

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ ПОКРИТТЯ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНИХ І ЖОРСТКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ

© Віхоть С.І., Іваник Я.І., Вибранець Ю.Ю., Іваник Ю.І., 2012

Розроблено методику і алгоритм розрахунку зусиль і вертикальних переміщень перерізів комбінованих статично-невизначених стрижневих систем з врахуванням їх реального існуючого стану і нелінійного розподілу жорсткості у пружній і пружно-пластичній стадіях роботи, геометричних і жорсткісних параметрів на основі оптимального проектування. На основі розробленої методики виконано теоретичні дослідження з розрахунку і проектування металевих комбінованих статично невизначених конструкцій різної топології і пружних характеристик.

**Ключові слова:** комбінована статично невизначена конструкція, пружно-пластична робота, жорсткісні параметри, конструкція, топологія.

The technique and algorithm for calculation of forces and vertical displacements of the cross-combined statically indeterminate rod systems with regard to their actual current state and non-linear distribution of stiffness in elastic and elastic-plastic stage of work, geometric and stiffness parameters based on the optimal design. On the basis of the developed technique performed theoretical study on calculation and design of statically indeterminate combined metal structures of different topology and elastic characteristics.

**Key words:** combined statically indeterminate structure, elastic-plastic, stiffness parameters, construction, topology.

**Постановка проблеми.** Основні завдання в області вдосконалення будівельних, зокрема металевих, конструкцій вимагають покращення їх структури, розширення використання ефективних видів прокату, забезпечення економії чорних металів, передбачення у проектах широкого застосування прогресивних конструкцій, послідовно скорочуючи витрати матеріальних, паливно-енергетичних і трудових затрат на одиницю продукції. Поставлені завдання можуть бути виконані завдяки розробці і створенню ефективних конструктивних форм, які відповідають вимогам прогресивних технологій виготовлення та монтажу, використання ефективних профілів прокату, вдосконалення методів розрахунку і норм проектування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Статична невизначеність комбінованих металевих конструкцій, їх обмежена деформативність зумовлюють нелінійність в роботі металевих елементів. Робота елементів конструкцій в умовах неодноосного напруженого стану визначає особливості їх деформативних властивостей і несучої здатності. Вимоги з врахування фізичної нелінійності металевих елементів сформульовані в стандартах, нормативних документах [4, 5], інструкціях і рекомендаціях. Врахування цих вимог на практиці проектування ускладнене: в них недостатньо розроблені відповідні методи і програми розрахунку; використання традиційних методів розрахунку приводить до некоректної оцінки роботи конструкції і прийняття нераціональних проектних рішень. Найважливішим завданням теорії споруд є розробка методів розрахунку і проектування оптимальних конструкцій [3]. Кінцевою метою будь-якого розрахунку є визначення тих чи інших параметрів, що відповідають вимогам оптимальності. Проте класичні методи будівельної механіки дають можливість здійснити лише перевіркового розрахунок за відомих розмірів перерізів та інших геометричних і пружних характеристик системи. Такий розрахунок не

дає змоги знайти оптимальну систему, а тільки уможливорює з кількох розрахункових систем вибрати кращу. Особливо наочно це виявляється для статично невизначених систем, в яких вже на етапі визначення внутрішніх зусиль необхідно вважати заданими жорсткості стрижнів.

**Мета та завдання досліджень.** Мета роботи – теоретично дослідити з використанням ЕОМ і вивчити характер роботи елементів стрижневих комбінованих систем за дії статичних навантажень на основі регулювання напружено-деформованого стану з врахуванням реальних властивостей матеріалів, оптимального проектування і певних побічних чинників, які безпосередньо впливають на роботу і несучу здатність елементів конструкцій і споруд [1].

**Методика розрахунку.** Розроблена методика і алгоритм розрахунку зусиль і вертикальних переміщень перерізів комбінованих статично-невизначених стрижневих систем [2] на основі оптимального проектування дає можливість визначити напружено-деформований стан в елементах конструкції з врахуванням нелінійного розподілу жорсткості в пружній і пружно-пластичній стадіях роботи, геометричних і жорсткісних параметрів. На основі розробленої методики виконано теоретичні дослідження з розрахунку і проектування металевих комбінованих статично невизначених конструкцій різної топології і пружних характеристик.

