.
7. Іваник І.Г. (2000). Просторовий розрахунок перехресно-ребристих залізобетонних систем з врахуванням фізичної нелінійності: дис. канд. техн. наук: 05.23.01, Іваник Іван Григорович, Львів, 178.

References:

1. Robochyi proekt «Rekonstruktsiia v isnuuiuchomu ob'iemі chastyny promyslovoi budivli z prystosuvanniam z prystosuvanniam pid sklady z

administratyvno-pobutovymy prymishchenniamy na vul. Zelenii, 301 u m. Lvovi», (2013) TzOV «Kompaniia «Spetsproektbud». Lviv. [in Ukrainian]

2. Bel's'kij G.E. (1956). Razvitie prakticheskikh metodov rascheta i norm proektirovaniya metallicheskih konstrukcij. Stroitel'naja. mehanika i raschet sooruzhenij, № 6, 8-13. [in Ukrainian].

3. Abovskij P.P., Endzhievskij L.V, Savchenkov V.I., Deruga A.P i dr. (1985) Regulirovanie, sintez, optimizacija, izd-vo Krasnojarskogo. un-ta, 384 s. [in Russian].

4. DBN V.2.6 – 163: 2010. Stalni konstruktsii. Normy proektuvannia. [in Ukrainian].

5. Pod red. Mel'nikova N.P., (1980) Spravochnik proektirovshhika. Metalicheskie konstrukcii, Moskva, Strojizdat, 776. [in Russian].

6. Ivanyk I.H., Vikhot S.I. (2005). Rozrakhunok kombinovanykh konstruktsii z vykorystanniam metodu uiavnykh sharniriv, Teoriia i praktyka budivnytstva, 545, 74-78. [in Ukrainian].

7. Ivanyk I.H. (2000). Prostorovy rozrakhunok perekhresno-rebrystykh zalizobetonnykh system z vrakhuvanniam fizychnoi neliniinosti: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / Ivanyk Ivan Hryhorovych, Lviv, 178. [in Ukrainian].