



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 2, 123-134

УДК 624.072.33

(11)-0238-0

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ НЕДОСКОНАЛОСТЕЙ У ФЕРМАХ ІЗ ГНУТОЗВАРЕНИХ ПРОФІЛІВ ЗА СЕРІЮ 1.263.2-4 НА ПАРАМЕТРИ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

А. М. Югов ^a, А. М. Миронов ^a, О. Б. Бондарев ^a, В. І. Москаленко ^b

^a *Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

^b *ТОВ Фірма «Промбудремонт», вул. Лазаренко, 63, м. Донецьк, Україна, 83017.
E-mail: amyrus@mail.ru*

Отримана 12 квітня 2011; прийнята 22 квітня 2011.

Анотація. У статті досліджено питання щодо впливу початкових недосконалостей у фермах із гнutoзварених (ГЗП) профілів за серією 1.263.2-4 на параметри їх напружено-деформованого стану. Наведено розрахункові схеми розглянутих ферм та результати розрахунку із урахуванням початкових недосконалостей. Дано аналіз проведених теоретичних досліджень. Наведені рекомендації щодо зниження величин додаткових зусиль у фермах. Отримані величини додаткових зусиль та напружень свідчать про те, що початкові недосконалості впливають на дійсний НДС розглянутої серії ферм. Врахування розглянутого недоліку вже на етапі проектування дозволить в наступному підвищити експлуатаційну надійність та живучості розглянутих конструкцій. Результати дослідження та рекомендації можуть бути застосовані під час проектування чи при розробці нових аналогічних конструкцій із ГЗП. Пропонується розробити методику урахування основних початкових недосконалостей у складі універсального розрахунково-графічного програмного комплексу Structure Cad чи іншого.

Ключові слова: металеві конструкції, геометричні недосконалості, виготовлення конструкцій, МСЕ, напружено-деформований стан, точність, чисельне моделювання.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ В ФЕРМАХ ИЗ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО СЕРИИ 1.263.2-4 НА ПАРАМЕТРЫ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

А. М. Югов ^a, А. Н. Миронов ^a, А. Б. Бондарев ^a, В. И. Москаленко ^b

^a *Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

^b *ООО Фирма «Промстройремонт», ул. Лазаренко, 63, г. Донецк, Украина, 83017.
E-mail: amyrus@mail.ru*

Получена 12 апреля 2011; принята 22 апреля 2011.

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос влияния начальных несовершенств в фермах из гнutoсварных профилей (ГСП) по серии 1.263.2-4 на параметры их напряжённо-деформированного состояния. Приведены расчётные схемы рассмотренных ферм и результаты расчёта с учётом начальных несовершенств. Дан анализ проведенных численных исследований. Приведены рекомендации по снижению величин дополнительных усилий в фермах. Полученные величины дополнительных усилий и напряжений свидетельствуют, что начальные несовершенства влияют на действительное напряжённо-деформирован-

ное состояние рассмотренной серии ферм. Учёт рассмотренного несовершенства уже на этапе проектирования позволит в следующем повысить эксплуатационную надёжность и живучесть конструкций. Результаты исследования и рекомендации могут быть использованы во время проектирования или разработки новых аналогичных конструкций из ГСП. Предлагается разработать методику учёта основных начальных несовершенств в составе универсального расчётно-графического программного комплекса Structure Cad или другого.

Ключевые слова: металлические конструкции, геометрические несовершенства, изготовление конструкций, МКЕ, напряжённо-деформированное состояние, точность, численное исследование.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF INITIAL IMPERFECTIONS IN THE GSP FRAMES OF SERIES 1.263.2-4 ON THE PARAMETERS OF THE MODE OF DEFORMATION

Yugov Anatoliy ^a, Mironov Andriy ^a, Bondarev Oleksiy ^a, Moskalenko Volodymyr ^b

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeïivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

^b «Prombudremont», Ltd, 63, Lazarenko Str., Donetsk, Ukraine, 83017.

E-mail: amyurus@mail.ru

Received 12 April 2011; accepted 22 April 2011.

Abstract. The article is about the influence of the initial imperfections in the GSP frames of series 1.263.2-4 on the parameters of their mode of deformation. There are presented the design diagrams of the frames under study and the analysis of the results regarding the initial imperfections. The numerical investigations have been analyzed. There are given the guidance of decreasing additional efforts in the frames. The obtained values of the additional efforts and stresses which indicate that the initial imperfections influence the real mode of deformation of the frame of the series under consideration. An imperfection being taken into account at the stage of designing, it will make it possible to hereafter increase the operational reliability and survivability of the structures. The findings of the investigation and the guidance can be used in the design and development of new analogous GSP structures. It is suggested to develop a procedure of taking into account the initial imperfections as a constituent of the universal design and graphic software package Structure Cad or some other one.

Keywords: metal structures, geometric imperfections, structure manufacture, МКЕ, mode of deformation, accuracy, numerical investigation.

Вступ

Якісне виготовлення металевих конструкцій є основною задачею заводів металевих конструкцій. Це дозволяє швидко зводити та надійно експлуатувати сучасні будівлі та споруди, які виконані із металевих конструкцій. Розрахункова схема будівлі чи споруди вважається ідеальною, а недосконалість щойно виготовлених конструкцій вважаються відсутніми. Під час виготовлення конструкцій (різання елементів і т. і.) виникають невеликі та неминучі недосконалості, що обумовлені великою кількістю факторів [4].

Недоліки конструкцій можна поділити на два види: конструктивні та технологічні. Конструктивні недоліки – недоліки, закладені у конструкцію прийнятим конструктивним рішенням, тобто його недосконалістю, і не залежать від технології виготовлення. Технологічні недоліки – недоліки, що обумовлені недосконалістю технології виконання робіт із виготовлення та монтажу конструкцій.

1. Постановка задачі

Аналіз джерел [2, 3, 5...10, 12...15, 18, 20...25] показав, що визначенню дійсного напружено-

деформованого стану (НДС) стержньових металевих конструкцій із урахуванням дефектів присвячено багато робіт.

