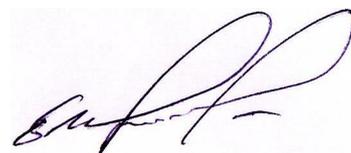


Міністерство розвитку громад та територій України

**Державне підприємство
«Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
(ДП НДІБК)**

ІВАНОВ БОРИС ВАЛЕРІЙОВИЧ



УДК 624.072.002.2

**ВИПРАВЛЕННЯ ЗАЗДАЛЕГІДЬ ДЕФОРМОВАНИХ СТАЛЕВИХ
КОНСТРУКЦІЙ ЛОКАЛЬНИМИ ТЕРМІЧНИМИ ВПЛИВАМИ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Луганському національному аграрному університеті (ЛНАУ) м. Луганськ.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Голоднов Олександр Іванович,
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Український інститут сталевих конструкцій імені В.
М. Шимановського», учений секретар

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Лапенко Олександр Іванович,
завідувач кафедри комп'ютерних технологій
будівництва, Національний авіаційний університет
МОН України (м. Київ).

доктор технічних наук, доцент
Отрош Юрій Анатолійович,
доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності
факультету цивільного захисту, Національний
університет цивільного захисту України Державної
служби України з надзвичайних ситуацій (м. Харків).

Захист відбудеться "02" грудня 2020 р. о 16-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.833.01 при ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» за адресою: 03037, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» за адресою: 03037, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2.

Автореферат розіслано «__» жовтня 2020 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 26.833.01, к.т.н., с.н.с.



Ю.С. Слюсаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні тільки в основних галузях промисловості експлуатується понад 36 млн. т несучих металевих конструкцій. На сьогодні відмічено стійку тенденцію до збільшення обсягу виробництва сталевих конструкцій, незважаючи на наявні проблеми економіки як України, так і всього світу в цілому. В той же час більшість фонду експлуатованих сталевих конструкцій складають конструкції будівель та споруд, які було введено в експлуатацію понад 50 років по тому.

В зв'язку з цим гостро стоїть проблема забезпечення надійності та продовження терміну експлуатації існуючого парку конструкцій. Ця проблема включає удосконалення способів діагностики технічного стану та посилення сталевих конструкцій, в т.ч. і на основі розвитку й уточнення методів їхнього розрахунку.

Завдання посилення сталевих конструкцій досить часто стоїть в інженерній практиці. Реконструкція, що широко проводиться, і модернізація устаткування промислових підприємств обумовлюють зростання експлуатаційних навантажень на споруди і необхідність їхнього посилення. Помилки в проектуванні, виготовленні та монтажі конструкцій, або дефекти, що виникли в процесі їхньої експлуатації, також можуть служити причиною посилення конструкцій.

ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ПЛАНАМИ, ТЕМАМИ. ДИСЕРТАЦІЯ ВИКОНУВАЛАСЯ НА КАФЕДРІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛУГАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ (ЛНАУ) І КАФЕДРІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДОНБАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ (ДОНДТУ) МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ТА ВІДПОВІДАЄ АКТУАЛЬНИМ НАПРЯМАМ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ В ОБЛАСТІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІДПОВІДНО ДО ПОСТАНОВИ КАБІНЕТУ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ №409 ВІД 5 ТРАВНЯ 1997 Р. «ПРО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ І БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД І ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ». ДИСЕРТАЦІЯ ВИКОНУВАЛАСЯ В РАМКАХ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ КАФЕДРИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДОНДТУ ВІДПОВІДНО

ДО ДНТП «ВПЛИВ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРМІЧНИХ ДІЙ НА МІЦНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИЙ КОНСТРУКЦІЙ» (ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР 0109U008624) І НА КАФЕДРІ НАГЛЯДОВО-ПРОФІЛАКТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ (М. ХАРКІВ) ЗА ДНТП «ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІСЛЯ СИЛОВИХ, ДЕФОРМАЦІЙНИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ» (ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР 0119U001003).

Метою дисертаційної роботи є теоретичне узагальнення й експериментальне обґрунтування методів визначення залишкового напруженого стану в сталевих елементах двотаврового перерізу після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків і врахування його впливу при розрахунках сталевих елементів конструкцій на стійкість.

Завдання досліджень:

-узагальнити результати теоретичних і експериментальних досліджень в області визначення залишкового напруженого стану (ЗНС) і його впливу на стійкість сталевих елементів двотаврового перерізу, обґрунтувати доцільність вирівнювання заздалегідь викривлених сталевих елементів локальними термічними впливами (ЛТВ) шляхом наплавлення холостих валиків;

-удосконалити розрахункові методи визначення ЗНС, що виникає в сталевих елементах після вирівнювання, а також його впливу на стійкість;

-розробити методіку та провести експериментальні дослідження ЗНС, що виникає в сталевих елементах після вирівнювання ЛТВ шляхом наплавлення холостих валиків;

-провести експериментальні дослідження впливу ЗНС, що виникає після вирівнювання ЛТВ шляхом наплавлення холостих валиків і за допомогою домкратів пресу, на стійкість стиснутих елементів;

-впровадити отримані в ході виконання роботи результати при рішенні практичних задач.

Об'єкт досліджень - стійкість і деформативність стиснутих сталевих елементів двотаврового перерізу після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків і під домкратом преса.

Предмет досліджень – вплив на стійкість і деформативність ЗНС, який виникає в стиснутих елементах після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків і під домкратом преса.

Методи досліджень – сукупність експериментальних і теоретичних методів, які включають підбір, вивчення й аналіз літературних джерел, на основі яких

сформульовано мету та завдання досліджень; обґрунтовано виконання теоретичних і експериментальних досліджень ЗНС, що виникає в елементах різного перерізу після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків, а також вплив ЗНС на несучу здатність конструкцій. Застосування експериментальних руйнівних методів дозволило отримати розподіл залишкових деформацій в елементах шляхом вимірювання переміщень, які викликано звільненням міжкристалічних зв'язків в досліджуваному елементі конструкцій із ЗНС.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- розроблено методи вирівнювання заздалегідь деформованих сталевих елементів шляхом наплавлення холостих валиків і визначення стійкості стиснутих елементів двотаврового перерізу після вирівнювання;
- отримано дані про зміну ЗНС, що виникає в стиснутих елементах двотаврового перерізу після вирівнювання ЛТВ шляхом наплавлення холостих валиків, і його впливу на стійкість;
- отримано експериментальні дані про вплив ЗНС, який виникає в заздалегідь деформованих елементах двотаврового перерізу після вирівнювання ЛТВ шляхом наплавлення холостих валиків, на стійкість і деформативність стиснутих елементів;
- встановлено сферу застосування розробленого аналітичного апарату.

Отримали подальший розвиток:

- методика експериментальних досліджень ЗНС, який виникає в заздалегідь деформованих елементах після вирівнювання різними способами;
- методика експериментальних досліджень несучої здатності заздалегідь деформованих сталевих елементів двотаврового профілю після вирівнювання.

Практичне значення отриманих результатів.

- розроблена методика дозволяє виконати розрахунок стиснутих елементів двотаврового перерізу після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків;
- розроблена методика дозволяє проектувати ефективні за витратами металу способи посилення конструкцій за рахунок врахування позитивного впливу ЗНС.

РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РЕЗУЛЬТАТИ

ДОСЛІДЖЕНЬ ВИКОРИСТАНО:

- В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ЛУГАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ НА КАФЕДРІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН: «РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД» І «НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА СТУДЕНТІВ» (В 2011-2014 Р.);
- ПРИ ВИКОНАННІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ДНТП «ВПЛИВ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРМІЧНИХ ДІЙ НА МІЦНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ» (ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР

0109U008624), ЯКІ ПРОВОДИЛИСЬ НА КАФЕДРІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДОНБАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ, М АЛЧЕВСЬК;

- ПРИ ВИКОНАННІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ДНТП «ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІСЛЯ СИЛОВИХ, ДЕФОРМАЦІЙНИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ» (ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР 0119U001003), ЯКІ ПРОВОДИЛИСЬ НА КАФЕДРІ НАГЛЯДОВО-ПРОФІЛАКТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ (М. ХАРКІВ).

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ВИКОРИСТАНО ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І РОЗРОБЦІ ПРОЕКТІВ ПОСИЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НИЗКИ ОБ'ЄКТІВ (ПЕРЕЛІК ОБ'ЄКТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ НАВЕДЕНО В ЗАГАЛЬНИХ ВИСНОВКАХ РОБОТИ).

Особистий внесок здобувача в опублікованих роботах полягає в наступному:

- підбір, узагальнення й аналіз результатів проведених раніше досліджень, формулювання мети та завдань досліджень;
- розробка методики розрахунку ЗНС в перерізах двотаврових елементів після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків;
- розробка методики та проведення експериментальних досліджень впливу ЗНС, що виникає в перерізах двотаврових елементів після вирівнювання різними способами, на стійкість конструкцій;
- розробка рекомендацій щодо практичного застосування розробленої технології вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідались на: II Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека: теорія та практика» (м. Черкаси, 12 жовтня 2012 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 4-5 жовтня 2013 р.); 17 Міжнародному симпозиумі «Сучасні будівельні конструкції з металу, деревини та пластмас» (м. Одеса, 03-06 червня 2013 р.); 11 міжнародній науково-практичній конференції: «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (м. Ялта, 9-13 вересня 2013 р.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Проектування, виготовлення і монтаж сталевих конструкцій. Досвід та перспективи розвитку» (м. Київ, з 14 жовтня по 20 листопада 2013 р.); III Міжнародній конференції

«Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (м. Одеса, 2019 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «PRIORITY DIRECTIONS OF SCIENCE DEVELOPMENT» (м. Львов, 28-29 грудня 2019 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «SCIENCE, SOCIETY, EDUCATION: TOPICAL ISSUES AND DEVELOPMENT PROSPECTS» (м. Харків 20-21 січня 2020 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини» (м. Одеса, 11-12 червня 2020 р.); конференціях професорсько-викладацького складу, студентів і аспірантів ЛНАУ та ДонДТУ (2011-2014 р.).

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 174 сторінки, із них 133 сторінок – основна частина тексту. У тексті міститься 63 рисунки, 9 таблиць, список використаних джерел обсягом 121 найменувань на 13 сторінках, додатки на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено загальну характеристику роботи, яка включає актуальність, зв'язок роботи з науковими програмами, мету, задачі, характеристики об'єкта і предмета дослідження, методи досліджень, наукову та практичну цінність результатів роботи, відомості про впровадження й апробацію результатів досліджень, особистий внесок здобувача, характеристику публікацій.

В першому розділі узагальнено сучасний стан питання та поставлено завдання досліджень, зазначено основні передумови можливості виправлення заздалегідь деформованих двотаврових елементів сталевих конструкцій, які працюють на стиск. Відзначено, що посилення сталевих конструкцій являє собою складову комплексу заходів щодо підвищення надійності їхньої експлуатації. Розглянуто можливості посилення конструкцій в умовах діючого виробництва.

Обґрунтовано загальні принципи забезпечення надійної експлуатації будівель та споруд у відповідності з вимогами нормативних документів.

Наведено огляд теоретичних і експериментальних досліджень різних аспектів залишкових напружень, що виникають у процесі зварювання металу, а також можливості їхнього регулювання. Відзначено, що залишкові напруження суттєво впливають на стійкість стиснутих елементів, але в чинних нормативних документах така обставина не враховується.

ПРОАНАЛІЗОВАНО РОБОТИ ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАКОРДОННИХ ВЧЕНИХ, В ЯКИХ ВИКЛАДНО ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ РОЗРАХУНКУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК ОЦІНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ПОКАЗАВ, ЩО В ДАНИЙ ЧАС ВІДСУТНІ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ ЗАЗДАЛЕГІДЬ

ВИКРИВЛЕНИХ СТАЛЕВИХ ДВОТАВРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ, ЯКИЙ ВИНИКАЄ ПІСЛЯ ВИПРАВЛЕННЯ ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ ХОЛОСТИХ ВАЛИКІВ НА ОПУКЛИХ КРОМКАХ ПОЯСІВ. ЗРОБЛЕНО ВИСНОВКИ І ПОСТАВЛЕНО ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.

На основі проведеного огляду зроблено висновки, визначено завдання досліджень.

У другому розділі обґрунтовано умови та можливість виправлення заздалегідь вигнутих стиснутих елементів сталевих конструкцій шляхом наплавлення холодних валиків по кромках поясів двотаврів. Розроблено методики визначення параметрів зварювання для виправлення шляхом наплавлення холодних валиків. Розроблено методику визначення ЗНС, що виникає в зігнутих елементах двотаврового профілю після наплавлення холодних валиків по кромках та після виправлення. Викладено удосконалену методику визначення вигинів сталевих елементів під час виправлення.

В основу розробленої методики покладено наступні основні передумови.

1. Розглядаються тільки поздовжні напруження . Поперечні напруження і дотичні вважаються такими, що дорівнюють нулю.
2. Деформації визначаються гіпотезою плоских перерізів.
3. Модуль пружності, модуль зсуву і коефіцієнт Пуассона сталі постійні в усьому діапазоні температур.
4. Залежність межі текучості сталі від температури схематизована за типом, показаним на рис. 1. На цьому рисунку: температура нагріву.

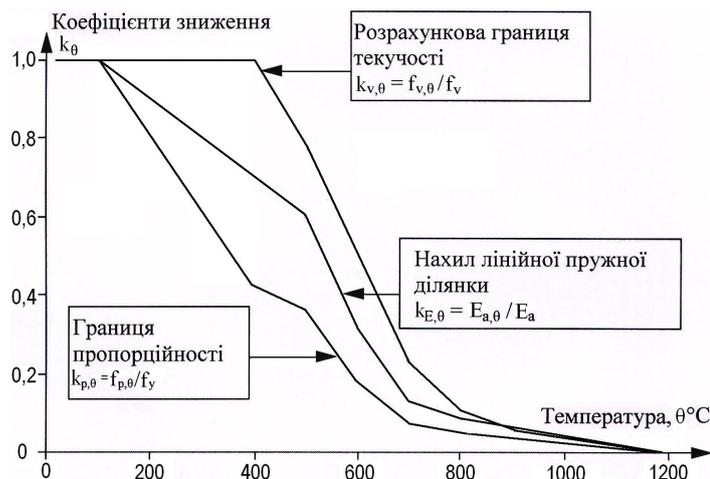


Рис. 1. Коефіцієнти зниження для вуглецевої сталі за підвищеної температури

5. Матеріал елементів (сталь) є однорідним пружно-пластичним матеріалом.

6. ЗН внаслідок прокатування (у загальному випадку) нехтують, зважаючи на їхню відносну малість, а також складну і непередбачувану орієнтацію.

