

RIEDMENŲ AŠIDĖŽIŲ ŠILUMOKAITOS PROCESAI
VAŽIUOJANT GELEŽINKELIO KREIVĖMISOlegas Lunys¹, Gintautas Bureika²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹o.lunys2010@gmail.com; ²gintautas.bureika@vgtu.lt

Santrauka. Straipnyje nagrinėjamas geležinkelio riedmenų ašidėžių kaitimo procesas, važiuojant traukiniui, ir aširatį veikiančios jėgos, riedmenims važiuojant geležinkelio kreivėmis. Atlikta mokslinių publikacijų, kuriose nagrinėjamos riedmenų aširačius veikiančios jėgos bei ašidėžių šilumokaitos procesas, apžvalga. Išnagrinėti aširačius veikiančių jėgų įtakos riedmenų ašidėžių šilumokaitos procesui teorinių tyrimų rezultatai. Tyrimo metu nustatytos skirtingų tipų riedmenų ašidėžių kaitimo temperatūrų dinamika, jų kitimo priežastys bei tendencijos. Išnagrinėta traukinio važiavimo geležinkelio kreivėmis įtaka ašidėžių kaitimo intensyvumui. Pabaigoje pateiktos išvados.

Reikšminiai žodžiai: radialinė ir ašinė apkrova, riedėjimo trintis, šilumokaitos procesas, riedmenų automatinės kontrolės prietaisai, terminė diagnostika.

Įvadas

Riedmenų ašidėžių paskirtis – perduoti vagono rėmo ir vežimėlio apkrovas į aširačio ašies kakliuką ir riedant riedmenims apriboti aširačių išilginius ir skersinius poslinkius.

Sukantis aširačio ašies kakliukui kartu su guolio vidiniais žiedais, ritinėliai sukasi apie savo ašį tarp guolio vidinio ir išorinio žiedo. Esant radialiniams ir ašiniams tarpeliams užtikrinamas laisvas ritinėlių judėjimas tarp išorinio žiedo riedėjimo takelio ir vidinio žiedo riedėjimo paviršiaus. Statinę radialinę ašidėžės apkrovą priima penki guolio ritinėliai: į centrinį ritinėlį yra perduodama 26,2 % visos apkrovos, į nuo jo esančius priešingose pusėse du ritinėlius perduodama po 24,6 % visos apkrovos ir į du paskutinius ritinėlius po 12,3 %. Įvertinus ašidėžės konstrukcijos ypatumus galima teigti, kad besitrinant ašidėžės mazgo detalėms vyksta jų paviršių įkaitis. Pasiekęs ribines reikšmes šis įkaitis gali sukelti guolio detalių viršutinių paviršių struktūrinius pokyčius, dėl kurių gali užstrigti ritinėliai (Маслиев *et al.* 2009).

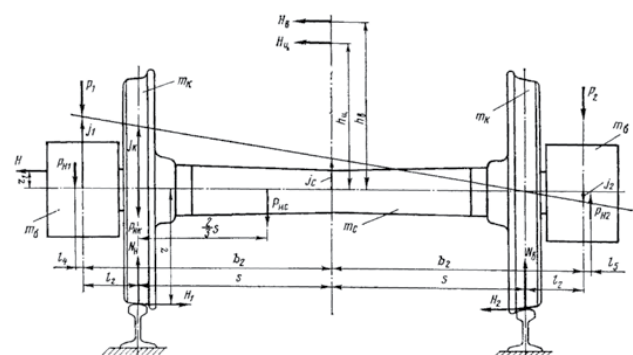
Riedmenų ašidėžės korpusų temperatūra yra vienas iš svarbiausių diagnostikos parametru, kurį viršijus konstatuojama, kad ašidėžė yra techniškai netvarkinga. Normalus ašidėžės darbas charakterizuojamas šilumokaitos tarp ašidėžės elementų, aširačio ir aplinkos temperatūros pusiausvyra, t. y. kai išskiriamas šilumos kiekis yra lygus ašidėžės ir aširačio išsklaidomos šilumos kiekiui į aplinką (Мионов *et al.* 2005; Куценко *et al.* 2005). Ašies kakliuko temperatūra va-

žiuojant nenutrūkstamu režimu priklauso nuo guolių tipo ir jų matmenų, antifrikcinių ir hidrodinaminių tepalo savybių, tarpų tarp guolio ritinėlių ir žiedų, statinių ir dinaminių guolio apkrovų, traukinio važiavimo greičio, važiavimo nesustojant trukmės ir aplinkos temperatūros.

