



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 4, 247–259

УДК 624.072.33

(11)-0251-0

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ НЕДОСКОНАЛОСТЕЙ У ФЕРМАХ ІЗ ГНУТОЗВАРЕНИХ ПРОФІЛІВ ЗА СЕРІЮ 1.460.3-23.98 НА ПАРАМЕТРИ 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. Лазаренка, 63, м. Донецьк, Україна, 83017.
E-mail: amyrus@mail.ru

Отримана 8 липня 2011; прийнята 25 листопада 2011.

Анотація. У статті досліджується питання щодо впливу геометричних недосконалостей у фермах із гнutoзварених профілів (ГЗП) за серією 1.460.3-23.98 на параметри напружено-деформованого стану. Наведено схеми розглянутих ферм та результати їхнього розрахунку із урахуванням геометричних недосконалостей. Дано аналіз проведених чисельних досліджень та рекомендації щодо зниження величин додаткових зусиль у фермах із ГЗП. Отримані величини додаткових зусиль та напружень свідчать, що початкові недосконалості впливають на дійсний напружено-деформований стан ферм розглянутої серії. Результати теоретичного дослідження можуть бути застосовані під час проектування чи розробки нових аналогічних конструкцій із ГЗП. Врахування розглянутого недоліку вже на етапі проектування дозволить в подальшому підвищити експлуатаційну надійність та живучість розглянутих конструкцій. Пропонується розробити методіку урахування основних початкових недосконалостей у складі універсального розрахунково-графічного програмного комплексу Structure Cad.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ В ФЕРМАХ ИЗ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО СЕРИИ 1.460.3-23.98 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 «Промбудремонт», ул. Лазаренко, 63, г. Донецк, Украина, 83017.
E-mail: amyrus@mail.ru

Получена 8 июля 2011; принята 25 ноября 2011.

Аннотация. В статье исследован вопрос влияния геометрических несовершенств в фермах из гнutoсварных профилей (ГСП) по серии 1.460.3-23.98 на параметры напряжённо-деформированного состояния. Приведены схемы рассмотренных ферм и результаты их расчёта с учётом геометрических несовершенств. Дан анализ проведённых численных исследований и рекомендации по снижению величин дополнительных усилий в фермах из ГСП. Полученные величины дополнительных усилий и

напряжений свідчать, що початкові недоврошенства впливають на напружено-деформоване стану ферм розглянутої серії. Результати теоретичного розрахунку можуть бути використані в час проектування або розробки нових аналогічних конструкцій із ГСП. Урахування початкового недоврошенства уже на етапі проектування дозволить в наступному підвищити експлуатаційну надійність розглянутих конструкцій. Пропонується розробити методику урахування основних початкових недоврошенств в складі універсального розрахунково-графічного програмного комплексу Structure Cad.

Ключевые слова: металічні конструкції, геометричні недоврошенства, виготовлення конструкцій, МКЕ, напружено-деформоване стану, точність, численне моделювання.

RESEARCH OF INFLUENCE OF GEOMETRIC IMPERFECTIONS IN FARMS FROM ROLL-FORMED AND WELDED SECTION BY SERIES 1.460.3-23.98 ON PARAMETERS OF THE IS INTENSE-DEFORMED CONDITION

Anatoliy Yugov ^a, Andrey Myronov ^a, Oleksiy Bondarev ^a, Vladimir Moskalenko ^b

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

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

E-mail: amyurus@mail.ru

Received 8 July 2011; accepted 25 November 2011.

Abstract. In the article is researched a question about additional efforts in steel farms from roll-formed and welded section (BWF) by series 1.460.3-23.98 on parameters of the is intense-deformed condition. Here are introduced plans examinations farms and results their calculations with consideration of geometrical imperfections. There was given an analysis of takings numerical research and recommendations by reduction value addition efforts in farms from BWF. The obtained values of extra effort and stress indicate that the initial imperfections affect the stress-strain state farms considered series. Results of theoretical calculation can be used during designing or working out of new similar designs from BWF. The account of the considered imperfection at a design stage allows rising in the following operational reliability of the considered designs. It is offered to develop a technique of the account of the basic initial imperfections as a part of universal settlement-graphic program complex Structure Cad.

Keywords: metal constructions, geometrical imperfections, technology of manufacture, MFE, intense-deformed condition, exactitude, numerical design.

Вступ

Точне виготовлення металевих конструкцій є важливою задачею заводів металевих конструкцій. Це дозволяє швидко зводити та надійно експлуатувати сучасні будівлі та споруди, що виконані із металевих конструкцій. Однак, виготовити абсолютно точно конструкції на заводі не завжди можливо. Це вимагає визначення дійсного напружено-деформованого стану елементів конструкцій із урахуванням дефектів, що набуває об'єкт протягом виготовлення.

Під час проектування (статичний розрахунок) конструкцій не враховуються початкові дефекти (недоврошеності). Визначення дійсного напружено-деформованого стану елементів конструкцій під час статичного розрахунку за допомогою сучасних розрахункових програмних комплексів із урахуванням дефектів, що притаманні конструкції на етапах її життєвого циклу майже неможливо. Сучасна методика розрахунку вважає, що нова конструкція не має відхилень від проекту при її виготовленні та зведенні. Розрахункова схема об'єкта вважається

ся ідеальною. Геометричні недосконалості елементів конструкцій у нових будівлях та інженерних спорудах під час конструктивного розрахунку теж вважаються відсутніми.

Недосконалості 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.

Постановка задачі

Наявність початкових геометричних недосконалостей для статично невизначених систем, якими в багатьох випадках є сучасні стержньові системи, може призвести до зниження їхньої несучої здатності, підвищення аварійності або непридатності до експлуатації. У зв'язку з цим рівень надійності (безвідмовності) у стержньових конструкціях зменшується. На сьогодні не розроблено однозначної методики розрахунку стержньових металевих конструкцій із урахуванням дефектів (недосконалостей виготовлення, монтажу і т. і.), яка буде гарантувати надійність та живучість будівельного об'єкта на усіх етапах життєвого циклу. Постає проблема щодо розробки методики розрахунку, в якій будуть враховані дефекти, що притаманні конструкції на етапах її виготовлення. Аналіз останніх досліджень та публікацій [1, 3...9, 11...15, 18, 20...22] показав, що визначенню дійсного стану стержньових металевих конструкцій із урахуванням дефектів присвячено багато робіт.