Співробітники НДЛ-19 кафедри будівельного виробництва Інституту будівництва та інженерії доквілля Національного університету “Львівська політехніка” запропонували під час розробки робочого проекту реконструкції складу ТзОВ “Карпатська кераміка” в м. Калуші Івано-Франківської області конструкцію металевого покриття, несучими елементами якого є СНКК різної довжини, форм і топології.

Будівля у плані неправильної Г-подібної форми (рис. 1, ..., рис. 3). За буквенними осями Ж в осях 1...7 і Л в осях 1...5 розташовані головні СНКК завдовжки 8.2 і 9 м. По осі Г в осях 1...7 на існуючих залізобетонних колонах цеху влаштовуються металеві обойми, на яких монтується шляхом зварювання металеві консолі. На ці консолі встановлюється головна статично невизначена багатопрігінна металева балка.

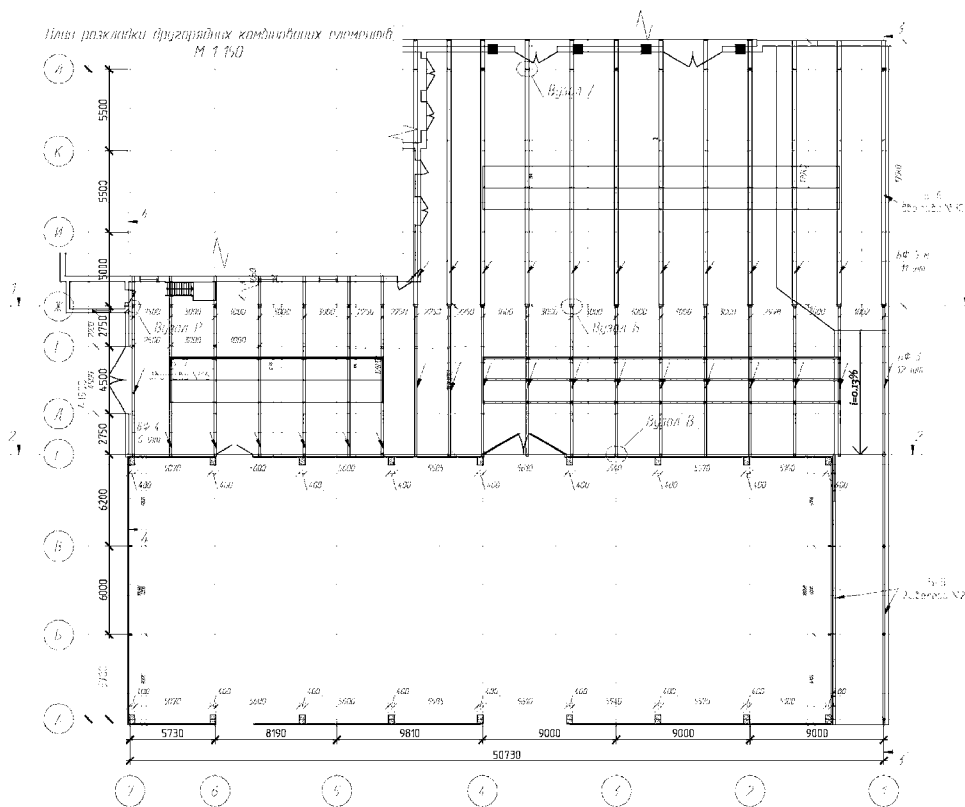


Рис. 1. План цеху

Поперек головних статично невизначених балок влаштовуються з кроком 3 м другорядні металеві СНКК в осях Ж...Л між осями 1...4 завдовжки 18 м і в осях Г...Ж між осями 1...7 завдовжки 10 м. На першій стадії проектування згідно з розробленою методикою розрахунку комбінованих статично невизначених однопрогінних металевих конструкцій різних прольотів шляхом оптимізації розроблено геометричні та пружні параметри їх елементів. Критерієм розрахунків є досягнення в елементах конструкцій рівнонапруженого стану, за якого витрати матеріалів є мінімальними. Розрахункове навантаження на покриття становить  $4 \text{ кН/м}^2$ .

