

ISSN 1407-8015

RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES
ZINĀTNISKIE RAKSTI

SCIENTIFIC PROCEEDINGS
OF RIGA TECHNICAL UNIVERSITY

6. SĒRIJA

MAŠĪNZINĀTNE UN TRANSPORTS
TRANSPORT AND ENGINEERING

Dzelzceļa transports
Railway Transport

32. SĒJUMS

IZDEVNIECĪBA "RTU", RĪGA 2009

<http://www.bcentr.com>

SATURS

Priekšvārds	3
Sergejeva L., Mikulovs I., Nikolajevs A. <i>Intelektuāla e-studiju sistēma ultraskaņas kontroles speciālistu sagatavošanai atestācijai un sertifikācijai</i>	8
Boiko A., Balckars P., Auziņš J., Meļņikovs A. <i>Remonta stiprinājumu efektivitātes vērtējums cisternvagona fasonķepu zonā</i>	12
Sladkowski A. <i>Dzelzceļa konteineru pārvadājumu problēmas starp Eiropu un Āziju</i>	18
Griščenko M. <i>Siltupārejas procesu modelēšana dīzeļlokomotīves vilces elektromotora enkurā un kolektorā</i>	24
Marenič A. <i>Ritošā sastāva elektromagnētisko iekārtu darba spēju paaugstināšana</i>	31
Babianskaite A., Bazaras Ž. <i>Konteineru noliktava ar automatizētu uzglabāšanas/ielādes atgriešanas sistēmu</i>	34
Bazaras Ž., Timofeev B., Vasiljeva N. <i>Tvaika ģeneratoru PGV-1000 kolektoru bojājumu analīze</i>	37
Makaras R., Sapragonas J., Dzerkelis V., Dargužis A. <i>Mobilo transporta līdzekļu ar hibrīda piedziņu degvielas patēriņa analīze</i>	41
Somov D., Bazaras Ž., Žukauskaite O. <i>Riteņu atjaunošanas metožu pielietošanas racionālie nosacījumi</i>	46
Popovs V. <i>Noslogoto sliežu vibrāciju spektri</i>	49
Popovs V., Balckars P., Baranovskis A. <i>Dzelzceļa satiksmes trokšņa emisijas aprēķina metožu novērtēšana</i>	51
Bučinskas V., Bureika G., Subāčius R. <i>Biodīzeļdegvielas un dīzeļdegvielas dažas īpatnības</i>	58
Bureika G. <i>Kravas vagonu parka struktūras optimizācijas problēmas</i>	62
Skrebutene E. <i>Kravu pārvadājumu rādītāju aprēķināšanas metodes pielietošana iecirknī Rīga-Ventspils</i>	66
Skrebutene E. <i>Kravu pārvadājumu efektivitātes ekonomiskais aspekts iekšzemes satiksmē</i>	71
Skrebutene E. <i>Informācijas tehnoloģiju izmantošana kravu pārvadājumu efektivitātes noteikšanai</i>	76

Mihailovs F., Pečerska J. <i>Algoritma izstrāde automatizētai vilcienu formēšanai</i>	79
Mors-Jaroslavcevs A., Levčenkova A. <i>Elektriskā dzelzceļa vadības mākslīgo imūno sistēmu modelēšana</i>	82
Uteševs I., Levčenkova A. <i>Vilciena mērķbremzēšanas sistēma izmantojot GPS tīklu</i>	87
Alps I., Gorobecs M., Levčenkova A. <i>Daudzstadiju sarakstu algoritms intelektuālās elektriskā transporta sistēmām</i>	92
Gorobecs M., Levčenkova A. <i>Neironu tīklu kontrolēšanas algoritms elektriskā sliežu transporta sistēmās</i>	100
Sergejevs D., Sergejevs A., Gavrilovs P. <i>Kravas vagonu dinamika šķirošanas uzkalna bremsēšanas pozīcijā</i>	108
Mezītis M., Kamenevs O. <i>Mikroprocesora un releju vadības sistēmu interfeisu izstrādei primāro aspektu noteikšana</i>	111
Popovs V., Balckars P., Baranovskis A. <i>Dzelzceļa ritošā sastāva trokšņa līmeņu eksperimentālie pētījumi</i>	117
Ļapšins K. <i>Vagona virsbūves lieces svārstību raksturlielumu vērtējums pēc gaitas izmēģinājumu rezultātiem</i>	122
Boldirevs J. <i>Aviodzinēju atteižu cēloņu statistiskā analīze</i>	129

Vagona virsbūves lieces svārstību raksturlielumu vērtējums pēc gaitas izmēģinājumu rezultātiem

Konstantīns Ļapšins

Rīgas Tehniskā universitāte, Dzelzceļa transporta institūts (Rīga, Latvija)

konstantins.lapsins@rtu.lv

Atslēgas vārdi: aprēķinu shēma, kustības vienādojumi, modelēšana, signālu apstrāde, identifikācijas modeļi, lieces pašsvārstības, pirmā frekvence