7. ЗНС (епюри залишкових напружень ЗН і деформацій ЗД) приймаються ідеалізованими. Елемент двотаврового перерізу умовно розчленовується на смуги. ЗНС визначається як у смугі, яку зварено встик (поєси балки при наплавленні зварних швів), так і в смугі з наплавленими валиками на кромках (стінка при наплавленні зварних швів і поясу при термічних впливах по кромках). Смуги нагріваються тією долею тепла, яка відводиться в пояси і стінку.

8. ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ СТІЙКІСТЬ II РОДУ (ДЕФОРМАЦІЇ ТА ПРОГИНИ ЗРОСТАЮТЬ З ПОЧАТКУ ДОДАТКА НАВАНТАЖЕННЯ).

9. У разі знакозмінного навантаження або розвантаження деформація спочатку відбувається в системі координат $(x_{2,1}, x_{2,i})$ і $(x_{1,1}, x_{1,i})$ (рис. 2). Розвантаження розпочинається з точки O і кривизни $(\gamma_{0,1}, \dots, \gamma_{0,i})$ або прогину $(f_{0,1}, \dots, f_{0,i})$ і жорсткість розрахункового перерізу в цій точці при розвантаженні дорівнює B_{red} , где B_{red} "пружна" жорсткість перерізу. Деформація елемента проходить в новій системі координат $(x_{2,1}, \dots, x_{2,i})$ або $(x_{1,1}, \dots, x_{1,i})$ по кривій 2 (рис. 2); знаходження жорсткостей перерізів при розвантаженні аналогічно знаходженню жорсткостей при одноразовому навантаженні тобто

$$B_{red} = \frac{M_{2,j}}{f_{2,j}} \quad (1)$$

де B_{red} відповідно жорсткість, згинальний момент, і кривизна i -го перерізу в системі координат $(x_{2,1}, \dots, x_{2,i})$.

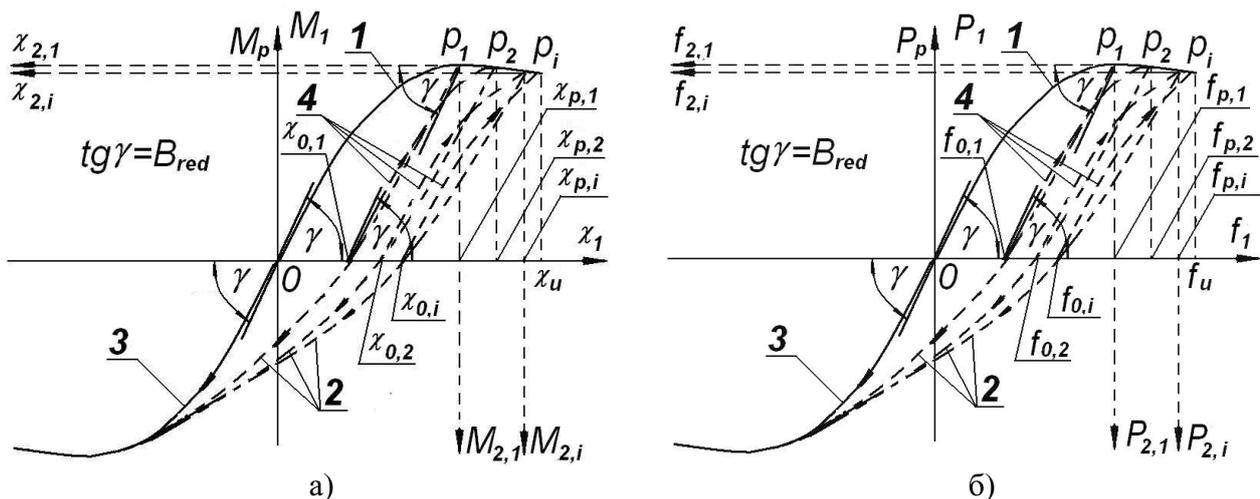


Рис. 2. Діаграми (a) і (b) при небагаторазово повторних і знакозмінних режимах навантаження і при розвантаженні

Індексація у формулі (1): 2 - крива розвантаження; i - номер етапу розвантаження; j - поточні значення параметрів (жорсткості, згинальні моменти, кривизни) на i -му етапі розвантаження. При подальшій деформації крива розвантаження 2 співпадає з кривою 3 навантаження у зворотному напрямку.

Залежність у системі координат з достатньою для розрахунків точністю може бути описана кубічним рівнянням або апроксимована методом найменших квадратів. У разі небагаторазово повторного навантаження (рис. 2) після розвантаження (

досягнення точок , , ..., на осі абсцис, для яких), подальше навантаження робиться по кривій 4, і початкова жорсткість розрахункового перерізу в цій точці при подальшому

навантаженні дорівнює . Крива 4 надалі співпадає з кривою 1.

10. ЗАКРІПЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТУ ЗАБЕЗПЕЧУЄ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПЛОСКОЇ ФОРМИ ВИГИНУ (ВИГИНАЛЬНО-КРУТИЛЬНА ФОРМА ВТРАТИ СТІЙКОСТІ НЕМОЖЛИВА). МОЖЛИВІСТЬ ВИГИНАЛЬНО-КРУТИЛЬНОЇ ФОРМИ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ОЦІНЮЄТЬСЯ ЗА МЕТОДИКОЮ, ЯКУ ВИКЛАДЕНО В ПІДРОЗДІЛІ 10.2 ДБН В.2.6-198:2014.

11. ДЕФОРМАЦІЯ ЕЛЕМЕНТУ ВІДБУВАЄТЬСЯ В ПЛОЩИНІ МІНІМАЛЬНОЇ АБО МАКСИМАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ.

12. ДЕФОРМАЦІЇ ПОДОВЖНЬОЇ ОСІ І ЗБЛИЖЕННЯ КІНЦІВ СТИСНУТОГО ЕЛЕМЕНТУ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ МАЛІ В ПОРІВНЯННІ ЗІ ЗРОСТАННЯМ ПРОГИНУ (МОЖНА СКОРИСТАТИСЯ НАБЛИЖЕНИМ ВИРАЗОМ ДЛЯ КРИВИЗНИ).

13. ЗОНИ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ РОЗТЯГУ ПРЕДСТАВЛЕНІ У ВИГЛЯДІ ЗОВНІШНІХ СИЛ, ЗНАЧЕННЯ ЯКИХ ЗМІНЮЮТЬСЯ В ПРОЦЕСІ НАВАНТАЖЕННЯ.

14. ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЕРЕРІЗІВ СТИСНУТОГО ЕЛЕМЕНТУ ХАРАКТЕРИЗУЄТЬСЯ КРИВИЗНОЮ .

15. ГРАНИЧНИЙ СТАН СТИСНУТОГО ЕЛЕМЕНТУ ВВАЖАЄТЬСЯ ДОСЯГНУТИМ, ЯКЩО:

-досягнуто максимум на кривій стану (граничний стан першої групи), тобто виконано критерій (рис. 3)

де q - модуль вектору силового впливу; f - характерне переміщення конструкції;

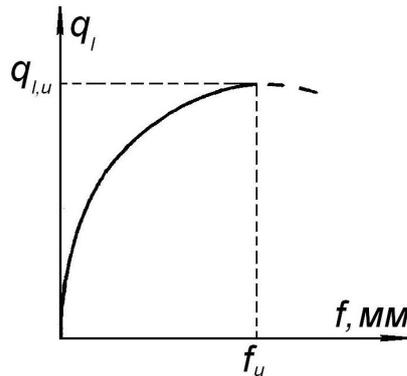


РИС. 3. ДІАГРАМИ СТАНУ СИСТЕМИ

- зруйнований переріз елемента (втрата місцевої стійкості стиснутого поясу, стінки або досягнуто максимальної величини деформацій в стиснутому поясі - граничний стан першої групи);
- сталася втрата стійкості форми, що призводить до утруднення нормальної експлуатації (граничний стан другої групи).

