

УДК 629.463.

**О. В. Бурлуцький**

*(завідувач навчальними лабораторіями кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту)*

**Н. С. Кочешкова, к.б.н.**

*(доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту)*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ НАПІВВАГОНА**

*Досліджено причини виникнення залишкових напружень та деформацій під час проведення зварювальних робіт. Проаналізовано методи розрахунків деформацій, які виникають при виготовленні хребтової балки напіввагона. На основі розрахункових методик та теореми про розвантаження А.А. Ільюшина, виконано розрахунок залишкових деформацій (прогину). Результати свідчать про можливість використання запропонованої методики для кількісного дослідження післязварювальних напружень та прогину балки. Окреслено можливість і доцільність подальшого використання отриманих результатів з метою зменшення або уникнення залишкових деформацій.*

*Ключові слова:* напіввагон, хребтова балка, зварювальні деформації, пластична деформація.

*Исследованы причины возникновения остаточных напряжений и деформаций при проведении сварочных работ. Проанализированы методы расчетов деформаций, возникающих при изготовлении хребтовой балки полувагона. На основе расчетных методик и теоремы о разгрузке А.А. Ильюшина выполнен расчет остаточных деформаций (прогиба). Результаты расчетов показывают эффективность предлагаемой методики для численного исследования сварочных напряжений и прогиба балки. Описана возможность и целесообразность дальнейшего использования полученных результатов для уменьшения или даже предотвращения остаточных деформаций.*

*Ключевые слова:* полувагон, хребтовая балка, сварочные деформации, пластическая деформация.

**Постановка проблеми.** Зварювання, як один із ключових технологічних процесів промислового виробництва, в тому числі і вагонобудування, значною мірою визначає надійність та довговічність продукції. У порівнянні з іншими типами нероз'ємних з'єднань переваги зварювання очевидні,

© Бурлуцький О. В., Кочешкова Н. С., 2015

однак післязварювальні залишкові деформації та напруження можуть суттєво знижувати якість зварних конструкцій.

Проблема внутрішніх і залишкових напружень, що виникають при нагріванні металу в процесі зварювання, вперше була окреслена російським металургом Н.В. Калакуцьким ще у 1887 році. Зокрема у своїй праці «Исследование внутренних напряжений в чугунах и сталях», було показано, що такі напруження мають широкий діапазон меж. Таким чином проектувальник обов'язково повинен враховувати їх та зазначати надійні способи керування та контролю над ними.

Основною причиною появи зварних деформацій є утворення так званої *зони термічного впливу* (ЗТВ) або *зони пластичних деформацій*. Тому дослідження закономірностей формування зони ЗТВ та причин її виникнення, вивчення залишкових деформацій і переміщень, розробка методів регулювання і керування ними є надзвичайно актуальними і для сучасного вагонобудування в тому числі. Також відомо, що залишкові зварювальні напруження (ЗЗН) підвищують накопичену в конструкції потенційну енергію, що, у свою чергу, посилює негативні наслідки втомленого руйнування [1].

В умовах експлуатації залишкові деформації і напруження зменшують міцність, корозійну стійкість та точність зварної конструкції. Традиційні методи їх зниження шляхом збільшення товщини металу, проведенням стабілізуючої обробки після зварних робіт, видаленням припусків тощо не завжди відповідають сучасним вимогам до праце-, енерго- і металоємності конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що в ході життєвого циклу вагона, починаючи з виробництва і до проведення капітально-відновлювального ремонту, значний обсяг робіт припадає власне на зварювання. Таким чином якість проведення зварних робіт часто визначає надійність та безпечну експлуатацію вагонів, в тому числі й напіввагонів.

Відомо, що на поточні відчіпні та планові ремонти напіввагону, протягом його терміну служби, витрачається близько 12 тонн металу, що становить більше половини маси тари. Трудомісткість деповського ремонту основних вузлів напіввагону зростає за термін його служби в середньому в 4 рази. Таке зростання в основному пов'язане із проведенням зварювальних робіт для встановлення різного роду накладок, латок, швів тощо [2].