Anotācija - Elektrovilciena ER2_T motorvagona lieces garenisko svārstību aprēķinu shēma, modelēšanai SIMULINK, ir attēlota, kā masīva viendabīga sija ar diskretām un sakoncentrētām masām. Aprēķina shēmai kopumā ir septiņas brīvības pakāpes, divas katros ratiņos (lēkšošana un lēkāšana), un trīs virsbūvē (lēkšošana, lēkāšana un lieces spēks). Vagons kustās ar ātrumu V , par tā sākuma svārstības nosacījumiem pieņemti nulles nosacījumi. Elektrovilciena ER2_T motorvagona svārstību vienādojumi sastādīti nepatrauktā laikā, kā kustības diferenciālvienādojumi ar Lagranžā otrās kārtas vienādojumu palīdzību pēc sistēmas potenciālās un kinētiskās enerģijas un izkliedes funkcijas. Modelēšanas rezultātu signālu filtrācijai izmantota laikā diskreta analīze, pielietojot Veivletu teoriju. Pēc aprēķina signālu apstrādes virsbūves lieces svārstību pirmā toņa pašsvārstību frekvences, virsbūves pašsvārstību frekvenču, ratiņu lēkšošanas un lēkāšanas frekvenču lielumu novērtēšana veikta ar četriem lineārās regresijas modeļiem pēc vidējiem kvadrātiskiem kritērijiem ar pārēju no diskreta pie nepārtraukta modeļa Matlab programmas vidē. Pēc tam tika analizēti katra modeļa novērtēšanas rezultāti un izdarīts secinājums par apstrādes metodikas kļūdu.

Ievads

Motorvagonu ritošā sastāva nepieciešamā gaitas plūdenuma nodrošināšanai tās virsbūves pirmajai lieces svārstību pašsvārstību frekvencei (vertikālā plaknē) pie vislielākās pasažieru ietilpības un tukšā stāvoklī jābūt ne mazākajai par 8 Hz un 10 Hz, nepieciešams arī, lai virsbūves lieces svārstību frekvences būtu lielākas par ratiņu pašsvārstību frekvencēm ne mazāk par 40%. Virsbūves lieces svārstību pirmo pašsvārstību frekvenci var noteikt, kā stacionāros izmēģinājumos (ar triecienu - vibrācijas paņēmieni, tādu, ka „nomēšana no ķīļa”, ar svārstību ierosināšanu, pielietojot vibratorus, ar triecienu ierosināšanu utt.), tā gaitas izmēģinājumos – pēc paātrinājumu maksimuma virsbūves vidusdaļā uz signālu spektrālā blīvuma, pēc dinamisko procesu analīzes un apstrādes.

Taču tā nav korekta pieeja, jo ne vienmēr var viennozīmīgi saistīt paātrinājumu maksimumu virsbūves vidusdaļā tikai ar virsbūves lieces svārstībām. Šī iemesla dēļ nepieciešams izstrādāt korektāku identifikācijas metodi, kura ļaus pēc vagona gaitas

izmēģinājumu rezultātiem, vai pēc maksimāli pietuvinātas vagonam (gaitas izmēģinājumos) aprēķinu shēmas novērtēt, tā virsbūves lieces svārstību pirmo pašsvārstību frekvenci.

Rakstā virsbūves lieces svārstību pirmās pašsvārstību frekvences novērtēšana, pielietojot identifikācijas metodi, veikta izmantojot maksimāli pietuvināto gaitas izmēģinājumiem vagona aprēķina shēmu ar mērījumiem virsbūves vidusdaļā, tālākai metodes pielietošanai motorvagonu ritošā sastāva gaitas izmēģinājumu rezultātu apstrādei. Praktiskais identifikācijas uzdevums ir plašāks, jo izmantojot šo identifikācijas metodi var novērtēt ne tikai virsbūves lieces svārstību pirmo pašsvārstību frekvenci, bet arī virsbūves un ratiņu lēkāšanas un lēkšošanas pašsvārstību frekvences.

Aprēķinu shēmas izvēle

Pie vagona aprēķinu shēmas izvēles tika izskatītas trīs grupas modes: modālā analīze un sintēze; virsbūves aizvietošana ar ekvivalento siju ievērojot diskretus ieslēgumus; virsbūves modelis, kā plakana vai telpiski elastīga struktūra ar diskretiem masīviem ieslēgumiem.

Par pirmās grupas metodes svarīgo elementu tiek uzskatīta informācija par pašsvārstību frekvencēm un konstrukcijas formu, pie tam sarežģītai telpiskai struktūrai tā var būt iegūta tikai no eksperimenta vai galīgo – elementu metodes aprēķina. Ja tiek ņemta vērā ne tikai virsbūves konstrukcija, bet arī tās saites ar ratiņiem, tad jāveic papildus aprēķinus un eksperimentus, tāpēc, ka saites iespaido svārstību frekvences, un formas, kā rezultātā aprēķins kļūst sarežģīts.

Otras grupas metodes ir visizplatītākās vienkāršības un precizitātes dēļ. To trūkumi ir saistīti ar sarežģītu ekvivalentas sijas parametru noteikšanu, kā arī ir grūti ievērot virsbūves konstrukcijas izmaiņas.