Забезпечення надійної експлуатації є однією із регламентованих процедур [5], яка використовується з метою перевірки рівня безвідмовності. Але надійна експлуатація будівель і споруд вимагає своєчасного технічного діагностування цих об'єктів. Технічне діагностування виконується відповідно до нормативного документа [7] з метою встановлення можливості використання будівельного об'єкта за призначенням у передбачених проектом умовах на певний термін експлуатації.

На виготовлення елементів ферм (розкоси, пояси і т. і.) впливає велика кількість факторів (похибок) [2], що обумовлені: геометричною

неточністю обладнання та пристосувань; різницею температурних деформацій (верстат–деталь–різальний інструмент); розмірним зносом різальних інструментів під час оброблення; пружними деформаціями системи (верстат–деталь–інструмент); точністю виготовлення деталей та збиранням верстата, а також його зносом під час експлуатації (геометричні похибки); точністю передаткових чисел різних передач кінематичного ланцюга в окремих елементах верстата; деформацією верстата, які викликані зміною взаємного положення – інструмента та заготовки під дією сил різки, та характеризується жорсткістю верстата; коливаннями інструмента відносно заготовки та навпаки і т. і.

Для теоретичного встановлення чисельним методом величини початкового зусилля (напруження) від нормативних показників відхилення дійсної довжини елементів від номінальної, що виникає під час виготовлення ферм із гнutoзвареного профілю (ГЗП) за серією [16] на параметри їх напружено-деформованого стану, розглянуто чотири типи технології виконання операції різки, за нормами [17]:

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

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Мета роботи – дослідити вплив геометричних недосконалостей у фермах із ГЗП прольотом 18, 24 та 30 м під рівномірно розподілене навантаження 22, 20 та 20 кН/м відповідно, за серією 1.460.3-23.98 [16], на параметри напружено-деформованого стану. Сталеві кроквяні ферми покриття прольотом 18, 24 та 30 м із ГЗП, за серією [16], є об'єктом дослідження. Залежність впливу відхилення фактичної довжини елементів ферм покриття із ГЗП, за серією [16], від номінальної на параметри їх напружено-деформованого стану (зусилля, напруження) є предметом дослідження.

В основу роботи покладено теоретичний метод скінченних елементів (МСЕ). Дослідження напружено-деформованого стану елементів виконано за допомогою програмного комплексу Structure Cad (ПК Structure Cad). Наукова новизна результатів роботи полягає в наступному: за результатами чисельного експерименту наведено значення величин додаткових (початкових) зусиль (напружень) від неточності різки елементів сталевих ферм із ГЗП, за серією [16], різними способами (технологіями) різки; на основі виконаної роботи наведено рекомендації щодо зниження величин додаткових зусиль від неточності виготовлення (різки) елементів.

Задачею дослідження є визначення та аналіз впливу показників точності виготовлення сталевих ферм із ГЗП, за серією [16], на параметри напружено-деформованого стану із наступним обґрунтуванням необхідності врахування нормативного відхилення довжини елемента ферми від номінальної при різних способах різки елементів. Навести рекомендації щодо зниження величин додаткових зусиль від неточності виготовлення елементів по довжині.

Результати досліджень призначені для підвищення точності: виготовлення елементів конструкцій ферм із ГЗП, за серією [16]; статичного розрахунку стержньових металевих конструкцій та їх надійної експлуатації протягом проектного терміну.

Наведені значення величин додаткових зусиль можна використовувати для визначення дійсного напружено-деформованого стану елементів ферм із ГЗП при їхньому проектуванні із урахуванням нормативного відхилення, яке виникає під час різки елементів, за таблицею 8 [17].

Урахування дефектів, яких набуває конструкція (споруда) протягом життєвого циклу, вже під час проектування технології виготовлення розглянутих конструкцій дозволить підвищити їх рівень безвідмовності та живучості.

Методика дослідження

Для досягнення мети необхідно визначити та проаналізувати, яким чином впливає відхилення дійсної довжини елементів ферм із ГЗП від номінальної на напружено-деформований стан.

Для спрощення задачі, що розв'язується, будемо приймати:

- шарнірні вузли сполучення колон з фермами покриття, а сполучення вузлів ферм між собою жорсткими;
- 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 (дефектів);
- що несуча здатність елементів ферм визначена із урахуванням несучої здатності вузлових з'єднань (жорсткості) зібраної конструкції;
- що не будуть враховуватися деформації (дефекти) елементів ферми, що обумовлені неякісним виконанням зварних з'єднань;
- що конструкція зібрана без компенсаторів та має ідеальну структуру матеріалу;
- величини зосередженого навантаження на ферми тільки за вимогами серії [16];
- до розгляду тільки відхилення, що наведені у розділі 1 підрозділу А таблиці 8 [17].

Для порівняння та визначення дійсного напружено-деформованого стану результатів дослідження розрахунок виконано тільки за допомогою теплового навантаження, яке діє вздовж елементів ферми покриття. Використання теплового навантаження для моделювання недоліку, який розглядається, рекомендовано у роботах [14, 19]. Величина відхилення елементів ферм визначається за вимогами таблиці 8 [17].

Теоретичне дослідження параметрів НДС в елементах ферм із ГЗП $L = 18$ м

У цьому розділі розглядається та аналізується напружено-деформований стан в елементах ферм із ГЗП $L = 18$ м під рівномірно розподілене навантаження – 22 кН/м (рис. 1).

Для теоретичного дослідження напружено-деформованого стану ферми необхідно визначити зусилля (напруження), що діють в її елементах від розрахункового навантаження, за серією [16]. Для визначення впливу та залежності величини відхилення довжини елементів ферми на зусилля та напруження в них виконано розрахунок із урахуванням недосконалостей. Розміри перерізів елементів ферми наведено у [16].