У більш ніж 90 % елементів напіввагонів в якості нероз'єднаних з'єднань використовуються зварні шви, в яких і виникають початкові дефекти та пошкодження. Втомне руйнування завжди супроводжується пластичними деформаціями в кристалах металу, яке вже через 2-3 роки експлуатації призводить до появи втомних тріщин зварних з'єднань елементів кузова **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Аналіз статистичних даних пошкоджень вузлів вантажних вагонів після капітального та капітально-відновлювального ремонту показує, що найбільший відсоток відмов припадає на рами та візки вагону. Однією з поширених причин пошкодження цих вузлів є несприятлива структура металу, що сформувалася при термодіформіційних циклах електродугового зварювання та наплавлення. Також в процесі експлуатації спостерігається додатковий прогин хребтової балки, що в свою чергу створює додаткові напруження в елементах кузова [4, 5].

Таким чином, дослідні та конструкторські розробки з удосконалення зварювальної технології та оптимізації зварних конструкцій у вагонобудуванні є актуальними та необхідними **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**. В галузі вагонобудування основна увага приділяється наступним напрямкам:

1. Вивчення структури і властивостей металу шва і ЗТВ при зварюванні;
2. Розробка методів визначення та зниження зварювальних напружень і деформацій у зварних конструкціях;
3. Вивчення статичної міцності і властивостей металу зварних з'єднань;
4. Вивчення міцності зварних з'єднань при циклічних навантаженнях.

У свою чергу вирішення питань пов'язаних з деформуванням та міцністю зварних конструкцій дозволить суттєво підвищити якість та надійність вітчизняних вагонів.

**Метою статті** є дослідження причин виникнення залишкових напружень після зварювання кузова напіввагону та визначення зварювальних деформацій хребтової балки за допомогою різних методик, а також представлення нового підходу до вирішення даного питання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес зварювання характеризується різким локальним нагрівом, що розплавляє і зріджує метал та достатньо швидким його охолодженням. Таким чином в конструкції виникають тимчасові та залишкові зварювальні напруження. Тимчасові спостерігаються тільки в процесі зварювання під час зміни температури, а залишкові напруження не зникають і після охолодження виробу.

Виділяють кілька причин утворення внутрішніх залишкових напружень при виробництві та ремонті кузова напіввагону:

1. Локальний нерівномірний нагрів металу.

Як відомо, всі метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються. В процесі зварювання, в результаті місцевого нагріву металу та його подальшого охолодження, в з'єднанні утворюється ЗТВ. Так у зварній хребтовій балці виникають стискаючі або розтягуючі термічні внутрішні напруження, величина яких залежить головним чином від температури нагріву. Якщо зварювальні роботи проводяться на жорстко закріпленій конструкції, величина термічних напружень зростає внаслідок обмеженості її вільного переміщення під час нагрівання та охолодження. При цьому при нагріванні конструкції, зважаючи на її розширення, будуть виникати стискаючі внутрішні напруження, а при наступному охолодженні – напруження розтягу. Коли величина внутрішніх напружень досягає рівня межі текучості, в металі починають відбуватися пластичні деформації, що призводять до зміни форми і розмірів балки. Після закінчення процесу зварювання, в областях ЗТВ, які зазнали нерівномірного пластичного деформування, виникають залишкові напруження.

2. Нерівномірні структурні перетворення в металі при зварюванні кузова.

В металі, під час нагрівання вище критичних температур, виникають напруження, які обумовлені фазовими перетвореннями зі зміною типу кристалічної решітки та утворенням фази, що володіє великим питомим об'ємом та іншим коефіцієнтом лінійного розширення.

3. Ливарна усадка наплавленого металу.

При охолодженні розплавленого металу, внаслідок підвищення його щільності, в зварному шві відбувається усадка, поздовжні і поперечні внутрішні напруження, що викликають відповідні його деформації. Наслідком поздовжньої усадки елементів кузова є поздовжні деформації відносно осі шва, а поперечної – кутові.

Існує декілька різних підходів до розрахунків залишкових зварювальних напружень та деформацій [7, 8]:

- Метод, так званої, фіктивної усадочної сили,
- Метод фіктивних температур,
- Метод умовних дислокацій,
- Метод умовних пластичних деформацій,
- Метод заданих зон рівномірної усадки,
- Метод заданих обсягів укорочення при зварюванні,
- Inherent strain method японських дослідників.

Прогнозування загальних деформацій осевого прогину хребтової балки внаслідок локального нагріву під час зварювання з використанням теорії термопластичності і МКЕ на даний час є досить складним завданням. Оскільки, для пошуку рішення, такий підхід передбачає розробку тривимірної математичної моделі, а також значні часові та обчислювальні ресурси. Таким чином стає очевидно необхідність розроблення нового підходу до вирішення даного питання, який би дозволив приймати надійні та адекватні рішення щодо умов зварювання у реальному часі.