Рішення задачі можливе в умовно-наближеному і умовно-точному варіантах. При умовно-наближеному рішенні форма зігнутої осі приймається у вигляді півхвилі синусоїди. Вплив закріплення кінців враховується коефіцієнтом приведення довжини.

УМОВНО-НАБЛИЖЕНЕ РІШЕННЯ БАЗУЄТЬСЯ НА ПОНЯТТІ КРИВИЗНИ «ДРУГОГО РОЗРАХУНКОВОГО ПЕРЕРІЗУ» (ЗА А.В. ГЕММЕРЛІНГОМ). З УРАХУВАННЯМ ПРИЙНЯТОЇ ПЕРЕДУМОВИ ПРО СИНУСОЇДАЛЬНУ ФОРМУ ЗІГНУТОЇ ОСІ ЕЛЕМЕНТУ НЕ ПРЕДСТАВЛЯЄ УТРУДНЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВИГИНУ І ВЕЛИЧИНИ КРИТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ. ВИГИН ЕЛЕМЕНТУ ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ЗА ФОРМУЛОЮ:

(3)

де w – вигин елемента у напрямку осей X або Y; l , l_y – відповідно приведена довжина і кривизна елемента в напрямку осей X (l , l_y) або Y (l , l_y).

При умовно-точному рішенні форма зігнутої осі описується рівняннями методу початкових параметрів і вимагає визначення величин кривизни перерізів в усіх точках, на які розбита довжина елемента :

$$; \quad (4)$$

$$(5)$$

де δ_i - спільне переміщення i -ої точки осі балки та i -ої опори (рис. 4), яке визначається як різницю повного переміщення вказаної точки балки і вимушеного

переміщення опори δ_{i0} (для точок балки в прольоті i); δ_i - кривизна i -го

перерізу балки; α_i - кут повороту i -го перерізу балки; n - кількість ділянок, на

які розбита довжина балки L (при виборі числа ділянок слід враховувати, що точність

підвищується при збільшенні n . Для практичних цілей досить, якщо $n \geq 10$, де h - висота перерізу сталевго елемента).

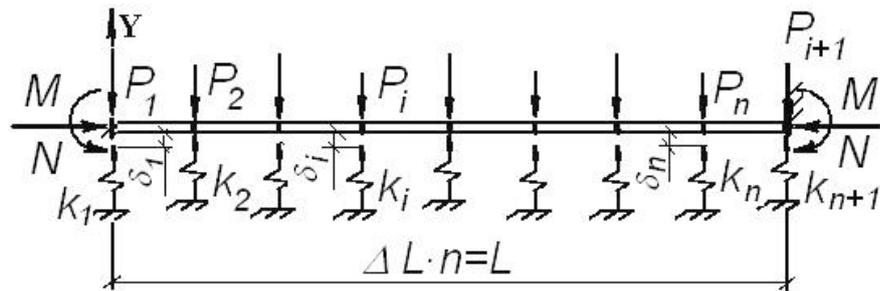


Рис. 4. Загальна розрахункова схема згинальної системи

ВИРІШЕННЯ ЦІЄЇ ЗАДАЧІ МОЖЛИВЕ ЗА УМОВ ПРИЙНЯТТЯ НАСТУПНИХ ПЕРЕДУМОВ. ВВАЖАЄТЬСЯ, ЩО РОЗПОДІЛ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ПОЛКАХ І СТІНКАХ ДВОТАВРІВ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНОМУ НАПЛАВЛЕННІ ХОЛОСТИХ ВАЛИКІВ ВІДПОВІДАЄ СХЕМАМ, ЯКІ НАВЕДЕНО НА РИС. 5.

ЗА ТАКИХ УМОВ НЕОБХІДНО ВИЗНАЧИТИ ПАРАМЕТРИ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ. В ПЕРШОМУ НАБЛИЖЕННІ ЦІ ПАРАМЕТРИ МОЖНА ОТРИМАТИ ПРИ РОЗГЛЯДІ РІВНЯНЬ РІВНОВАГИ ПЕРЕРІЗУ (). ПІСЛЯ ОТРИМАННЯ ВЕЛИЧИН НАПРУЖЕНЬ

НЕОБХІДНО УТОЧНИТИ ПАРАМЕТР ЗГІДНО ПРИПУЩЕННЯ НА РИС. 5.

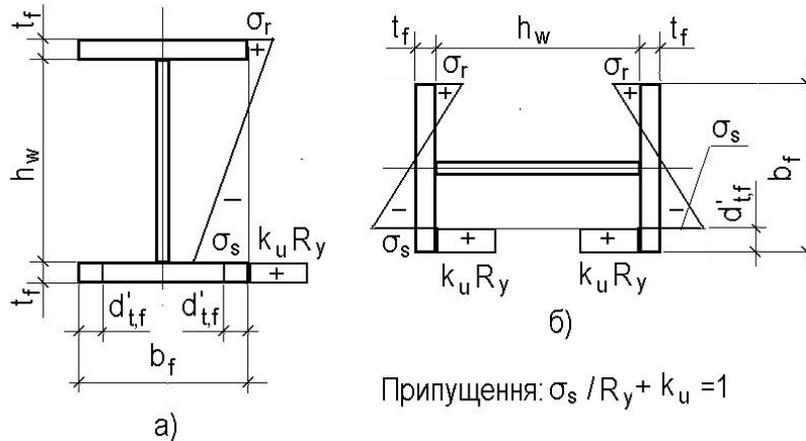


РИС. 5. РОЗПОДІЛ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ПЕРЕРІЗАХ ДВОТАВРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ ХОЛОСТИХ ВАЛИКІВ НА КРОМКАХ ОДНОГО ПОЯСА ДВОТАВРА (А) І НА ОПУКЛИХ КРОМКАХ ОБОХ ПОЯСІВ (Б)

ПІСЛЯ УТОЧНЕННЯ ВЕЛИЧИН ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ НЕОБХІДНО РОЗРАХУВАТИ ВЕЛИЧИНУ КРИВИЗНИ ПРИ ВИПРАВЛЕННІ:

(6)

ПІДСТАВЛЕННЯ ВЕЛИЧИН КРИВИЗНИ В РІВНЯННЯ (3) АБО (4), (5) ДОЗВОЛИТЬ ЗНАЙТИ ВИГІН ЕЛЕМЕНТА ПРИ ВИПРАВЛЕННІ.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень ЗНС і несучої здатності.

Як зразки для експериментального вивчення несучої здатності сталевих елементів після навантаження, розвантаження, вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків або під домкратами преса і подальшого навантаження були прийняті експериментальні зразки, які були попередньо випробувані на стійкість.

Після проведених випробувань на стиск зразки були оглянуті й обмірені з метою визначення залишкових вигинів (рис. 6). Були відібрані зразки для випробувань на визначення ЗНС (найбільш деформовані зразки в кожній серії у кількості 1 шт.) руйнівним методом. Інші зразки були вирівняні шляхом наплавлення холостих валиків по опуклих кромках або за допомогою домкрату преса.

Деформації при визначенні ЗНС визначалися в такій послідовності.

1. В місцях визначення деформацій наклеювалися дротяні тензодатчики опору.

