

RIEDMENŲ AŠIDĖŽIŲ KAITIMO TEMPERATŪRŲ KITIMO TENDENCIJŲ ANALIZĖ

Olegas Lunys¹, Rimantas Subačius²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹*o.lunys@litrail.lt*; ²*rimantas.subacius@vgtu.lt*

Santrauka. Nagrinėjama geležinkelio riedmenų ašidėžių kaitimo kitimas traukinio važiavimo ir stovėjimo metu, riedmenų krovumo ir metų laiko įtaka ašidėžei kaisti, neleistinai kaistančios ašidėžės liekamojo resurso prognozė, ašidėžės gedimo nustatymo galimybė pačioje gedimo atsiradimo pradžioje. Išanalizuota mokslinė literatūra, susijusi su riedmenų ašidėžių kaitimu, taip pat išanalizuoti atlikti eksperimentiniai ir teoriniai darbai. Tyrimo metu nustatytos ašidėžių darbinės ir kritinės riedmenų ašidėžių kaitimo temperatūros. Šių temperatūrų skaitines reikšmes pritaikius riedmenų automatinės kontrolės prietaisų algoritmui būtų galima aptikti ašidėžių gedimus, kol jie nepasiekė kritinės būklės, ir prognozuoti liekamąjį darbo resursą.

Reikšminiai žodžiai: ašidėžė, diferencinė temperatūra, riedmenų automatinės kontrolės prietaisai, kritinė temperatūra, liekamas resursas.

Įvadas

Riedmenų ašidėžės mazgas yra vienas iš svarbiausių riedmens sudedamųjų dalių, nuo kurio techninės būklės priklauso traukinių eismo sauga. Riedmenų ašidėžių techninė būklė tikrinama vizualiai stovint riedmenims stotyse, kuriose riedmenų techninę priežiūrą atliekantys darbuotojai traukiniui važiuojant tarpstočiuose būklę tikrina stacionariais riedmenų automatinės kontrolės prietaisais (toliau – RAKP).

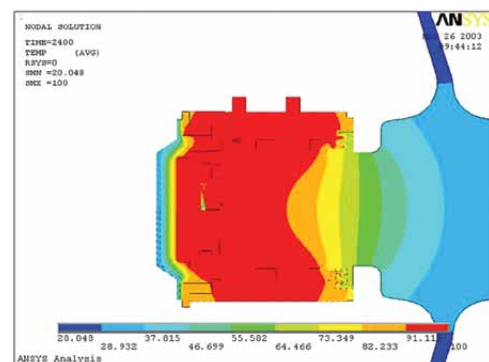
Vienas iš pagrindinių riedmens ašidėžės gedimo požymių – padidėjusi korpuso temperatūra. Techninę priežiūrą atliekantys darbuotojai ašidėžės gedimą nustato dviem pagrindiniais būdais: vizualiai pagal būdingus ašidėžės gedimo požymius (pasikeitusi ašidėžės korpuso spalva, ašidėžės korpusas pasislinkęs labirantinio žiedo atžvilgiu, kai vagone ant vienos iš ašidėžių nėra sniego ir pan.) ir liečiant ašidėžės korpuso viršutinę dalį ranka (kaitimas nustatomas lyginant su vagono kitų ašidėžių temperatūra).

Pastaraisiais metais riedmenų techninę priežiūrą atliekantys darbuotojai ašidėžių temperatūrai nustatyti papildomai naudoja bekontaktį nuotolinį infraraudonųjų spindulių termometrą. Traukinio važiavimo metu riedmenų ašidėžių temperatūra nustatoma infraraudoniesiems spinduliams atsispindint nuo ašidėžės korpuso. Iš esmės šie abu būdai turi vieną esminį trūkumą: ašidėžės gedimas nustatomas jau jam įvykus: RAKP važiuojančiame traukinyje riedmenų ašidėžių įkaitimas nustatomas tik padidėjus ašidėžių korpusų ir ašies kakliuko temperatūroms iki ribinių reikšmių, taip pat neatliekama riedmenų ašidėžių temperatūrų kitimo nuoseklaus stebėjimo geležinkelio linijoje, kuria važiuoja traukinys.