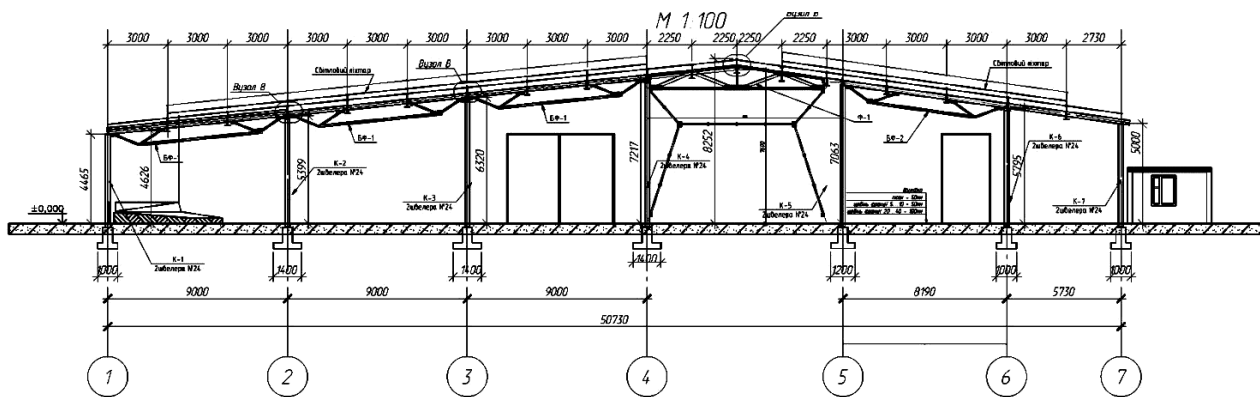


Рис. 2. Поздовжній розріз будівлі по осі Ж

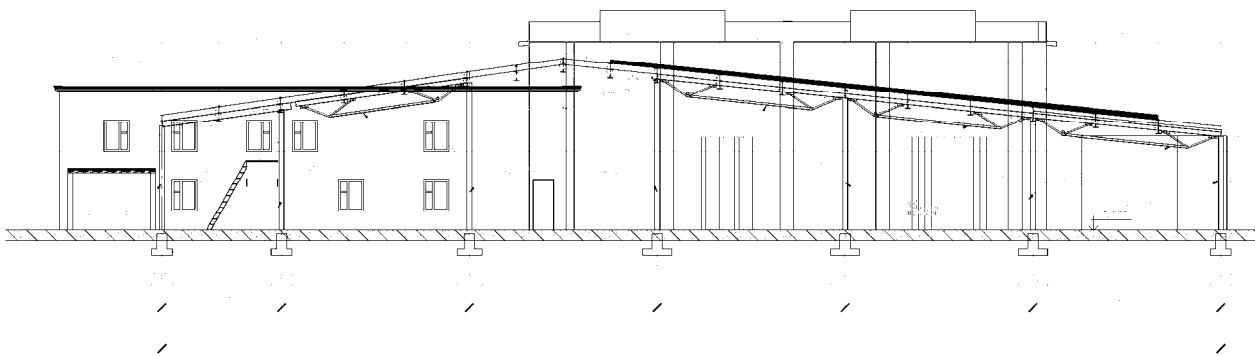


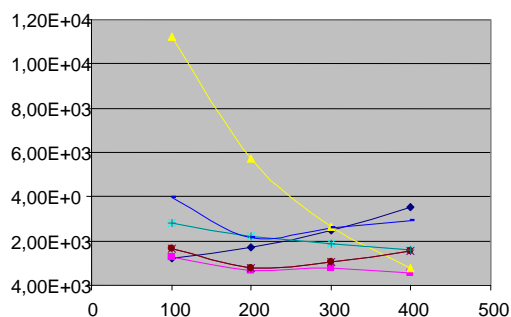
Рис. 3. Поздовжній розріз будівлі по осі Л

