

УДК 629.4.02

**Фомін О.В.**

Державний економіко-технологічний університет транспорту

**Горбунов М.І.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**Бурлуцький О.В.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Логвіненко О.А.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Фоміна А.М.**

ПАТ «Укрзалізниця»

## МАТЕМАТИЧНЕ ОПИСАННЯ ТЕРМІЧНОЇ ПРАВКИ ВАГОННИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

*Зазначені важливість залізничного транспорту України в її загальній транспортній системі, а також його провідна роль у здійсненні внутрішньодержавних та зовнішньодержавних економічних зв'язків країни. Обґрунтована доцільність оновлення наявного вагонного парку залізниць України. Зазначена важлива роль технологічного процесу зварювання при виробництві нових та модернізації наявних одиниць вагонного парку. Зумовлений напрям зменшення деформацій вагонних металоконструкцій, які виникають у процесі їх зварювання, скерований на використання термічної правки з місцевим нагріванням. Представлене математичне описання термічної правки вагонних металоконструкцій. Як приклад наведені узагальнені математичні моделі, отримані в результаті математичного моделювання процесу термічної правки основних металоконструкцій вантажних вагонів.*

**Ключові слова:** залізничний транспорт, рухомий склад, вагонний парк, зварювання, вагонні металоконструкції, післязварні деформації, термічна правка, математичне описання, математичні моделі.

**Постановка проблеми.** Залізничний транспорт України є базовою галуззю національної економіки та основою її транспортної системи. Він відіграє провідну роль у здійсненні внутрішньодержавних і значну – зовнішньодержавних економічних зв'язків України. Його стабільне та ефективне функціонування є необхідною умовою для забезпечення обороноздатності, національної безпеки і цілісності держави, підвищення рівня життя населення. На нього припадає понад дві третини загального вантажо- та пасажирообігу. Він поєднує у собі важливі техніко-економічні показники: регулярність руху і високу швидкість перевезень, велику пропускну і провізну спроможність [1–6]. Водночас залізничний транспорт України, як вважають експерти, є найменш впливовим у плані екології до навколишнього середовища.

У сучасних умовах господарювання, конкуренції зі сторін інших видів транспорту та закордонних залізничних компаній перед вітчизняними залізницями гостро стоїть проблема постійного підвищення ефективності використання їх рухомого складу, більшість якого приходить на вагонний парк. Нині наявні вагони вітчизняного вагонного парку залізниць є застарілими та надмірно зношеними і не можуть повною мірою задовольнити потреби клієнтів у вантажних перевезеннях. Водночас технічний стан багатьох із них є загрозою безпеки їх руху. Отже, перед ПАТ «Укрзалізниця» гостро постає питання з оновлення наявного парку вагонів, яке полягає в придбанні у приватних вагонобудівників або виробництві на власних підприємствах відповідних вагонів.

Як було зазначено у роботах [7–9], основним технологічним процесом у вагонобудуванні при виробництві та подальшому ремонті вагонів є зварювання. Нині найважливішою умовою вдосконалення зварювального виробництва є не тільки розвиток теоретичних основ зварювання з використанням новітніх досягнень у різних галузях фундаментальних і прикладних наук, а й створення високоефективних методів і засобів моделювання та імітації зварювальних процесів. Застосування математичних методів та математичного моделювання зварювальних процесів перетворилося на потужний інструментарій досліджень і пізнання процесів, що відбуваються в складних технологічних системах, що дає змогу не тільки отримати формалізований опис їх основних закономірностей, а й ефективно керувати ними. Математичне моделювання дає змогу оптимізувати умови протікання процесу утворення зварного з'єднання, запобігти появі недопустимих дефектів зварних швів, з'єднань конструкцій і одночасно підвищити продуктивність зварювальних операцій. Тому проблема підвищення продуктивності праці і зниження собівартості виготовлення продукції завжди була і буде в центрі уваги будь-якого виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що одним з економічно доцільних шляхів зі зменшення деформацій вагонних металоконструкцій, які виникають у процесі їх зварювання, є використання термічної правки, а саме правки з місцевим нагріванням [6–9]. Водночас вирішення задачі, пов'язаної з удосконаленням технології виробництва та ремонту вагонів шляхом наукового обґрунтування термічної правки їх елементів на сучасному рівні, доцільно здійснювати з використанням підходів та методів теорії оптимізації [10; 11], а саме оптимізаційного дослідження процесу термічної правки з метою зменшення деформацій, які виникають у процесі виготовлення вагонних металоконструкцій. У загальному представленні теорія оптимізації націлена на знаходження та ідентифікацію найкращих варіантів із безлічі наявних альтернативних рішень за допомогою відповідних чисельних методів, використання яких дає змогу не виконувати в процесі пошуку повне перебирання й оцінювання всіх можливих варіантів. При цьому одна з основних ролей приділяється математичному моделюванню, яке полягає в застосовуванні під час оптимізаційного дослідження об'єктних математичних моделей, а також методів і алгоритмів їхнього дослідження (пошуку оптимального рішення).