Šio darbo tikslas – išanalizuoti atliktus eksperimentinius ir teorinius tyrimus, susijusius su riedmenų ašidėžių temperatūrų nustatymu. Nustatyti riedmenų ašidėžių temperatūros kitimą važiuojant traukiniui geležinkelio linija nuo pradinės iki galinės stoties, pateikti tyrimo išvadas ir pasiūlymus RAKP tobulinti.

Literatūros šaltinių analizė

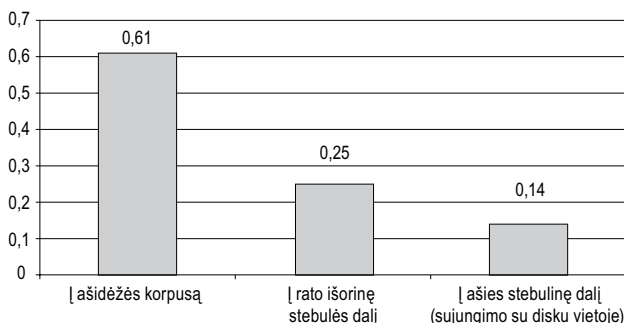
Mironovo daktaro disertacijos santraukoje (Миронов 2009) nagrinėjami šilumokaitos procesai, vykstantys riedmenų ašidėžėse, esant tam tikriems ašidėžių gedimams, atlikti teoriniai skaičiavimai, standiniai ir eksperimentiniai bandymai. Vienas iš bandymais gautų rezultatų – tai temperatūrų pasiskirstymas ašidėžėje ir aširačio elementuose (1 pav.).



1 pav. Temperatūrų pasiskirstymas ašidėžėje ir aširačio elementuose

Fig. 1. The distribution of temperatures in the axle-box and wheelset elements

Iš 1 pav. matoma, kad tikslingiausia ašidėžės įkaitį matuoti viršutinėje ašidėžės korpuso dalyje, nes įkaitio plotas viršuje apie 1/4 didesnis nei apatinėje dalyje. Tačiau dėl riedmenų konstrukcijos ypatumų ir įvairovės RAKP techniškai sudėtinga pritaikyti temperatūrai matuoti iš viršaus, be to, kai kurios riedmenų kėbulo konstrukcijos visiškai uždengia važiuoklę iš viršaus. Remdamasis atliktu eksperimentu autorius pateikia kaistančio guolio santykinės temperatūros perdavimo į aširačio elementus koeficientus (2 pav.).

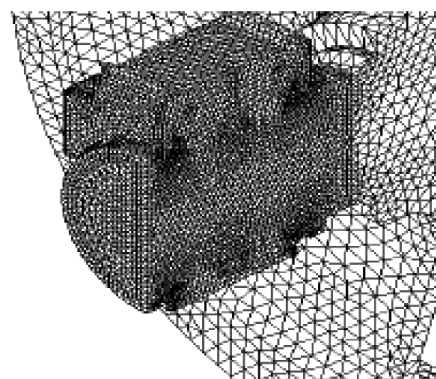


2 pav. Temperatūros perdavimo į aširačio elementus koeficientai
Fig. 2. Coefficients of temperature transfer to wheelset items

Remdamasis 2 pav., autorius teikia rekomendaciją, kad RAKP netikslinga matuoti ašies kakliuko įkaitio (tarp labirintinio žiedo ir rato stebulinės dalies), nes temperatūros perdavimo koeficientas lygus 0,25. Tačiau, atsižvelgiant į tai, kad daugumos lokomotyvų po ašidėžėmis yra tepalų surinkimo talpyklos, todėl RAKP tokių lokomotyvų ašidėžės įkaitimą galima nustatyti tik matuojant ašies kakliuko temperatūrą. Darbe pateikta išvada, kad ašidėžės įkaitimui taikyti absoliutinę temperatūrą yra netikslinga, nes esant aplinkos temperatūrai $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, ašidėžės perteklinė temperatūra yra 2–3 kartus didesnė nei esant aplinkos temperatūrai $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Autorius eksperimentiniais tyrimais įrodė, kad ašies kakliuko lūžimas gali įvykti nuvažiavus 25 km nuo guolio vidinio žiedo prasisukimo momento, todėl labai svarbu kelyje tinkamu atstumu išdėstyti RAKP. Šilumokaičio procesui tirti autorius taiko baigtinių elementų metodą ir pateikia ašidėžės mazgo geometrijos aproksimuotą modelį (3 pav.). Šilumos perdavimo tarp atskirų ašidėžės elementų lygtis turi tokį pavidalą (Mironov 2009):

$$\rho C \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{V\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = \{\ddot{q}\}, \quad (1)$$