Наявність початкових геометричних недосконалостей для статично невизначених систем, якими є сучасні стержньові системи, може призвести до зниження несучої здатності, експлуатаційної придатності та підвищення аварійності в багатьох випадках. У зв'язку з цим рівень надійності та живучості стержньових конструкцій зменшується. На сьогоднішній день не розроблено однозначної методики розрахунку стержньових металевих конструкцій із урахуванням дефектів (неточностей виготовлення і т. і.), які будуть гарантувати надійність та живучість будівельного об'єкту під час його проектного терміну експлуатації. Постає проблема щодо розробки методики розрахунку, в якій буде враховано хоча б основні дефекти, що виникають у елементах конструкцій під час їх виготовлення.

На виготовлення елементів ферм (розкоси, пояси і т. і.) впливає велика кількість факторів [1, 4, 11]. Для теоретичного встановлення чисельним методом величини початкового (додаткового) зусилля (напруження) від нормативних показників відхилення дійсної довжини елементів від номінальної, що виникає під час виготовлення ферм із гнutoзамкненого профілю (ГЗП) за серією [16] на параметри їх НДС розглянуто чотири технології виконання операції різки, за нормами [17]:

- відрізання із наступним обробленням на кромкостругальному чи фрезерному верстаті (технологія 1);
- відрізання пилою по упору чи на потокових лініях (технологія 2);
- відрізання киснем напівавтоматом та автоматом за шаблоном по намітці (технологія 3);
- киснева різка вручну по намітці (технологія 4).

2. Мета, задачі та об'єкт дослідження

Дослідження впливу геометричних недосконалостей у фермах із ГЗП прольотом 18, 24 та 30 м під рівномірно розподілене навантаження 24, 22 та 20 кН/м відповідно, за серією 1.263.2-4 [16] на параметри НДС є метою роботи. Об'єкт дослідження – сталеві кроквяні ферми покриття прольотом 18, 24 та 30 м із ГЗП, за серією [16]. Залежність впливу відхилення фактичної

довжини елементів ферм покриття із ГЗП, за серією [16], від номінальної на параметри їх НДС (зусилля, напруження) є предметом дослідження. В основу роботи покладено теоретичний метод скінчених елементів (МСЕ). Дослідження НДС елементів виконано за допомогою програмного комплексу Structure Cad (ПК Structure Cad).

За результатами чисельного експерименту наведено значення величини додаткового (початкового) зусилля (напруження) від неточності різки елементів сталевих ферм із ГЗП, за серією [16] різними способами (технологіями) різки. Також дані рекомендації щодо зниження величин додаткових зусиль від неточності виготовлення елементів (відхилення дійсної довжини елемента від номінальної).

Задачею роботи є:

1. Дослідження впливу показників точності виготовлення сталевих ферм із ГЗП за серією [16] на параметри НДС із наступним обґрунтуванням необхідності врахування нормативного відхилення довжини елемента ферми від номінальної при різних способах різки елементів.
2. Навести рекомендації щодо зниження величин додаткових зусиль від неточності різки елементів ферм із ГЗП.

Результати досліджень призначені для підвищення точності:

- виготовлення елементів ферм із ГЗП за серією [16];
- статичного розрахунку стержньових металевих конструкцій.

Наведені значення величин додаткових зусиль можна використовувати під час визначення дійсного НДС ферм із ГЗП при їх проектуванні. Урахування дефектів, яких набуває конструкція (споруда) протягом життєвого циклу вже під час проектування технології виготовлення розглянутих конструкцій, дозволить підвищити їх рівень надійності (безвідмовності) та живучості.

3. Методика дослідження

Для вирішення мети цієї роботи необхідно визначити та проаналізувати, яким чином впливає відхилення дійсної довжини елементів ферм із ГЗП від номінальної на їх НДС. Для спрощення задачі, що вирішується, будемо приймати:

- тільки шарнірні вузли сполучення колон з фермами покриття, а сполучення вузлів ферм між собою жорсткі;
- що не буде враховуватися можливе динамічне технологічне навантаження, яке зустрічається у ряді виробництв;
- що не буде враховуватися зміна жорсткості вузлів під час збирання ферм та технологічна послідовність їх збирання, тобто вважається, що ферми є зібраними та експлуатуються із наявністю недосконалостей;
- що навантаження, яке прикладене на ферми із ГЗП, буде розташовано у вузлах верхнього поясу ферм;
- що несуча здатність елементів ферм визначена із урахуванням несучої здатності вузлових з'єднань (жорсткості) зібраної конструкції;
- що не буде враховуватися деформації (дефекти) елементів ферми, що обумовлені не якісним виконанням зварних з'єднань;
- що конструкція зібрана без компенсаторів та має ідеальну структуру матеріалу;

- що величина зосередженого навантаження на ферми прийнята тільки за вимогами серії [16];
- до розгляду тільки відхилення, що наведені у розділі 1 підрозділі А таблиці 8 [17].

Для визначення та аналізу результатів дослідження дійсного НДС розрахунок виконано за допомогою температурного навантаження, яке діє вздовж елементів ферми покриття. Використання теплового навантаження для моделювання геометричної недосконалості, яка розглядається, обґрунтовано та рекомендовано у роботах [14], [19]. Величина відхилення визначається для кожного елементу ферми окремо в залежності від його довжин, за вимогами таблиці 8 [17].

4. Теоретичне дослідження параметрів НДС у елементах ферм із ГЗП $L = 18$ м

У цьому розділі визначено та проаналізовано НДС елементів ферм під рівномірно розподілене навантаження – 24 кН/м (рис. 1).

