

1. Барашиков А.Я., Будникова Л.В., Кузнецов и др. Железобетонные конструкции. – К.: Вища школа, 1984. – 352 с. 2. Бирюлев В.В., Кошин И.И., Крылов И.И., Сильвестров А.С. Проектирование металлических конструкций: Специальный курс. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432с. 3. Гетс К-Г, Хоор Д., Мелер К., Намтерер. Атлас деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с. 4. Leonard Urban, Zelbet. Budownictwo, sztuka, architektura. – Warszawa: Arkady, 1970. 5. Самойлов В.С., Левадный В.С., Строительство каркасного дома. – М.: ООО Аделант, 2008. – 352с. 6. Меркулов О., Дермановський І., Дерев'яно-каркасний будинок. Технологія доступного житла // Будівельний журнал. 2008. – №11. – К., 2008. – С.18–19. 7. Гнідець Б.Г. Нові конструктивно-технологічні системи в проектуванні, виготовленні і монтажі залізобетонних конструкцій // Матеріали І української наукової конференції “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”. – К., 1996. – С. 78–80, 280–282. 8. Hnidets B. Structural and Technological Systems for Automatization and Robotization of Production and Mounting RC Elements of Buldings and Structures. Challenges to civil and mechanical engineering in 2000 and beyond June 2-5, Wroclaw, 1997. – P.495–503. 9. Гнідець Б.Г. Нові конструктивно-технологічні системи для індивідуального житлового сільськогосподарського будівництва // Вісник львівського державного аграрного університету “Архітектура і сільськогосподарське будівництво”. 2002. – №3. – С. 12–18. 10. Гнідець Б.Г. Залізобетонні конструкції з напружуваними стиками і регулюванням зусиль: Монографія. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 548 с. 11. Гнідець Б.Г., Гнідець Р.Б., Конструктивно-технологічні системи для малоповерхового житлового та іншого індивідуального будівництва зі збірно-розбірними легкокомтованими каркасами з однотипних збірних елементів: Збірник наукових праць. – К.: ДП НДІ БК, 2011. – С. 152 – 158.

УДК 624.014

М.В. Гоголь, М.Р. Більський, С.І. Віхоть, М.М. Гоголь
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЬ У МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЯХ

© Гоголь М.В., Більський М.Р., Віхоть С.І., Гоголь М.М., 2012

Показано результати аналітичних досліджень розрахункового регулювання НДС у комбінованих конструкціях і переваги та галузь використання розрахункового методу. Запропоновано нові конструктивні форми комбінованих систем шпренгельного типу, що використовуються в будівлях і спорудах. Наведено приклади впровадження при проектуванні металевих конструкцій.

Ключові слова: комбіновані конструкції, регулювання зусиль, конструктивна форма, односторонні і несиметричні навантаження.

Showing results analyzes current stress-strain state regulations in combined structures and advantages and are calculated using the method. Proposed new design shapes combined shprehelnyh type systems used in building and structures. The examples of implementation in the design of metal structures.

Key words: combined structures, management effort, constructive form, unilateral and asymmetrical loads.

Постановка проблеми та її актуальність. Одним із напрямів підвищення ефективності у галузі будівництва є розроблення і вдосконалення нових прогресивних конструктивних форм, що дають змогу знизити витрату матеріалів, трудомісткість виготовлення і монтажу, вартість. Прогрес у галузі металевих конструкцій нерозривно пов'язаний із зменшенням витрати металу і скороченням трудовитрат насамперед на будівельному майданчику. Найдинамічніше розвиваються

останнім часом у нас в країні і за кордоном різноманітні комбіновані системи, зокрема шпренгельні і фермові.

У загальному обсязі витрат на покриття їх частка становить 50–70% за матеріаломісткістю і близько 50% за трудовитратами [4]. Тому розвиток конструктивних форм покриттів значною мірою визначає прогрес у всій будівельній галузі.