čia: ρ – tūris; C – šiluminė talpa; T – temperatūra; t – laikas; $\{V\}$ – šilumos perdavimo greičio vektorius; $\{L\}$ – diferencijavimo operatoriaus; $\{q\}$ – šilumos srauto vektorius; $\{\ddot{q}\}$ – šilumos generacija tūrio vienetu. Lygtis matricos pavidalo būtų tokia:



3 pav. Ašidėžės mazgo aproksimacija baigtiniais elementais
Fig. 3. The approximation of the axle-box node in finite elements

$$[K]\{T\} + [C]\{\dot{T}\} = \{Q\}, \quad (2)$$

čia: $[K]$ – šilumos laidumo matrica; $[C]$ – vienetinių šiluminių talpų matrica; $\{T\}$ – mazgų temperatūra; $\{\dot{T}\}$ – temperatūros kitimo greitis; $\{Q\}$ – mazgo šilumos srauto vektorius.

Petuchov savo straipsnyje (Пetryхов 2010) nagrinėja ašidėžės liekamojo resurso prognozę. Pasak autoriaus, pagal ašidėžės temperatūros kitimo duomenis laike t galima atlikti trumpalaikę temperatūros kitimo prognozę laikotarpiu l . Funkcija $\hat{z}_t(l)$, kai $l = 1, 2, \dots$, yra vadinama visų ateities laikų prognozės funkcija momentu t . Tikslas – gauti prognozuojamą funkciją, kurios vidutinė kvadratinė nuokrypa $z_{t+l} - \hat{z}_t(l)$ būtų mažiausia prognozuojamame laike l . Laiko momentu t prognozės lygtys bus:

$$\begin{aligned} \hat{z}_t(1) &= 1,8z_t - 0,8z_{t-1}, \\ \hat{z}_t(2) &= 1,8\hat{z}_t(1) - 0,8z_t, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\hat{z}_t(l) = 1,8\hat{z}_t(l-1) - 0,8z_t(l-2), \text{ kai } l = 3, 4, 5, \dots$$

Atlikęs standinius bandymus, autorius nustatė prognozuojamąją ašidėžės temperatūrą 60 min. laikotarpiu esant $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ paklaidai.

Pankratov ir kt. straipsnyje (Понкратов, Чистяков 2008) akcentuoja monitoringo tikslingumą prognozuojant ašidėžės liekamąjį resursą. Autorius siūlo linijinio proceso dinaminį modelį, kurio rezultatai pateikiami duomenų išvesties įrenginiuose, pagal kuriuos priimamas atitinkamas sprendimas dėl leidimo traukiniui važiuoti toliau.

Mironov (2005) savo straipsnyje nagrinėja ašidėžės kaitimo kitimo greitį esant užstrigusiems ritinėliams ir prasisukus vidiniam guolio žiedui ant ašies kakliuko. Bandymais nustatyta, kad užstrigus guolių ritinėliams ašidėžės kaitimo kitimo greitis yra $1,07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, o prasisukus ant ašies kakliuko vidiniam žiedui – $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min.}$

Dažniausiai straipsniuose tiriamas ir aprašomas sugedusių guolių temperatūrų kitimas (Кудченко *et al.* 2005; Маслиев 2009; Миронов *et al.* 2008; Мironov 2006; Pavliukov *et al.* 2004).

Atliktų tyrimų metodika

Vagono ašidėžių temperatūrų kitimas traukiniui važiuojant nuo pradinės iki galinės stoties buvo analizuotas pagal RAKP postuose užfiksuotas ašidėžių temperatūras. Autorių nagrinėtos ašidėžių temperatūros tų riedmenų, kurie geležinkelio linija važiuo be sustojimų ir dėl tam tikrų priežasčių buvo sustabdyti tarpstočiuose. Riedmenų stovėjimo metu ašidėžių temperatūros buvo papildomai nustatytos bekontaktiniu nuotoliniu infraraudonųjų spindulių termometru (4 pav.).