Šio tiriamojo darbo tikslas – nustatyti riedmenų ašidėžių temperatūrų kitimą traukiniui važiuojant geležinkelio bėgiais, įvertinant traukinio važiavimo kelio kreivėmis įtaką ašidėžių kaitimo intensyvumui.

Vagono aširatį veikiančios jėgos

Vagono aširatį veikiančių jėgų schema pateikta 1 pav.



1 pav. Aširatį veikiančių jėgų schema

Fig. 1. Diagram of forces acting on the axle-box

Pakrauto vagono vertikali statinė apkrova, veikianti ašies kakliuką, apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_{st} = \frac{1 + \bar{\lambda}}{2} g \frac{m_{br} - n_0 m_a + 2n_0 m_g}{2m_0}, \quad (1)$$

čia: P_{st} – vertikali statinė apkrova, N; m_{br} – vagono bruto masė, kg; n_0 – aširačių vagonė skaičius; m_g – ašies gembinės dalies masė, kg (nuo ašies galo iki rato riedėjimo paviršiaus); g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s²; $\bar{\lambda}$ – vagono krovimo panaudojimo koeficiento vidutinis dydis; m_a – aširačio masė, kg.

Vertikali dinaminė apkrova apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_d = P_{st} k_d, \quad (2)$$

čia: P_d – vertikali dinaminė apkrova, N; k_d – vertikali dinamikos koeficientas, skaičiuojamas pagal formulę:

$$k_d = \lambda_B \left(A + \frac{B \cdot v}{f_{st}} \right), \quad (3)$$

čia: λ_B – dydis, įvertinantis vežimėlio ašių skaičių; A – dydis, įvertinantis riedmens linginės pakabos standumą; B – dydis, įvertinantis vagono tipą; v – vagono judėjimo greitis, m/s; f_{st} – statinis linginės pakabos įlinkis, m.

Kelio kreivėse riedmenis veikiančios išcentrinės jėgos $F_{i\check{s}c}$ vertikali dedamoji, veikianti vieną ašies kakliuką ir neveikianti kito kakliuko, apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_c = H_c \cdot \frac{h_c}{2b_c}, \quad (4)$$

čia: P_c – išcentrinės jėgos vertikali dedamoji, N; H_c – vienam aširačiui tenkanti išcentrinė vagono jėga, N; h_c – vagono masės centro aukštis nuo aširačio ašies, m; $2b_c$ – atstumas tarp ašies kakliukų centrų, m.

Vieną aširatį veikianti išcentrinė vagono jėga H_c apskaičiuojama pagal formulę:

$$H_c = \eta_c 2P_{st}, \quad (5)$$

čia: η_c – koeficientas, priklausantis nuo traukinio važiavimo greičio, išorinio bėgio pakylės ir kelio kreivės spindulio (Скиба 1973).

Vertikali vėjo spaudimo į šoninį vagono paviršių apkrova P_v^{vej} , veikianti vieną ašies kakliuką ir neveikianti kito kakliuko, apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_v^{vej} = H_{vej} \cdot \frac{h_{vej}}{2b_2 m_0}, \quad (6)$$

čia: H_{vej} – horizontali vėjo apkrova, veikianti vagoną, N; h_{vej} – atstumas nuo tolygiai veikiančios vėjo apkrovos iki aširačio ašies, m.

Tolygiai veikianti vėjo horizontali spaudimo apkrova H_v , apskaičiuojama pagal formulę:

$$H_{vej} = P_{vej} \cdot F_{\check{s}}, \quad (7)$$

čia: P_{vej} – vėjo slėgis, veikiantis statmenai į šoninę vagono sieną, Pa (leistinu didžiausiu greičiu judančiam vagonui $P_{vej} = 500$ Pa); $F_{\check{s}}$ – vagono kėbulo šoninės sienos plotas, m².

Vagono kėbulo šoninės sienos plotas $F_{\check{s}}$ apskaičiuojamas pagal formulę:

$$F_{\check{s}} = a \cdot b, \quad (8)$$

čia: a – vagono šoninės sienos ilgis, m; b – vagono šoninės sienos aukštis, m.