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

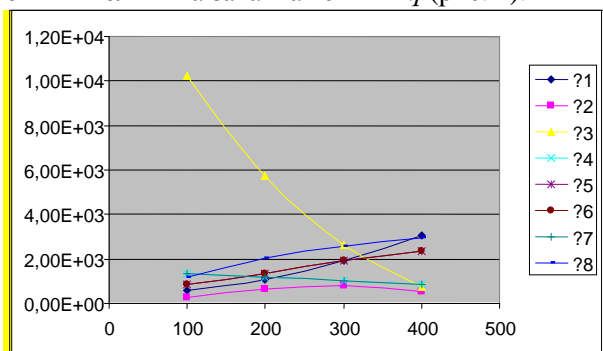
Випробування і теоретичні розрахунки металевих однопрогінних конструкцій виконані з метою визначення їх напружено-деформованого стану, оцінки впливу геометричної топології і навантажень на величину напружено-деформованого стану у перерізах конструкції загалом і оцінки несучої здатності конструкцій. Для комбінованих систем проводились розрахунки із встановлення реальних діаграм “згинальний момент - прогин”, “поздовжня сила - прогин” залежно від величини і місця прикладання зовнішнього навантаження з метою подальшого використання отриманих діаграм для розрахунків, їх якісної і кількісної оцінки на кінцевий результат розрахунку.

Теоретичні розрахунки металевих однопрогінних конструкцій виконані з метою визначення рівнонапруженого стану їх елементів, оцінки впливу геометричної топології і навантажень для подальшого використання цих конструкцій у складі багатопрогінних розрахункових схем. Ці розрахунки виконані за допомогою розробленої в НДЛ-19 Національного університету “Львівська політехніка” методики і алгоритму, а також програмного забезпечення. Розроблена методика передбачає покроковий метод підбору рівнонапруженого стану в елементах конструкцій шляхом зміни топології конструкції, прокату елементів і навантаження.

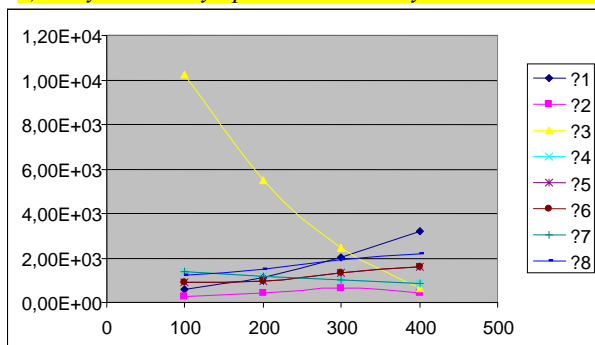
У цьому випадку за фіксованої максимальної висоти комбінованої конструкції критеріями пошуку рівнонапруженого стану є кут нахилу крайніх підкосів  $\alpha$ , довжина крайніх проміжків балки жорсткості  $2l_1$ , жорсткісні параметри металевих елементів і величина завантаження –  $q$  (рис. 4).



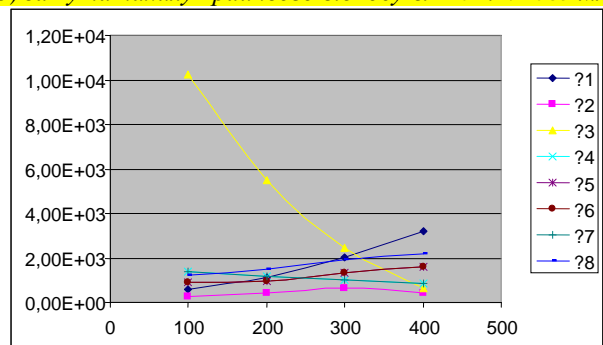
а) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=60^\circ$  і  $h=500$  мм



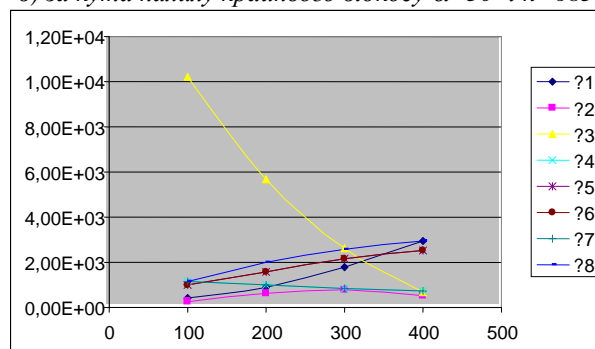
б) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=20^\circ$  і  $h=685$  мм