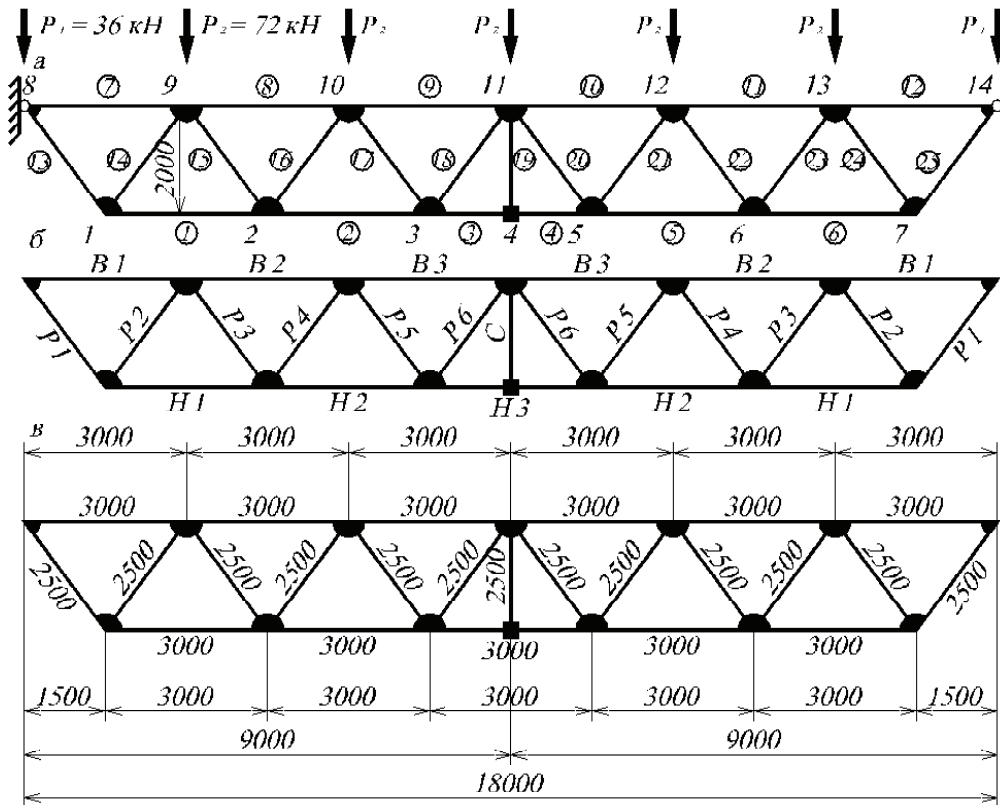


Рисунок 1. Розрахункова схема плоскої ферми покриття прогоном 18 м, за серією [16]: а – розрахункова схема, б – схема маркування, в – геометрична схема, 1...25 – номери елементів, 1...14 – номери вузлів.

Для визначення впливу та залежності величини відхилення довжини елементів ферми на зусилля та напруження в них, виконано розрахунок із урахуванням недосконалостей, що наведені у підрозділі А.1 таблиці 8 [17]. Для аналізу НДС ферми необхідно визначити зусилля (напруження), що діють в її елементах від розрахункового навантаження (рис. 1). Значення перерізів елементів ферми наведено у [16]. На рисунку 2 наведена величина зусилля у елементі верхнього (В) та нижнього (Н) поясів від повного розрахункового навантаження. Також дано сумарне зусилля в елементах у кН від повного навантаження ($N_{\text{ел}}$) та від Т (температури). Слід пояснити, що по горизонтальній вісі схем, зображених на рис. 2, 3, 5, 6, 8, 9; 1 – величина загального зусилля (напруження) від повного навантаження; 2...5 – найменування технологій різки.

За результатами розрахунку ферми та подальшого аналізу можна зробити такі виснов-

ки: при виконанні різки елементів збільшення величини додаткових зусиль складає для елементів нижнього поясу Н1...Н3 – 0,9...3,0 % в залежності від способу різки; для верхнього В1...В3 – 20,4...36,9 % відповідно. Слід також відмітити, що при різці елементів верхнього поясу, навіть за технологією 1, їх несуча здатність не буде достатньою, а для нижнього буде.

Величина додаткових зусиль в залежності від способу різки складає: для стійки С – 21...47 %, а для розкосу: Р1 – 0,8...2,1 %; Р2 – 1,7...3,3 %; Р3 – 2,9...8,2 %; Р4 – 4,5...11,9 %; Р5 – 5,3...12,9 %; Р6 – 34,1...79,5 %.

На рис. 3 наведено величина сумарного напруження у поясах ферми від повного розрахункового навантаження і додаткових напружень у кН/см² при наявності відхилень, що виникають при різній технології різки елементів.

За результатами розрахунку ферми та подальшого аналізу можна зробити висновок: у

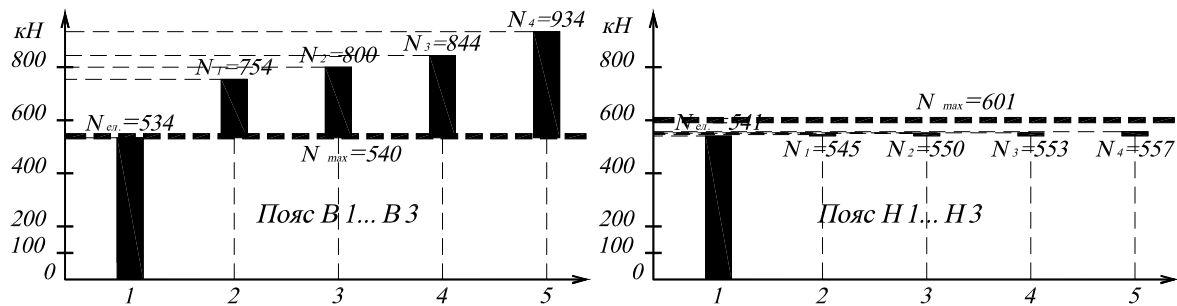


Рисунок 2. Величина додаткового зусилля у елементах (В1...В3, Н1...Н3) ферми L = 18 м ($Q = 24$ кН/м) з ГЗП, за серією [16].