Suminė vertikali kairiojo ašies kakliuko apkrova apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_1 = P_{st} + (1 + k_d) P_c + P_v^{vej}. \quad (9)$$

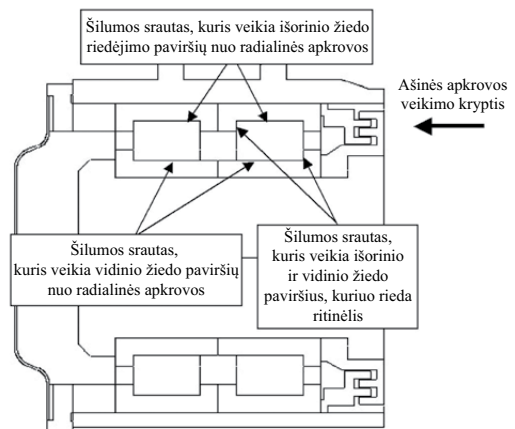
Suminė vertikali dešiniojo ašies kakliuko apkrova apskaičiuojama pagal formulę:

$$P_2 = P_{st} - P_c - P_v^{vej}. \quad (10)$$

Apskaičiavus pagal (1–10) formules vagono aširatį veikiančias jėgas, galima nustatyti, kokios jėgos veikia ašidėžės guolius ir kaip šiluma pasiskirsto ašidėžėje.

Aširatį veikiančių jėgų įtaka šilumokaitos procesui

Pagal rusų mokslininko Mironovo sudarytą matematinį modelį, kuriuo įvertinamos ašidėžę veikiančios radialiosios radialinės bei ašinės jėgos, modeliuojamas ašidėžės šilumokaitos procesas (Миронов 2008, 2009; Миронов *et al.* 2008). Šilumokaitos procesui įvertinti aprašomi ašidėžės šilumos srautai (2 pav.).



2 pav. Ašidėžės šilumos srautai

Fig. 2. Heat flows in the axle-box

Guolio išorinio žiedo „apkrautos zonos“ šilumos srautas kiekvienam ritinėliui apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_{i\bar{s}}^{\varphi} = \left((Q_r + Q_c) f_k i_{i\bar{s}} \frac{\varphi}{360} 2\pi R \frac{\varphi}{360} \right) / 2\pi R \frac{\varphi}{360} l_r = (Q_r + Q_c) f_k i_{i\bar{s}} \frac{\varphi}{360 l_r}, \quad (11)$$

čia: Q_r – vidutinė radialinė apkrova į ritinėlių, N; Q_c – išcentrinė jėga, kuri veikia kiekvieną guolio ritinėlių, N; f_k – guolių riedėjimo trinties koeficientas; $i_{i\bar{s}}$ – kontaktų skaičius, tenkantis guolio išoriniam žiedui per sekundę; R – išorinio žiedo skersmuo, m; l_r – ritinėlio ilgis, m.

Išcentrinė jėga, kuri veikia kiekvieną guolio ritinėlių apskaičiuojama pagal (12) formulę:

$$Q_c = m_r d \omega^2, \quad (12)$$

čia: m_r – ritinėlio masė, kg; d – ritinėlių skersmuo, m; ω^2 – separatoriaus kampinis sukimosi greitis, rad/s.

Guolio išorinio žiedo „neapkrautos zonos“ šilumos srautas kiekvienam ritinėliui apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_{i\bar{s}}^{360-\varphi} = Q_c f_k i_{i\bar{s}} \frac{360-\varphi}{360 l_r}. \quad (13)$$

Apskaičiuojant guolio vidinio žiedo spindulinį šilumos srauto tankį įvertinama, kad vidinis žiedas sukasi, taigi šilumos srautas pridamas visam vidinio žiedo spinduliniam paviršiui. Vidinio žiedo spindulinis šilumos srauto tankis nustatomas pagal formulę:

$$q_v = [Q_r - Q_c] f_k i_v l_v^{\varphi} / S_v, \quad (14)$$

čia: l_v^{φ} – vidinio žiedo „apkrautos zonos“ apskritimo ilgis per centrą, m; S_v – vidinio žiedo paviršiaus plotas, m².