У сучасних ринкових умовах багато в чому відпала необхідність виробництва великої кількості однотипних конструкцій, що мають модульні розміри. Водночас все нагальнішою стає потреба в широкій номенклатурі легких металевих конструкцій для перекриття різних прольотів, зокрема таких, що відрізняються від уніфікованих. За значного різноманіття планувальних рішень будівель і споруд масштаби застосування тих чи інших конструктивних систем можуть бути незначними. Часто потрібні невеликі партії легких конструкцій з низькою трудомісткістю виготовлення, виробництво яких можна розмістити на широкій технологічній базі, зокрема на неспеціалізованій. Це прискорює розміщення і виконання замовлення й істотно знижує вартість конструкцій. Прольоти і планувальні схеми існуючих будівель і споруд часто відрізняються від уніфікованих, що ускладнює застосування серійно виготовлених конструкцій. Отже, розроблення нових конструктивних форм легких металевих конструкцій покриттів з меншими габаритами і матеріалоємністю порівняно з існуючими аналогами, які забезпечать виконання гнучких компонувальних схем, створення конструктивних рішень і зниження трудомісткості виготовлення і монтажу, набуває особливого значення [5, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Це, своєю чергою, вимагає розроблення нових методів їх розрахунку і проектування, регулювання напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, що дає змогу зменшити внутрішні зусилля і тим самим знизити витрату матеріалів і повніше використовувати матеріальні ресурси. Тому сьогодні проектувальники все частіше використовують розрахунковий перерозподіл зусиль і регулювання НДС конструкцій, що не вимагає жодних додаткових матеріальних витрат [1, 2]. Такі прийоми дають змогу зменшувати розрахункові зусилля в одних елементах або перерізах конструкції за рахунок збільшення зусиль в інших елементах чи перерізах і в результаті досягати такого самого ефекту, як і від попереднього напруження. Ідея регулювання – адаптація параметрів конструкції до поставленого кінцевого результату, що забезпечує заздалегідь вибраний раціональний розподіл зусиль.

Основна задача при проектуванні будівельних конструкцій, з якою зустрічається інженер, є одержання рівномірної конструкції, тобто найраціональнішої системи. Основним методом одержання такої конструкції є метод наближень. Кількість наближень може бути значною і залежить насамперед від досвіду та інтуїції конструктора, який при тому рідко досягає мети. Проблема розрахунку будівельних конструкцій, зокрема комбінованих, насамперед повинна ставитись як проблема їх раціонального проектування. У роботі розвинуто метод [1], який дає змогу одночасно з вирішенням оберненої задачі – раціонального проектування – одержати і розв'язок прямої задачі розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) конструкції. Як критерій раціональності використовують енергетичний критерій раціонального проектування, а також вимоги до НДС: рівнонапруженість, рівномоментність, максимальна жорсткість або мінімальна маса конструкції.

Основною перевагою комбінованих конструкцій є концентрація матеріалів та можливість проектування їх малоелементними [7]. У більшості металевих комбінованих конструкцій основна (65–85%) маса матеріалу зосереджена в балці жорсткості, від умов проектування і металоємності якої значною мірою залежать техніко-економічні показники усєї системи. Розрахунок кожного виду таких конструкцій за наявним методом [2] має свої особливості. Результати таких розрахунків дають нерівномірний напружений стан за довжиною основного елемента – балки жорсткості, який полягає у значній різниці опорних і прольотних моментів. Це робить існуючі комбіновані конструкції на завжди раціональними [1, 6]. Тому удосконалення методу розрахунку комбінованих металевих конструкцій, який відображав би їх реальну роботу, є сьогодні актуальною проблемою.

Мета досліджень. Основною метою досліджень є удосконалення конструктивних форм і раціональної топології комбінованих металевих конструкцій, а також аналіз можливості суміщення розрахункових і штучних (силових) методів регулювання їх НДС.

Завдання досліджень. Розроблення нових конструктивних форм комбінованих систем, узагальнення практичного досвіду впровадження розрахункового методу регулювання зусиль.