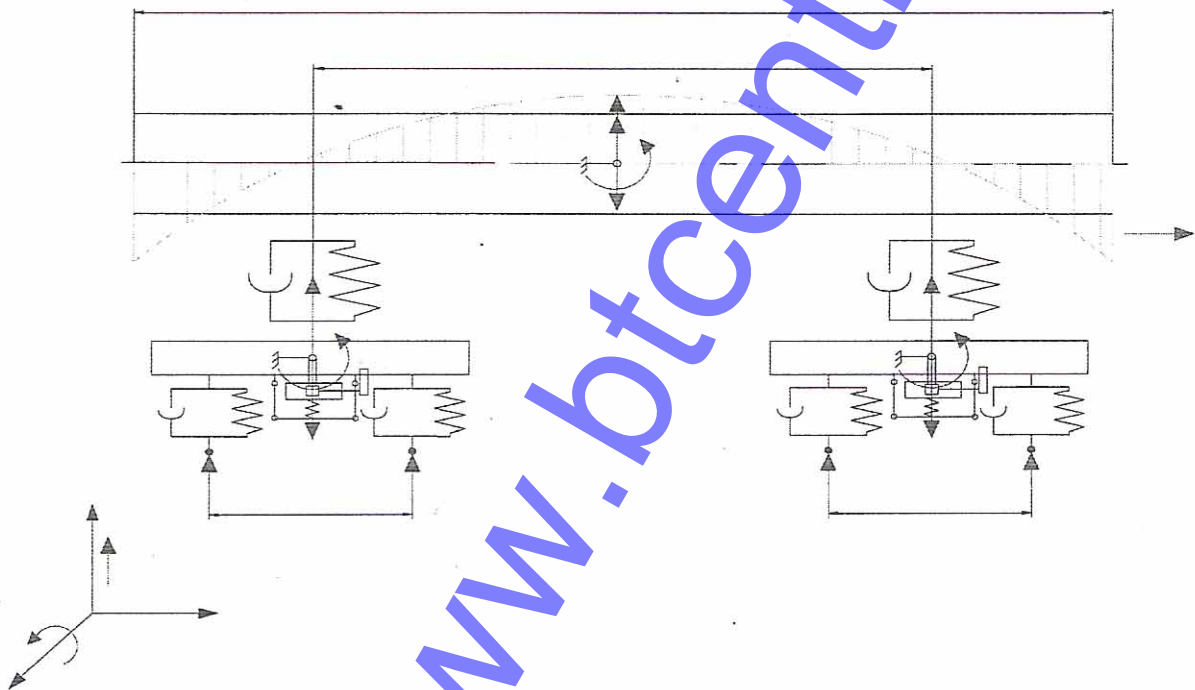
Trešās grupas metodes vislielā mērā atspēko virsbūves konstrukciju, tiem ir daudz dažādu konkrētu realizāciju, kuras atspēko aprēķinu shēmu daudzveidību. Piemēram, var būt izmantota stieņu aproksimācija, virsbūves aproksimācija, kā krokota apvalka vai galīgo elementu

pieeja, šīs metodes, sarežģītības dēļ, pamatā izmanto modālai analīzei. Modālo sintēzi veic frekvenču zonā un tā tiek sarežģīta ar neproporcionālo slāpēšanu.

Rakstā priekšroka dota otras grupas metodēm, tāpēc, ka šīm metodēm ir liela precizitāte un tos var izmantot kopā ar citām frekvenču analīzes metodēm. Izmantojot šīs metodes ir iespējams viegli iegūt amplitūdas un frekvenču raksturojumus, izejas signālu spektrālo blīvumu un aprēķinu rezultātus var viegli apskatīt un salīdzināt ar gaitas izmēģinājumu rezultātiem.

Tātad, pielietojot otrās grupas metodes elektrovilciena ER2_T motorvagona lieces garenisko svārstību aprēķinu shēma, modelēšanai SIMULINK (1.att.), ir attēlota, kā masīva viendabīga sija ar diskrētām un sakoncentrētām masām, elastīga virsbūves ass, kā sijas ar vienmērīgi sadalīto masu lineārā nedeformētā

stāvoklī iet caur to šķēlumu masas centriem, kuri ir simetriski attiecībā pret lieces plakni, sijas šķērspārvietojumi perpendikulāri pret to garenisko nedeformēto asi, reģenerējošie spēki sija proporcionāli tās deformācijai. Sijas iekšējo berzi var aprakstīt, saskaņā ar Sorokina hipotēzi, tā balstās uz diviem motorvagona ratiņiem. Riteņpāru saites (garenvirzienā) pieņemtas par absolūti stingrām un pārvietojas bez atrašanās no sliedēm. Ierosinājums no sliežu ceļa ir profesora Kudrjavceva determinēts periodiskais ierosinājums (1), kurš atspēko sliežu ceļa cietības samazinājumu salaiduma zonās un nedaudz apraksta trieciena procesus, kuri rodas braucot pa salaidumiem ar dažādiem ātrumiem, tā amplitūdas ievēro ieliekumus posma vidū, kopumā tās labi apraksta izlieces izmaiņas pa visu sliežu ceļa posmu.



1.att. Elektrovilciena ER2_T motorvagona aprēķinu shēma
Fig.1. Electric train ER2_T motor car calculation scheme

Ierosinājumi no labās un kreisās sliedes ir vienādi, kas ļauj apskatīt plaknes svārstības [1].

$$u(t) = - \left[A_1 \sin \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi V}{L} \cdot t \right) + A_2 \sin \frac{3}{2} \left(\frac{2\pi V}{L} \cdot t \right) \right] \quad (1)$$

kur A_1 - vienvirsotnes nelīdzenuma harmonikas amplitūda;

A_2 - divu virsotņu nelīdzenuma harmonikas amplitūda;

V - kustības ātrums;

L - ceļa posma garums;

t - kustības laiks.