Vidinio žiedo „apkrautos zonos“ apskritimo ilgis per centrą nustatomas pagal formulę:

$$l_v^{\varphi} = 2\pi R_v \frac{\varphi}{360}. \quad (15)$$

Vidinio žiedo paviršiaus plotas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_v = 2\pi R_v l_r. \quad (16)$$

Šilumos srauto tankis išoriniame žiede apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_{i\bar{s}} = \frac{2\pi Q_a f_{sl} n_s Z R_{i\bar{s}}}{S_{i\bar{s}}}, \quad (17)$$

čia: Q_a – vidutinė ašinė apkrova į ritinėlių, N; f_{sl} – ritinėlio slydimo koeficientas; n_s – separatoriaus sukimosi dažnis, s⁻¹; Z – ritinėlių skaičius, vnt.; $R_{i\bar{s}}$ – išorinio žiedo spindulys, m; $S_{i\bar{s}}$ – išorinio žiedo šoninės dalies plotas, m².

Vidinio žiedo šilumos srauto tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_v = \frac{2\pi Q_a f_{sl} n_s Z R_v}{S_v}, \quad (18)$$

čia: R_v – vidinio žiedo spindulys, m; $S_{v\bar{s}}$ – vidinio žiedo šoninės dalies plotas, m².

Šilumos srauto tankis nuo ašinės apkrovos, kurią priima dalis ritinėlių ir kuri apskaičiuojama pagal formulę:

$$q_{v1} = \frac{\pi d Q_a f_{sl} n_s Z}{S_v^{\bar{z}}}, \quad (19)$$

čia: $S_v^{\bar{z}}$ – vidinio žiedo šoninės dalies, kuri kontaktuoja su ritinėliais, plotas, m².

Šilumos perdavimą tarp atskirų ašidėžės elementų galima užrašyti taip:

$$\rho C \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{V\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = \{\ddot{q}\}, \quad (20)$$

čia: ρ – tankis; C – šiluminė talpa; T – temperatūra; t – laikas; $\{V\}$ – šilumos perdavimo greičio vektorius; $\{L\}$ – diferencijavimo operatorius; $\{q\}$ – šilumos srauto vektorius; $\{\ddot{q}\}$ – šilumos generacija tūrio vienetu.

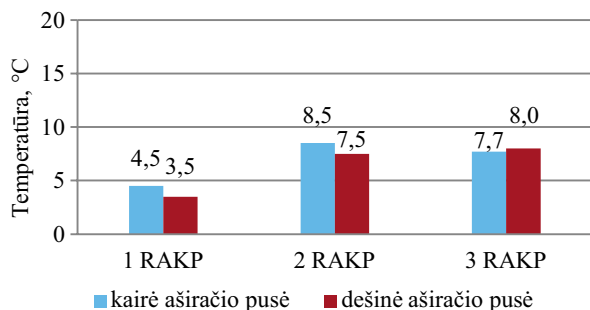
Tyrėjas Dovbnia savo darbuose nagrinėja ašidėžės guolių slydimo trintį ritinėlio kontakto vietoje ir jo deformaciją (Довбня *et al.* 2009). Autorius, atlikdamas teorinius skaičiavimus, įvertina guolio geometrinius parametrus ir tik ašidėžės guolį veikiančią statinę apkrovą, tačiau visiškai neatsižvelgia į tepalo poveikį trinčiai tarp ašidėžės elementų. Šio autoriaus nustatyta guolio išskiriama šilumos vertė dėl guolio atliekamo darbo, įveikiant slydimo trintį ir guolio deformaciją, yra kvestionuotina.

Tyrimų metodika ir rezultatai

Riedmenų ašidėžių temperatūrų kitimas važiuojant traukiniui buvo ištirtas pagal karštų ašidėžių aptikimo prietaisų rodmenis (temperatūrų reikšmes) riedmenų automatinės kontrolės postuose (toliau – RAKP).

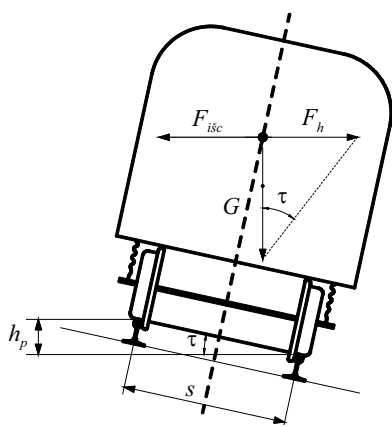
Pirmiausia buvo nustatyta, kaip kinta skirtingų riedmenų ašidėžių temperatūros traukiniui važiuojant važiavimo maršrutu nuo pradinės stoties iki paskutinio maršrute įrengto RAKP. Matavimų rezultatai pateikti 3, 5 ir 6 pav. Tyrimo metu nustatyta, kad tam tikroje kelio atkarpoje riedmenų ašidėžių temperatūra iš kairės pusės pagal traukinio važiavimo kryptį vidutiniškai 2 °C didesnė nei dešinės pusės, tačiau vėliau stebimas priešingas reiškinys: dešinės pusės ašidėžių temperatūra tampa vidutiniškai 3 °C didesnė nei kairės pusės. Šis reiškinys gali būti paaiškinamas tuo, kad ašidėžių temperatūrų skirtumą lemia kelyje vyraujan-