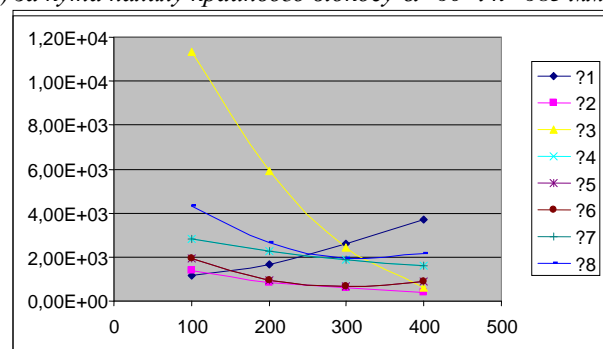
в) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=30^\circ$  і  $h=685$  мм



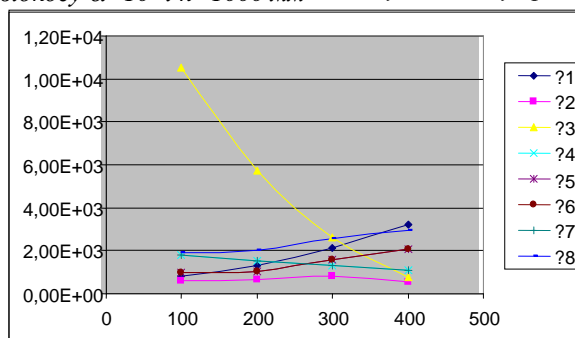
г) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=60^\circ$  і  $h=685$  мм



д) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=10^\circ$  і  $h=1000$  мм



е) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=40^\circ$  і  $h=1000$  мм



є) за кута нахилу крайнього відкосу  $\alpha=50^\circ$  і висоти  $h=1000$  мм

Рис. 4. Залежність напружень в елементах комбінованої конструкції від зміни величини прольоту  $2l_1$ : 1 – напруження в середній частині крайнього прольоту балки; 2 – напруження у 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 зтяжці

Згідно з попередньо отриманими розрахунками, встановлено перетини елементів металевих комбінованих конструкцій та їх напружено-деформований стан (рис. 5–11).

Враховуючи результати проведених перевірових розрахунків із врахуванням постадійного регулювання зусиль, у металевих комбінованих конструкціях передбачається для забезпечення стійкості СНКК влаштування горизонтальних металевих зв'язків по вузлах нижньої частини.

Наприклад, у багатопрігінній головній комбінованій металевій конструкції покриття по осі Ж в осях 1...4, влаштованій за схемою 9 + 9 м і заввишки 940 мм, передбачається, що прольоти перекриваються металевими СНКК (БФ-1). Балкою жорсткості є двотаврова балка № 24, елементи підвіски виконані зі спарених кутників 100x100x8, розкоси крайніх – 75x75x5, внутрішні розкоси – 90x90x7 (рис. 5).