На рис. 2 наведено величину зусилля в елементі верхнього (В) та нижнього (Н) поясів від повного розрахункового навантаження, за проектом, та додаткового зусилля залежно від технології їх різання під час виготовлення. Дано величину сумарного зусилля в елементах у кН від повного навантаження ($N_{\text{ел}}$) та зусилля від Т (температури). Слід пояснити, що по горизонтальній осі схем, зображених на рис. 2, 3, 5, 6, 8, 9: 1 – величина загального зусилля (напруження) від повного навантаження; 2...5 – найменування типів технологій, які наведені у цій статті.

Наприклад, для елемента поясу Н (нижнього) максимальна величина зусилля від розрахункового навантаження, за серією [16], складає $N_{\text{ел}} = 482$ кН. Максимальна величина додаткового зусилля залежно від способу різання, наприклад, для технології 1 складає 20 % від розрахункового зусилля у Н. Тобто $(20 \% \cdot 482) / 100 = 96,3$ кН. Величина загального зусилля в елементі при відрізання за технологією 1 (N_1) складає: $N_1 = N_{\text{ел}} + N_1 = 482 + 96,3 \approx 578$ кН (рис. 2). Аналогічно підраховано значення зусиль для наступних елементів при різних технологіях різки.

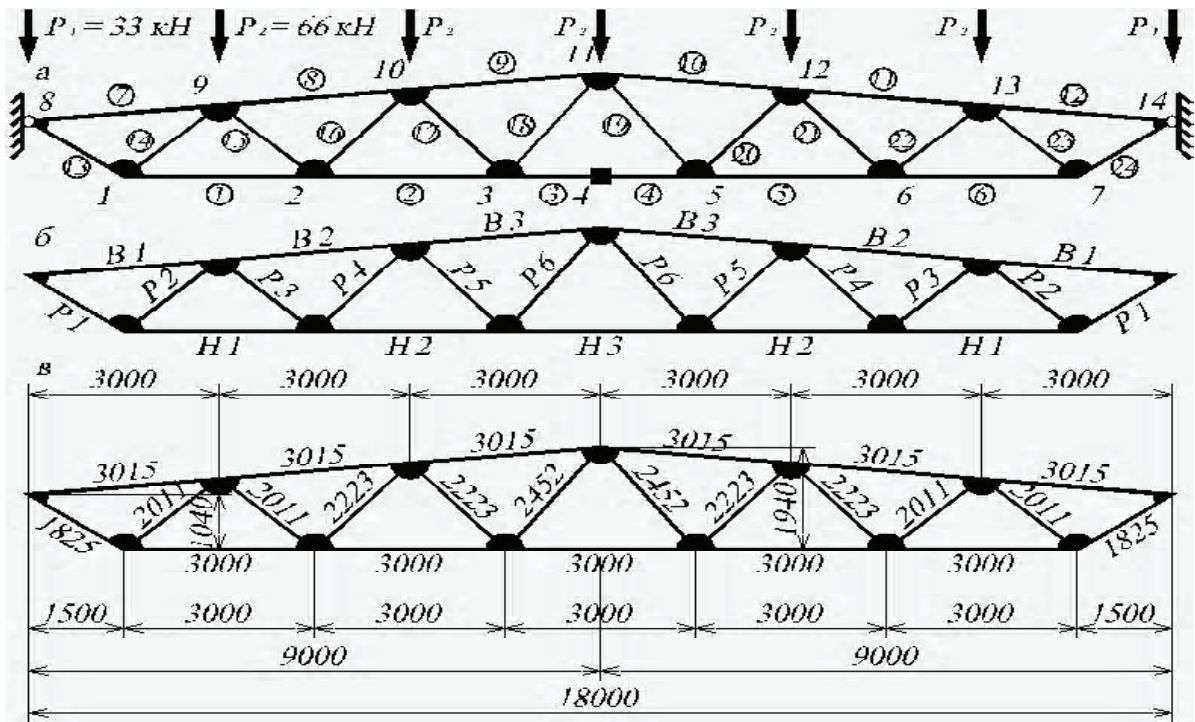


Рисунок 1. Схема плоскої ферми покриття прогоном 18 м, за серією [16]: а – розрахункова схема, б – схема маркування, в – геометрична схема, 1...24 – номери елементів, 1...14 – номер вузлів.

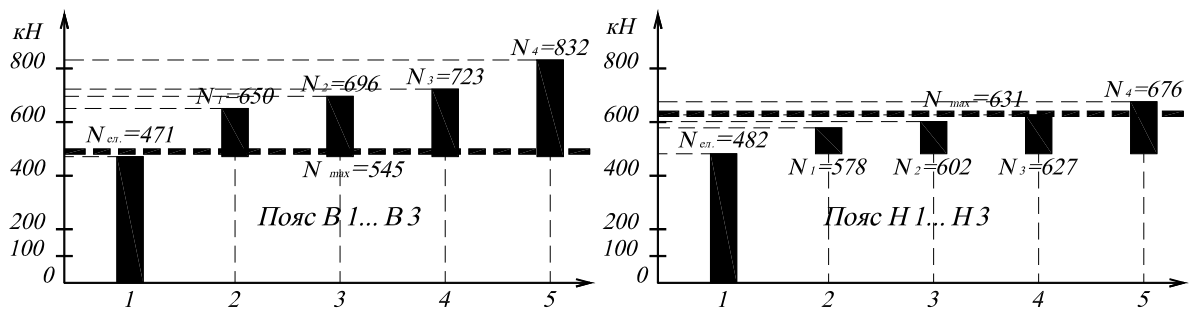


Рисунок 2. Величина додаткового зусилля в елементах (В1...В3, Н1...Н3) ферми $L = 18$ м ($Q = 22$ кН/м) з ГЗП, за серією [16].

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити такі висновки: при різанні елементів збільшення величини додаткових зусиль складає для елементів нижнього поясу Н1...Н3 – 17,3...34,9 % залежно від способу різання; для елементів верхнього поясу В1...В3 – 33,2...66,5 % відповідно.