čios tam tikros krypties kreivės (Lunys, Subačius 2012; Lunys, Bureika 2013). Bendruoju atveju kvazistatinės jėgos, veikiančios traukiniui važiuojant kelio kreive, pavaizduotos 4 pav. (Povilaitienė 2004).



3 pav. Keleivinio vagono ašidėžių temperatūrų reikšmių kitimas važiuojant traukiniui

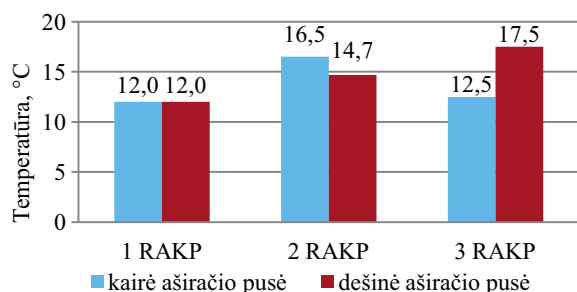
Fig.3. Changes in the temperature values of the coach axle-box when the train is moving



4 pav. Jėgos, veikiančios riedmenį kreivėje: F_{isc} – išcentrinė jėga, N; F_h – įcentrinė jėga, N; τ – riedmens kūbolo posvyrio kampas į horizontalę, laipsniais; G – riedmens svoris, N; h_p – išorinio bėgio pakyla, m; s – atstumas tarp bėgių galvučių ašių, m

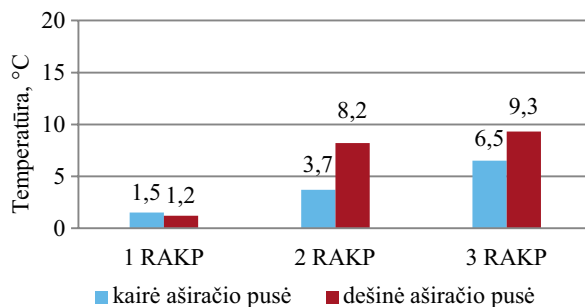
Fig. 4. Forces acting on the vehicle in the curve:

F_{isc} – centrifugal force, N; F_h – centripetal force, N; τ – vehicle body inclination angle on the horizontal line, in degrees; G – vehicle weight, N; h_p – superelevation, m; s – distance between the axes of the rail head, m



5 pav. Prekinio vagono ašidėžių temperatūrų reikšmių kitimas važiuojant traukiniui

Fig. 5. Changes in the temperature values of the axle-box of a freight wagon when the train is moving



6 pav. Elektrinio traukinio vagono ašidėžių temperatūrų reikšmių kitimas važiuojant traukiniui

Fig. 6. Changes in the temperature values of the axle-box of an electric multi-unit when the train is moving

Nagrinėjamos 83,2 km ilgio geležinkelio atkarpos kreivių susisteminti duomenys pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Nagrinėjamos geležinkelio atkarpos kreivių susisteminti duomenys

Table 1. Systematized data on the curves of the studied railway line

Kelio kreivės kryptis	Kelio kreivių skaičius	Vidutinis kreivės spindulys, m	Bendras kreivių ilgis, km	Vidutinė išorinio bėgio pakyla, mm
Dešinė	32	2066,5	15,4	45,9
Kairė	21	1458,7	12,8	59,8

Iš 1 lentelės matyti, kad nagrinėjamoje geležinkelio atkarpoje pagal traukinio važiavimo kryptį vyrauja dešinės pusės kreivės, o vidutinė išorinė bėgio pakyla yra didesnė esant kairės pusės kreivėms.