Виклад основного матеріалу. Такі системи вимагають, своєю чергою, розроблення як розрахункового методу регулювання зусиль, так і методу розрахунку таких комбінованих конструкцій із врахуванням деформованого стану балки жорсткості [5, 7]. Для розв'язання цієї задачі необхідно розробити розрахункову та математичні моделі. В основу розрахункової моделі комбінованих конструкцій покладено принцип декомпозиції, який дає змогу виокремити з комбінованих конструкцій балку жорсткості, як основний за масою їх елемент. Суть розрахунку: спочатку за методом декомпозиції системи розділимо систему на дві підсистеми – головну і допоміжну. Головною підсистемою вважатимемо балку жорсткості на пружних опорах, які моделюють систему підкріплення. Пружними опорами вважають елементи (вертикальні і похилі) комбінованої конструкції (системи). Допоміжною підсистемою вважаємо конструкцію шпренгеля або ванта. При цьому для розрахунку використано не статичні принципи, а енерговаріаційні, зокрема принцип Лагранжа. Використавши синтез системи, розраховуємо її НДС. Для запропонованої розрахункової моделі математична модель описується на основі повної потенційної енергії системи.

Запропонований метод проектування і розрахунок раціональних комбінованих конструкцій зводиться до врахування впливу деформативності проміжних опор балки жорсткості на співвідношення опорних і пролітних моментів [5]. При цьому раціональність комбінованої конструкції загалом залежить як від жорсткості проміжних опор шпренгельної системи, так і від топології. На першому етапі регулюють деформований стан та моменти у балці жорсткості. На другому етапі знаходять зусилля “N” у елементах системи підкріплення, яка при цьому стає статично визначеною, і визначають їх перерізи, які відповідають відрегульованому стану балки жорсткості, що забезпечує “сумісність деформацій” балки жорсткості і комбінованої системи, в якій є ця балка жорсткості [5].

Отже, суть регулювання НДС системи полягає у такому підборі жорсткості елементів системи, яка дасть змогу у її деформованому стані отримати бажаний розподіл зусиль і деформацій.

У розробленому методі розрахунку – математичній моделі – використано енергетичний підхід із застосуванням варіаційного рівняння Лагранжа [2], яке ґрунтується на принципі варіації переміщень за умови задоволення рівнянь статички, тобто

$$\delta E = 0, \quad (1)$$

де E – повна енергія системи.

Потенційна енергія U-деформації системи, як відомо, залежить від деформації всіх елементів системи. Отже, для наших умов повна потенційна енергія E-системи запишеться

$$e = U + \Pi = \frac{1}{2} \int_0^l EJ \left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} K_i v_i^2 - \int_0^l V q dx - \frac{1}{2} \frac{\Delta l^2}{l} EA, \quad (2)$$

де Δl – поздовжня деформація стержня (балки); v – функція прогинів балки у всіх точках за її довжиною.

Розв'язавши рівняння (2), одержимо реальні переміщення балки, тобто її деформований стан, адже за відомими методами [3] такої ідентифікації не одержати. Маючи значення R_i ($i = 4, 8, 12, \dots, n-2$), знаходимо зусилля в елементах підкріплювальної системи, яка при цьому є статично визначеною. Знаючи зусилля у всіх елементах системи, перевіряємо їх міцність – залежно від елемента системи, який розглядаємо. Якщо вимоги до міцності в якомусь елементі не

витримано, збільшуємо його переріз. Правильність підібраних A_i ($i = \overline{1, k}$) перевіряємо за деформацією системи, яку визначаємо за методом Мора, враховуючи лише нормальні сили в елементах системи, причому деформація системи є обмеженою прогинами балки жорсткості на пружних опорах. Отже, бачимо, що подана методика розрахунку дає змогу одержати у балці жорсткості поліекстремальну, з потрібними значеннями екстремумів, епюру моментів без попереднього напруження системи. Одержано методику розрахунку і регулювання зусиль в елементах комбінованих систем з метою раціонального їх розподілу; що дало змогу провести конструювання вузлів і дати рекомендації з проектування таких систем [3, 7], а також запропонувати схеми будівель, за якими використовувати розроблені такі системи у найоптимальніших умовах.