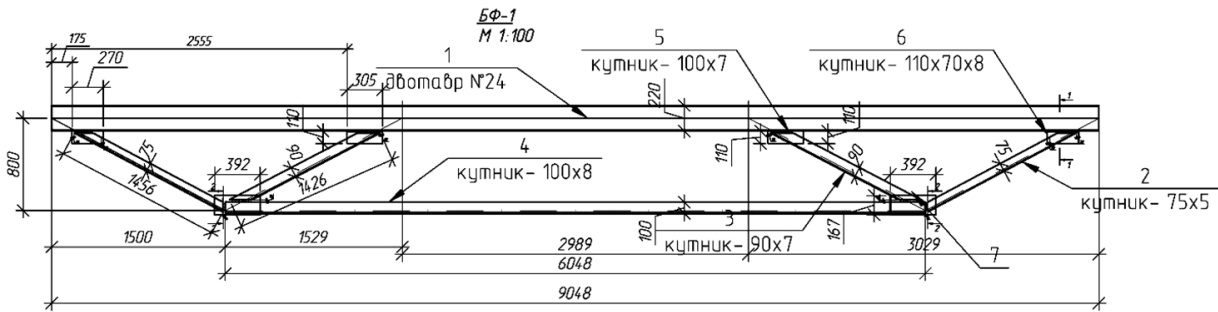


Рис. 5. Комбінована металева конструкція прольотом 9 м

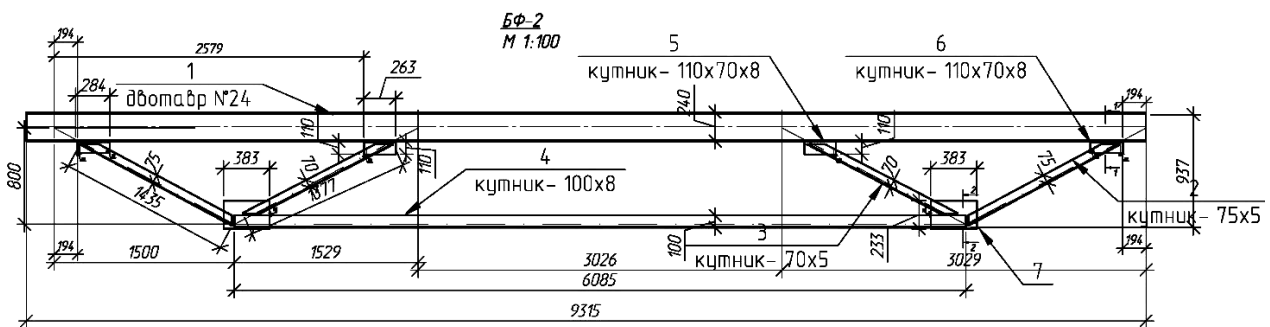


Рис. 6. Комбінована металева конструкція прольотом 9.3 м

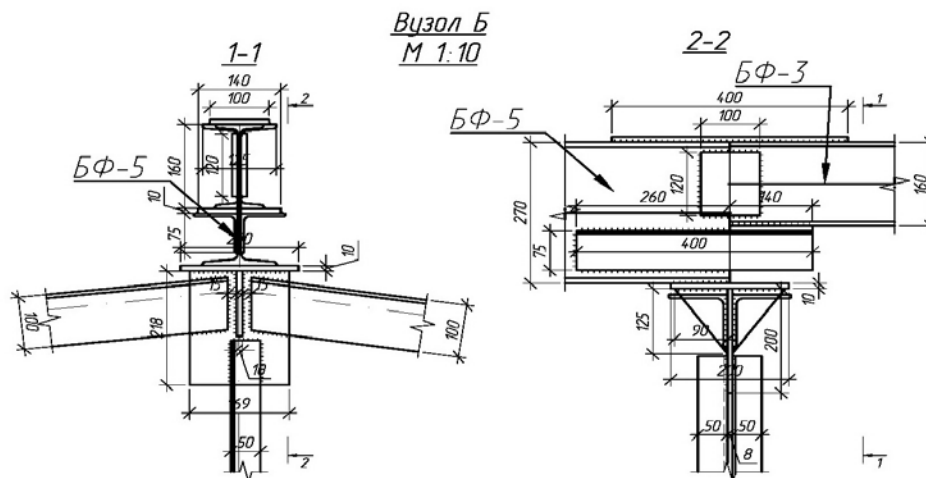


Рис. 7. Стиги металевих елементів комбінованих конструкцій

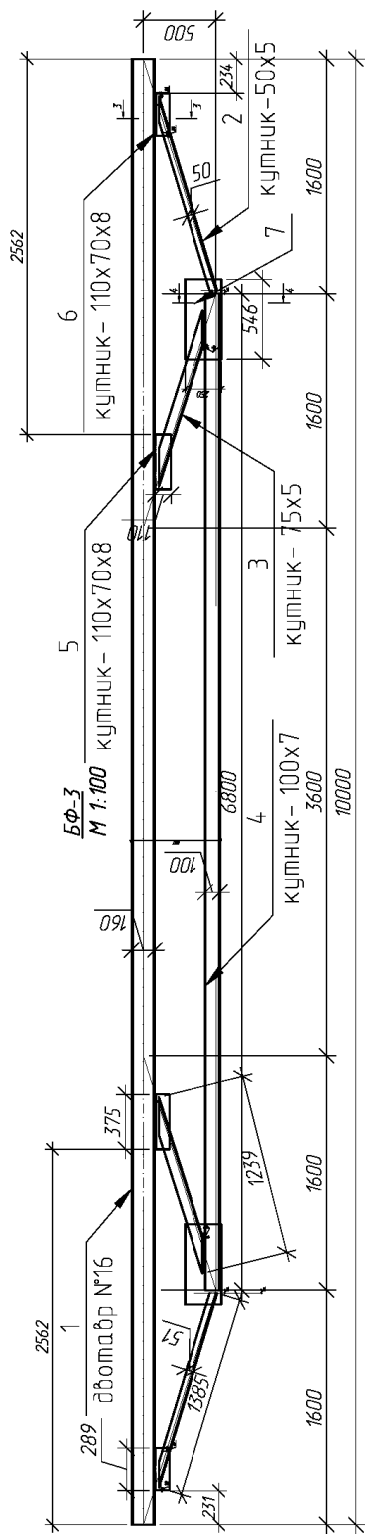