Слід також відмітити, що при відрізання поясу Н за першим типом технології його несуча здатність буде достатньою, а для верхнього поясу – ні. Величина додаткових зусиль залежно від способу різання складає для розкошу: Р1 – 12,5...25,2 %; Р2 – 12,9...25,8 %; Р3 – 26,4...52,9 %; Р4 – 26,3...54,0 %; Р5 – 121,0...197,4 %; Р6 – 94,4...194,0 %.

На рис. 3 наведено величину сумарного напруження в елементах (пояси) ферми від повного розрахункового навантаження і додаткових напружень у кН/см² у разі відхилень, що виникають при різних типах технології різання елементів.

Наприклад, для елемента верхнього (В) поясу максимальна величина напруження від розрахункового навантаження, за серією [16], складає $\sigma_{\text{ел.}} = 21,6$ кН/см², а величина додаткового напруження залежно від способу різання, наприклад, для першого типу технології складає $\sigma_1 = 9,9$ кН/см².

Тобто, загальне напруження у нижньому поясі:

$$\sigma_1 = (N_{\text{ел.}} + N_1) / (A_{\text{ел.}} \cdot \varphi_{\text{орт.}}) = (482,00 + 179,50) / (21,76 \cdot 0,80) = 37,90 \text{ кН/см}^2,$$

яке є більшим, ніж опір сталі верхнього поясу ($R_y = 34,5$ кН/см²). $\varphi_{\text{орт.}}$ – орієнтовне значення коефіцієнта повздовжнього вигину. $A_{\text{ел.}}$ – площа поперечного перерізу елемента. Значення

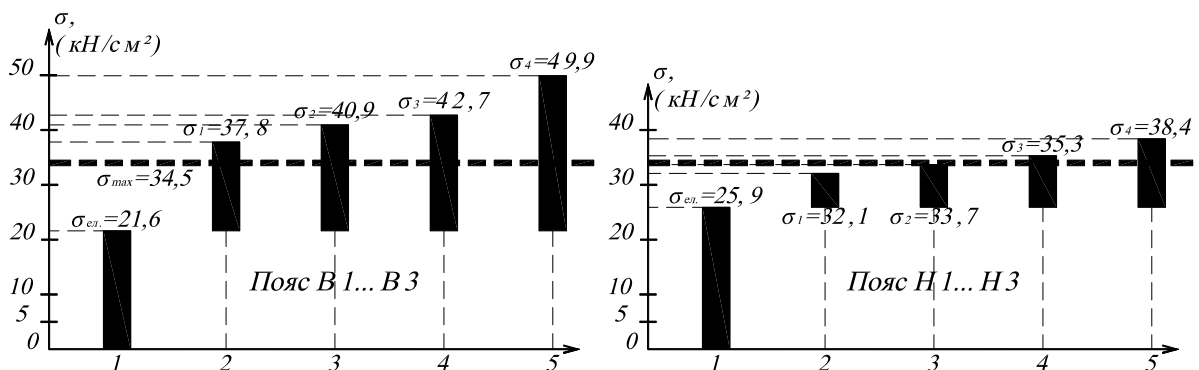


Рисунок 3. Величина додаткового напруження в елементах (В1...В3, Н1...Н3) ферми $L = 18$ м ($Q = 22$ кН/м) з ГЗП, за серією [16].

$N_{\text{ел.}}$ та N_1 те ж саме, що на рис. 2. Аналогічно підраховано значення напружень для наступних елементів ферм при різних типах технології різання, але для розтягнутих елементів коефіцієнт повздовжнього вигину φ дорівнює одиниці.

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити висновок, що: у верхньому поясі ферми В1...В3 – величина напруження при наявності дефекту коливається в межах 28,6...56,0 % від розрахункового опору сталі; у нижньому поясі ферми Н1...Н3 – 17,9...35,0 % відповідно. Величина додаткових напружень залежно від способу різання складає для розкошу: Р1 – 7,2...14,2 %; Р2 – 6,4...12,8 %; Р3 – 11,6...23,2 %; Р4 – 10,4...21,2 %; Р5 – 9,2...19,6 %; Р6 – 8,8...18,0 %.

Теоретичне дослідження параметрів НДС в елементах ферм із ГЗП $L = 24$ м

У цьому розділі розглядається та аналізується напружено-деформований стан елементів ферм із ГЗП $L = 24$ м під рівномірно розподілене навантаження – 20 кН/м (рис. 4).

На рис. 5 наведено величину зусилля в елементі верхнього (В) та нижнього (Н) поясів від повного розрахункового навантаження та додаткового зусилля залежно від технології їх різання під час виготовлення. Також дано сумарне зусилля в елементі у кН від повного навантаження ($N_{\text{ел.}}$) та зусилля від Т (температури).

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити такі висновки: при різанні елементів збільшення величини додаткових зусиль складає для елементів нижнього

поясу (Н) на 19,0...37,6 % залежно від способу різання; для верхнього поясу (В) на 31,2...61,7 % відповідно. Величина додаткових зусиль залежно від способу різання складає для розкосу: P1 – 11,8...15,9 %; P2 – 12,1...24,2 %; P3 – 19,1...38,3 %; P4 – 21,1...41,5 %; P5 – 75,8...151,7 %; P6 – 80,7...161,5 %; P7 – 36,0...84,0 %; P8 – 39,4...76,6 %.

На рис. 6 наведено величину сумарного напруження в елементах (пояси) ферми від повного розрахункового навантаження та додаткових напружень у кН/см² у разі відхилень при різній технології різання елементів.

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити висновок, що: у верхньому поясі ферми В1...В4 – величина напруження у разі дефекту коливається в межах 29,5...58,2 % від розрахункового опору сталі залежно від способу різання; у нижньому поясі ферми Н1...Н4 – 20,9...41,2 % відповідно.

Величина додаткових напружень залежно від способу різання складає для розкосу: P1 – 6,9...13,6 %; P2 – 6,4...12,5 %; P3 – 11,2...22,4 %; P4 – 10,8...21,2 %; P5 – 9,2...18,4 %; P6 – 8,8...12,8 %; P7 – 7,6...15,6 %; P8 – 7,6...14,8 %.