Nagrinėjamos geležinkelio atkarpos nuo pradinės stoties iki 1-mo RAKP kreivių nustatyti duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Nagrinėjamos geležinkelio atkarpos kelio kreivių duomenys nuo pradinės stoties iki 1-mo RAKP (31,7 km)

Table 2. Data on the curves of the studied railway track from the initial station to the first HBD (31.7 km)

Kreivės kryptis	Kreivių skaičius	Vidutinis kreivės spindulys, m	Bendras kreivių ilgis, km	Vidutinė išorinio bėgio pakyla, mm
Dešinė	14	1128,1	7,9	51,8
Kairė	13	1295,5	6,7	55,0

Iš 2 lentelės matyti, kad nagrinėjamoje kelio atkarpoje vyrauja dešinės krypties kreivės, tačiau kairės krypties kreivėse vidutinė išorinio bėgio pakyla didesnė 3,2 mm. Pagal 2 lentelės duomenis galima daryti prielaidą, kad nuo pradinės stoties iki 1-mo RAKP, važiuojant keleivinio

tipo riedmenims (keleivinio ir elektrinio traukinio vagonai) kreivėmis, kairės aširačio pusės ašidėžės temperatūra (žr. 3 ir 6 pav.) aukštesnė, nes kreivėse įcentrinė jėga F_h buvo didesnė nei išcentrinė jėga $F_{i\text{sc}}$. Vadinasi, kairės pusės aširačio kakliukas buvo veikiamas didesnės vertikalios apkrovos. Važiuojant prekinio tipo riedmenims, vieno aširačio ašidėžių temperatūros iki 1-mo RAKP vienodos (žr. 5 pav.), nes buvo užtikrinta jėgų atsvaros sąlyga $F_h = F_{i\text{sc}}$.

Nagrinėjamos geležinkelio atkarpos nuo 1-mo RAKP iki 2-ro RAKP kreivių nustatyti duomenys pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Nagrinėjamos geležinkelio atkarpos kelio kreivių duomenys nuo 1-mo RAKP iki 2-ro RAKP (30,2 km)

Table 3. Data on the curves of the studied railway track from the first HBD to the second HBD (30.2 km)

Kreivės kryptis	Kreivių skaičius	Vidutinis kreivės spindulys, m	Bendras kreivių ilgis, km	Vidutinė išorinio bėgio pakyla, mm
Dešinė	14	2938,4	5,8	37,1
Kairė	1	460,0	0,7	100,0

Iš 3 lentelės matyti, kad kelio atkarpoje vyrauja dešinės krypties kreivės. Darytina prielaida, kad riedmenims važiuojant nuo 1-mo RAKP iki 2-ro RAKP (žr. 3 ir 5 pav.) kairės pusės kakliuko temperatūra aukštesnė, nes kreivėse įcentrinė jėga F_h mažesnė nei išcentrinė jėga $F_{i\text{sc}}$. Vadinasi, aširačio kairės pusės kakliukas buvo veikiamas didesnės vertikalios apkrovos. Važiuojant elektriniam traukiniui, aširačio dešinės pusės ašidėžės temperatūra aukštesnė (žr. 6 pav.), nes kelio kreivėse įcentrinė jėga F_h didesnė negu išcentrinė jėga $F_{i\text{sc}}$. Taigi, aširačio dešinės pusės kakliukas buvo veikiamas didesnės vertikalios apkrovos.

Išvados

1. Autoriams atlikus tyrimą nustatyta, kad riedmenų važiavimo pasirinkta geležinkelio atkarpa vieno aširačio ašidėžių temperatūrų skirtumas neviršija leistinosios 20 °C reikšmės.
2. Natūriniais riedmenų ašidėžių kaitimo bandymais nustatyta, kad vieno aširačio ašidėžių temperatūrų skirtumą lemia traukinio važiavimo kelio kreivėmis greitis.
3. Tolesnių tyrimų metu numatyta matematiniais modeliais aprašyti geležinkelio kreivės spindulio, ilgio bei išorinio bėgio pakylas įtaką ašidėžių šilumokaitos proceso intensyvumui.
4. Sudarant ašidėžių liekamojo resurso prognozavimo algoritmą turėtų būti įvertinami ašidėžėse vykstantys šilumokaitos procesai dėl riedmenis veikiančių papildomų kvazistatinių apkrovų, važiuojant kelio kreivėmis.