2. Тензодатчики підключалися до реєструвальної апаратури і виконувалося знімання початкових результатів. В якості реєструвальної апаратури була використана система тензометрична СІТТ-3.

3. Виконувалося розрізання ділянки поясу з одного боку зразка на довжину, що дозволяє звільнити елементи ЗН в межах одного наклеєного тензодатчика, і знімання показань по приладу СІТТ-3.

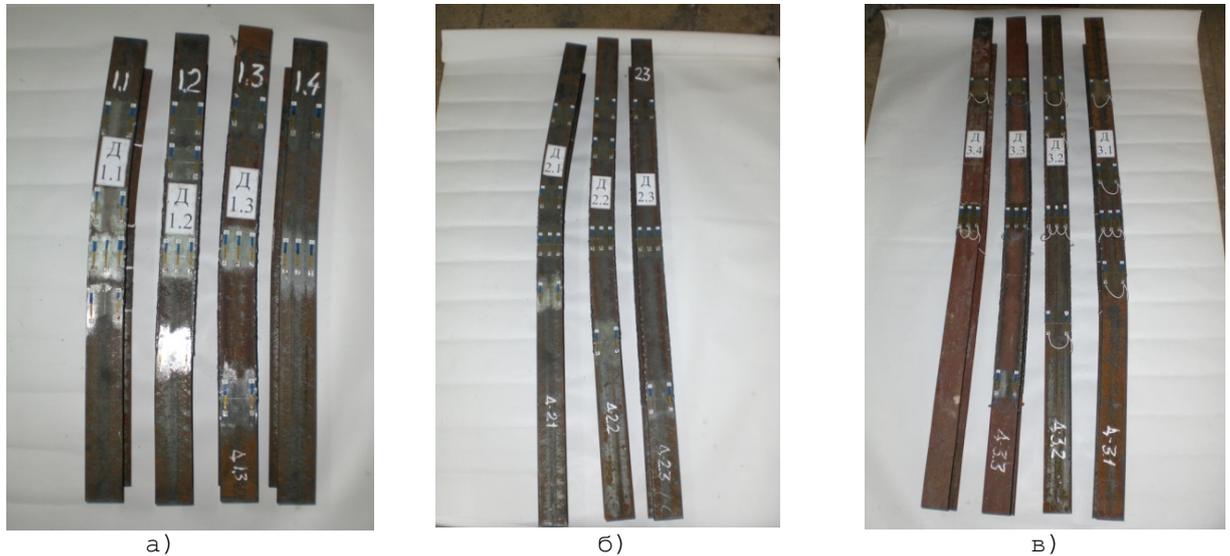


Рис. 6. Загальний вигляд зразків після первинних випробувань на стиск:
а) - зразки серії Д-1; б) - зразки серії Д-2; в) - зразки серії Д-3

4. Виконувалося розрізання ділянки поясу з іншого боку зразка на довжину, що дозволяє звільнити елементи ЗН в межах одного наклеєного тензодатчика, і подальше знімання показань по приладу СІТТ-3.

5. Після розпуску поясів було зроблено поперечне розрізання стінки двотавра з поетапним зняттям показань по приладу СІТТ-3 в межах одного тензодатчика.

Після кожного етапу була витримка тривалістю 15-20 хв., а потім бралися показання по усіх тензодатчиках опору досліджуваного зразка. Остаточне знімання показань було зроблено після повного розрізання зразків і витримки протягом 24 годин. Розподіл ЗН в перерізі зразка 2 ДП (он) після розрізання (МПа) наведено на рис. 7.

Інші зразки були випробувані на стійкість за методикою, яка була розроблена для досліджень зразків на стиск. Випробування проводилися з використанням тих же пристосувань і з тими ж ексцентриситетами, які були використані при первинних випробуваннях.

Для виконання поставлених задач було запроєктовано і виготовлено відповідне оснащення і знімні опорні пристосування, за допомогою яких виявилось можливим виконати центрування елемента або створити заданий ексцентриситет. Випробування проводилися з ексцентриситетом 10 мм. Лінійні переміщення зразків визначалися індикаторами годинного типу ІЧ-10 в двох горизонтальних напрямках у верхньому і нижньому закріпленні. У центрі для визначення переміщень було встановлено три прогиноміри ПАО-6, в т.ч. один - для виміру переміщень в площині меншої жорсткості, і два - в площині більшої жорсткості. Показання тензодатчиків опору знімалися за допомогою системи СІТТ-3.

Проведення випробувань кожного зразка виконувалося в такій послідовності:

- зразок встановлювався в пресі в початкове положення;
- за допомогою індикаторів ІЧ-10 виставлявся ексцентриситет додатка навантаження;

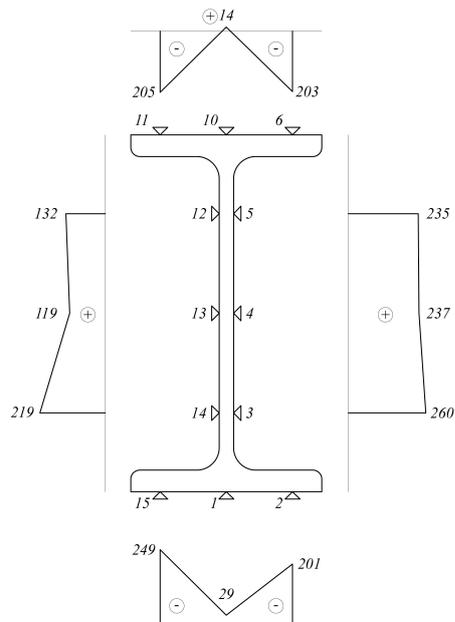


Рис. 7. Розподіл ЗН в перерізі зразка 2 ДП (он) після розрізання (МПа)

- виконувалося знімання початкових показань по приладах ПАО-6 і СІІТ-3 без навантаження;
- зразок завантажувався початковим навантаженням для перевірки працездатності приладів і якості центрування;
- після перевірки працездатності приладів і якості центрування виконувалося поетапне навантаження з витримкою на кожному етапі;
- на кожному етапі навантаження знімалися показання по приладах;
- для контролю ходу експерименту за показниками ПАО-6 і шкали пресу будувався графік залежності «навантаження-прогин», а також будувалися епюри напружень в перерізах за даними СІІТ-3 (перерахунок показань приладу в напруження було виконано за допомогою коефіцієнта тензочутливості, величину якого було визначено за результатами тарування на балці рівного опору);
- експеримент тривав до втрати зразком несучої здатності (як критерій вичерпання несучої здатності було прийнято зростання прогинів без збільшення навантаження).

Результати випробувань наведено в таблиці 1.

З приведених в таблиці 1 даних видно, що несуча здатність для більшості зразків після вирівнювання виявилася не нижчою, ніж несуча здатність зразків, яку отримано при початкових випробуваннях. Причому зразки, вирівнювання яких робилося під пресом, як і очікувалося, показали більшу несучу здатність, ніж зразки, які вирівнювалися шляхом наплавлення холодних валиків.

У четвертому розділі наведено дані про практичне застосування отриманих результатів. Отримані в ході проведення досліджень результати використано в таких напрямках.

1. Порівняння результатів експериментального визначення ЗНС, що виникає в прокатних двотаврових елементах після вирівнювання, і його впливу на несучу здатність.