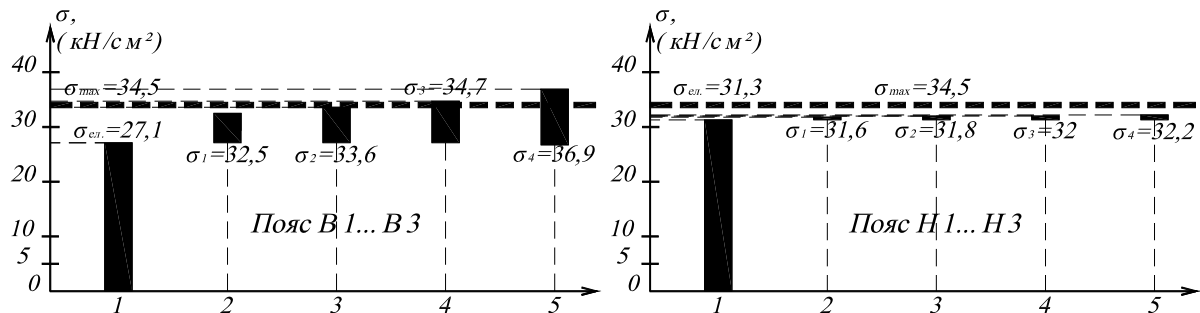


Рисунок 3. Величина додаткового напруження у елементах (В1...В3, Н1...Н3) ферми L = 18 м ($Q = 24$ кН/м) з ГЗП, за серією [16].

верхньому поясі ферми В1...В3 величина напруження при наявності дефекту коливається в межах 15,6...28,4 % від розрахункового опору сталі; нижньому Н1...Н3 – 0,8...2,6 % відповідно. Величина додаткових напружень в залежності від способу різки складає для стійки С – 10,8...24,4 %, а для розкосу Р1 – 0,30...0,87 %, Р2 – 0,87...1,50 %; Р3 – 1,6...3,2 %; Р4 – 2,4...6,8 %; Р5 – 2,0...4,8 %; Р6 – 6,4...14,4 % відповідно.

5. Теоретичне дослідження параметрів НДС у елементах ферм із ГЗП $L = 24$ м

У цьому розділі визначено та проаналізовано НДС елементів ферми під рівномірно розподілене навантаження – 22 кН/м (рис. 4). Для теоретичного дослідження НДС ферми необхідно визначити зусилля (напруження), що діють в її елементах. На рисунку 5 наведено величина зусилля у елементі верхнього (В) та нижнього (Н) поясів від повного розрахункового навантаження та додаткового зусилля в залежності від технології їх різки під час виготовлення.

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити такі висновки: при виконанні різки елементів збільшення величини додаткових зусиль складає для елементів нижнього поясу (Н) – 1,2...2,6 % в залежності від способу різки; для верхнього (В) – 20,3...34,8 % відповідно. Величина додаткових зусиль в залежності від способу різки складає для стійки (С) – 29...65 %, а для розкосу: Р1 – 0,96...2,30 %; Р2 – 3,2...3,6 %; Р3 – 2,8...6,9 %; Р4 – 3,6...8,4 %; Р5 – 4,8...11,9 %; Р6 – 6,6...15,7 %; Р7 – 6,5...15,7 %; Р8 – 23,2...52,6 %.

На рис. 6 наведено величина напруження у поясах ферми від повного розрахункового навантаження та додаткових напружень від проектного напруження при наявності відхилень при різній технології виконання різки елементів.

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити висновок, що у верхньому поясі ферми В1...В4 величина напруження при наявності дефекту коливається в межах 16,5...28,5 % від розрахункового опору сталі в залежності від способу різки; нижньому Н1...Н4 – 1,2...2,7 % відповідно.

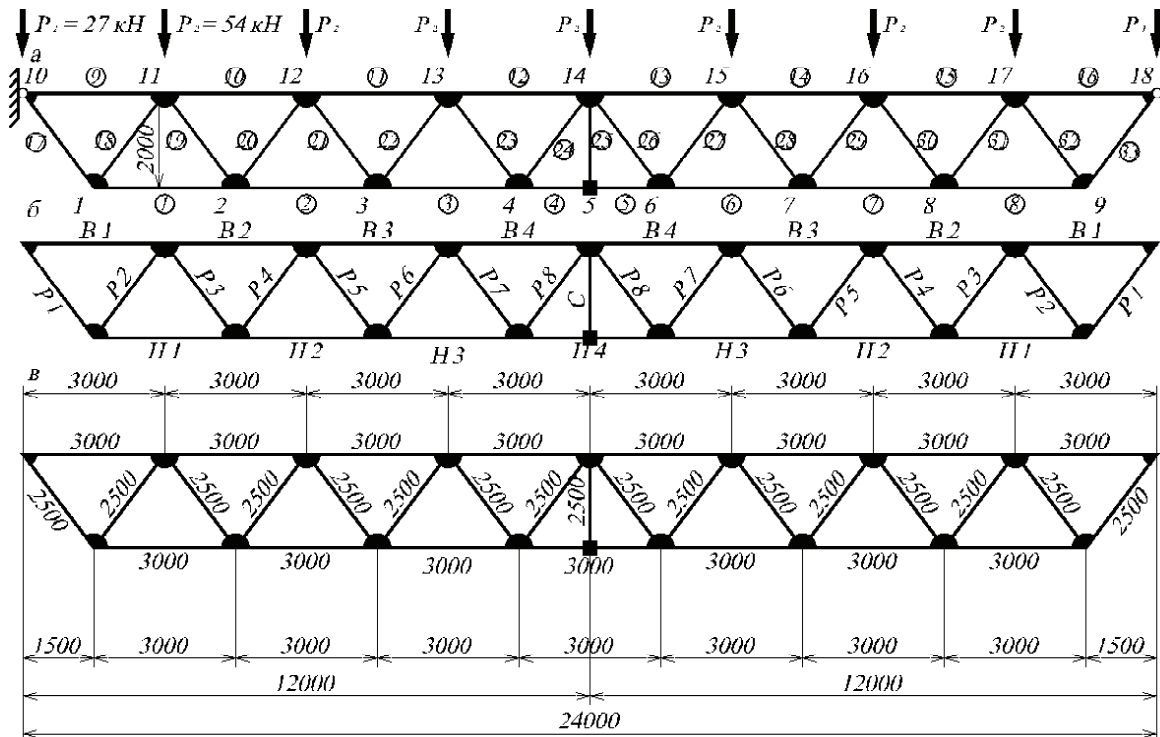


Рисунок 4. Розрахункова схема плоскої ферми покриття прогоном 24 м, за серією [16]: а – геометрична схема, б – схема маркування, в – розрахункова схема, 1...33 – номери елементів, 1...18 – номери вузлів.