**Постановка завдання. Метою статті** є математичне описання термічної правки вагонних металоконструкцій.

Викладення основного матеріалу дослідження. У напрямі досягнення зазначеної мети авторами було запропоновано узагальнений математичний запис задачі оптимізаційного дослідження процесу термічної правки вагонних металоконструкцій із метою зменшення їх післязварних деформацій [12–15] як задачі багатомірної оптимізації з обмеженнями. У загальній постановці метою оптимізаційного дослідження є визначення вектору керованих параметрів  $\bar{X}^* (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , який називається оптимальною точкою і задовольняє усім заданим обмеженням, при яких досягається екстремальне значення цільової функції (ЦФ)  $F^*(\bar{X})$  – значення ЦФ в оптимальній точці.

Загальний запис такої задачі для будь-якої вагонної металоконструкції має такий вигляд:

$$\begin{aligned} F(\bar{X}) &\rightarrow \text{extremum} \\ \bar{X} &\in D_x \in D \end{aligned} \quad (1)$$

де  $F$  – головний критерій оптимальності, який обрано відповідно до основної мети оптимізаційного дослідження;

$\bar{X}$  – вектор змінних параметрів  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , варіювання якими призводить до зміни головного критерію  $F$ . При цьому залежність (2.2) має назву цільової функції (функції відгуку);

$D$  – область можливих рішень (область оптимізації), яка обмежується межами варіювання змінних факторів  $x_i$  (керованих змінних) без урахування функціональних обмежень, а саме параметричними (прямими) обмеженнями  $(x_{imax} x_{imin})$ ;

$$D_x = \{ \bar{X} \mid \psi(x) = 0, \dots, \varphi(x) > 0, x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}, i \in [1:n] \} \quad (2)$$

$D_x$  – область допустимих рішень, яка обмежується функціональними (вторинними критеріями, які подаються у формі рівностей  $\psi(x) = 0$  чи нерівностей  $\psi(x) > 0$ ) та параметричними обмеженнями і в якій відшукується прийнятне (допустиме) рішення:

$$D_x = \{ \bar{X} \mid \psi(x) = 0, \dots, \varphi(x) > 0, x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}, i \in [1:n] \} \quad (3)$$

Зрештою, задача оптимізаційного дослідження зводиться до визначення оптимальних значень змінних факторів  $(x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$ , при яких задовольняються параметричні та функціональні обмеження, а цільова функція прийме екстремальне (умовноекстремальне або раціональне) значення.

Проведені попередні дослідження показали, що стосовно до задачі оптимізаційного дослідження процесу термічної правки вагонних металокопункцій із метою зменшення їх післязварних деформацій, як головний критерій оптимальності доцільно використовувати величину прогину  $f$ , який є основною зварювальною деформацією, що має місце при виготовленні вагонних металокопункцій.

З урахуванням вибраного критерію загальний запис задачі оптимізаційного дослідження термічної правки з метою зниження післязварних деформацій буде мати такий вигляд:

$$f(\bar{X}) \rightarrow \min \quad (4)$$

$$\bar{X} \in D_x \in D$$

де область можливих рішень  $D$  визначається межами відповідних значень змінних факторів  $X_i$  (параметричними обмеженнями):

–  $X_{Ba}$ ,  $X_{Dd}$ ,  $X_{Шe}$  – змінні параметри, які характеризують геометричні розміри плям нагріву, а саме висоту, довжину та ширину;

–  $X_{Гj}$  – змінний параметр, який характеризує кількість плям нагріву;

–  $X_{Тк}$  – змінний параметр, який характеризує температуру нагрівання  $T$  при термічній правці.