Рис. 8. Комбінована металева конструкція прольотом 10 м

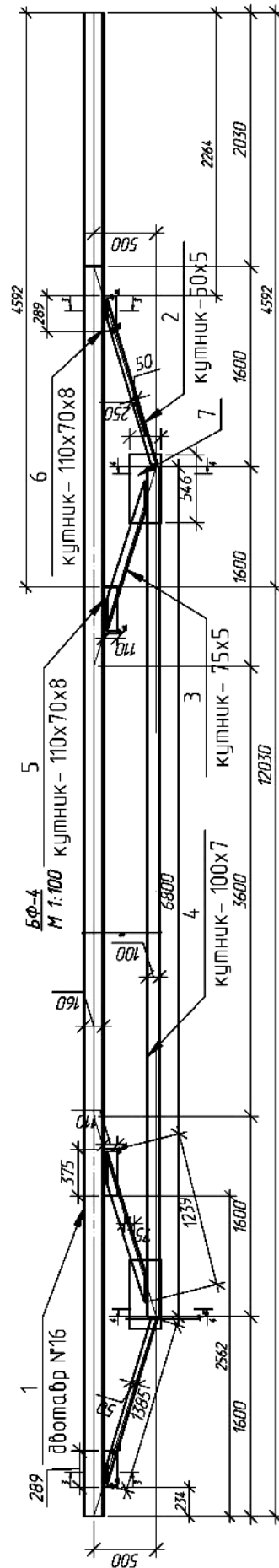


Рис. 9. Комбінована металева конструкція прольотом 12 м

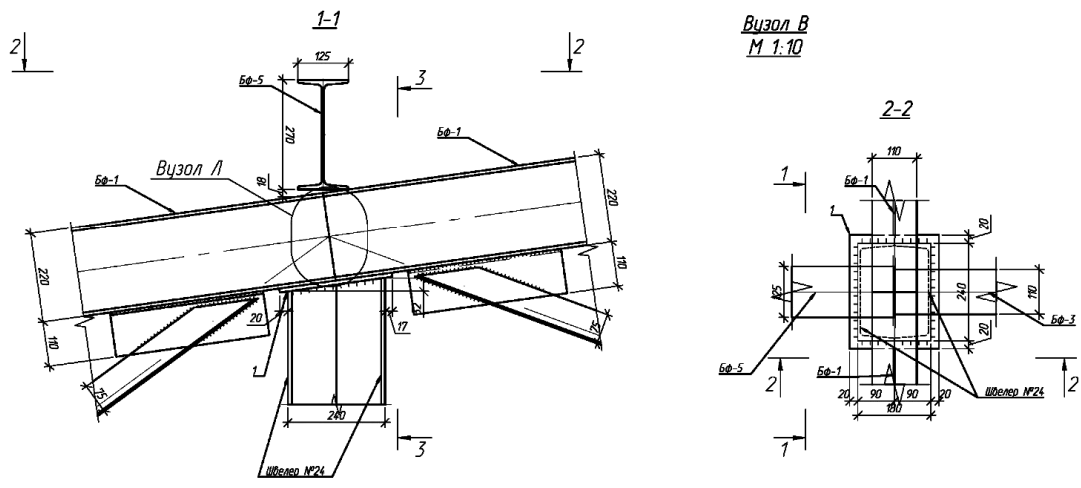


Рис. 10. Вузли металевих елементів комбінованих конструкцій



Рис. 11. Використання комбінованих металевих статично невизначених конструкцій як несучих елементів покриття навісу