Математична модель напружено-деформованого стану напіввагону при зварювальному нагріванні складається з двох взаємопов'язаних завдань: температурного і деформаційного. Дослідження кінетики зварювальних напружень і деформацій проводиться на основі теорії малих пружних деформацій або теорії течії [9].

Узагальнена математична модель напружено-деформованого стану тіла, запропонована В.І. Махненко [9], ґрунтується на алгоритмах, в яких температурне поле визначається за формулами Н.Н. Рикалкіна [10].

Так, загальний тензор деформацій  $\varepsilon_{ij}(x, y, z, t)$  прийнято представляти у вигляді суми трьох тензорів [9]:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon_{ij}^c, \quad (1)$$

де індекс  $e$  – відповідає пружній деформації,  $p$  – деформації миттєвої пластичності і  $c$  – деформації дифузійної пластичності або повзучості.

Тензор пружних деформацій  $\varepsilon_{ij}^e$  пов'язаний з тензором  $\sigma_{ij}$  законом Гука:

$$\varepsilon_{ij}^e = \delta_{ij}\varepsilon + (\sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma) \frac{1}{2G} \quad (2)$$

де  $\delta_{ij}$  – одиничний тензор,  $G$  – модуль зсуву, при чому:

$$\varepsilon = K\sigma + \varphi \quad (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

де  $K$  – модуль об'ємного стиснення, який визначається за формулою:

$$K = \frac{1-2\nu}{E} \quad (5)$$

де  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Умови виникнення та розвитку пластичних деформацій  $\varepsilon_{ij}^p$  виражаються у вигляді формул за допомогою інваріантних характеристик тензорів напружень. Одним із простих та популярних підходів є метод, який ґрунтується на теорії пластичної течії в поєднанні з критерієм Мізеса у вигляді:

$$d \varepsilon_{ij}^p = 0, \text{ якщо } f < 0 \text{ або } f = 0, \text{ але } df < 0; \quad (4)$$

$$d \varepsilon_{ij}^p = \nu \lambda (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma), \text{ якщо } f = 0 \text{ и } df > 0; \\ \text{стан } f > 0 - \text{неприпустимий.}$$

Причому:

$$f = \sigma_i^2 - \sigma_T^2(T, \omega^p) \quad (5)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{2} \left[ (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2) \right]^{0.5} \quad (6)$$

$\sigma_{eq}$  – еквівалентне напруження (інтенсивність напружень),

$\sigma_s(T, \omega^p)$  – деформуюче напруження на поверхні навантаження  $f = 0$ ,

$d\lambda$  – скалярна функція,  $\omega^p$  – параметр деформаційного зміцнення.

Методика запропонована в роботі В.І.Махненко [9] дає змогу чисельними методами визначити швидкість зварювальних напружень і деформацій. Проте, даний метод не враховує теплоту фазового переходу та залежність теплофізичних коефіцієнтів від температури, а також несе похибку методу чисельного диференціювання, що суттєво знижує його точність при визначенні високотемпературних змін.

Величини залишкових напружень і деформацій, отримані рішенням пружно-пластичної задачі до повного вирівнювання температури, не відповідають їх істинним значенням, оскільки, досягаючи певної температури при охолодженні матеріал буде проявляти свої пружні властивості.

Проте можна використати альтернативний шлях та за допомогою теореми про розвантаження А.А. Ілюшина [11], визначити залишкові напруження і деформації наступним чином:

1) Вирішуючи пружно-пластичну задачу:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \Delta \varepsilon_{11}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \Delta \varepsilon_{22}}{\partial x_1^2} = 2 \frac{\partial^2 \Delta \varepsilon_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \sigma_{11}(M^I)n_1 + \sigma_{12}(M^I)n_2 = g_1(M^I) \\ \sigma_{21}(M^I)n_1 + \sigma_{22}(M^I)n_2 = g_2(M^I) \end{cases} \quad (11)$$

де  $M^I \in \Gamma$ ,  $n_1, n_2$  – направляючі косинуси до  $\Gamma$ ;

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^* + \Delta \varepsilon_{ij} \quad (12)$$

де (\*) – значення в попередньому тимчасовому шарі.