З урахуванням вищевказаної області можливих рішень  $D$  можна представити у такому вигляді:

$$D = \left\{ \bar{X} \left| \begin{array}{l} X_{Ba \min} \leq X_{Ba} \leq X_{Ba \max} \quad X_{Dd \min} \leq X_{Dd} \leq X_{Dd \max} \quad X_{Шe \min} \leq X_{Шe} \leq X_{Шe \max} \\ X_{Гj \min} \leq X_{Гj} \leq X_{Гj \max} \quad X_{Тк \min} \leq X_{Тк} \leq X_{Тк \max} \quad a \in [1;n], d \in [1;c], e \in [1:s], \\ j \in [1:h], k \in [1:m] \end{array} \right. \right\} \quad (5)$$

Область допустимих рішень  $D_x$ , в якій знаходиться шукане рішення, виділяється з області  $D$  функціональними вимогами (обмеженнями вторинних критеріїв). Попередні дослідження показали, що як зазначені критерії та їх відповідні обмеження доцільно розглядати:

–  $\sigma_{max}$  – найбільше напруження в небезпечному перерізі металокопункції, яке не має перевищувати допустиме напруження  $[\sigma]$  для обраного матеріалу;

–  $C_{max}$  – жорсткість, значення якої не має перевищувати допустиме  $[C]$ ;

–  $\sigma_{cm.max}$  – стійкість, значення якої не має перевищувати допустиме  $[\sigma_{cm}]$ ;

–  $E$  – коефіцієнт пропорційності (модуль повздовжньої пружності, модуль пружності першого роду, модуль Юнга), який обирається залежно від матеріалу і для сталі дорівнює  $E_{cm}$ ;

–  $\eta$  – ефективний ККД нагріву металокопункції (знаходиться в межах від  $\eta_{min}$  до  $\eta_{max}$ ).

Тоді область допустимих рішень  $D_x$  прийме такий вигляд:

$$D_x = \left\{ \bar{X} \left| \begin{array}{l} \sigma_{max} \leq [\sigma], C_{max} \leq [C], \sigma_{cm,max} \leq [\sigma_{cm,max}], E = E_{cm}, \eta \geq \eta_{min}, \eta \leq \eta_{max} \\ X_{Ba \min} \leq X_{Ba} \leq X_{Ba \max} \quad X_{Dd \min} \leq X_{Dd} \leq X_{Dd \max} \quad X_{Шe \min} \leq X_{Шe} \leq X_{Шe \max} \\ X_{Гj \min} \leq X_{Гj} \leq X_{Гj \max} \quad X_{Тк \min} \leq X_{Тк} \leq X_{Тк \max} \quad a \in [1;n], d \in [1;c], e \in [1:s], \\ j \in [1:h], k \in [1:m] \end{array} \right. \right\} \quad (6)$$

А загальний вид оптимізаційного дослідження термічної правки вагонних металокопункцій матиме такий вигляд:

$$f(\bar{X}) \rightarrow \min$$

$$\bar{X} \in D_x \in D$$

$$D = \left\{ \bar{X} \left| \begin{array}{l} X_{Ba \min} \leq X_{Ba} \leq X_{Ba \max} \quad X_{Dd \min} \leq X_{Dd} \leq X_{Dd \max} \quad X_{Шe \min} \leq X_{Шe} \leq X_{Шe \max} \\ X_{Гj \min} \leq X_{Гj} \leq X_{Гj \max} \quad X_{Тк \min} \leq X_{Тк} \leq X_{Тк \max} \quad a \in [1;n], d \in [1;c], e \in [1:s], \\ j \in [1:h], k \in [1:m] \end{array} \right. \right\}$$

$$D_x = \left\{ \bar{X} \left| \begin{array}{l} \sigma_{max} \leq [\sigma], C_{max} \leq [C], \sigma_{cm,max} \leq [\sigma_{cm,max}], E = E_{cm}, \eta \geq \eta_{min}, \eta \leq \eta_{max} \\ X_{Ba \min} \leq X_{Ba} \leq X_{Ba \max} \quad X_{Dd \min} \leq X_{Dd} \leq X_{Dd \max} \quad X_{Шe \min} \leq X_{Шe} \leq X_{Шe \max} \\ X_{Гj \min} \leq X_{Гj} \leq X_{Гj \max} \quad X_{Тк \min} \leq X_{Тк} \leq X_{Тк \max} \quad a \in [1;n], d \in [1;c], e \in [1:s], \\ j \in [1:h], k \in [1:m] \end{array} \right. \right\} \quad (7)$$

Розрахунок величини прогину зварної металокопункції вагону здійснюється за формулою:

$$f = \frac{Ml^2}{8EJ} \quad (8)$$

де  $M$  – момент від дії пари осьових внутрішніх зусиль;

$$M = \frac{P_{yc} \cdot h}{2} \quad (9)$$

де  $P_{yc}$  – зусилля усадки,  $H$ ;

$h$  – висота металокопункції до деформування,

$$P_{yc} = \frac{P'_{yc}}{1 - \frac{e^2}{\sigma_T \left( \frac{e^2}{J} + \frac{1}{F} \right)}} \quad (10)$$