Aprēķina shēmai kopumā ir septiņas brīvības pakāpes, divas katros ratiņos (lēkšošana un lēkāšana), un trīs virsbūvē (lēkšošana, lēkāšana un lieces spēks). Vagons kustās ar ātrumu V , par tā sākuma svārstības nosacījumiem pieņemti nulles nosacījumi.

Aprēķinu algoritms

Elektrovilciena ER2_T motorvagona svārstību vienādojumi (1-7) sastādīti nepatrauktā laikā, kā

kustības diferenciālvienādojumi ar Lagranžā otrās kārtas vienādojumu palīdzību pēc sistēmas potenciālās un kinētiskās enerģijas un izkļedes funkcijas:

$$\ddot{q}_1 = \frac{1}{m_t} \begin{pmatrix} B_2 \cdot (\dot{q}_5 - \dot{q}_6 \cdot K_8 - \dot{q}_1 + \dot{q}_7 \cdot K_1) + \\ + C_2 \cdot (q_5 - q_6 \cdot K_8 - q_1 + q_7 \cdot K_1) + \\ + B_1 \cdot (-2\dot{q}_1 + \dot{u}_1 + \dot{u}_2) + \\ + C_1 \cdot (-2q_1 + u_1 + u_2) \end{pmatrix} \quad (2)$$

kur m_t - ratiņu masa;

B_2 - slāpēšana centrālā piekare;

C_2 - centrālās piekares stingrums uz ratiņiem;

B_1 - slāpēšana bukšu piekarē;

C_1 - bukšu piekares stingrums;

u_i - sliežu ceļa ierosinājums (nelīdzenums);

\dot{u}_i - sliežu ceļa ierosinājuma (nelīdzenuma)

pirmais atvasinājums;

q_i - vispārinātas koordinātes;

\dot{q}_i - vispārinātie ātrumi;

\ddot{q}_i - vispārinātie paātrinājumi.

$$\ddot{q}_2 = \frac{K_7}{I_t} \begin{pmatrix} B_1 \cdot (-2\dot{q}_2 \cdot K_7 - \dot{u}_1 + \dot{u}_2) + \\ + C_1 \cdot (-2q_2 \cdot K_7 - u_1 + u_2) \end{pmatrix} \quad (3)$$

kur I_t - ratiņu inerces moments.

$$\ddot{q}_3 = \frac{1}{m_t} \begin{pmatrix} B_2 \cdot (\dot{q}_5 + \dot{q}_6 \cdot K_8 - \dot{q}_3 + \dot{q}_7 \cdot K_1) + \\ + C_2 \cdot (q_5 + q_6 \cdot K_8 - q_3 + q_7 \cdot K_1) + \\ + B_1 \cdot (-2\dot{q}_3 + \dot{u}_3 + \dot{u}_4) + \\ + C_1 \cdot (-2q_3 + u_3 + u_4) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\ddot{q}_4 = \frac{K_7}{I_t} \begin{pmatrix} B_1 \cdot (-2\dot{q}_4 \cdot K_7 - \dot{u}_3 + \dot{u}_4) + \\ + C_1 \cdot (-2q_4 \cdot K_7 - u_3 + u_4) \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\ddot{q}_5 = \frac{1}{m_1} \begin{pmatrix} B_2 \cdot (-2\dot{q}_5 + \dot{q}_1 - 2\dot{q}_7 \cdot K_1 + \dot{q}_3) + \\ + C_2 \cdot (-2q_5 + q_1 - 2q_7 \cdot K_1 + q_3) \end{pmatrix} \quad (6)$$

kur m_1 - virsbūves pilnā masa.

$$\ddot{q}_6 = \frac{K_8}{I_1} \begin{pmatrix} B_2 \cdot (-2\dot{q}_6 \cdot K_8 - \dot{q}_1 + \dot{q}_3) + \\ + C_2 \cdot (-2q_6 \cdot K_8 - q_1 + q_3) \end{pmatrix} \quad (7)$$

kur I_1 - virsbūves inerces moments.

$$\ddot{q}_7 = \frac{1}{p \cdot K_3} \begin{pmatrix} B_2 K_1 \cdot (-2\dot{q}_5 + \dot{q}_1 - 2\dot{q}_7 \cdot K_1 + \dot{q}_3) - \\ - 2B_{tp} h_k^2 K_8^2 \dot{q}_7 - EI \dot{q}_7 K_2 + \\ + C_2 K_1 \cdot (-2q_5 + q_1 - 2q_7 \cdot K_1 + q_3) - \\ - 2C_{tp} h_k^2 K_8^2 q_7 - EI q_7 K_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

kur p - virsbūves masa uz 1 metra garumu;

B_{tp} - centrālās piekares pavadiņa slāpēšana;

C_{tp} - centrālās piekares pavadiņa gareniskais stingrums uz ratiņiem;

h_k - pavadiņu stiprinošo punktu nosacītais augstums pie balsteņa, attiecībā pret virsbūves viduslīniju;

EI - virsbūves lieces stingrums.

Vienādojumos koeficienti K_i ir zināmi un izteikti caur lieces funkcijas integrāļiem.

Mērījumos nenosākama sistēmas vektora parametru un vērtību novērtēšanai SIMULINK tiek izmantota starpību shēma, veicot otrās kārtas diferenciālvienādojumu sistēmas pārveidošanu pirmās kārtas diferenciālvienādojumu sistēmā. Vienādojumu sistēmas risināšana tiek veikta integrēšanas ceļā [2].