$$\begin{cases} \Delta \varepsilon_{11} = B_1 \sigma_{11} + B_2 \sigma_{22} - b_{11} \\ \Delta \varepsilon_{22} = B_1 \sigma_{22} + B_2 \sigma_{11} - b_{22} \\ \Delta \varepsilon_{12} = \psi \sigma_{12} - b_{12} \\ \Delta \varepsilon_{33} = B_2 (\sigma_{22} + \sigma_{11}) - b_{33} \\ \Delta \varepsilon_{13} = \Delta \varepsilon_{33} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

де  $B_1 = \frac{2\psi + K}{3}$      $B_2 = \frac{K - \psi}{3}$

$$b_{ij} = \left( \frac{\sigma_{ij}}{2G} \right)^* + \delta_{ij} \left[ \sigma^* \left( K - \frac{1}{2G} \right)^* - \Delta \varphi \right], \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (14)$$

До кінця зварювального процесу (до початку розвантаження) визначаємо тимчасові напруження  $\sigma_{ij}$  і деформації  $\varepsilon_{ij}$ . При цьому повна напруга ( $\sigma_{ij}^n$ )<sup>1</sup> та повна деформація ( $\varepsilon_{ij}^n$ )<sup>1</sup> будуть відповідно дорівнювати тимчасовій нарузі та тимчасовій деформації. В кінцевий момент зварювання, тобто у момент проходження зварювальною дуги вирішуємо пружну задачу:

2)

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} = 0 \end{cases}$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_{11}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{22}}{\partial x_1^2} = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} \quad (15)$$

$$\begin{cases} \sigma_{11}(M^l)n_1 + \sigma_{12}(M^l)n_2 = g_1(M^l) \\ \sigma_{21}(M^l)n_1 + \sigma_{22}(M^l)n_2 = g_2(M^l) \end{cases}$$

де  $M^l \in \Gamma$ ,  $n_1, n_2$  – направляючі косинуси до  $\Gamma$ ;

$$\begin{cases} \varepsilon_{11} = \frac{1}{4\mu(\lambda + \mu)} [(\lambda + 2\mu)\sigma_{11} - \lambda\sigma_{22}], \\ \varepsilon_{22} = \frac{1}{4\mu(\lambda + \mu)} [-\lambda\sigma_{11} + (\lambda + 2\mu)\sigma_{22}], \\ \varepsilon_{12} = \varepsilon_{21} = \frac{1}{2\mu} \sigma_{12} = \frac{1}{2\mu} \sigma_{21}, \end{cases} \quad (16)$$

Після завершення зварювання та до повного охолодження тіла (до повного розвантаження). Повне напруження ( $\sigma_{ij}^n$ )<sup>2</sup> буде дорівнюватиме значенню напруження у момент повного розвантаження.

Повна деформація визначається за формулою:

$$(\varepsilon_{ij}^n)^2 = \varepsilon_{ij}^e + \alpha \Delta T \quad (17)$$

де  $\varepsilon_{ij}^e$  – є пружна деформація, яка дорівнює значенню в стані повного розвантаження,  $\alpha\Delta T$  – температурна деформація

3) Визначаємо залишкову напругу і деформацію в балці після процесу зварювання за наступними формулами:

$$\begin{cases} \varepsilon_{ij}^0 = (\varepsilon_{ij}^n)^1 - (\varepsilon_{ij}^n)^2 \\ \sigma_{ij}^0 = (\sigma_{ij}^n)^1 - (\sigma_{ij}^n)^2 \end{cases} \quad (15)$$

Для перевірки адекватності та надійності запропонованого методу визначення залишкових напружень та деформацій, було проведено розрахунок даних показників для хребтової балки, звареної з двох Z-подібних прокатних профілів, розміром  $16 \times 130 \times 10,5 \times 183 \times 9 \times 310$ , поперечний переріз якої зображено на рисунку 1.