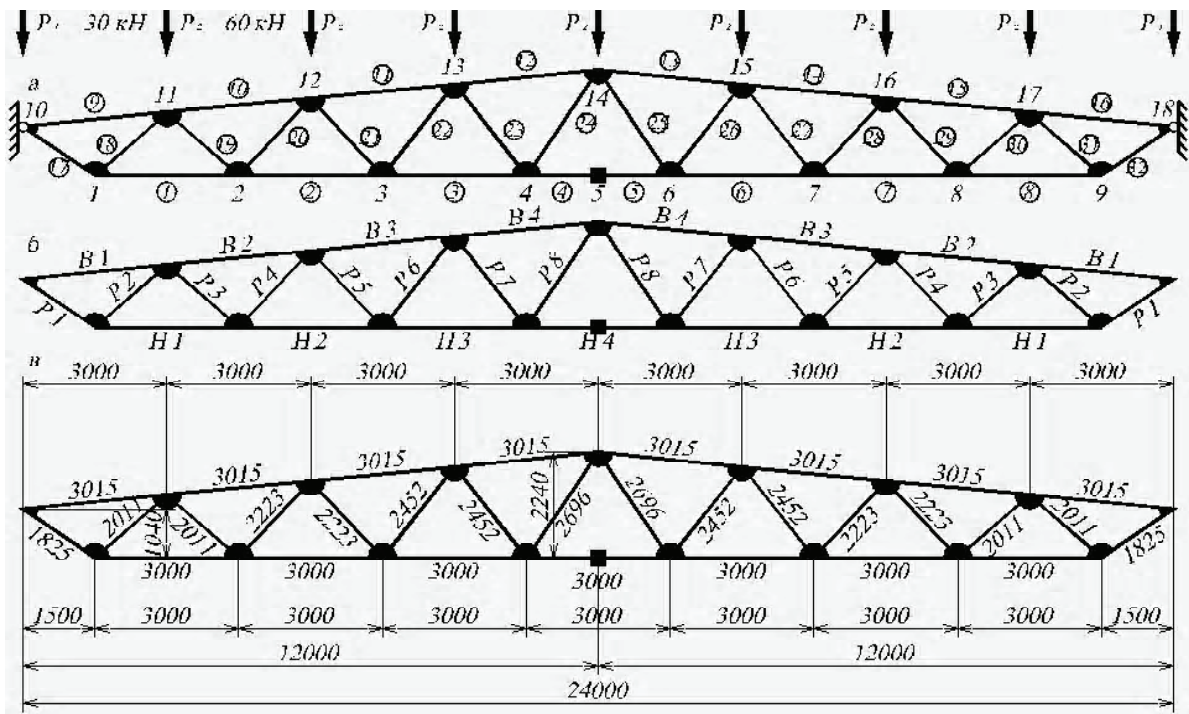


Рисунок 4. Схема плоскої ферми покриття прогоном 24 м, за серією [16]: а – розрахункова схема, б – схема маркування, в – геометрична схема, 1...32 – номери елементів, 1...18 – номери вузлів.

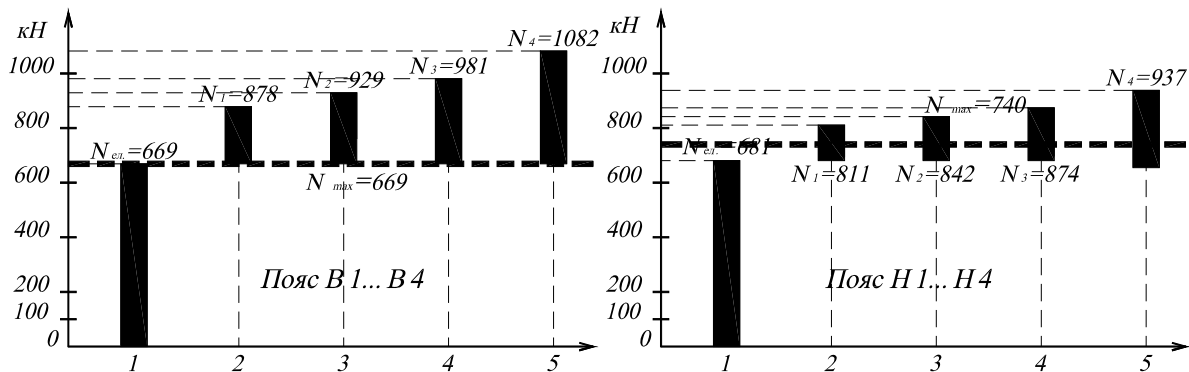


Рисунок 5. Величина додаткового зусилля в елементах (В1...В4, Н1...Н4) ферми L = 24 м (Q = 20 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

Теоретичне дослідження параметрів НДС в елементах ферм із ГЗП L = 30 м

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

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

За результатами розрахунку ферми та його аналізу можна зробити такі висновки: при різанні елементів збільшення величини до-

даткових зусиль складає для нижнього поясу (Н) на 21,5...42,8 % залежно від способу різання; верхнього поясу (В) на 31,8...47,4 % відповідно. Величина додаткових зусиль залежно від способу різання складає для розкосу: P1 – 13,3...26,1%; P2 – 14,2...27,0%; P3 – 39,8...40,3%; P4 – 20,8...42,1%; P5 – 39,2...86,0%; P6 – 42,5...87,6%; P7 – 337,5...700,0%; P8 – 385,7...771,4%; P9 – 31,9...68,1%; P10 – 32,8...68,6%.