Padėka

Šis darbas atliktas vykdant Europos socialinio fondo projektą „Transporto statinių, transporto priemonių ir jų srautų inovatyvių tyrimo metodų ir sprendimų kūrimas bei taikymas“, projekto kodas VP1-3.1-ŠMM-08-K-01-020.

Literatūra

- Lunys, O.; Bureika, G. 2013. Investigation of Heat-Exchange Processes in the Axle-Boxes of Electric Multi-Units [Elektrinių traukinių ašidėžių šilumokaitos procesų tyrimas], in *Transport Means – 2013: proceedings of the 17th international conference*, October 24–25, 2013, Kaunas University of Technology, Lithuania / Kaunas University of Technology, IFTOMM National Committee of Lithuania, SAE Lithuanian Branch, The Division of Technical Sciences of Lithuanian Academy of Sciences, Klaipėda University, Vilnius Gediminas Technical University. Kaunas: Technologija, 75–78. ISSN 1822-296X.
- Lunys, O.; Subačius, R. 2012. Riedmenų ašidėžių kaitimo temperatūrų kaitimo tendencijos [Analysis of tendencies towards changes in temperatures of railway vehicle axle-boxes], *Mokslas – Lietuvos ateitis: Statyba, transportas, aviacinės technologijos* 4(4): 361–365. Vilnius: Technika.
- Povilaitienė, I. 2004. *Geležinkelio vėžės geometrinių parametrų įtaka bėgių ilgaamžiškumui kreivėse*: daktaro disertacija [Influence of geometrical parameters of railway gauge upon rail durability on curves: doctoral thesis]. Vilnius. 109 p.
- Довбня, Н. П.; Бондаренко, Л. М.; Коренюк, Р. А. 2009. О величине работы на нагрев подшипников букс локомотивов и вагонов [The magnitude of the heating bearing axle boxes of locomotives and wagons], *Проблемы трибологии* 3: 16–17.
- Куценко, А. Н. Ж.; Савич, Ю. В.; Слуцкий, Д. С. 2005. Акустический тракт постовой системы ранней диагностики буксовых подшипников для обеспечения экологической безопасности движущихся поездов, *Известия ЮФУ. Технические науки*, 41–49.
- Маслиев, В. Г. 2009. Использование статистической теории распознавания для контроля букс системой БДС, *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті* 3: 59–62
- Миронов А. А.; Образцов, В. Л.; Соболев, В. Я.; Григорьев, К. В. 2005. Анализ опыта эксплуатации технических средств контроля ходовых частей подвижного состава в движущихся поездах, *Автоматика, связь, информатика* 3: 28–30.
- Миронов, А. А. 2008. Виртуальная модель бесконтактного теплового контроля буксовых узлов подвижного состава [Virtual model of the contactless thermal control axle-boxes units of a rolling-stock], *Транспорт Урала* 3(18): 59–65.
- Миронов, А. А. 2009. Имитационная модель функционирования аппаратуры теплового контроля буксовых узлов подвижного состава [The imitating model of functioning of the equipment the thermal control of axle-boxes], *Транспорт, наука, техника, управление*, 8–14.
- Миронов, А. А.; Образцов, В. Л.; Митюшев, В. С.; Салтыков, Д. Н. 2008. Тепловой контроль буксовых узлов инфракрасной оптикой [The thermal control axle-box units infra-red optics], *Локомотив* 4: 29–32.
- Скиба, И. Ф. 1973. *Вагоны*. Москва. Транспорт. 303 с.

HEATING PROCESSES OF THE AXLE-BOXES OF ROLLING-STOCK ON RAILWAY TRACK CURVES

O. Lunys, G. Bureika

Abstract

The article deals with the heating process of the axle-boxes of rolling stock when the train is in motion and discusses the forces acting on the wheel-set when rolling stock moves along the track curves. The paper analyses scientific publications relevant to the forces acting on the wheel-set of rolling stock and focuses on the axle-box heating process. The article also discusses the results of theoretical studies on wheel-set forces that affect the heat exchange process of axle-boxes for a railway vehicle. The research has determined a change in heating temperatures of different axle-boxes of rolling stock and reasons for their variations and tendencies. The paper has estimated an effect of the train running along the track curves on the heating intensity of the axle-box. Finally, valid conclusions and recommendations have been provided.

Keywords: radial and axial load, rolling friction, heat exchange process, hot axle-box detection, thermal diagnostics.