Однопрогінна другорядна комбінована металева конструкція покриття по осі Ж в осях 5...6 завдовжки 9.3 м і заввишки 940 мм (БФ-2) є двотаврова балка № 24, елементи підвіски виконані зі спарених кутників 50x50x5 для крайніх розкосів, 75x75x5 – для внутрішніх розкосів і 100x100x8 – для затяжки (рис. 6). Для однопрогінної другорядної комбінованої металевій конструкції покриття між осями Г...Ж в осях 1...4 завдовжки 10 м і заввишки 600 мм (БФ-3), згідно з отриманими теоретичними дослідженнями, елементами є двотаврова балка № 16, спарені кутники 50x50x5 – для крайніх розкосів, 75x75x5 – для внутрішніх розкосів і 100x100x7 – для затяжки. Однопрогінна одноконсольна другорядна комбінована металева конструкція покриття між осями Г...Ж в осях 4...7 завдовжки 12 м і заввишки 660 мм (БФ-4) є двотаврова балка № 16, елементи підвіски виконані зі спарених кутників 50x50x5 для крайніх розкосів, 75x75x5 – для внутрішніх розкосів і 100x100x7 – для затяжки. У місцях зварювання балки жорсткості по довжині передбачаються рівномірні стикові з'єднання.

**Висновок.** На основі запропонованої методики виконано теоретичні дослідження з розрахунку і проектування металевих комбінованих статично невизначених конструкцій покрівлі різної топології і пружних характеристик.

1. Бельський Г.Е. Развитие практических методов расчета и норм проектирования металлических конструкций // *Строит. механика и расчет сооружений*. – 1965. – № 6. – С. 8–13. 2. Іванік І.Г., Віхоть С.І. Розрахунок комбінованих конструкцій з використанням методу уявних шарнірів // *Теорія і практика будівництва: Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. – 2005. – № 545. – С.74–78. 3. Регулирование, синтез, оптимизация / П.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченко, А.П. Деруга и др. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1985. – 384 с. 4. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М., 1990. 5. *Справочник проектировщика. Металлические конструкции* / под ред. Н.П. Мельникова. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.

УДК 691.327.333+539.382+539.384

В.В. Волоцюга<sup>1</sup>, І.Б. Горніковська<sup>1</sup>, Х.Б. Демчина<sup>2</sup>  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
<sup>1</sup>кафедра будівельних конструкцій та мостів,  
<sup>2</sup>кафедра будівельного виробництва

## ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ПІНОБЕТОНУ НА РОЗТЯГ ЗА ЗГИНУ

© Волоцюга В.В., Горніковська І.Б., Демчина Х.Б., 2013

Наведено результати експериментального визначення міцності пінобетону на розтяг за згину. Випробування проведено на зразках звичайного та армованого поліпропіленовою фіброю пінобетону.

**Ключові слова:** пінобетон, розтяг за згину, фібра.

**It is presented the results of experimental determination of foam concrete strength tensile bending. The tests are conducted on samples of plain and polypropylene fiber reinforced concrete.**

**Key words:** foam concrete, bending tensile, fiber.

**Вступ.** Ще у XIX ст. будівельники додавали у цементно-піщаний розчин телячу кров. Білок крові, реагуючи з розчином, утворював піну, та через складність отримання великої кількості піноутворювача такого роду пінобетон не отримав поширення. У 1930-х роках радянський вчений, будівельник-експериментатор Брюшков додав до цементного розчину “мильний” корінь рослини Сапонарія (лат. *Saponaria*), яка входить до групи рослин, багатих на сапоніни (розчин сапонінів під час збовтування утворює густу стійку піну), але й тоді широкого поширення пінобетон не набув.

Історія ніздрюватих бетонів розвивається з початку XX ст., коли шведський архітектор Еріксон винайшов технологію отримання штучного каменю з близькими до дерева характеристиками. У 1924 р. цей матеріал був захищений міжнародним патентом. До 1970-х років пінобетон уже широко використовувався у сорока країнах по усьому світу. У 1953 р. у м. Березняки (Росія) були побудовані перші цільно-пінобетонні житлові будівлі. Але оскільки за автоклавної обробки пінобетон показав невисоку тріщиностійкість, в подальшому перевага була надана газобетону.

Пінобетон і газобетон відрізняються технологією виготовлення. У пінобетоні поризація відбувається за рахунок введення піноутворювачів, а в газобетоні – за рахунок речовин, які виділяють газ під час хімічних реакцій.