На рис. 9 наведено величину сумарного напруження в елементах (пояси) ферми від повного розрахункового навантаження та додаткових напружень у кН/см² у разі відхилень при різних типах технології різання елементів. Ве-

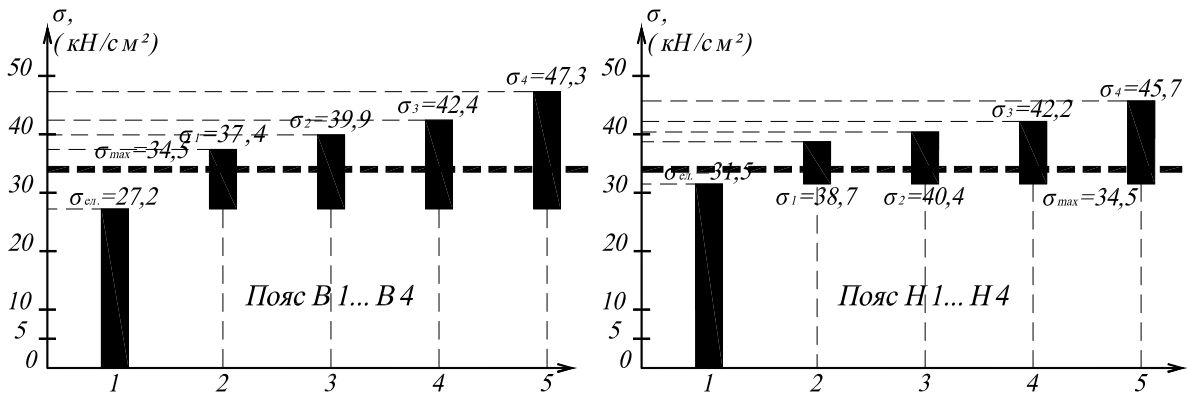


Рисунок 6. Величина додаткового напруження в елементах (В1...В4, Н1...Н4) ферми L = 24 м (Q = 20 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

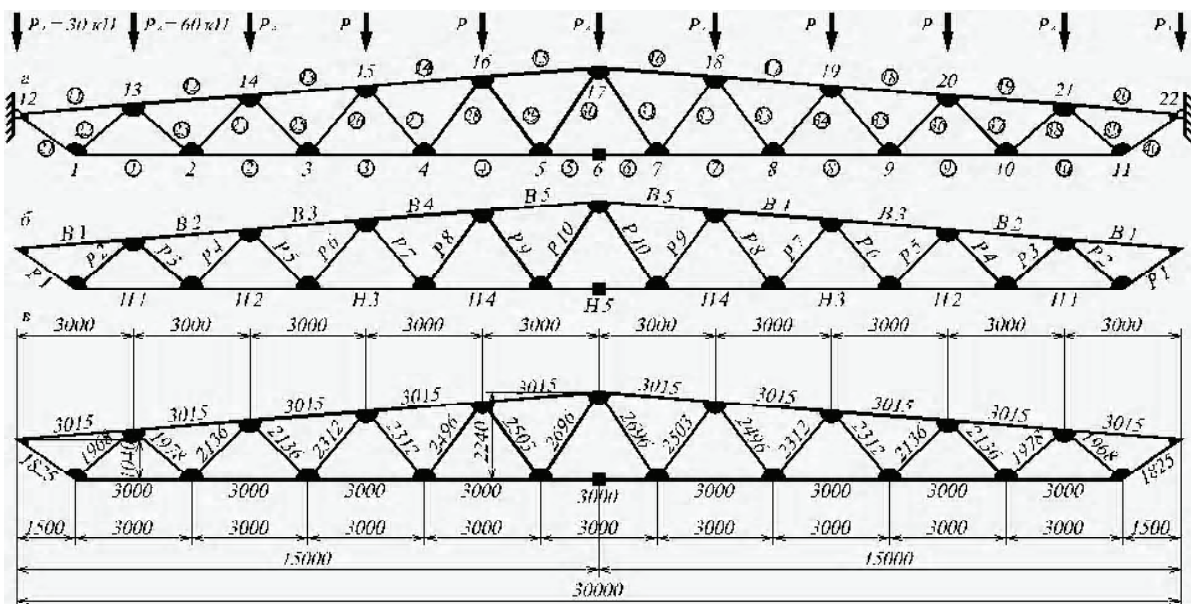


Рисунок 7. Схема плоскої ферми покриття прогоном 30 м, за серією [16]: а – розрахункова схема, б – схема маркування, в – геометрична схема, 1...40 – номери елементів, 1...22 – номери вузлів.

личина напруження у разі дефекту: у верхньому поясі ферми В1...В5 – 29,2...57,9 % залежно від способу різання, а у нижньому поясі ферми Н1...Н5 – 22,8...45,2 % відповідно. Величина додаткових напружень залежно від способу різання складає для розкоси: Р1 – 8,4...16,5 %; Р2 – 7,5...14,5 %; Р3 – 33,2...33,6 %; Р4 – 15,6...32,0 %; Р5 – 14,0...28,0 %; Р6 – 12,8...26,4 %; Р7 – 11,2...23,2 %; Р8 – 11,2...22,4 %; Р9 – 9,6...20,4 %; Р10 – 9,6...20,0 %.

Загальні висновки, результати, рекомендації та пропозиції

Аналіз напружено-деформованого стану ферм із ГЗП, за серією [16], показав, що розподіл величин додаткових зусиль в них є рівномірним і враховувати початкові недосконалості необ-

хідно з метою підвищення їх надійності під час експлуатації, а саме:

- наявність розглянутої недосконалості призводить до підвищення напружень у всіх елементах, а найбільш напруженими є нижній пояс Н1...Н4, верхній В1...В4, та розкоси Р1 та Р2;
- величина напружень у розкосах Р1, Р2 із урахуванням початкового зусилля, яке виникає при різанні цих елементів, навіть за четвертим типом технології, не призводить до перенапруження в них;
- врахування початкових недосконалостей елементів повинно бути необхідною задачею під час проектування нових конструкцій;
- наведений спосіб визначення додаткових зусиль (напружень) може бути застосований для багатьох стержньових конструкцій;