Величина додаткових напружень в залежності від способу різки складає для стійки С – 15,2...33,6 %, а для розкосу: P1 – 0,6...1,2 %; P2 – 1,5...1,8 %; P3 – 2,0...5,2 %; P4 – 2,4...5,6 %; P5 – 2,0...5,6 %; P6 – 2,8...6,8 %; P7 – 2,4...5,6 %; P8 – 6,8...15,6 % відповідно.

6. Теоретичне дослідження параметрів НДС у елементах ферм із ГЗП L = 30 м

Для теоретичного дослідження НДС ферми визначено зусилля (напруження), що діють в її елементах від розрахункового навантаження (рис. 7).

На рис. 8 наведено величину зусилля у елементі верхнього (В) та нижнього (Н) поясів від повного розрахункового навантаження та додаткового зусилля в залежності від технології їх різки під час виготовлення.

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити такі висновки: при виконанні різки елементів збільшення величини додаткових зусиль складає для нижнього поясу (Н) – 0,6...2,4 % в залежності від способу різки; верхнього (В) – 18,3...33,2 % відповідно.

Величина додаткових зусиль в залежності від способу різки складає для стійки С – 27...90 %, а для розкосу: P1 – 1,1...2,4 %; P2 – 1,67...3,60 %; P3 – 3...7 %; P4 – 3,7...8,1 %; P5 – 4,5...10,0 %; P6 – 5,48...12,80 %; P7 – 6,7...15,3 %; P8 – 19,3...45,0 %; P9 – 33,3...75,0 %; P10 – 8,7...20,0 %.

На рис. 9 наведено величину сумарного напруження у поясах ферми від повного розрахункового навантаження та додаткових напружень при наявності відхилень при різній технології різки елементів. Величина напруження при наявності дефекту у верхньому поясі ферми В1...В5 – 15,6...28,6 % в

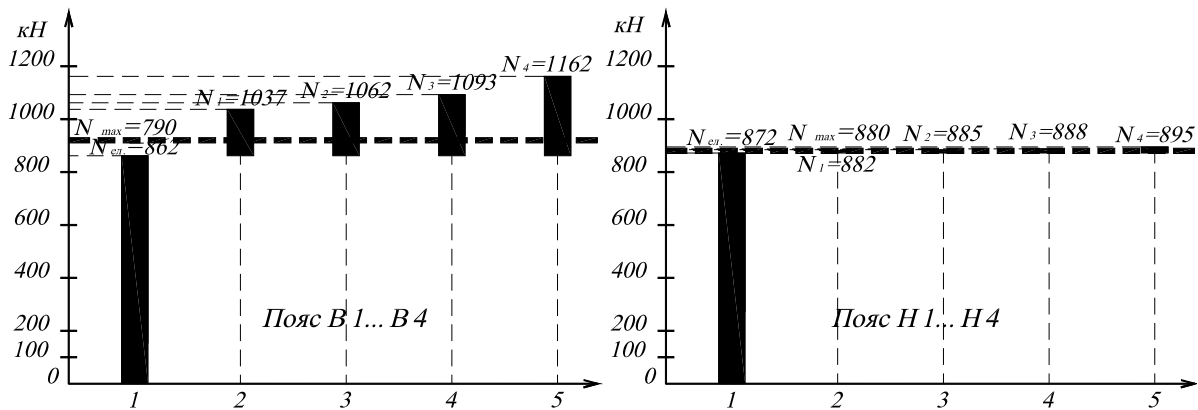


Рисунок 5. Величина додаткового зусилля у елементах (В1...В4, Н1...Н4) ферми L = 24 м (Q = 22 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

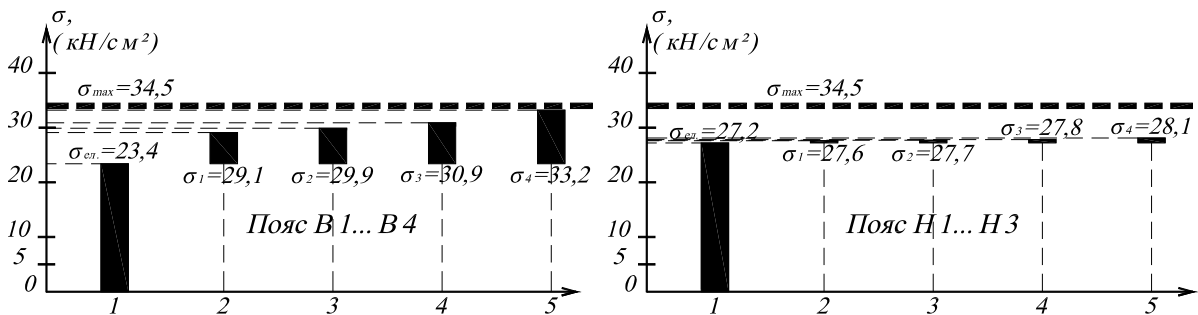


Рисунок 6. Величина додаткового напруження у елементах (В1...В4, Н1...Н4) ферми L = 24 м (Q = 22 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

залежності від способу різки, а нижньому Н1...Н5 – 0,6...2,3 % відповідно.

Величина додаткових напружень в залежності від способу різки складає для стійки С – 19,2...46,8 %, а для розкошу: Р1 – 0,6...1,2 %; Р2 – 0,8...1,7 %; Р3 – 2,0...5,2 %; Р4 – 2,4...5,6 %; Р5 – 2,4...5,6 %; Р6 – 2,8...6,8 %; Р7 – 2,4...6,0 %; Р8 – 6,8...16,0 %; Р9 – 11,6...26,0 %; Р10 – 5,2...12,4 %.