Таблиця 1 - Зіставлення величин несучої здатності

Серія і номер зразка	, МПа	, см	λ	Несуча здатність, кН	
				$R_u, 1$	$R_u, 2$
1	2	3	4	5	6
Д-1.1/1 ДП (п)	290	92,5	67	163	178
Д-1.3/3 ДП (п)	292	92,5	67	178	198

Д-1.4/4 ДП (з)	290	92,5	67	154	158
Д-2.2/6 ДП (п)	290	132,5	96	135	160
Д-2.3/7 ДП (з)	290	132,5	96	145	140
Д-3.2/9 ДП (з)	280	152,5	111	121	144
Д-3.3/10 ДП (п)	363	152,5	111	135	147
Д-3.4/11 ДП (з)	369	152,5	111	127	120

Примітки до таблиці 1.

1. В позначеннях несучої здатності (стовпці 5, 6) $R_{u, 1}$, $R_{u, 2}$ індекс 1 відповідає несучій здатності для зразків при первинному завантаженні, індекс 2 – несучій здатності зразків після вирівнювання.

2. В позначеннях (п) – вирівнювання за допомогою домкрата преса; (з) – вирівнювання за допомогою наплавлення холостих валиків

Порівняння результатів виконано для величин залишкових напружень стиску і розтягу, а також було виконано якісну оцінку зміни ЗНС після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків.

Було оцінено точність отриманих величин несучої здатності (таблиця 1) за загальними правилами обробки даних. Середнє значення величини відношення $R_{u, 1}/R_{u, 2}$ становить _____ а середньоквадратичне відхилення _____, що свідчить про задовільну точність отриманих результатів.

2. Розроблено методику визначення технічного стану та залишкового ресурсу експлуатованих сталевих конструкцій, які отримали пошкодження за час експлуатації.

Для оцінки технічного стану конструкцій рекомендовано використовувати:

- критерій відповідності конструкції (споруди) робочій документації (розміри, конструктивні особливості тощо);
- критерій відповідності конструкції (споруди) визначальним параметрам технічного стану (наявність або відсутність неприпустимих дефектів, відповідність застосованих матеріалів вимогам проекту тощо) і задоволення вимогам розрахунку за граничними станами першої та другої груп.

Розробка математичного апарату з визначення залишкової несучої здатності та ресурсу сталевих конструкцій, що зазнали на протязі певного часу вплив силових, корозійних, високотемпературних або інших чинників впливу високого рівня вимагає використання такої моделі деформування матеріалів, яка б включала всі етапи його роботи від початку навантаження до повного руйнування.

Граничні значення контрольованих параметрів оцінюються за критеріями стану елементів будівель та споруд, що визначають, за яких умов настає неможливість виконання ними своїх функцій за технічними причинами.

3. Наведено пропозиції щодо застосування розроблених методик визначення технічного стану і розробки проектів посилення сталевих конструкцій. Детальну інформацію про об'єкти впровадження наведено в загальних висновках

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. УЗАГАЛЬНЕНО РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА СТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ

ЕЛЕМЕНТІВ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ, ОБҐРУНТОВАНО МОЖЛИВІСТЬ І ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИРІВНЮВАННЯ ЗАЗДАЛЕГІДЬ ВИКРИВЛЕНИХ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ ХОЛОСТИХ ВАЛИКІВ ЗА ПЕВНИХ УМОВ.

В чинних нормативних документах (ДБН В.2.6-198:2014 і ДБН В.2.3-14:2006) відсутні рекомендації щодо визначення залишкових напружень та їхнього врахування при розрахунках на стійкість. У ДБН В.2.3-14:2006 наведено пропозиції щодо врахування впливу залишкового напруженого стану при розрахунку елементів із прокатних і зварних двотаврів на стійкість шляхом введення менших коефіцієнтів подовжнього вигину, проте відсутня методика визначення залишкових напружень.

Проводилися численні дослідження поведінки двотаврових колон. Було встановлено, що шляхом наплавлення валиків по всій довжині елемента може бути досягнуто збільшення несучої здатності колон, що деформуються як в площині більшої, так і меншої жорсткості.

Результатів досліджень залишкового напруженого стану, що виникає після вирівнювання елементів шляхом наплавлення холодних валиків, і його впливу на стійкість в доступній автору літературі не виявлено. Очевидно, що вплив залишкового напруженого стану при посиленні конструкцій може бути істотним і привести до обвалення конструкцій в процесі виконання посилення.

2. УДОСКОНАЛЕНО РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ, ЩО ВИНΙΚАЄ В СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТАХ ПІСЛЯ ВИРІВНЮВАННЯ, А ТАКОЖ ЙОГО ВПЛИВУ НА СТІЙКІСТЬ.

**УДОСКОНАЛЕНО АЛГОРИТМИ РОЗРАХУНКУ
НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТИСНУТИХ СТАЛЕВИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ДВОТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ ПРИ ЗГІНІ В
ПЛОЩИНІ МЕНШОЇ АБО БІЛЬШОЇ ЖОРСТКОСТІ З
УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЗАЛИШКОВОГО
НАПРУЖЕНОГО СТАНУ. ВИКОРИСТАННЯ
РОЗРОБЛЕНОГО АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ДОЗВОЛЯЄ
ВИЗНАЧИТИ МОЖЛИВІСТЬ ВИКОНАННЯ
ВИРІВНЮВАННЯ В КОЖНОМУ КОНКРЕТНОМУ
ВИПАДКУ.**

**ЗА РАХУНОК ПОЯВИ НА КРОМКАХ ПОЯСІВ ЗОН ІЗ
ЗАЛИШКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ РОЗТЯГУ
РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКЦІЙ НА СТІЙКІСТЬ І НЕСУЧУ
ЗДАТНІСТЬ МОЖНА ВИКОНУВАТИ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ
НОРМАТИВНИХ МЕТОДИК.**

ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФОРМОВАНИХ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ ВИКОНУВАТИ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГНУЧКОСТЕЙ ВІД 60 ДО 80 ПРИ ВЕЛИЧИНАХ ВИГИНІВ, ЯКІ НЕ ПЕРЕВИЩУЮТЬ 1/100 ВІД РОЗРАХУНКОВОЇ ДОВЖИНИ ЕЛЕМЕНТА.

3. РОЗРОБЛЕНО МЕТОДИКУ ТА ПРОВЕДЕНО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ, ЩО ВИНИКАЄ В СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТАХ ПІСЛЯ ВИРІВНЮВАННЯ ЛОКАЛЬНИМИ ТЕРМІЧНИМИ ВПЛИВАМИ ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ ХОЛОСТИХ ВАЛИКІВ.

ВПЕРШЕ ОТРИМАНО РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ПІСЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ ТА ВИРІВНЮВАННЯ. НАВЕДЕНО ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВИРІВНЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОМ НАПЛАВЛЕННЯ ВАЛИКІВ.

4. Проведено експериментальні дослідження впливу залишкового напруженого стану, що виникає в сталевих елементах після вирівнювання локальними термічними впливами шляхом наплавлення холостих валиків і за допомогою домкратів пресу, на стійкість стиснутих елементів.

Розроблено методику досліджень несучої здатності сталевих двотаврових елементів після первинного навантаження, розвантаження, подальшого вирівнювання і наступного навантаження. В якості експериментальних використано зразки, які були випробувані на стиск. Після випробувань експериментальні зразки були піддані вирівнюванню за допомогою домкратів пресу або локальними термічними впливами шляхом наплавлення холостих валиків по опуклих кромках.

ОТРИМАНО НОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗРАЗКІВ ПІСЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ І ВИРІВНЮВАННЯ. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ПОКАЗАЛИ, ЩО НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ДЛЯ БІЛЬШОСТІ ЗРАЗКІВ ПІСЛЯ ВИРІВНЮВАННЯ ВИЯВИЛАСЯ НЕ НИЖЧОЮ ЗА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ЗРАЗКІВ, ЯКУ ОТРИМАНО ПРИ ПЕРВИННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ.