Це дало змогу запропонувати нові конструктивні форми комбінованих систем шпренгельного типу, що використовуються в будівлях і спорудах із зменшеною конструктивною висотою і зниженою матеріаломісткістю порівняно з існуючими аналогами (таблиця). Вони складаються із верхнього поясу балки жорсткості, що працює на стиск і вигин, розтягнутого ламаного нижнього поясу – зтяжки, структурно об'єднаних двома стиснутими Y-подібними стійками, з вузловими з'єднаннями стрижневих елементів без використання шарнірів. Ці з'єднувальні стійки утворюють Y-подібні консолі, зацмлені в балці жорсткості, згинальна жорсткість яких у площині шпренгельної системи близька або дорівнює згинальній жорсткості балки жорсткості. Необхідного ефекту досягають тим, що за дії на шпренгельну систему одностороннього навантаження в місцях з'єднання стійок з балкою жорсткості виникають згинальні моменти, що зменшують деформативність і підвищують стійкість конструкції.

Тобто це комбінована попередньо не напружена конструкція покриття підвищеної несучої здатності і жорсткості з мінімальною кількістю конструктивних елементів і простих вузлів без застосування шарнірів у разі зниження вартості і трудомісткості будівельно-монтажних робіт. У комбінованих систем шпренгельного типу вдається істотно зменшити розрахункову довжину стиснуто-зігнутої балки жорсткості за рахунок введення невеликої кількості додаткових елементів, поліпшити її роботу на нерівномірні навантаження, раціонально використовувати розтягнуті елементи.

Відсутність шарнірних з'єднань спрощує конструкцію, збільшує згинально-крутильну жорсткість системи, дає змогу виконувати розтягнутий нижній пояс не розв'язаним з площини.

Додатково зменшити деформативність конструкції можна за допомогою її попереднього напруження в процесі зведення. З цією метою шляхом зміни в процесі зведення конструкції довжин з'єднувальних стрижнів (збільшенням довжини), або зтягуванням (зменшенням довжини) створюють внутрішні зусилля попереднього напруження, що зменшує деформативність конструкції (рис. 1).

А це, своєю чергою, дало можливість реалізувати елементи нових конструктивних форм на кроквяних фермах прольотом 12, 24 і 60 м (рис. 2 і 3). Конструкції ферм на рис. 2, б і 3, а – типові, еталонні, які використовуються тепер, а на рис. 2, в і 3, б – запропоновані конструктивні форми комбінованих ферм. Ці ферми відрізняються від типових раціональною геометричною формою зі зменшеною кількістю елементів і вузлів, що дає змогу знизити витрату матеріалів, трудомісткість виготовлення і монтажу, вартість.

На основі результатів виконаних досліджень розроблено нові конструктивні форми комбінованих систем меншою масою до 30%, які захищені патентом України на винаходи (патент України: № 48841) [5].

Запропоновано і розроблено принципово новий метод регулювання НДС комбінованих систем, який дав можливість їх широкого впровадження в практику. Ці результати було використано і впроваджено під час проектування таких об'єктів і споруд: завод експериментальних досліджень (м. Львів), бізнес-центр "Підзамче" (м. Львів), санаторій "Женева" (м. Трускавець), "Карпатська кераміка" (м. Калущ, Івано-Франківська обл.) та ін. (рис. 4).