Загальні висновки та результати

За результатами дослідження НДС ферм із ГЗП за серією [16] можна зробити такі висновки:

- розподіл величин додаткових зусиль є нерівномірним і враховувати початкові недосконаліості необхідно з метою підвищення їх надійності під час експлуатації;

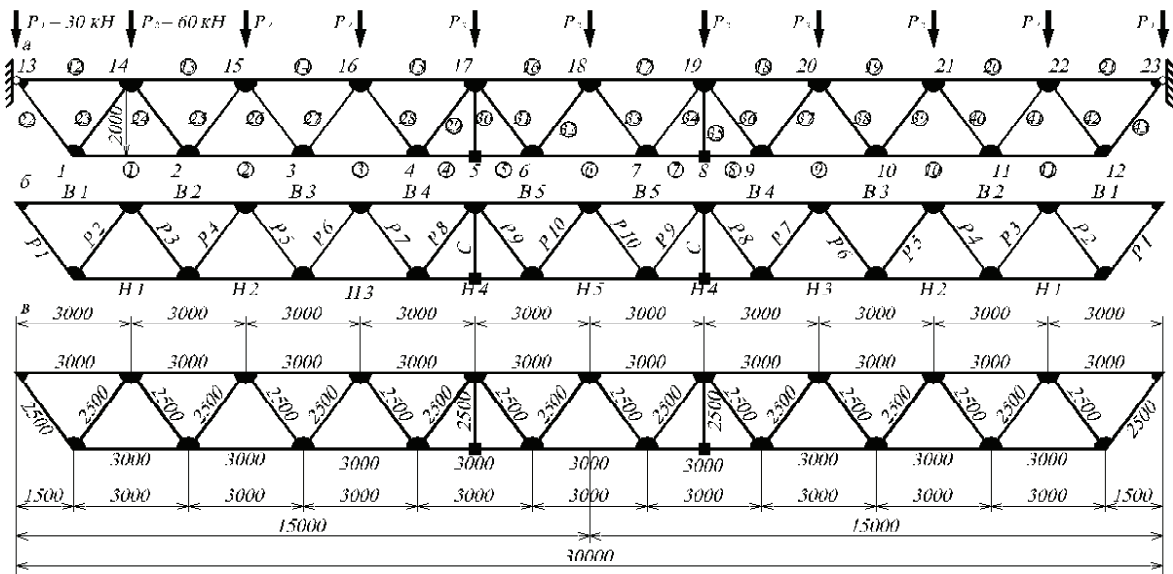


Рисунок 7. Розрахункова схема плоскої ферми покриття прогоном 30 м, за серією [16]: а – розрахункова схема, б – схема маркування, в – геометрична схема, 1...43 – номера елементів, 1...23 – номера вузлів.

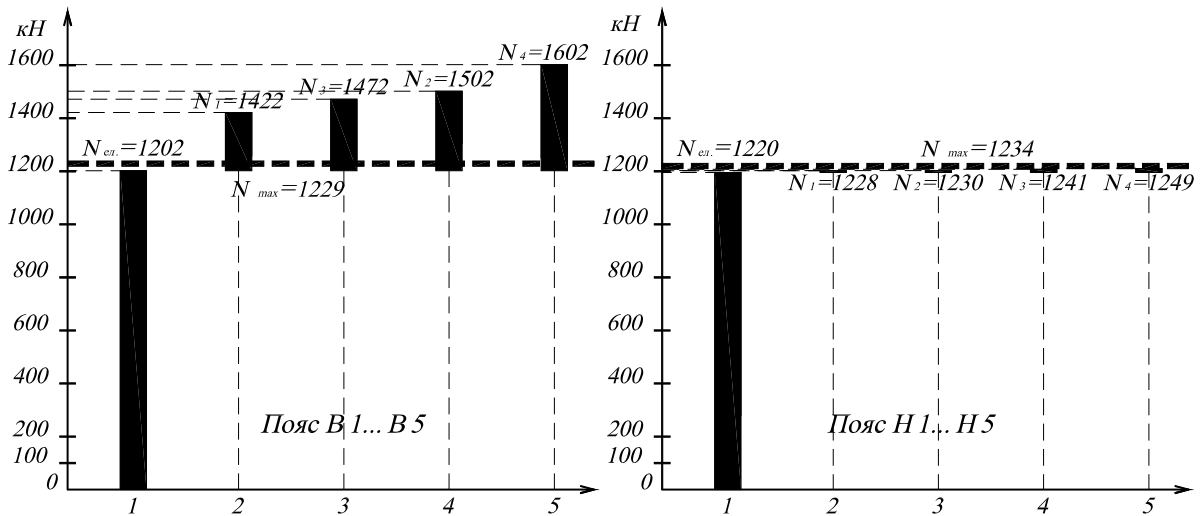


Рисунок 8. Величина додаткового зусилля у елементах (B1...B5, H1...H5) ферми L = 30 м (Q = 20 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

- наявність розглянутої недосконалості призводить до підвищення напружень у всіх елементах, а самими напруженими є нижній пояс Н, верхній В, розкоси Р8...Р10 та стійка С;
- врахування початкових недосконалостей елементів ферми повинно бути необхідною задачею під час проектування нових конструкцій;
- наведений спосіб визначення додаткових зусиль (напружень) у елементах ферм може бути застосований для багатьох стержневих конструкцій.

Для зниження величин додаткових зусиль у елементах ферм із ГЗП за серією [16] рекомендується:

- виконувати розрахунок щодо визначення величин додаткових зусиль (напружень) від технологічних недосконалостей;
- під час виготовлення ферм запобігати відхилення дійсної довжини елементів ферми на величину більшу, ніж наведена у таблиці 8 [17];
- призначити підвищений клас точності виготовлення самих напружених елементів;
- розробити комплексну методику врахування основних дефектів металевих конструкцій під час статичного розрахунку конструкцій за допомогою ПК Structure CAD чи іншого.