де  $P'_{yc}$  – попереднє зусилля усадки, ;

$F$  – площа поперечного перерізу зварювальної металокопункції;

$e$  – ексцентриситет прикладання зусилля усадки щодо центра тяжіння поперечного перерізу,

$$P'_{yc} = B \frac{q}{V_{3B}} \quad (11)$$

де  $B=4...7$  – безрозмірний коефіцієнт [16], який залежить від величини питомої погонної енергії  $q_0$  (при  $q_0=(42...63) \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^2$  величина  $B$  близька до 7, при  $q_0=(209...293) \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^2$  величина  $B$  близька до 4, призначеннях  $q_0=(63...209) \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^2$  значення  $B$  знаходять із використанням лінійної інтерполяції),

$$q_0 = \frac{q}{\delta \cdot V_H} \quad (12)$$

де  $V_H$  – швидкість нагрівання,  $\text{м/с}$ ;

$q$  – ефективна теплова потужність газокисневого полум'я, Дж/с;

$\delta$  – товщина зварювальних елементів (середня товщина зварювальних елементів, якщо їх товщини різні), м;

$$q = \frac{\eta \cdot Q \cdot V_{\text{п}}}{3600} \quad (13)$$

де  $\eta$  – ефективний ККД нагріву металокопункції газовим полум'ям (для виготовлення вагонних металокопункцій  $\eta=0,8\dots0,95$ ) [17];

$Q$  – нижча теплотворна здатність пального, кДж/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{п}}$  – об'ємна витрата пального, м<sup>3</sup>/год;

$l$  – довжина металокопункції до деформування;

$E$  – коефіцієнт пропорційності (який називається модулем повздовжньої пружності, модулем пружності першого роду або модулем Юнга);

$J$  – осьовий момент інерції.

Геометричними розмірами плями нагріву у вигляді «клина» (який при правці зварних вагонних металокопункцій є більш поширеним) є його висота  $h_{\text{кл}}$ , яка для виправлення балки хребтової знаходиться в межах 20...24% від висоти балки, а для виправлення обв'язування верхнього становить 45...85% від висоти обв'язування, та ширина, що розраховується за формулою:

$$b_{\text{кл}} = \frac{4hf}{l \cdot (a_t \cdot T_{\text{пл}} - \varepsilon_T)} \quad (14)$$

де  $a_t$  – коефіцієнт лінійного розширення сталі, 1/С;

$$a_t = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad (15)$$

де  $\Delta l$  – подовження металокопункції при підвищенні її температури на величину  $\Delta T$ ;

$T_{\text{пл}}$  – температура нагрівання до пластичного стану, С;

$\varepsilon_T$  – деформація матеріалу, яка відповідає досягненню межі текучості (при нормальній температурі),

$$\varepsilon_T = \frac{\sigma_T}{E} \quad (16)$$

де  $\sigma_T$  – границя текучості матеріалу.

Розрахунок кількості «клинів»  $n$ , які необхідно розігріти з метою усунення остаточного деформування металокопункції, виконується за наведеною нижче формулою:

$$n = \frac{hf}{2l(a_t \cdot T_{\text{пл}} - \varepsilon_T)} \quad (17)$$

Згідно з нормативною документацією [18] температура нагрівання обирається в діапазоні від 500 С до 900 С. Дослідним шляхом встановлено, що для редагування місцевим нагріванням найбільш раціонально застосовувати температуру в межах від 800 С до 900 С [15].

Як приклад застосування наведеного в статті математичного описання нижче представлені розроблені авторами трифакторні узагальнені математичні моделі (отримані з використанням методу математичного планування експерименту), які описують зміну основного показника (прогину профілю обв'язування верхнього  $\Delta y$  (18) та прогину балки хребтової (19)) залежно від варіювання керованих змінних (геометричних параметрів «клина» – ширини  $b$  та висоти  $h$ , а також температури нагрівання  $t$ )

$$\begin{aligned} \Delta y = & 223951667 - 5,23146 b - 8,93556 h - \\ & - 4,60260 t - 0,00889 b^2 + 0,06986 h^2 + \\ & + 0,00299 t^2 + 0,03656 b \cdot h + 0,00731 b \cdot t - \\ & - 0,00256 h \cdot t \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \Delta y = & 130430333 - 55,074 b + 25,86856 h - \\ & - 0,90952 t + 0,21511 b^2 - 0,13489 h^2 + \\ & + 0,00108 t^2 + 0,115 b \cdot h + 0,0056 b \cdot t - \\ & - 0,00805 h \cdot t \end{aligned} \quad (19)$$

**Висновки.** Наведене математичне описання термічної правки вагонних металокопункцій та відповідний математичний апарат дає змогу проводити обґрунтований вибір оптимальних геометричних параметрів зон нагріву та температури нагрівання. Також викладені наведені в статті матеріали можуть бути використані фахівцями в галузі вагонобудування у разі виконання технологічних операцій під час створення або модернізації одиниць вагонного парку залізниць.