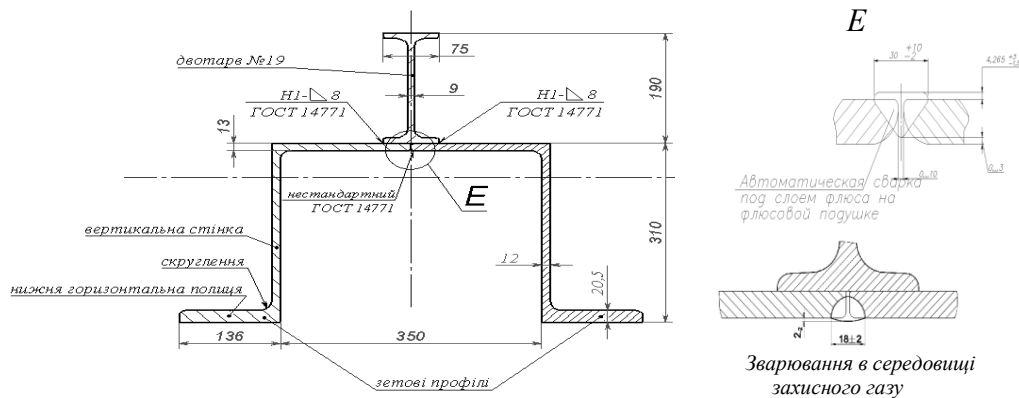


Рис.1. Поперечний переріз балки хребтової

Матеріал елементів балки хребтової – сталь 345-09Г2С-14 ГОСТ 5267.0-90. Основні характеристики при локальних температурних впливах на сталь взято з роботи [12]. Геометричні характеристики перетинів хребтової балки та дані динамічних розрахунків взято з робіт [13, 14].

З'єднання Z-подібних профілів виконані автоматичним зварюванням під шаром флюсу, дані для розрахунків під флюсом матеріалу 09Г2С [15]: сила струму 175 А, діаметр електроду 4 мм, швидкість зварювання 4 м/год. Решта з'єднань – напівавтоматичним зварюванням в середовищі захисного газу. Протяжність нестандартного зварного шва та інші данні для розрахунків були отриманні з роботи [16].

Початкові дані й основні передумови поставленого завдання ґрунтувалися на результатах теоретичних та експериментальних досліджень Є.О. Патона, М.О. Окерблома, В.І. Махненка, В.А. Ряполова, Л.М. Лобанова, В.О. Винокурова та інших дослідників.

На рис. 2 зображено деформації (прогин) хребтової балки після зварювання.

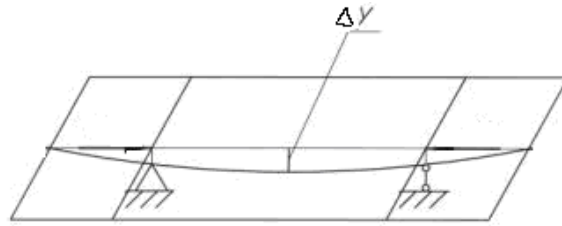


Рис.2. Схематичне зображення деформації хребтової балки після зварювання

У таблиці наведено одержані запропонованим методом розподіли залишкових напружень та деформацій після зварювальних робіт, проведених на такій хребтовій балці. Для оцінки адекватності та надійності запропонованого методу, результати наведено у порівнянні з даними, одержаними шляхом розрахунків методом фіктивної усадочної сили В.А. Винокурова [17] та ін. (МВТУ ім. М.Е. Баумана) та методом В.І. Махненка [9], який ґрунтується на основі функції усадки.

Таблиця. Результати розрахунку залишкової деформацій після виготовлення хребтової балки напіввагона

Деформація (прогин), мм	Згідно методу фіктивної усадочної сили	Згідно методу на основі функції усадки	Згідно запропонованої методики
Прогин ( $\Delta Y_1$ ) після зварювання Z-подібних прокатних профілів	6,5	6,7	7,1
Прогин ( $\Delta Y_2$ ) після приварювання балки верхньої (двотавра № 19)	3,03	3,5	3,7
Основний прогин ( $\Delta Y$ ) балки після зварювання	9,53	10,2	10,8

**Висновки і перспективи подальшого використання.** Результати використання запропонованого підходу до визначення залишкових деформацій засвідчили доцільність та ефективність його застосування.

Наявність залишкових зварювальних деформацій, що виникають під час проведення ремонтних робіт на етапах життєвого циклу вагону, аргументує доцільність розробки нових технічних та технологічних засобів, що є важливим науково-практичним завданням.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В. Особливості методики визначення втомної довговічності напіввагону з урахуванням експлуатаційних ушкоджень / О.В. Фомін, О. В. Бурлуцький // Східно-Європейський журнал передових технологій. –Х., 2013. – Вип. 2/7. – С. 12-16.
2. Долматов, А.А. Полувагонам -прогрессивный срок службы / А.А Долматов, Г.В. Райков, В.Б. Костров. – Ж.-д. трансп. -1982.- Вип.№ 12, с. 61-63.



3. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О. В. Фомін. – Київ: ДЕДУТ, 2014. – 299 с.
4. Фомін, О.В. Аналіз експлуатаційних пошкоджень кузовів залізничних напіввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, В.В. Фомін // Будівництво України – Київ, 2013. – Вип. № 3-С 37-41.
5. Фомін, О.В. Метод оцінки надійності елементів кузовів сучасних залізничних напіввагонів з урахуванням цензурування вибірки / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький. // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Д., 2012. – Вип. № 29. – С. 215-221.
6. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О.В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с
7. Ряполов, В.А. Методы определения и снижения сварочных напряжений и деформаций в сварных конструкциях железнодорожных вагонов. / В.А. Ряполов, В.Г. Радченко, В.Н. Шабалин, Ю.О. Шевцов, Д.А., Нагорный, П.А. Перевалов // Ползуновский Альманах. – Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – 2003. – № 4. С. 178.
8. Махненко, О.В. Расчетный метод определения общих деформаций крупных сварных конструкций на основе функции усадки: автореф. дис. к-та техн. наук: 05.03.06/ Махненко Олег Владимирович; Нац. акад. наук Украины, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. – К., 1996. – 20 с.
9. Махненко, В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций / В.И. Махненко. – К.: Наукова думка, 1976. – 320 с.
10. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. М.: Машгиз. – 1951. – 295 с.
11. Илюшин, А.А. Пластичность. Основы общей математической теории / А.А. Илюшин. – М.: Изд-во АН СССР. – 1963. – 272 с.
12. Белобородова, Л.Н. Прочность стальных неразрезных подкрановых балок коробчатого сечения при локальных температурных воздействиях: дис. к-та техн. наук: 05.23.01 / Белобородова Лариса Николаевна; Магнітогорський державний технічний університет ім. Г.І. Носова, М. – 2005. — 197 с. – Бібліогр. : С. 160-171.
13. Фомін, О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О. В. Фомін, О. А. Логвіненко, Р. Ю. Дьомін, В. В. Фомін, Г. П. Бородай, О. В. Бурлуцький // Заліз. трансп. України. – 2013. – Вип. 5/6. – С. 95-10.
14. Бурлуцький, О. В. Особливості методу визначення динамічного навантаження кузова напіввагону / О. В. Бурлуцький // Вост.-Европ. журн. передових технологій. . –Х., 2012. – Вип. 4/7. – С. 47-50.
15. Ямпольский, В.М. Сварка и свариваемые материалы. / Под ред. В.М. Ямпольского. В 3-х т. Технология и оборудование. Справ. Изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. - 574 с.
16. Шляпин, В.Б. Ремонт вагонов сваркой / В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов. Справочник. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.
17. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 235 с.

***Oleksiy V. Burlutskyy***

***(ingeneer, Ukrainian state academy University of Railway Transport),***

***Natalia S. Kocheshkova, PhD (Biological Sciences)***

***(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)***

### **DETERMINATION WELDING DEFORMATION RESULTING FROM ENTERING LIFE CYCLE GONDOLA CARS**

***The paper presents the study of causes of residual stresses and deformations in welding. The methods of calculations after welding deformations that occur when made cap beams gondola. Based on calculation methods and theorems of unloading by A.A.Ilyushyn made the calculation of the final deformation (deflection). The calculation results show the suitability of the proposed methods for numerical study***

*of welding stresses and deflection of the beam. Indicated possibility and feasibility of further use of the results to fight the final deformationpp.*