Aprēķina rezultāti SIMULINK

Aprēķinu rezultāti SIMULINK programmā apkopoti 1.tabulā., bet modelēšanā iegūtais aprēķinu sistēmas koordināšu otrā atvasinājuma grafiskais attēlojums ir 2.att.

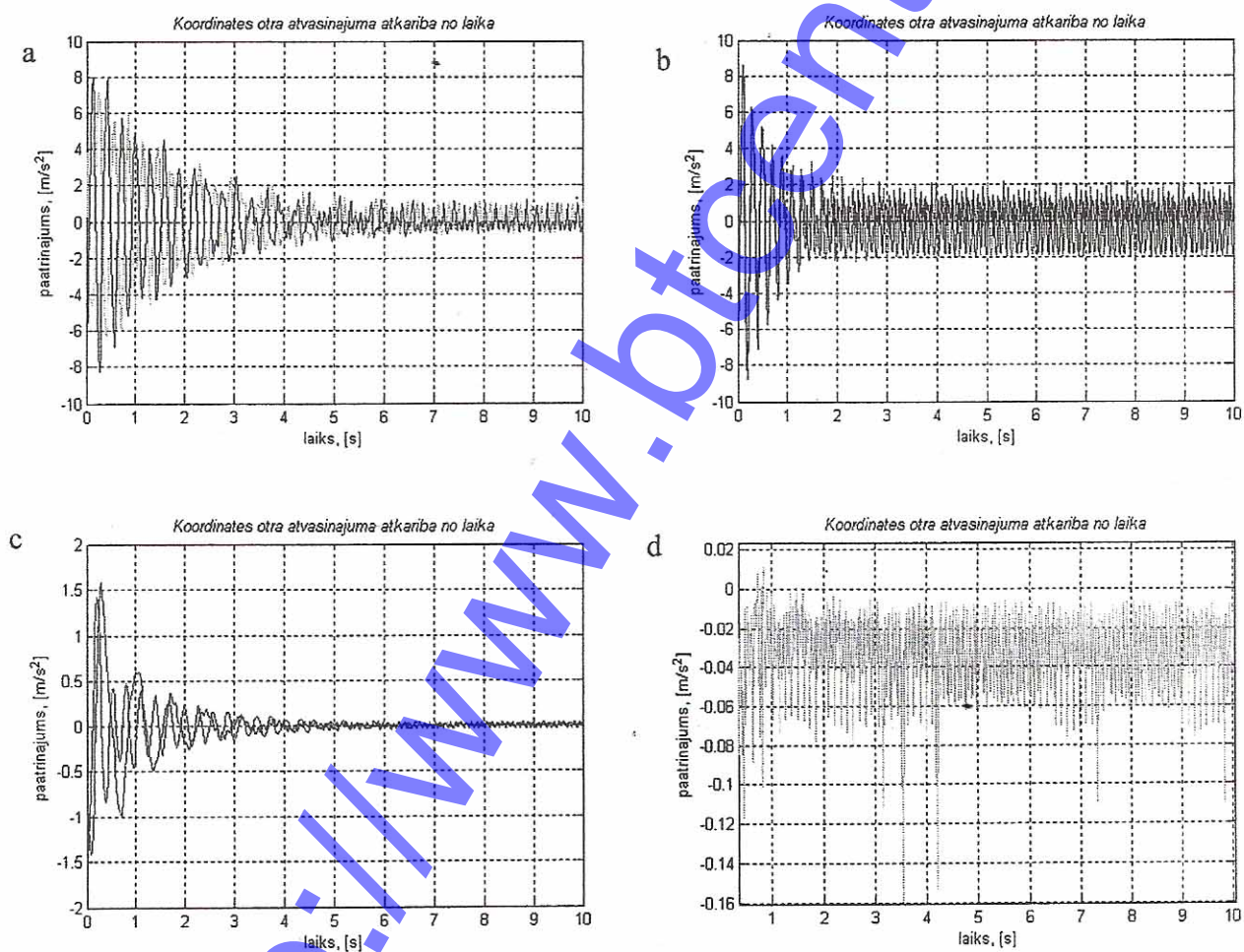
Signāla apstrāde

Pie elektrovilciena ER2_T motorvagona modelēšanas rezultātu apstrādes signāla filtrācijai var izmantot laikā diskreto analīzi, pielietojot Veivletu teoriju.

Izmantojot Veivletu teoriju (signāla filtrācijai) sākumā nosaka signāla maksimālo sadalīšanas līmeni [3], izmantojot Matlab funkciju (9):

Vienādojumu aprēķinu rezultāti SIMULINK
Equation calculation results in SIMULINK

Koord.	Maks., m	Koord. pirmais atvasinājums	Maks., m/s	Koord. otrais atvasinājums	Maks., m/s ²
q_1	0,03	\dot{q}_1	0,36	\ddot{q}_1	7,10
q_2	0,01	\dot{q}_2	0,26	\ddot{q}_2	9,88
q_3	0,03	\dot{q}_3	0,39	\ddot{q}_3	8,20
q_4	0,01	\dot{q}_4	0,28	\ddot{q}_4	9,88
q_5	0,02	\dot{q}_5	0,17	\ddot{q}_5	1,58
q_6	0,01	\dot{q}_6	0,11	\ddot{q}_6	1,52
q_7	0,01	\dot{q}_7	0,02	\ddot{q}_7	64,40



2.att. Sistēmas koordināšu otrā atvasinājuma grafiskais attēlojums
Fig.2. System coordinates second derivative graphical representation

a – \ddot{q}_1 un \ddot{q}_3 ; b – \ddot{q}_2 un \ddot{q}_4 ; c – \ddot{q}_5 un \ddot{q}_6 ; d – \ddot{q}_7

$$N = w \max \text{lev}(S, 'wname') \quad (9)$$

kur S - signāla sadalīšanas līmenis;

$wname$ - veivleta funkcijas nosaukums.