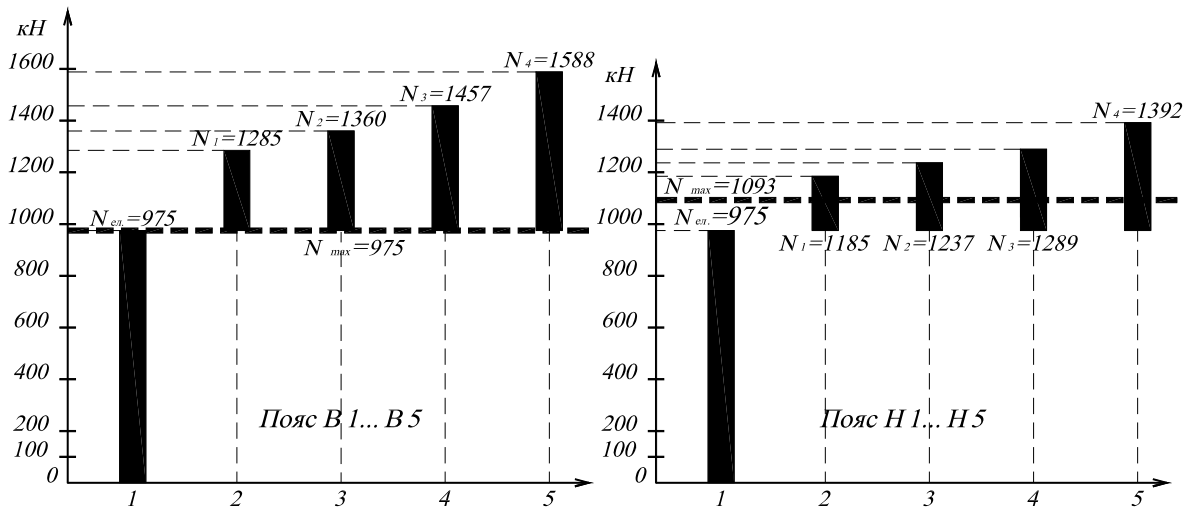


Рисунок 8. Величина додаткового зусилля в елементах (В1...В5, Н1...Н5) ферми L = 30 м (Q = 20 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

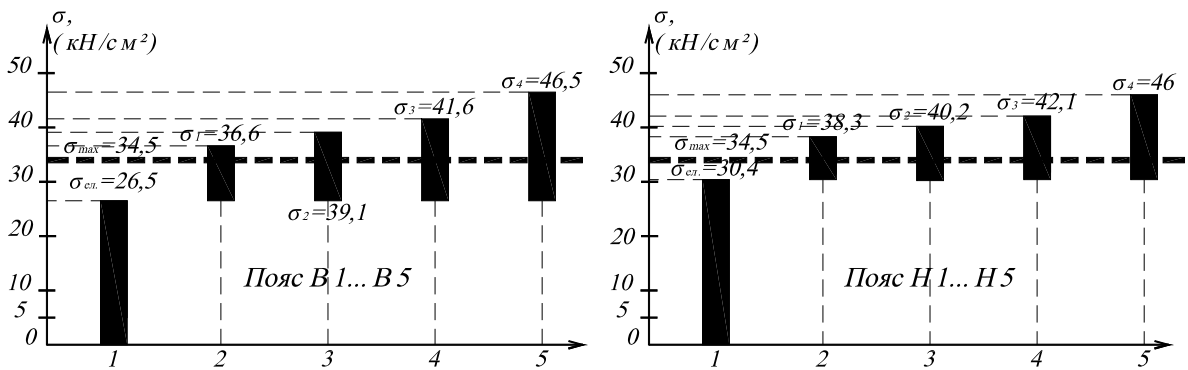


Рисунок 9. Величина додаткового напруження в елементах (В1...В5, Н1...Н5) ферми L = 30 м (Q = 20 кН/м) з ГЗП, за серією [16].

– додаткові напруження в елементах РЗ...Р8 перевищують напруження в них від розрахункового навантаження в деяких випадках у 7,7 разів. Це обумовлено тим, що типізація елементів призводить до появи у складі ферми не повністю завантажених елементів.

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

- виконувати розрахунок щодо визначення величин додаткових зусиль (напружень) від неточності виготовлення;
- під час розробки типів технології виготовлення конструкцій призначати підвищений клас точності, при необхідності на основі розрахунку на технологічні недосконалості

або виконувати коригування розмірів елементів ферми;

- під час виготовлення ферм запобігати відхилення дійсної довжини їх елементів на величину більшу, ніж наведена у нормах [17];
- зменшити величини нормативних відхилень параметрів конструкцій, що наведені у таблиці 8 [17] відповідно до технічних характеристик сучасного обладнання із оброблення (різання) елементів;
- призначити підвищений клас точності виготовлення найбільш напружених елементів ферм;
- розробити комплексну методику врахування основних дефектів металевих конструкцій під час статичного розрахунку конструкцій за допомогою ПК Structure CAD.

Література

1. Айдаров, Д. П. О расчете ферм с учетом несовершенств в виде начальных искривлений стержней [Текст] / 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.
2. Режимы резания металлов [Текст] : Справочник / Ю. В. Барановский, Л. А. Брахман, А. И. Гдалевич [и др.]. – М. : НИИТАвтопром, 1995. – 456 с.
3. Валь, В. Н. Усиление каркасов одноэтажных производственных зданий [Текст] / В. Н. Валь, Е. В. Горохов, Б. Ю. Уваров. – М. : Стройиздат, 1987. – 220 с.
4. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски [Текст] : ГОСТ 21779-82. – Взамен ГОСТ 21779-76 ; введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 22 с. – (Гос. стандарт Союза ССР).
5. Надёжность в технике. Модели отказов. Основные положения [Текст] : ГОСТ 27.005-97. – Введен впервые ; введ. 2005-10-01. – К. : Госстрой Украины, 1997. – 45 с. – (Гос. стандарт Союза ССР).
6. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету [Текст] : ГОСТ 27751-88. – Введ. 1988-07-01. – М. : Госстрой СССР, 1988. – 6 с. – (Гос. стандарт Союза ССР).
7. Державні будівельні норми. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] :