**Розвиток конструктивних форм комбінованих металевих конструкцій
(на прикладі малоелементних шпренгельних ферм)**

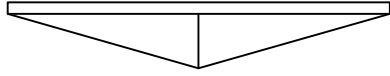
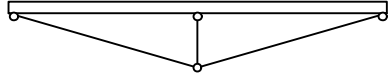
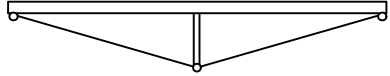
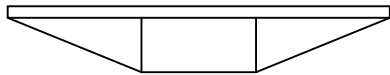
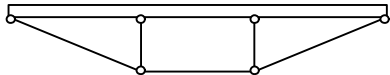
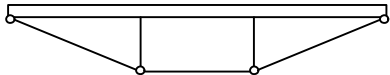
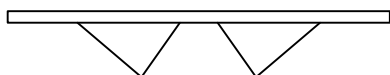
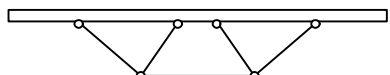
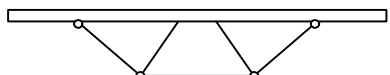
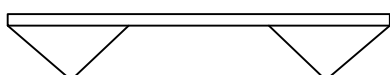
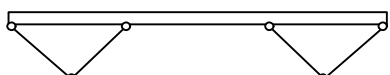
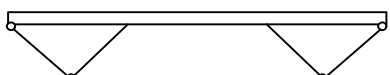
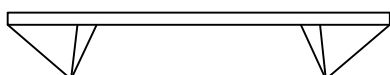
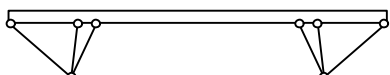
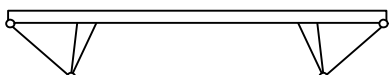
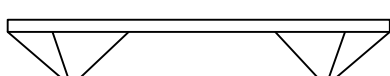
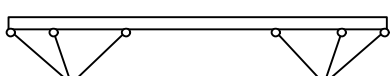
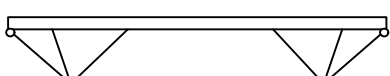
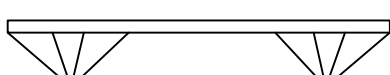
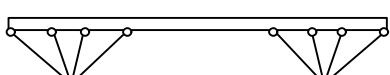
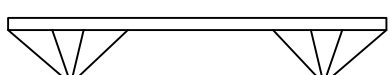
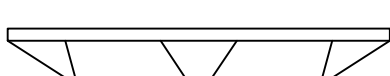
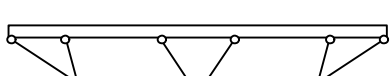
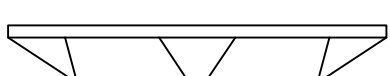
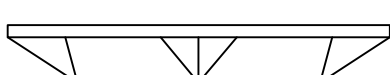
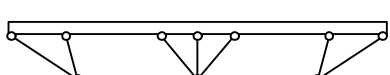
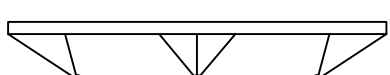
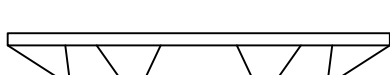
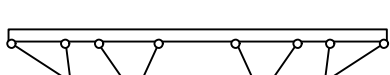
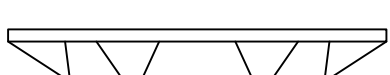
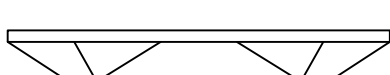
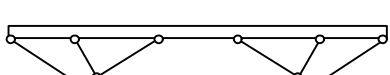
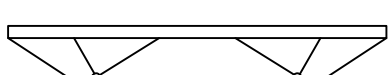
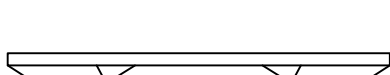
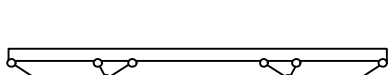
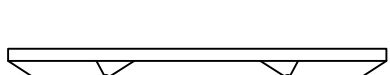
Конструктивна форма	Розрахункові схеми	
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