Funkcija (9) nosaka maksimāli iespējamo signāla sadalīšanas līmeni, pie kam sadalīšanas dziļumu realizē ar veivleta – funkciju.

Pēc (9) pielietošanas tiek izmantota funkcija (10), kura realizē vairāku līmeņu diskreto datu sadalīšanu, izmantojot veivleta – funkciju.

$$[C, L] = \text{wavedec}(x, N, 'wname') \quad (10)$$

kur x – sadalīšanas dati;

C, L – koeficientu vektori.

Pie tam funkcija (10) atgriez vektoru „C”, kurš satur sadalīšanas koeficientus un vektoru „L” katrs no kura elementiem nosaka attiecīgo tam sadalīšanas skaitu „N” līmeņos.

Funkcija (11) veic aproksimācijas koeficientu un signāla detalizāciju apstrādi, un atgriez koeficientu vektoru „M”.

$$M = \text{wthcoef}('d', C, L, T) \quad (11)$$

kur d – nosaka koeficientu tipu, kuri tiek pakļauti apstrādei;

T – nosaka līmeņu numurus, kuri tiek apstrādāti.

Pēc (11) realizē vairāku līmeņu viendimensijas reducēšanu [4] ar funkciju (12):

$$K = \text{waverec}(C, L, 'wname') \quad (12)$$

Identifikācijas metodes

Pēc aprēķina signāla apstrādes novērtēt virsbūves lieces svārstību pirmā toņa pāšsvārstību frekvences, virsbūves pāšsvārstību frekvenču, ratiņu lēkšošanas un lēkāšanas frekvenču lielumus var ar četriem lineārās regresijas modeļiem pēc vidējiem kvadrātiskiem kritērijiem ar pārēju no diskreta pie nepārtraukta modeļa Matlab programmas vidē.

Vienkāršs ieejas – izejas ekvivalents tiek aprakstīts ar vienādojumu [5]:

$$A(z)y(t) = B(z)u(t) + e(t) \quad (13)$$

kur $y(t)$ - modeļa izeja;

$u(t)$ - modeļa ieeja;

$A(z)$ un $B(z)$ - polinomi, kuri tiek noteikti ar sekojošiem izteicieniem:

$$A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na} \quad (14)$$

$$B(z) = b_1 + b_2 z^{-1} + \dots + b_{nb} z^{-nb+1} \quad (15)$$

Baltais troksnis $e(t)$ iekļaut vienādojumā (13), kā tā tieša kļūda, bet polinomi $A(z)$ un $B(z)$ ir vienādojuma regulējamie parametri. Dotais modelis tiek saukts par ARX – modeli, kur kombinācija AR attiecas pie autoregresīvas daļas $A(z)y(t)$, bet simbols X apzīmē papildus ieejas signālu $B(z)u(t)$. No fiziskā viedokļa modelis ARX, nav pats dabiskākais; tas paredz, ka pirms signāls izveidosies uz sistēmas izejas, balta trokšņa signāls dinamiski pārveidosies caur sistēmas saucēju. Lielākai daļai vienādojuma kļūdas modeļiem ir viena svarīga īpašība, kura arī nosaka tā pirmatnējo nozīmi vairākiem pielietojumiem: pareģojums tiek novests pie lineārās regresijas.

Galvenais vienkārša modeļa (13) trūkums ir tas, ka nevar pietiekoši brīvi izvēlēties traucējuma īpašību aprakstu. Elastības pakāpi var palielināt, ja aprakstītu vienādojuma kļūdu, kā balta trokšņa vidējo slīdošo. Tas noved pie sekojošā modeļa:

$$A(z)y(t) = B(z)u(t - n_k) + C(z)e(t) \quad (16)$$

kur n_k - aizkavēšanas (novēlojuma) lielums;

$C(z)$ - polinoms, kurš tiek izteikts ar vienādojumu:

$$C(z) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots + c_{nc} z^{-nc} \quad (17)$$

Ēj vidējā slīdošā locekļa $C(z)e(t)$, modeli (16) sauc par ARMAX modeli, autoregresija ar vidējo slīdošo un ārējo ieejas signālu. Šī modeļa paredzēšana tiek attiecināta pie signālu u un y filtrācijas caur dinamisko posmu ar pārnese funkcijas saucēju $C(z)$.