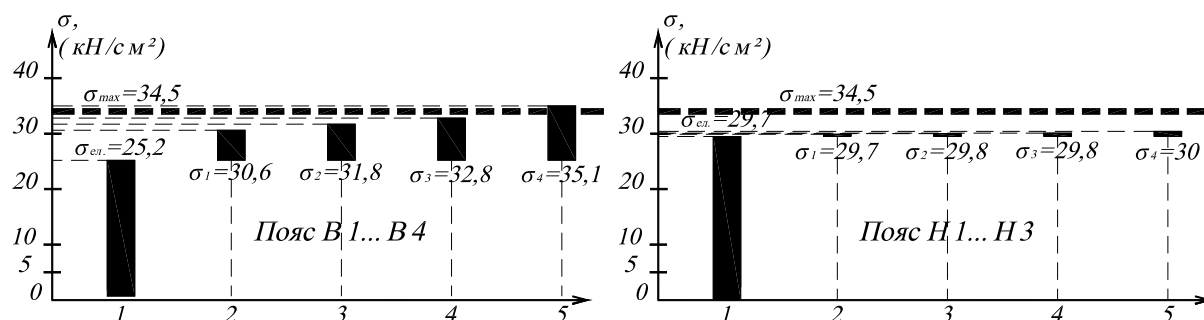


Рисунок 9. Величина додаткового напруження у елементах (В1...В5, Н1...Н5) ферми $L = 30$ м ($Q = 20$ кН/м) з ГЗП, за серією [16].

Література

1. Изготовление стальных конструкций. Справочник монтажника / А. А. Абаринов, Б. И. Гампель, Е. Л. Воронов [и др.]; Под ред. В. М. Краснова. – М. : Стройиздат, 1978. – 335 с.
2. Разработка и исследование структурного покрытия актового зала учебно-лабораторного корпуса КГТУ им. А. Н. Туполева / В. С. Агафонкин, М. В. Моисеев, Л. А. Исаева, М. А. Дьмолазов // Известия КазГАСУ. – 2010. – № 2, т. 14. – С. 105–110.
3. Айдаров, Д. П. О расчете ферм с учетом несовершенств в виде начальных искривлений стержней / Д. П. Айдаров, Б. А. Тухватуллин, В. В. Эм // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям : Сб. статей / Том. инж.-строит. ин-т.; отв. ред. А. М. Черняк. – Томск : Изд-во ТГУ, 1987. – С. 3–7 с.
4. Режимы резания металлов: Справочник / Ю. В. Барановский, Л. А. Брахман, А. И. Гдалевич [и др.]. – М. : НИИТАвтопром, 1995. – 456 с.

References

1. Abarinov, A. A.; Gampel, B. I.; Voronov, E. L. et al. Ed. V. M. Krasnov. Production of steel structures. Mounter's guidance. Moscow: Stroizdat, 1978. 335 p. (in Russian)
2. Agafonkin, V. S.; Moiseev, M. V.; Isaeva, L. A.; Dymolazov, M. A. Development and investigation of the structural coverage of the assembly hall of A.N.Tupolev's KSTU laboratory building. *Izvestiya KazSASU*, 2010, No. 2, Vol. 14, p. 105–110. (in Russian)
3. Aydarov, D. P.; Tuhvatullin, B. A.; Em, V. V. On the design of the frames with regard to the imperfections in the form of the initial bar distortion. *Investigation of building structures and structural mechanics*. Tomsk: Izd-vo NGU, 1987, p. 3–7. (in Russian)
4. Baranovsky, Yu. V.; Brahman, L.A.; Gdalevich, A. I. et al. Conditions of cutting metals: Guidance. Moscow: NIITAvtoprom, 1995. 456 p. (in Russian)

5. Валь, В. Н. Усиление каркасов одноэтажных производственных зданий / В. Н. Валь, Е. В. Горохов, Б. Ю. Уваров. – М. : Стройиздат, 1987. – 220 с.
6. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски : ГОСТ 21779-82. – Взамен ГОСТ 21779-76 ; введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 22 с.
7. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету : ГОСТ 27751-88. – Введ. 1988-07-01. – М. : Госстрой СССР, 1988. – 6 с.
8. Державні будівельні норми. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації : ДБН 362-92. – Введ. 1992-07-01. – К. : Укрархбудінформ, 1995. – 46 с.
9. Демидов, Н. Н. Количественная оценка несущей способности структурных конструкций МАрХИ с дефектами в виде зазоров / Н. Н. Демидов, Г. Ю. Браженас // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 5. – С. 8–11.
10. Методика расчета структурных конструкций с технологическими несовершенствами / О. И. Ефимов, В. С. Агафонкин, М. А. Дымолазов, М. В. Моисеев // Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций : Сборник трудов / М-во образования и науки Российской Федерации ; Казанская гос. архитектурно-строительная академия. – Казань : КГАСА, 1999. – С. 99–102.
11. Ишуткин, В. И. Настройка металлорежущих станков / В. И. Ишуткин. – М. : Машгиз, 1960. – 102 с.
12. Корчак, М. Д. О допусках на изготовление элементов металлических конструкций / М. Д. Корчак // Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 4. – С. 14–17.
13. Кужава, Здислав. Статистическая оценка случайных неправомерностей реальных центрально-сжатых стальных стержней / Кужава Здислав // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 5. – С. 61–62.
14. Моисеев, М. И. Начальные усилия и собираемость стальных структурных конструкций при случайных отклонениях длин стержней : дис. ... канд. техн. наук / Моисеев М. И. – Казань, 2004. – 164 с.
15. Раевский, А. Н. Проверка несущей способности металлических ферм с учетом искривлений отдельных элементов / А. Н. Раевский, М. Б. Зайцев // Известия вузов. Строительство. – 1999. – № 12. – С. 4–9.
16. Серия 1.263.2-4. Унифицированные конструкции стальных ферм для покрытий зальных помещений общественных зданий. Выпуск 4. Фермы пролетом 15, 18, 21, 24, 27 и 30 м из сварных гнутозамкнутых профилей, с пониженной высотой. – М. : Госстрой СССР, 1990. – 28 с.
17. Строительные нормы и правила. Металлические конструкции : СНиП III-18-75. – Взамен главы
5. Val, V. N.; Gorokhov, Ye. V.; Uvarov, B. Yu. Enhancement of the frames of one-storeyed industrial buildings. Moscow: Stroiizdat, 1987. 220 p. (in Russian)
6. The system of supporting the accuracy of the geometric parameters in the construction. Technological tolerances: GOST 21779-82. Moscow: Izd-vo standartov, 1993. 22 p. (in Russian)
7. Reliability of building structures and foundations. The main provisions for the calculation: GOST 27751-88. Moscow: Gosstroj SSSR, 1988. 6 p. (in Russian)
8. Building Norms and regulations. Evaluation of the technical state of steel structures of industrial buildings and facilities in operation: DBN 362-92. Kyiv: Ukrarhbudinform, 1995. 46 p. (in Ukrainian)
9. Demidov, N. N.; Brazhenas, G. Yu. Quantity carrying analysis of structures of MAI with such drawbacks as gaps. *High Educational Establishments News. Engineering and Architecture*, 1989, No. 5, p. 8–11. (in Russian)
10. Efimov, O. I.; Agafonkin, B. C.; Dymolazov, M. A.; Moiseev, M. V. Design method of structures with technological imperfections. *Research and development of metal and timber structures*. Kazan: KGASA, 1999, p. 99–102. (in Russian)
11. Ishutkin, V. I. Adjustment of metal cutting machine tools. Moscow: Mashgiz, 1960. 102 p. (in Russian)
12. Korchak, M. D. Manufacturing tolerance of metal structures elements. *High Educational Establishments News. Engineering*, 1992, No. 4, p. 14–17. (in Russian)
13. Kuzhava, Zdislav. Statistic estimation of casual errors of real central compressed rods. *Construction mechanics and building design*, 1982, No. 5, p. 61–62. (in Russian)
14. Moiseev, M. I. Initial efforts and assembling of steel structures with casual deviations of rod length. Ph. D. thesis. Kazan, 2004. 164 p. (in Russian)
15. Raevskii, A. N.; Zaitsev, M. B. Carrying abilities of metal girder accounting the bending of some elements. *High Educational Establishments News. Engineering*, 1999, No. 12, p. 4–9. (in Russian)
16. Series 1.263.2-4. Unified structures of steel girders of hall roofs of public buildings. Number 4. Girders span 15, 18, 21, 24, 27 and 30 made of welded curved closed profiles with decreased height. Moscow: Gosstroj SSSR, 1990. 28 p. (in Russian)
17. Structural Rules and regulations. Metal Constructions: SNiP III-18-75. Moscow: Gosstroj SSSR, 1976. 161 p. (in Russian)
18. Yugov, A. M. Real operation of metal grid structures with imperfections. Ph. D. thesis. Makiivka, 1988. 200 p. (in Russian)
19. Yugov, A. M.; Bondarev, O. B. Stressed and strained state of flat frame member investigation with regard to geometric imperfections. *Metal Constructions*, 2011, Vol. 17, No. 1, p. 51–61. (in Ukrainian)
20. Bruno, R. J. Identification of Nonlinear Joints in a Truss Structure. *Proceedings of the American*