4 pav. Bekontaktis nuotolinis infraraudonųjų spindulių termometras „Emsitest IR 8865“

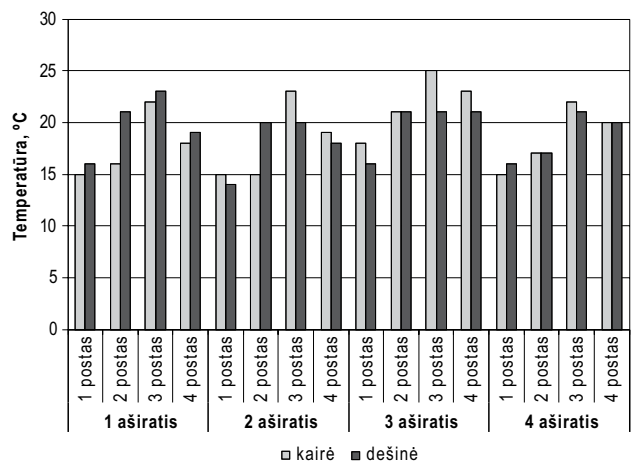
Fig. 4. Contactless remote infrared thermometer Emsitest IR 8865

Gauti tyrimų rezultatai

Pirmiausia buvo ištirta, kaip kinta riedmenų ašidėžių temperatūros per visą traukinio važiavimo maršrutą nuo pradinės iki galinės stoties (5 pav.). Važiavimo metu ašidėžės temperatūra keičiasi pagal eksponentę ir yra atsitiktinis dydis, kuris priklauso nuo daugelio veiksnių: aplinkos temperatūros, traukinio greičio ir kt. Kiekvienos ašidėžės šilumokaičio procesas įvyksta savaip.

Tyrimo metu nustatyta, kad ašidėžės darbinį įkaitį pasiekia, kai nuvažiuojama apie 50 km nuo pradinės stoties (esant vidutiniam traukinio važiavimo greičiui 60 km/h). Gauti rezultatai neatitinka Petuchovo straipsnyje (Петухов 2010) nurodyto atstumo 30–40 km. Galima daryti prielaidą, kad atstumų skirtumas galėjo atsirasti dėl to, kad straipsnyje aprašomi bandymai daryti ne realiomis sąlygomis, o bandymų stende ir matuotos ne ašidėžės korpuso, o guolio kaitimas.

Tyrimo metu nustatyta tendencija, kad tam tikroje kelelio atkarpoje riedmenų ašidėžių temperatūra iš kairės pusės pagal traukinio važiavimo kryptį (pietinę pusę) vidutiniškai



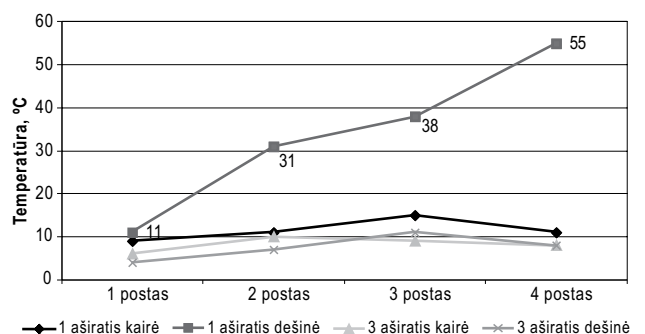
5 pav. Ašidėžių temperatūrų kitimas traukinio važiavimo metu (vidutinis traukinio važiavimo greitis 60 km/h)

Fig. 5. Variations in temperatures of the axle-box in the mode of a moving train (average train speed – 60 km/h)

yra 2–3 °C didesnė nei dešinės pusės (šiaurinė pusė), tačiau vėliau stebimas priešingas reiškinys: dešinės pusės ašidėžių temperatūra tampa vidutiniškai 1,5 °C didesnė nei kairės pusės. Šis reiškinys gali būti paaiškinamas tuo, kad ašidėžių temperatūrų skirtumą lemia tam tikros krypties kreivės, dominuojančios kelyje.