Рис. 1. Сема попередньо напруженої шпренгельної ферм

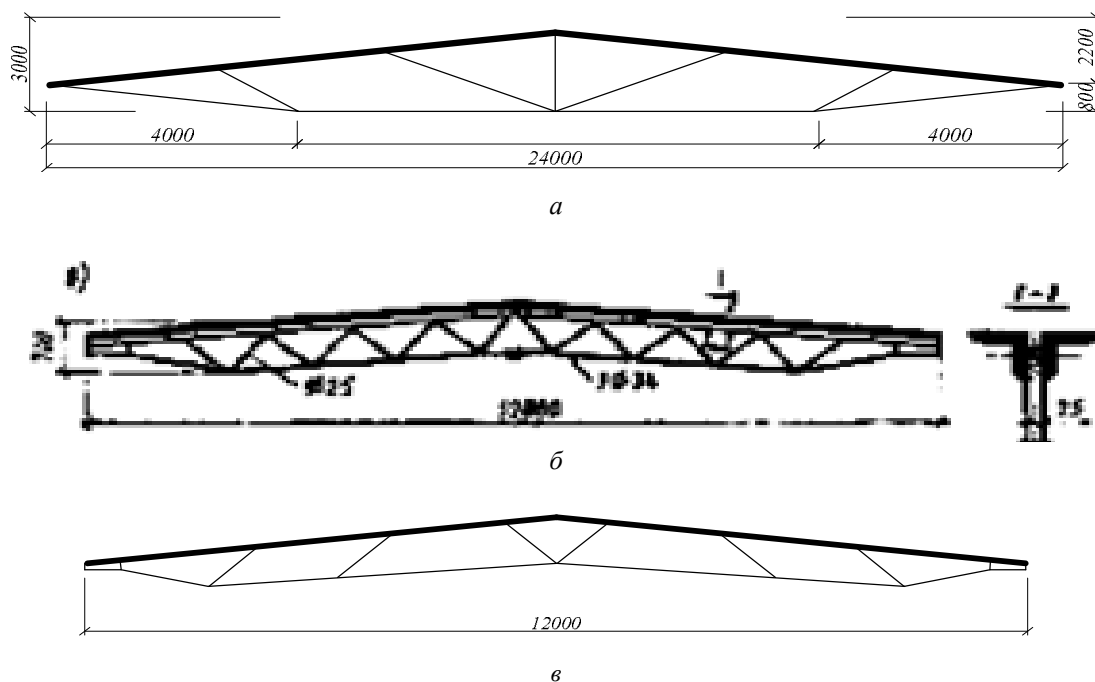


Рис. 2. Схеми ферм: а – раціональна комбінована ферма прольотом 24 м; б – полегшена пруткова ферма прольотом 12 м; в – раціональна комбінована ферма прольотом 12 м