References

1. 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. In *Investigation of building structures and structural mechanics*. Tomsk: Izd-vo NGU, 1987, p. 3–7. (in Russian)
2. Baranovskiy, Yu. V.; Brahman, L. A.; Gdalebich, A. I. Metal cutting conditions. Reference book. Moscow: NIITAvtoprom, 1995. 456 p. (in Russian)
3. Val, V. N.; Gorokhov, Ye. V.; Uvarov, B. Yu. Enhancement of the frames of one-storeyed industrial buildings. Moscow: Stroizdat, 1987. 220 p. (in Russian)
4. 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)
5. Reliability of building structures and foundations. Engineering reliability. Fault models. Basic guidelines: GOST 27.005-97. Kyiv: Gosstroy SSSR, 1997. 45 p. (in Russian)
6. Reliability of building structures and foundations. The main provisions for the calculation: GOST 27751-88. Moscow: Gosstroy SSSR, 1988. 6 p. (in Russian)
7. 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)
8. Demidov, N. N.; Brazhenas, G. Yu. Quantity carrying analysis of structures of Moscow Architectural Institute with such drawbacks as gaps. In *High Educational Establishments News. Engineering and Architecture*, 1989, No. 5, p. 8–11. (in Russian)

- ДБН 362-92. – Введ. 1992-07-01. – К. : Украрх-будінформ, 1995. – 46 с.
8. Демидов, Н. Н. Количественная оценка несущей способности структурных конструкций МАРХИ с дефектами в виде зазоров [Текст] / Н. Н. Демидов, Г. Ю. Браженас // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 5. – С. 8–11.
 9. Методика расчета структурных конструкций с технологическими несовершенствами [Текст] / О. И. Ефимов, В. С. Агафонкин, М. А. Дымлазов, 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.
 10. Ишуткин, В. И. Настройка металлорежущих станков [Текст] / В. И. Ишуткин. – М. : Машгиз, 1960. – 102 с.
 11. Корчак, М. Д. Использование теории катастроф для оценки предельного состояния металлических конструкций [Текст] / М. Д. Корчак // Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 7–8. – С. 11–21.
 12. Корчак, М. Д. О допусках на изготовление элементов металлических конструкций [Текст] / М. Д. Корчак // Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 4. – С. 14–17.
 13. Кужава, Здислав. Статистическая оценка случайных неправильностей реальных центрально-сжатых стальных стержней [Текст] / 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 [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Моисеев М. И. – Казань, 2004. – 164 с.
 15. Перельмутер, А. В. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : Сталь, 2002. – 600 с.
 16. Серия 1.460.3-23.98. Стальные конструкции покрытий производственных зданий из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения пролётом 18, 24 и 30 м с уклоном кровли 10 %. Выпуск 1. Чертежи КМ [Текст] : Утв. Управлением научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя РФ, письмо от 12.10.2000 г. № 5-11/94 / ОАО ПИ Ленпроектстальконструкция. – [Б. м.], 1998?. – 77 с. – (Типовая документация на конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений).
 17. Металлические конструкции [Текст] : СНиП III-18-75. – Взамен главы СНиП III-8.5-62* ; введ. 1977-01-01. – М. : Госстрой СССР, 1976. – 161 с. – (Строительные нормы и правила).
 18. Югов, А. М. Действительная работа металлических решётчатых конструкций с несовершенствами [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Югов А. М. – Макеевка, 1988. – 200 с.
 9. Efimov, O. I.; Agafonkin, B. C.; Dymolazov, M. A.; Moiseev, M. V. Design method of structures with technological imperfections. In *Research and development of metal and timber structures*. Kazan: KGASA, 1999, p. 99–102. (in Russian)
 10. Ishutkin, V. I. Adjustment of metal cutting machine tools. Moscow: Mashgiz, 1960. 102 p. (in Russian)
 11. Korchak, M. D. The use of accident analysis for estimation of metal structures limit state. In *High Educational Establishments News. Engineering*, 1992, No. 7–8, p. 11–21. (in Russian)
 12. Korchak, M. D. Manufacturing tolerance of metal structures elements. In *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. In *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. PhD thesis. Kazan, 2004. 164 p. (in Russian)
 15. Perelmutter, A. V.; Slivker, V. I. Design models of structures and a possibility of their analysis. Kiyv: Stal, 2002. 600 p. (in Russian)
 16. Series 1.460.3-23.98. Steel structures of industrial building covers of close roll-formed and welded profiles of rectangular cross section 18, 24 and 30 m in span with the inclined roof by 10 per cent. Vol. 1. Drawings CM. [S. l.], 1998?. 77 p. (Standard Documentation to structures, products and building knots). (in Russian)
 17. Structural Rules and regulations. Metal Constructions: SNiP III-18-75. Moscow: Gosstroy SSSR, 1976. 161 p. (in Russian)
 18. Yugov, A. M. Real operation of metal grid structures with imperfections. PhD thesis. Makiiivka, 1988. 200 p. (in Russian)
 19. Yugov, A. M.; Bondarev, O. B. Stressed and strained state of flat frame members investigation with regard to geometric imperfections. In *Metal Constructions*, 2011, T. 17, No. 1, p. 51–61. (in Ukrainian)
 20. Bruno, R. J. Identification of Nonlinear Joints in a Truss Structure. In *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. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.

19. Югов, А. М. Дослідження напружено-деформованого стану елементів плоскої рами із урахуванням геометричних недосконалостей [Текст] / 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 [Текст] / R. J. Bruno // *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 [Текст] – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – 398 p.
22. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures [Текст] / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.

Югов Анатолій Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології і організації будівництва 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 і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж металевих та комбінованих конструкцій.

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

Югов Анатолій Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительства 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 и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация металлических и комбинированных конструкций.

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

Anatoliy Yugov – DSc (Eng), a Professor, Head of the Technology and Management in Construction Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: designing, erection, operation, engineering diagnostics, technical state evaluation, refurbishment and reinforcement of building metal structures, methods and organization of works at building and refurbishment of constructions and structures.

Andriy Myronov – PhD (Eng), Associate Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests: research IDC nodes metal and ferroconcrete structures, study of the issues of fatigue strength of metal constructions.

Oleksiy Bondarev – a graduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: designing, erection of metal and combined structures.

Vladimir Moskalenko – PhD (Eng), the academician of Academy of building of Ukraine, Chief Executive officer of the «Prombudremont» Ltd. Research interests: technologies of concrete mixtures preparing of the experimental and statistical modeling.