Ja pieļaut, ka sakarība starp ieejas signālu un izejas signālu bez trokšņa var būt attēlota ar vienādojumu un, ka traucējums ir mērījumu baltais troksnis, tad var iegūt sekojošo modeļa aprakstu:

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)} u(t - n_k) + e(t) \quad (18)$$

kur $F(z)$ - polinoms, kurš tiek izteikts ar izteiksmi:

$$F(z) = 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_{nf} z^{-nf} \quad (19)$$

Modelis (18) ir izejas kļūdas modelis un tiek apzīmēts ar OE. Modelī no fiziskā viedokļa vērojama dabiskāka pārnese funkciju neatkarīga parametrizācija. Modelī IV4 tiek izmantota instrumentālā mainīgā četrpakāpju metode ARX modeļa novērtēšanai.

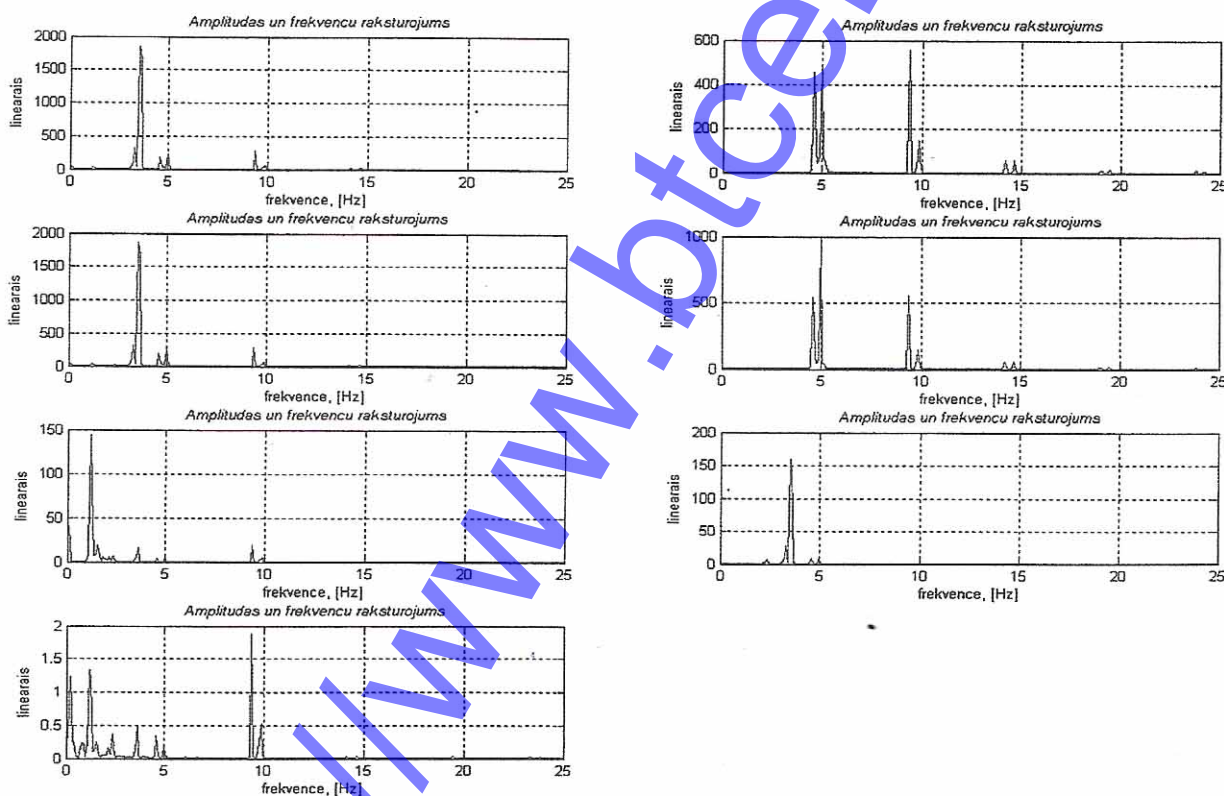
Identifikācijas rezultāti

Ēlektroviļciēna ERZ_T motorvagona aprēķinu sistēmas signālu novērtēšanas rezultāti ar parametriskās novērtēšanas funkcijām (ARX, ARMAX, OE un IV4) apkopoti 2.tabulā:

Aprēķina signālu novērtēšanas rezultāts
Calculation signals estimation result

Koordināte	Procedūras	F _{paš.} [Hz]	Koordināte	Procedūras	F _{paš.} [Hz]
q ₁	ARX*	3,56	q ₄	IV4*	5,03
	ARMAX*	3,61		OE*	5,15
	IV4*	3,51	q ₅	ARX*	1,25
	OE*	3,54		ARMAX*	1,31
IV4*	5,10	IV4*		1,21	
q ₂	ARX*	5,10	OE*	1,25	
	ARMAX*	5,15	q ₆	ARX*	3,65
	IV4*	5,03		ARMAX*	3,61
OE*	5,07	IV4*		3,57	
q ₃	ARX*	3,60	q ₇	OE*	3,59
	ARMAX*	3,51		ARX*	9,40
	IV4*	3,57		ARMAX*	9,45
	OE*	3,53		IV4*	9,37
q ₄	ARX*	5,02	OE*	9,36	
	ARMAX*	5,07			

* aprēķinā tika pieņemta polinomu otra kārtā.



3.att. Aprēķinu signālu (pārvietojumu) frekvenču un amplitūdas raksturojumi

Fig.3. Calculation signals (displacements) amplitude-frequency response

a – q₁; b – q₂; c – q₃; d – q₄; e – q₅; f – q₆; g – q₇

Virsbūves lieces svārstību pirmā pāšsvārstību frekvence noteikta pēc formulas (19):

$$F_{\text{paš.}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{\text{red.}}}{m_{\text{red.}}}} \quad (20)$$

kur $c_{\text{red.}}$ - reducēta cietība;

$m_{\text{red.}}$ - reducēta masa.