5. Результати досліджень за даною тематикою мають практичне застосування в науковій та учбовій роботі та при проектуванні реальних об'єктів. Результати досліджень використано:

- В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ЛУГАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ НА КАФЕДРІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ

ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН: «РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД» І «НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА СТУДЕНТІВ» (В 2011-2014 Р.);

- ПРИ ВИКОНАННІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ДНТП «ВПЛИВ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРМІЧНИХ ДІЙ НА МІЦНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИЙ КОНСТРУКЦІЙ» (ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР 0109U008624), ЯКІ ПРОВОДИЛИСЬ НА КАФЕДРІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДОНБАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ, М АЛЧЕВСЬК;

- ПРИ ВИКОНАННІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ДНТП «ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІСЛЯ СИЛОВИХ, ДЕФОРМАЦІЙНИХ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ» (ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР 0119U001003), ЯКІ ПРОВОДИЛИСЬ НА КАФЕДРІ НАГЛЯДОВО-ПРОФІЛАКТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ (М. ХАРКІВ).

Результати роботи використано при визначенні технічного стану сталевих колон секції F в осях 72-74/А-Б складського комплексу «Логістичний парк» ТОВ «Термінал Бровари» в м. Бровари Київської обл. за адресою Об'їзна дорога, 62, які отримали пошкодження за час експлуатації; проведенні робіт з обстеження, розрахунків і розробки проекту посилення конструкцій будівлі складу комплексу по зберіганню продуктів харчування ТОВ «Кушнер» в с.м.т. Велика Димерка Броварського району Київської обл. після пожежі; проведенні робіт з обстеження, виконання розрахунків і розробки проекту посилення конструкцій перекриття в паркінгу будівлі за адресою вул. Золоторітська, 13 в м. Києві у зв'язку з неякісним виконанням робіт.

список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Иванов, Б. (2011). Определение остаточного ресурса стальных конструкций в условиях действующих предприятий с учетом наличия остаточного напряженного состояния. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського, 8, 110–120.

2. Иванов, Б., Голоднов, А. (2012). О возможности выравнивания предварительно деформированных стальных конструкций методом локальных термических воздействий. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського, 9, 227–231.

Особистий внесок - розробка методики вирівнювання конструкцій із використанням локальних термічних впливів.

3. Иванов, Б., Иванов, А., Псюк, В., Голоднов, А. (2012). Выравнивание деформированных стальных конструкций с помощью сварки. Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: «Технічні науки», 35, 253–261.

Особистий внесок - розробка методики вирівнювання деформованих конструкцій за допомогою зварювання.

4. Псюк, В., Голоднов, А., Иванов, Б., (2012). Выравнивание сваркой деформированных элементов стальных конструкций. Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета, 38, 224-231.

5. Голоднов, А., Скребцов, С., Иванов, Б. (2013). Результаты экспериментального определения остаточного напряженного состояния в двутавровых элементах. Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр., 17, 62–67.

Особистий внесок - розробка методики, участь у проведенні експериментальних досліджень.

6. Holodnov, O., Psuk, V., Ivanov, B. (2013). Predictable alignment of steel structures by welding. Металеві конструкції, Том 19, 2, 104–110.

Особистий внесок - розробка методики розрахунку конструкцій, які посилено зварюванням.

7. Иванов, Б., Голоднов, А. (2013). Особенности работы и расчета конструкций при их усилении под нагрузкой. Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наукових праць, Вип. 25, 712–718.

Особистий внесок – визначення особливостей роботи і розробка методики розрахунку конструкцій, які посилено зварюванням під навантаженням.

8. Голоднов, А., Псюк, В., Иванов, Б. (2013). Напряженно-деформированное состояние стальных двутавров после высокотемпературных воздействий на кромках. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського, 11, 115–122.

Особистий внесок – участь у розробці методики розрахунку напружено-деформованого стану сталевих двотаврів після впливу високих температур при наплавленні холостих валиків по кромках.

9. Скребцов, С., Иванов, Б. (2013). Экспериментальные исследования сжатых стальных элементов после регулирования остаточного напряженного состояния на части длины. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського, 12, 130–136.

Особистий внесок - розробка методики експериментальних досліджень стиснутих зварних елементів після попередніх випробувань на стиск.

10. Ivanov, B. (2013). Calculation of steel constructions after smoothing welding. Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов, 69, 207-210.

11. Голоднов, А., Иванов, Б. (2017). Несущая способность стальных двутавровых элементов после разгрузки и выравнивания. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського, 19, 32-42.

Особистий внесок - розробка методики і проведення експериментальних досліджень несучої здатності сталевих елементів після розвантаження і вирівнювання різними способами.

12. Голоднов, О., Иванов, Б. (2019). Вирівнювання стислих сталевих двотаврових елементів після розвантаження різними способами. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини, 23, 24-32.

Особистий внесок - розробка методики і проведення експериментальних досліджень несучої здатності сталевих елементів після розвантаження і вирівнювання різними способами.

13. Голоднов, О., Иванов, Б. (2019). Залишковий ресурс сталевих конструкцій після різних впливів. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського, 24, 54-79.

Особистий внесок - розробка методики розрахунку залишкового ресурсу сталевих конструкцій після різних впливів.

14. Маладика, І., Шкарабура, І., Антошина, Т., Иванов, Б. (2020). Забезпечення вогнестійкості експлуатованих сталевих конструкцій. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини, 24, 81-90.

Особистий внесок – проведення обстежень конструкцій будівлі після пожежі, виконання розрахунків конструкцій.

Статті у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз

15. Gordiuk, M., Semynoh, M., Holodnov, O., Tkachuk, I., Ivanov, B. (2019). Remaining resource of constructions of building and building is after different influences / Technology audit and production reserves, 5/1(49), 4-9. (індексується наукометричною базою Index Copernicus).

Особистий внесок - участь у розробці методики визначення залишкового ресурсу з урахуванням термічних впливів.

16. Vasilchenko, A., Doronin, E., Ivanov, B., Konoval, V. (2019). Effect of residual deformation of a steel column on its fire resistance under combined exposure “explosion-fire”. Trans Tech Publications Ltd. In Materials Science Forum, 2019, Vol. 968, pp. 288-293. Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.968.288. (індексується наукометричною базою Scopus).

Особистий внесок - участь у розробці методики визначення стійкості сталевих конструкцій з урахуванням високотемпературних впливів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

17. Иванов, Б. (2012). К оценке устойчивости стальных конструкций после выравнивания локальными термическими воздействиями. Пожарная безопасность: теория и практика: Материалы II Международной научно-практической конференции (м. Черкаси, 12 жовтня 2012 р.). – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 290-293.

18. Иванов, Б., Псюк, В., Голоднов, А. (2013). Несущая способность стальных элементов после выравнивания сваркой. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Материалы III международной научно-практической конференции (м. Черкаси, 4-5 жовтня 2013 р.). – Черкаси; АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 118-120.

Особистий внесок - участь у розробці методики розрахунку несучої здатності стиснутих сталевих елементів після вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків.

19. Голоднов, А., Иванов, Б. (2016). Остаточные напряжения в стальных двутавровых элементах после разгрузки и выравнивания. Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М.Шимановського, 17, 95-102.

Особистий внесок - розробка методики і проведення експериментальних досліджень залишкового напруженого стану в сталевих елементах після розвантаження і вирівнювання.