**Keywords:** gondola, plastic deformation, khrebtova beam welding deformation.

## REFERENCES

1. Fomin O.V. Burlutsky O.V. Osoblyvosti metodyky vyznachenayn vtomnoy dovgovichnosti napivvahonu z urakhuvanniyam ekspluatatsiinykh ushkozdzhe [Features method of determination tireless longevity gondola taking into account operating damages] *Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal .peredovukh tekhnolohy*[ Eastern European of Enterprise Technologies ], 2013.issue no. 2/7, pp. 12-16.
2. Dolmatov A.A. Kostrov H.V. Raikov Poluvahonam -prohressyvnyy srok sluzhby [Gondola progressivny service life ] Zh.-d. transp.[ *Railway transport*],1982, vol. 12, pp. 61-63.
3. Fomin O. V. (2014) Doslidzhenja defektiv ta poshkodgen nesuchykh system zaliznychnykh napivvahoniv [Research Of Defects And Damages The Supporting Systems Railway Freight Gondolas]: monograph ISBN 978-966-2197-76-1 // DETUT, Kyiv, Ukraine. – 299 pp.
4. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomin V.V. Analiz ekspluatatsiinykh poshkodzen kuzoviv zaliznychnykh na pivvahoniv [Analysis of operational damage bodies railway gondol ] Budivnytstvo Ukrainy [Construction of Ukraine], Kiev, 2013.vol. 3,pp. 37-41.
5. Fomin O.V. Burlutsky O.V Metod otsinky nadiynosti elementiv kuzoviv suchasnykh zaliznychnykh napivvahoniv z urakhuvanniam tsenzurovannia vybirky [Valuation reliability of bodies of modern railway gondola considering censoring sample].
6. Fomin, O. V. (2013). Optyimizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvahoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva. Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 251.
7. Riapolov V.A Metody opredeleniya y snyzheniya svarochnykh napriazheniy y deformatsiy v svarynykh konstruktsiyakh zheleznodorozhnykh vahonov[Methods for determining and reduce welding stresses and deformations in welded structures of railway wagons] Polzunovskiy Almanakh.- Altaiskiy hosudarstvennyy tekhnicheskyy unyversytet ym. Y.Y. Polzunova- *Altai State Technical University Polzunova* -2003.- vol. 4. p. 178.
8. Makhnenko O.V. Raschetnyi metod opredeleniya obshchyykh deformatsiyi krupnykh svarynykh konstruktsiyi na osnove funktsiy usadky [Calculation method for determining the total deformation of large welded structures based shrinkage functions Avtoreferat Diss ] Natpp. akad. nauk Ukrainy, Yn-t elektrosvarky ym. E. O. Patona- *National Academy of Sciences of Ukraine* – K., 1996. – 20 p.
9. Makhnenko V.Y. Raschetnye metody yssledovaniya kynetyky svarochnykh napriazheniy y deformatsiyi [Calculation methods for studying the kinetics of welding stresses and strains] – K.: Naukova dumka, 1976. – 320 p.
10. RykalyN N.N. *Raschety teplovykh protsessov pry svarke* [Calculations of thermal processes in welding]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1951. 295 p.
11. Yliushyn, A.A. *Plastychnost. Osnovy obshchei matematycheskoi teoryy* [Plasticity. Fundamentals of general mathematical theory] M.: Yzd-vo AN SSSR [Publishing House of the USSR Academy].1963.-272 p.
12. Beloborodova, L.N. Prochnost stalnykh nerazreznykh podkranovykh balok korobchatoho secheniya pry lokalnykh temperaturnykh vozdeistviyakh [Durability of continuous steel box beams crane at the local temperature influences Doct.Diss] Mahnitohorskiy derzhavnyi tekhnichnyi unyversytet im. H.I. Nosova- *Magnitogorsk gosudarstvennyy tekhnicheskyy University. I. Nosova* M.- 2005. —pp.160-171.
13. Fomin O.V. Logvinenko, R. Y. Dymyn, V. V. Fomin, H. P. Boroday, O. V. Burlutsky Matematychni modeli zminy osnovnykh pokaznykiv bazovykh nesuchykh elementiv kuzoviv napivvahoniv [Matematychni modeli zmini mainly pokaznykiv base nesuchih elementiv kuzoviv napivvahoniv] *Zaliznychnyy transport Ukrainy-Rail Ukraine*. – 2013. – Vol. 5/6. pp. 95-10.
14. Burlutsky O.V. Osoblyvosti metodu vyznachennia dynamichnoho navantazhennia kuzova napivvahonu [Features of the metohod dynamic load body gondola] *Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal .peredovukh tekhnolohy*[ Eastern European of Enterprise Technologies ],2012. – Vol.no 4/7 pp. 47-50.
15. Yampolskiy V.M. Svarka y svaryvaemye materyaly.[ Welding and welding materials] *Moskovskyy gosudarstvennyy tekhnicheskyy unyversytet imeni N. E. Bauman* [Bauman Moscow State Technical University] – M. 1996. – 574 p.
16. Shliapyn V.B. Remont vahonov svarkoi. [Repairing welding] Spravochnyk. – M.: Transport, 1983,- 246 p.
17. Vynokurov V. A. Svarochnye deformatsyy y napriazheniya. [Welding deformation and stress] – M.: Mashynostroeniye, 1968. – 235 p.