#### Список літератури:

1. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. 2013. № 4(193). С. 267–271.
2. Fomin O.V. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015. No. 1. P. 45-48.
3. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015. No. 2. P. 250–256.
4. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Дьомін Р.Ю., Бородай Г.П., Фомін В.В., Бурлуцький О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів. Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». 2013. № 5/6(102/103). С. 95–104.

5. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. Аналіз існуючих та перспективних профілів складових елементів несучих систем одиниць рухомого складу залізниць. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. 2016. Т. 1. № 46. С. 66–72.
6. Бурлуцький О.В., Логвіненко О.А. Застосування математичного моделювання процесів правки при виготовленні елементів напіввагонів // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (серія «Транспортні системи і технології»). 2016. Вип. 28. С. 110–123.
7. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В. Процедура правки технологічно-деформованих вагонних металокопункцій шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. 2017. № 3(233). С. 234–238.
8. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В. Наукове обґрунтування вибору геометричних параметрів зон нагріву при термічній правці елементів несучих систем вантажних вагонів. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. 2017. № 4(234). С. 227–232.
9. Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Горбунов М.І., Логвіненко О.А., Фоміна А.М. Термічна правка технологічно-деформованих верхніх об'язувань піввагонів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. 2017. № 39 (1261). С. 76–80.
10. Мороз В.І., Братченко О.В., Ліньков В.В. Основи конструювання і САПР: навчальний посібник. Харків: Нове слово, 2003. 194 с.
11. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Москва: Мир, 1981. 456 с.
12. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения (методы их устранения). Москва: Машиностроение, 1968. 235 с.
13. Технология вагоностроения и ремонта вагонов: Учебник для вузов / В.С. Герасимов, И.Ф. Скиба, Б.М. Кернич и др.; Под ред. В.С. Герасимова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1988. 381 с.
14. Сагалевиц В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. Москва: Машиностроение, 1974. 248 с.
15. Веретник Л.Д. Правка сварных конструкций. Харьков: Прапор, 1966. 52 с.
16. Проектирование сварных конструкций в машиностроении / С.В. Вершинский и др.; под ред. С.А. Куркина. Москва: Машиностроение, 1975. 376 с.
17. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Н.П. Алёшин, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков и др.; под общ. ред. Н.П. Алёшина, Г.Г. Чернышова. Москва: Машиностроение, 2004. Т. 1. 624 с.
18. ОСТ 24.050.34-84 Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования. Введ. 1988-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 1988. 183 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРАВКИ ВАГОННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

*Отмечена важность железнодорожного транспорта Украины в ее общей транспортной системе, а также его ведущая роль в осуществлении внутригосударственных и внешнегосударственных экономических связей страны. Обоснована целесообразность обновления существующего вагонного парка железных дорог Украины. Отмечена важная роль технологического процесса сварки при производстве новых и модернизации существующих единиц вагонного парка. Обусловлено направление уменьшения деформаций вагонных металлоконструкций, которые возникают в процессе их сварки, направленное на использование термической правки с местным нагревом. Представлено математическое описание термической правки вагонных металлоконструкций. В качестве примера приведены обобщенные математические модели, полученные в результате математического моделирования процесса термической правки основных металлоконструкций грузовых вагонов.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, подвижной состав, вагонный парк, сварка, вагонные металлоконструкции, послесварочные деформации, термическая правка, математическое описание, математические модели.

## MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THERMAL CORRECTION OF WAGON METAL STRUCTURES

*The importance of the railway transport of Ukraine in its common transport system, as well as its leading role in the implementation of domestic and foreign state economic relations of the country is noted. The expediency of updating the existing railroad car park of Ukraine has been substantiated. An important role of the technological process of welding in the production of new and modernization of existing units of the car park has been noted. The direction of reduction of deformations of wagon metal structures, which arise in the process of their welding, is directed to the use of thermal repair with local heating. The mathematical description of thermal repair of wagon metal structures is presented. As an example, generalized mathematical models obtained as a result of mathematical modeling of the process of thermal change of the basic metal structures of freight wagons are given.*

**Key words:** railway transport, rolling stock, car parks, welding, welded metal structures, post weld deformations, thermal correction, mathematical description, mathematical models.