- СНиП III-8.5-62* ; введ. 1977-01-01. – М. : Госстрой СССР, 1976. – 161 с.
18. Югов, А. М. Действительная работа металлических решётчатых конструкций с несовершенствами : дис. ... канд. техн. наук / Югов А. М. – Макевка, 1988. – 200 с.
 19. Югов, А. М. Дослідження напружено-деформованого стану елементів плоскої рами із урахуванням геометричних недосконалостей / А. М. Югов, О. Б. Бондарев // Металеві конструкції. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 51–61.
 20. Bruno, R. J. Identification of Nonlinear Joints in a Truss Structure // Proceedings of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) / American Society of Mechanical Engineers (ASME) Adaptive Structures Forum, Hilton Head, SC. – Washington, 1994. – P. 402–410.
 21. EUROCODE 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – 398 p.
 22. Chilton, John. Space Grid Structures. Great Britain: Architectural Press, 2000. 180 p.
 23. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
 24. Mayer, M. Die Sicherheit der Bauwrte und ihre Berechnung nach Granzkräften Statt nach zulassigen / M. Mayer. – Berlin : Springer Verlag, 1926. – 126 p.
 25. Steel construction. Manual. 13-th edition. - United State of America: American institute of steel construction inc., 2006. – 2181 p.

Югов Анатолій Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології, організації і охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція і посилення будівельних металевих конструкцій, технологія і організація робіт при будівництві і реконструкції будівель і споруд.

Миронов Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження НДС вузлів металевих та сталезалізобетонних конструкцій, дослідження питань втомної міцності металевих конструкцій.

Бондарев Олексій Борисович – магістрант кафедри технології, організації і охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж металевих та комбінованих конструкцій.

Москаленко Володимир Іванович – кандидат технічних наук, академік Академії будівництва України, генеральний директор ТОВ Фірма «Промбудремонт». Наукові інтереси: технології приготування бетонних сумішей, експериментально-статичне моделювання.

Югов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция и усиление строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Миронов Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование НДС узлов металлических и сталежелезобетонных конструкций, исследование вопросов усталостной прочности металлических конструкций.

Бондарев Алексей Борисович – магистрант кафедры технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация металлических и комбинированных конструкций.

Москаленко Владимир Иванович – кандидат технических наук, академик Академии строительства Украины, генеральный директор ООО Фирма «Промстойремонт». Научные интересы: технологии приготовления бетонных смесей, экспериментально-статическое моделирование.

Yugov Anatoliy – Dr. Sc. (Eng.), professor, Head of the Department «Technology, Organization and Labor Protection in the Construction» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design, assembly, operation, technical diagnostics, estimation of the technical state, reconstruction and enhancement of building metal structures,, technology and organizational management in the construction and reconstruction of buildings and structures.

Mironov Andriy – Ph.D. (Eng.), associate professor of the Department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: investigation of the NDS units of metal and steel and reinforce concrete structures, investigation of the problems of the fatigue strength of metal structures.

Bondarev Oleksiy – an undergraduate of the Department «Technology, Organization and Labor Protection in the Construction» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design, assembly, operation of metal and combined structures.

Moskalenko Vladimir – Ph.D. (Eng.), Academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine, General Director of «Prombudremont», Ltd. Scientific interests: technology of production of concrete mixtures, experimental-static simulation.