6 pav. matoma, kad riedmens trijų ašidėžių temperatūros kitimas per visą traukinio važiavimo maršrutą yra vienas, o vienos ašidėžės temperatūra tendencingai didėja. Šios ašidėžės temperatūros kitimo greitis sudarė 0,24 °C/min., kai to paties aširačio ašidėžės kairės pusės ir 3-iojo aširačio abiejų ašidėžių kitimo greitis buvo 0,04 °C/min.

Tyrimo metu nustatyta, kad dėl guolio išorinio žiedo įtrūkio ašidėžės temperatūros kitimo greitis sudarė 0,66 °C/min. Analizuojant ašidėžių temperatūrų kitimo greitį iškelta hipotezė, kad kiekvienas ašidėžės gedimas turi būdingą temperatūros kitimo greitį. Papildomai išsamiai ištyrus ašidėžių gedimų kitimo greičius realiomis sąlygomis

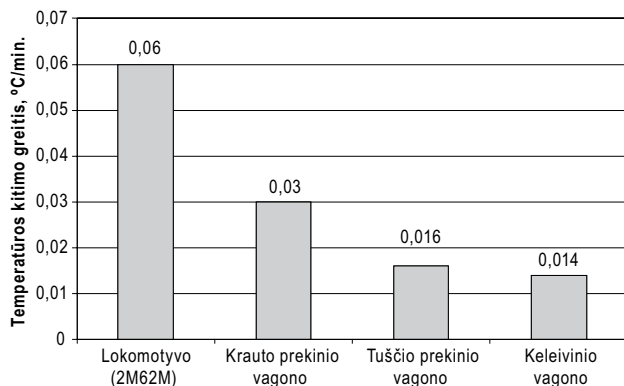


6 pav. Riedmens ašidėžių temperatūrų kitimas traukinio važiavimo metu

Fig. 6. Variations in temperatures of the axle-box in the mode of a moving train

ir susistemintus tyrimų rezultatus, įdiegus RAKP, būtų galima prognozuoti ne tik gedimą, bet ir gedimo kitimo pobūdį. Tikėtina, kad tam tikrų gedimų temperatūros kitimo greičiai gali sutapti, tačiau juos galima suskirstyti į stambesnius blokus (pvz., kitimo greitis, būdingas esant guolio vidinio ir išorinio žiedo gedimams, separatoriaus gedimams ir pan.).

Tyrimai atlikti realiomis sąlygomis esant įvairioms aplinkos temperatūroms ir nustatytas vidutinis riedmenų ašidėžių darbinio kaitimo intensyvumas (7 pav.). Nustatytas darbinio kaitimo greitis yra pagrindas sudarant ašidėžių liekamojo resurso iki ribinio įkaitimo prognozės algoritmą. Iš 6 pav. galima daryti išvadą, kad riedmens apkrova į ašį turi įtakos ašidėžės kaitimui ir kaitimo greičiui. Traukinio važiavimo metu (esant vienodoms aplinkos sąlygoms) pakrauto ir tuščio prekinio vagono ašidėžių temperatūros skirtumas yra 1,03 °C.



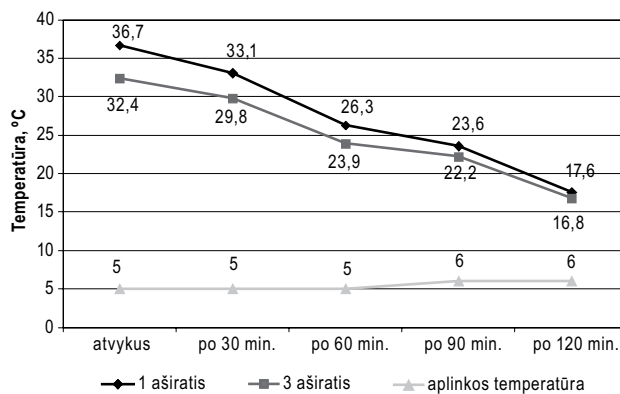
7 pav. Riedmenų ašidėžių darbinio kaitimo greitis °C/min. esant traukinio važiavimo greičiui 60 km/h