20. Голоднов, А., Иванов, Б. (2019). Техническое состояние и остаточный ресурс строительных конструкций после различных воздействий. Priority directions of science development. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2019. Pp. 361-365. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

Особистий внесок - участь у розробці методики визначення технічного стану та залишкового ресурсу сталевих конструкцій після різних впливів.

21. Голоднов, А., Иванов, Б. (2020). Несущая способность выровненных сжатых стальных двутавровых элементов. Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Kharkiv, Ukraine. 2020. Pp. 358-362. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

Особистий внесок - участь у розробці методики визначення несучої здатності вирівняних сталевих елементів.

22. Маладика, І., Шкарабура, І., Антошина, Т., Иванов, Б. (2020). Забезпечення вогнестійкості експлуатованих сталевих конструкцій. Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини», 11-12 червня 2020 р., Одеса, 2020, 27-30.

Особистий внесок – проведення обстежень конструкцій будівлі після пожежі , виконання розрахунків конструкцій.

АНОТАЦІЯ

Іванов Б.В. Виправлення заздалегідь деформованих сталевих конструкцій локальними термічними впливами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.23.01 - будівельні конструкції, будинки і споруди. Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій. Київ. 2020.

Дисертацію присвячено розробці методики виправлення заздалегідь деформованих двотаврових елементів сталевих конструкцій, які працюють на стиск. Відзначено, що посилення сталевих конструкцій являє собою складову комплексу заходів щодо підвищення надійності їхньої експлуатації. Розглянуто можливості посилення конструкцій в умовах діючого виробництва.

Викладено методичний підхід до оцінки напружено-деформованого стану виправлених конструкцій. В основу розробленої методики покладено передумови, які зазвичай приймаються при вирішенні аналогічних задач.

Наведено результати експериментальних досліджень виправлених різними способами сталевих конструкцій.

Отримані в ході проведення досліджень результати дозволили встановити, що несуча здатність сталевих конструкцій після вирівнювання різними способами знаходиться в межах величин несучої здатності при попередньому навантаженні.

Розроблено практичні методи вирівнювання попередньо деформованих сталевих конструкцій. Наведено дані про впровадження результатів досліджень.

Ключові слова: двотаврові конструкції, стиск, залишковий вигин, виправлення, залишковий напружений стан, стійкість після вирівнювання, залишковий ресурс.

АННОТАЦИЯ

Иванов Б.В. Выравнивание предварительно деформированных стальных конструкций локальными термическими воздействиями. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций. Киев. 2020.

Диссертация посвящена разработке методики выравнивания предварительно деформированных двутавровых элементов стальных конструкций, которые работают на сжатие. Отмечено, что усиление стальных конструкций представляет собой составляющую комплекса мероприятий по повышению надежности их эксплуатации. Рассмотрены возможности усиления конструкций в условиях действующего производства.

Изложен методический подход к оценке напряженно-деформированного состояния исправленных конструкций. В основу разработанной методики положены предпосылки, которые обычно принимаются при решении аналогичных задач.

Приведены результаты экспериментальных исследований выровненных различными способами стальных конструкций.

Полученные в ходе проведения испытаний результаты позволили установить, что несущая способность стальных конструкций после выравнивания различными способами находится в пределах величин несущей способности при предыдущем нагружении.

Разработаны практические методы выравнивания предварительно деформированных стальных конструкций. Приведены данные о внедрении результатов исследований.

Ключевые слова: двутавровые конструкции, сжатие, остаточный выгиб, выравнивание, остаточное напряженное состояние, устойчивость после выравнивания, остаточный ресурс.

SUMMARY

Ivanov B. Correction of pre-deformed steel constructions by local thermal influences. - Manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.01 - building structures, buildings and structures. State Research Institute of Building Constructions. Kyiv. 2020.

Contents of the dissertation. In the **Introduction**, the relevance of the topic is substantiated, the purpose and objectives of the research, scientific novelty and practical significance of the work are formulated, its general characteristic is presented.

Chapter 1 summarizes the current state of the issue and sets the research objective, outlines the main prerequisites for the possibility of correcting pre-deformed double-T elements of steel constructions operating in compression. It is noted that the strengthening of steel constructions is an integral part of a series of measures to increase the reliability of their operation. The possibilities of strengthening constructions under existing production conditions are considered.

The general principles for ensuring the safe operation of buildings and structures in accordance with the requirements of regulatory documents are substantiated.

A review of theoretical and experimental studies of various aspects of residual stresses arising in the welding process, as well as the possibility of their regulation is given. It is noted that residual stresses significantly affect the stability of compressed members, but this circumstance is not taken into account in current regulatory documents.

The papers of domestic and foreign scientists are analyzed in which the provisions of the theory of calculation of residual stresses and their influence on the bearing strength of compressed members are stated. The analysis of existing methods for estimation of bearing strength and stability showed that at present there are no methods for calculating the stability of pre-deformed steel double-T elements, taking into account the influence of residual stress state, which occurs after correction with melting of single rollers on the protuberant edges of flanges. Based on the survey, conclusions were drawn and research objectives were set.

Chapter 2 substantiates the conditions and the possibility of correcting pre-deformed compressed members of steel constructions by melting single rollers on the

edges of flanges of double-T elements. Methodologies on determination of welding parameters for correction by melting of single rollers are developed. The methodology of determination of RSS, which arises in the bent elements of double-T profile after melting of single rollers on edges and after correction, is worked out. Improved methodology for determining bends of steel elements during correction is presented.

The methodology of smoothing of pre-deformed steel members is developed. Smoothing is executed using local thermal influences. After local thermal influences, residual tensile stress zones arise and the steel members that have previously received residual distortions are smoothed.

The methodology for calculating the steel members stability after smoothing is given. The methodology is based on the preconditions and assumptions that are made to solve similar problems.

In **Chapter 3** of the study, the methodology is developed and new results of experimental research of residual stresses in members from steel double-T profile after correction by melting of single rollers are obtained. In the course of the research, the nature of the distribution of residual stresses and residual deformations after preliminary thermal exposure was established, diagrams are built, deflections (bends) of the samples were determined.

The methodology of experimental studies of the bearing strength of steel double-T elements after primary loading, unloading, further smoothing and secondary loading is presented. After initial compression tests, the experimental specimens were leveled under the press or by melting of single rollers on protuberant edges. The new results of the experimental determination of the samples bearing strength after unloading and leveling are given. Test results showed that the bearing strength for most samples after smoothing was no lower than the bearing strength of the samples at previous tests.

Chapter 4 presents the results of the comparison obtained experimentally and during calculations using the methods developed by the author. In the course of the calculations, the stress-strain state and the load-bearing strength of the pre-deformed compressed elements after smoothing were determined in various ways. The conditions are determined and the possibility of correction of pre-deformed double-T elements by melting of single rollers at strengthening of constructions is substantiated.

The methodology of determining the residual resource by comparing the load-bearing strength of constructions with the existing ones is outlined. Bearing strength of constructions is determined using material characteristic values and parameters (cross-sectional dimensions, geometric dimensions with regard to corrosion wear, etc.) obtained during the survey. The magnitudes of the forces exerted in the constructions of buildings and structures are determined by modeling their work using the finite element method and modern computational complexes. This provides the opportunity to make a decision to reassign the residual life of the structures, i.e. the possibility of further operation, the need for reinforcement or replacement.

The data on practical application of the research results in determining the technical condition and residual resource of steel columns are cited.

Keywords: double-T constructions, compression, residual bend, correction, residual stress state, stability after smoothing, residual resource.