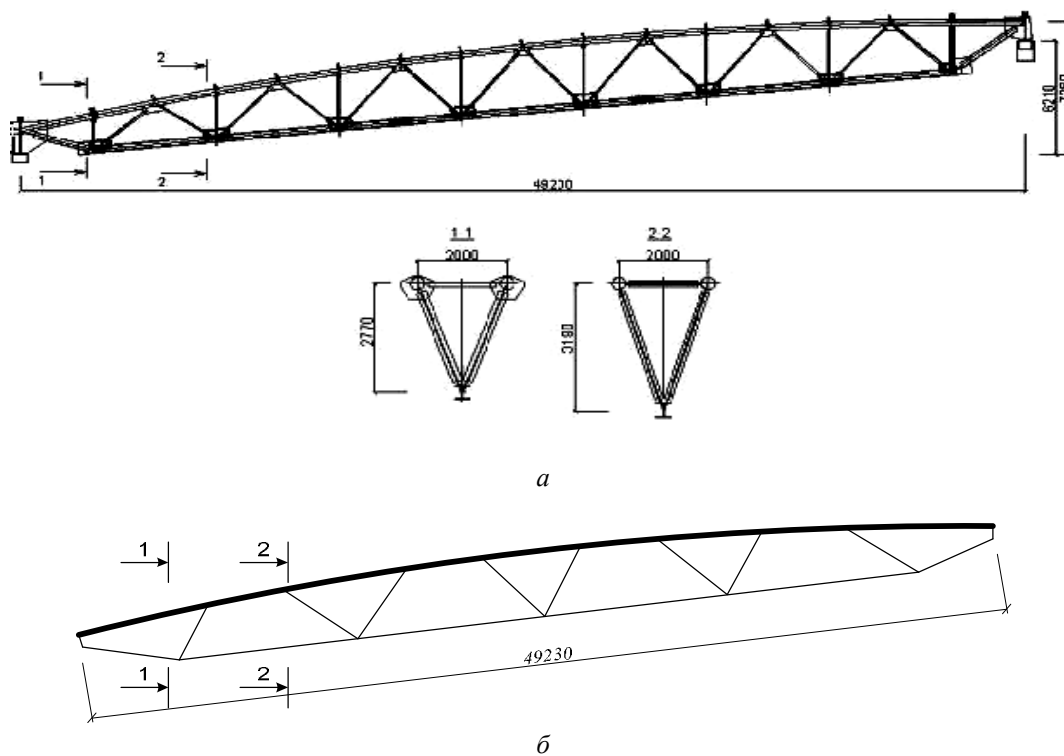


Рис. 3. Схеми ферм: а – кроквяна ферма у вигляді просторової конструкції з верхнім поясом із двох труб прольотом 50 м; б – раціональна комбінована ферма прольотом 50 м у вигляді просторової конструкції з верхнім поясом із двох труб



а



б

Рис. 4. Малоелементні комбіновані ферми перекриття з регулюванням зусиль $L=12$ м:
а – бізнес-центр “Підзамче” (м. Львів, 2007 р.); б – “Карпатська кераміка” (м. Калуш,
Івано-Франківська обл., 2011 р.)

Висновки

1. Запропоновано новий метод розрахунку регулювання зусиль, який можна застосовувати не лише у шпренгельних, але й фермових і вантових конструкціях, адже виокремлена у новому методі розрахунку балка жорсткості працює однаково у всіх комбінованих конструкціях.

2. Показано, що основними перевагами розробленого розрахункового методу регулювання НДС комбінованих конструкцій є можливість досягнення рівнонапруженості в розрахункових перерізах балки жорсткості, що надає їм вирішальної переваги порівняно з аналогічними конструкціями без такого регулювання НДС.

3. Запропоновані в роботі комбіновані системи шпренгельного типу, що використовуються в будівлях і спорудах із зменшеною конструктивною висотою і зниженою матеріаломісткістю порівняно з існуючими аналогами, можуть бути використані для влаштування покриттів і перекриттів будівель в реальному проектуванні.

4. На основі аналізу комбінованих систем шпренгельного типу, що використовуються в будівлях і спорудах, визначено шляхи їх подальшого вдосконалення, які полягають у застосуванні: раціональних геометричних форм, прогресивних профілів, комбінацій різних способів штучного регулювання зусиль і деформацій, спеціальних засобів і прийомів, а також сучасних методів розрахунку.

1. Гоголь М. В. *Проектування і розрахунок раціональних комбінованих металевих конструкцій* / М.В. Гоголь // *Металеві конструкції*. – 2008. – Т. 14. – № 4. – С. 253–262. 2. Гоголь М.В. *Узагальнений метод розрахунку металевих конструкцій з регулюванням зусиль* / М. В. Гоголь // *Теорія і практика будівництва: Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2002. – № 462. – С. 25–34. 3. Gogol Miron. *Shaping of effective steel structures* / Miron Gogol // *Budownictwo i inzynieria srodowiska: zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej*. – Rzeszow, 2009. - № 264. – z. 52. – S. 43–56. 4. Давыдов Е. Ю. *Металлические тонколистовые покрытия зданий и сооружений из панелей-оболочек индустриального изготовления: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения”* / Е.Ю. Давыдов. – М., 2011. – 41 с. 5. *Деклараційний патент 48841 А Україна, МКІ 7 Е 04 С 3/08. Шпренгельна балка* / [М.В. Гоголь, Б.С. Чайка, О.М. Гайда, І.В. Надала (Україна)]; заявник і власник патенту Національний університет “Львівська політехніка”, Гоголь Мирон Васильович, Гайда Олексій Миколайович, Чайка Борис Степанович, Надала Ігор Володимирович – № 2001128874; заявл. 21.12.01; опубл. 15.08. 02, Бюл. № 8. – 2 с. 6. Егоров В.В. *Развитие конструктивных форм и методов расчета комбинированных систем шпренгельного типа: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения”* / В.В. Егоров – СПб., 2004. – 49 с. 7. *Проектування раціональних комбінованих металевих конструкцій* / [В.О. Пермяков, М.В. Гоголь, І.Д. Пелешко, М.Р. Більський, Б.С. Чайка]; за ред. проф. В.О. Пермякова: *Навч. посібник*. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2005. – 180 с.