Fig. 7. Operating heating rate (°C/min.) of the axle-box at a driving speed of 60 km/h

Riedmenims stovint ašidėžių aušimo greitis priklauso nuo aplinkos temperatūros (8 pav.). Vidutiniškai po 90 min. nuo traukinio atvykimo visų ašidėžių temperatūra tampa vienoda, todėl sudėtinga nustatyti padidėjusią jų temperatūrą. Taigi atliekant sąstato prekinį vagonų techninę priežiūrą vėliau nei po 90 min., darbuotojai turi atkreipti ypatingą dėmesį į ašidėžių gedimus. Riedmenims stovint vidutinis ašidėžių aušimo greitis yra apie 7 °C/val. Kuo didesnė ašidėžės temperatūra, tuo didesnis temperatūros kritimo greitis (tyrimo metu nustatyta net iki 12,8 °C/val.).

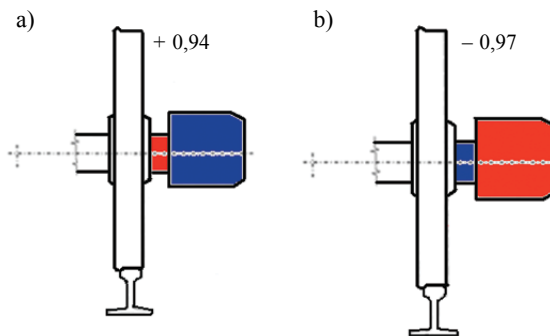
Dėl vėjo įtakos riedmens pirmojo aširačio (pagal traukinio važiavimo kryptį) ašidėžės temperatūra yra 1,29 °C mažesnė nei antrojo aširačio ašidėžės temperatūra. Pirmajame aširatyje ašies kakliuko temperatūra yra didesnė nei ašidėžės korpuso, o antrajame aširatyje ašidėžės korpuso temperatūra yra didesnė nei ašies kakliuko (9 pav.).

Temperatūros skirtumo koeficientas tarp ašidėžės korpuso viršutinės ir apatinės dalies yra 0,65.



8 pav. Riedmenims stovint ašidėžių temperatūros aušimo greitis, esant 5–6 °C aplinkos temperatūrai

Fig. 8. Cooling rate of the axle-box at an ambient temperature of 5–6 °C (vehicle is in the parking position)



9 pav. Temperatūrų skirtumų koeficientai tarp RAKP matuojamų aširačių elementų paviršių pirmajame aširatyje (a) ir antrajame aširatyje (b)

Fig. 9. Coefficients of differences in temperatures between the first wheel (a) and second wheel (b). Temperature was taken from the surface of the wheels applying hot axle box detectors

Pasitaiko tokių guolių gedimų, kurie pradinėje stadijoje gali ir nesukelti ašidėžių didesnės kaitimo, bet toliau gali kelti grėsmę saugiam traukiniu eismui (10 pav.).

Iš 10 pav. matyti, kad ašidėžės guolių tvirtinimo skridinio trys tvirtinimo varžtai yra nutraukti, o sulūžusio skridinio dalis laikosi tik ant vieno varžto. Atliekant vagonų techninę priežiūrą ašidėžės gedimas buvo nustatytas tik pagal išorinius ašidėžės gedimo požymius: tvirtinimo dangtelio išorinėje dalyje buvo 6 mm ilgio įtrūkis. RAKP šio gedimo neužfiksavo.

Ašidėžės darbo be gedimų tikimybė apskaičiuojama pagal formulę:

$$p(t) = \frac{N_o - n(t)}{N_o}, \quad (4)$$

čia: N_o – bendras ašidėžių skaičius bandymų pradžioje; $n(t)$ – sugedusių ašidėžių skaičius per laiką t .