Aprēķinu signālu (pārvietojumu) amplitūdas un frekvenču raksturojumi attēloti 3.att.

Secinājumi

1. Pēc aprēķinu rezultātu analīzes (2.tabula) var secināt, ka elektrovilciens ER2_T motorvagona virsbūves lieces svārstību pirmā toņa pāšsvārstību frekvence vertikālā plaknē ir lielāka par 8 Hz un izpildīts nosacījums, ka tai jābūt lielākajai par ratiņu lēkšošanas un lēkāšanas frekvencēm ne mazāk par 40%, kas atbilst normatīvām prasībām.

2. Analizējot iegūtos rezultātus var secināt, ka rakstā aprakstīto signālu apstrādes algoritmu var izmantot motorvagonu ritošā sastāva gaitas izmēģinājumu rezultātu apstrādei.

Autoregresijas modeļu pielietošana aprēķina signālu apstrādei parāda labus rezultātus, dažādu modeļu aprēķina rezultāti praktiski sakrīt. Metodes apstrādes kļūda nepārsniedz 3-4 %.

3. SIMULINK modelēšanas rezultātus var izmantot, lai veiktu elektrovilciens ER2 virsbūves konstrukcijas uzlabošanas pasākumus, pirms reālo izmēģinājumu veikšanas līdz ar to samazināt līdzekļus izmēģinājumu veikšanai pirms nodošanas ekspluatācijā.

4. Pētījums īpaši aktuāls šobrīd, kad tiek modernizēts VA/S „Latvijas dzelzceļš” Pasāžieru vilciens piederošais ritošais sastāvs un ir nepieciešams noteikt modernizēto vagonu pirmo lieces pāšsvārstību frekvenci, tās palielināšana uzlabos komfortabluma un drošuma līmeni, kas ir ļoti aktuāls izstrādājot jaunās paaudzes pasažieru vagonus.

Literatūra

- [1] Вершинский С., Данилов В. Динамика вагонов. – Москва: Транспорт, 1978. – 350 с.
- [2] Дьяконов В. MATLAB 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6 в математике и моделировании. – Москва: Солон-Пресс, 2005. – 576 с.
- [3] Izmēģinājuma matemātiskā vietne [Elektroniskais resurss] / Kompānijas Softlane konsultācijas Matlab centrs, 2009. – <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book1/5/wmaxlev.php>. – Resurss aprakstīts 2009.g. 20.nov.
- [4] Izmēģinājuma matemātiskā vietne [Elektroniskais resurss] / Kompānijas Softlane konsultācijas Matlab centrs, 2009. – <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book1/5/waverec.php>. – Resurss aprakstīts 2009.g. 20.nov.
- [5] Льюнг Л. Идентификации систем теория пользователя. – М.: Наука, 1991. – 430 с.

Lyapshin K. Estimation of characteristics of bending oscillations of carriage body by results of running test

The calculation scheme of bending longitudinal vibrations of motor carriage of electric train ER2_T, for modeling in SIMULINK, is presented, as a massive homogeneous beam with the discrete and concentrated masses. Calculation scheme has seven degrees of freedom, two in each bogie (jumping and galloping), and three in body (jumping, galloping and bending force). Carriage moves with speed V, for his initial conditions of vibrations take on zero values. Equations of vibrations of motor carriage of electric train ER2_T made in continuous time, as differential equations of motion by means of equations of second kind of

Lagrange on potential and kinetic energy and dispersion function. For a filtration of modelling signals discrete time analysis with application of the theory Wavelet is used. After processing of calculation signals estimation of sizes of frequencies of the first tone of own frequency of bending oscillations, own frequencies of a body and frequencies of jumping and galloping of bogies conducted by four models of linear regression by average quadratic criteria with transition from discrete to continuous model. After that was carried out each model estimation results analyses and did conclusions about processing methods error.

Ляпшин К. Оценка характеристик изгибных колебаний кузова вагона по результатам ходовых испытаний.

Расчетная схема изгибных продольных колебаний моторного вагона электропоезда ЭР2_T, для моделирования в SIMULINK, представлена, как массивная однородная балка с дискретными и сконцентрированными массами. Расчетная схема имеет семь степеней свободы, две в каждой тележке (подпрыгивание и голопирование), и три в кузове (подпрыгивание, голопирование и изгибная сила). Вагон движется со скоростью V, за его начальные условия колебаний приняты нулевые значения. Уравнения колебаний моторного вагона электропоезда ЭР2_T составлены в непрерывном времени, как дифференциальные уравнения движения с помощью уравнений второго рода Лагранжа по потенциальной и кинетической энергии и функции рассеивания. Для фильтрации сигналов моделирования использован дискретный временной анализ с применением теории Вейвлетов. После обработки расчетных сигналов оценка величин частот первого тона собственной частоты, изгибных колебаний, собственных частот кузова и частот подпрыгивания и голопирования тележек проведена четырьмя моделями линейной регрессии по средним квадратическим критериям с переходом от дискретной к непрерывной модели. После этого анализировались результаты оценки каждой модели, и был сделан вывод об ошибке методики обработки.