10 pav. Ašidėžės guolių tvirtinimo pažeidimas
Fig. 10. A defect of the fastener of axle-box bearings

Išvados

Atlikus natūrinius ašidėžių kaitimo kitimo bandymus nustatyta, kad:

1. Ašidėžių darbinė temperatūra pasiekama nuvažiavus apie 50 km atstumą.
2. Vidutiniai darbiniai ašidėžių temperatūros kitimo greičiai:
 - lokomotyvo (2M62M) – 0,06 °C/min.;
 - krauto prekinio vagono – 0,03 °C/min.;
 - tuščio prekinio vagono – 0,016 °C/min.;
 - keleivinio vagono – 0,014 °C/min.
3. Nustatyti darbiniai ašidėžių temperatūros kitimo greičiai leidžia prognozuoti ašidėžių temperatūrą būsimiems 60 km su 0,2 °C paklaida (0,5 °C tiksliau, nei taikant Petuchovo metodą).
3. Vidutinis ašidėžės aušimo greitis – 7 °C/val.
4. Po 90 min. riedmens stovėjimo problemiška fiksuoti ašidėžių kaitimą. Todėl kaitimo patikra stotyse siekiant tikslesnių ir patikimesnių rezultatų turi būti atliekama kuo greičiau po sustojimo.
5. Skirtingi ašidėžės temperatūros kitimo greičiai leidžia daryti prielaidą, kad ašidėžėje galimi šie gedimai:
 - kaitimo greitis 0,66 °C/min. – galimas guolio išorinio žiedo gedimas;
 - kaitimo greitis 1,02 °C/min. – nepakankamas tepalo kiekis ašidėžėje;
 - kaitimo greitis 0,92 °C/min. – tepale yra vandens;
 - kaitimo greitis 0,82 °C/min. – galinio vidinio žiedo įtrūkis.
6. Vidutinis temperatūros skirtumas tarp prekinio vagono vežimėlio pirmojo ir antrojo aširačių (pagal traukinio judėjimo kryptį) ašidėžių yra 1,29 °C. Tai leidžia daryti prielaidą, kad skirtumas atsiranda dėl aušinimo sąlygų skirtumo.
7. Ašidėžių temperatūros skirtumo vidurkis tarp krauto ir tuščio prekinio vagono yra 1,03 °C.

8. Įdiegus sisteminių RAKP duomenų analizės algoritmą galima atlikti nuoseklų riedmenų stebėjimą geležinkelio linijoje ir anksčiau prognozuoti ašidėžių gedimus.

Atliekant tyrimą iškeltos hipotezės:

1. Ašidėžių temperatūrų skirtumą viename aširatyje gali lemti tam tikros krypties dominuojančios kelio kreivės.
2. Kiekvienas ašidėžės gedimas turi būdingą temperatūros kitimo greitį.

Literatūra

- 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, *Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті* 3: 59–62.
- Мионов, А. А. 2009. Имитационная модель функционирования аппаратуры теплового контроля буксовых узлов подвижного состава, *Транспорт, наука, техника, управление*, 8–14.
- Мионов, А. А. 2008. Виртуальная модель бесконтактного теплового контроля буксовых узлов подвижного состава, *Транспорт Урала* 3(18): 59–65.
- Мионов, А. А.; Образцов, В. Л.; Митюшев, В. С.; Салтыков, Д. Н. 2008. Тепловой контроль буксовых узлов инфракрасной оптикой, *Локомотив* 4: 29–32.
- Панкратов, Л. В.; Чистяков, С. Н. 2008. Мониторинг нагрева букс, *Автоматика, связь, информатика* 6: 23–25.
- Петухов, В. М. 2010. Прогнозирование остаточного ресурса буксы, *Збірник наукових праць ДонІЗТ* 21: 173–177.

ANALYSIS OF TENDENCIES TOWARDS CHANGES IN TEMPERATURES OF RAILWAY VEHICLE AXLE BOXES

O. Lunys, R. Subačius

Abstract

The paper analyzes variations in the temperature of axle-box heating of railroad rolling stock considering two modes of the train - driving and parking position. Additionally, the article describes the influence of the axle load and season on the heat of the axle-box, forecasts intolerable residual resources and explains a possibility of detecting likely breakage at the very beginning of defects. The paper also deals with scientific literature related to axle-box heating and focuses on the conducted practical and theoretical experiments. The carried out research has established the rates of operating heating and critical heating. The application of numerical values for the algorithm of automatic control devices could help with detecting the breakdowns of the axle-box before they reach a critical state and assist in forecasting residual operating resources.

Keywords: axle-box, automatic control devices, critical temperature, residual resources.