



## ENERGINIŲ IŠTEKLIŲ IŠSAUGOJIMAS GELEŽINKELIO TRANSPORTE, TOBULINANT ŠILUMVEŽIŲ DYZELIŲ EKSPLOATAVINIS KURO SUVARTOJIMO CHARAKTERISTIKAS

Sergejus Lebedevas

*Klaipėdos universitetas, Jūreivystės institutas  
I. Kanto g. 7, LT - 5799 Klaipėda, Lietuva  
Tel/Fax: (370 6 410197). E-mail: L\_Sergejus@mail.ru*

*[teikta 2001 09 10; parengta 2001 12 19]*

**Santrauka.** Nagrinėjamas energinių išteklių išsaugojimo geležinkelių transporte kompleksinis sprendimas optimizuojant šilumvežių dyzelių reguliavimo ir apkrovos režimus įgyvendinant sukurta informacinės technologijos, kontrolės ir normavimo specializuotą ESM programinę įrangą valdymo ir techninio aptarnavimo infrastruktūrose. Pagrįstas dyzelino ekonomijos efektas labiausiai eksploatuojamam Lietuvoje M62 (2M62) lokomotyvų parkui, siekiantis nuo 6% iki 8%.

**Raktažodžiai:** energinių išteklių išsaugojimas, šilumvežio dyzelis, ESM normavimo ir kontrolės sistemos.

### 1. Įvadas

Transporto įmonės darbo rentabilumas iš esmės priklauso nuo energetinių resursų išsaugojimo klausimų teigiamo sprendimo, kadangi jiems skiriama didelė dalis biudžeto išlaidų. Geležinkelio transportas charakterizuojamas didelių lokomotyvų parkų koncentracija visos šalies teritorijoje ir pačių didžiausių krovinių ir keleivių pervežimu. Todėl energetinių resursų išsaugojimo klausimai geležinkelio transporte įgauna taip pat ir strateginį pobūdį. Racionalus jų sprendimo būdas apima eksploatuojamos technikos charakteristikų tobulinimo klausimus, energijos resursų suvartojimo normavimą ir kontrolę.

Lietuvos Respublikos geležinkelio transporto energijos resursų ekonomija, atsižvelgiant į eksploatuojamų lokomotyvų parkų struktūrą, susijusi su dyzelinio kuro suvartojimo mažinimu šilumvežiuose. Kartu operatyvią kontrolę ir kuro sąnaudų perspektyvų planavimą, taip pat ir regiono sistemose, apsunkina didelis skaičius normų sudarymo faktorių, sunkiai nustatomų eksploatacijos sąlygomis. Remiantis dyzelių efektyvumo ir ekonomiškumo eksploatacinių rodiklių gerinimo patirtimi, siūlomas vienas iš kompleksinių šio klausimo sprendimo būdų, apimantis: eksploatuojamų dyzelių konstrukcinių-reguliavimo parametrų optimizaciją; dyzelių apkrovos ciklo racionalios struktūros nustatymą darbui šilumvežiuose; kuro išteklių normavimo ir planavimo informacinės-technologinės lokalinės bazės sukūrimą programinio komplekso ESM tinklo pavidalu.

Tai visiškai atitinka geležinkelio transporto plėtros tendencijas [1–3]. Tarptautinės geležinkelių tarybos UIC (*International Union of Railways*) strateginės plėtros

kryptis sutampa su tarptautinių geležinkelio tinklų vientisa realizacija, kai intensyviai didėja pervežimų apimtys [1]. Pavyzdžiui, SRA (*Strategic Rail Authority*) duomenimis [2], Didžiosios Britanijos geležinkelių frachto srautas per paskutinius šešerius metus padidėjo ~ 45% nuo 13 iki 19 milijonų tkm. Todėl saugumui, kokybei ir efektyvumui užtikrinti tarp regioninių pervežimų pervežimų numatytas vientiso standarto taikymas visų pirma ryšiams, normavimui ir kontrolei naudojant elektronines sistemas [1]. Svarbiausia vidinė regioninė užduotis – traukinio techninių charakteristikų tobulinimas. Jo sprendimas, įskaitant esantį ekonomikos potencialą, jungia tiek atnaujinimą, tiek lokomotyvų eksploatuojamo parko modernizaciją. Pastaroji ypač aktuali šalims su perrekonstruojama ekonomikos struktūra, iš dalies ir Lietuvai. Pavyzdžiui, Brazilijoje 45% frachto padidėjimas per trejus metus pasiektas eksploatuojamo 10÷20 metų amžiaus lokomotyvų parko modernizavimo fone.

Šiuo metu geležinkelio transporto sistemoje vykdomas strateginio modeliavimo ir tobulinimo darbų kompleksas [1, 2, 4, 5]. Nagrinėjamos priemonės, autoriaus nuomone, galėtų būti kaip pagrindas vienam iš jų struktūrinių komponentui arba posistemii. Be to, darbo taikomasis pobūdis užtikrina jo realizacijos tikslingumą tam tikros įmonės struktūroje ir praktiškai jau yra parengtas įdiegimui. Techniniai ir metodiniai sprendimai neapsiriboja vien geležinkelio transportu. Šiek tiek patikslintas metodas gali būti pritaikytas jūrų bei automobilių transporte. Šie patikslinimai susiję su objektų – dyzelių galios vartotojų techninėmis charakteristikomis, taip pat su jų parkų valdymo struktūros ypatybėmis.

## 2. Pagrindiniai faktoriai kuro suvartojimo normoms nustatyti

Kuro energetinių išteklių (KEI) suvartojimo normos struktūrą atspindi lokomotyvo traukos išraiška [6]:

$$N_u = \frac{A_T}{Q\eta_{ln}} \left[ K_x \bar{b}_x \cdot \frac{N_n}{V} + \frac{K_{tp} - K_x \bar{b}_x}{367,2} \cdot (P+Q)(\omega_0 + i) \right], (1)$$

$N_u$  – energijos nešiklio pradinė techninė norma, kW·h, arba sąlyginio kuro kilogramai 10 000 tkm bruto vienetai;

$A_T$  – traukos indeksas: elektros traukai – 10 000, šilumos traukai – 843 arba 1222,4 kuro sunaudojimui atitinkamai natūraliais arba sąlyginiais vienetais matuoti;

$Q$  – traukinio vagonų svoris, t;

$\eta_{ln}$  – nominalus lokomotyvo naudingojo veikimo koeficientas;

$N_n$  – nominali lokomotyvo liečiamoji galia, kW;

$V$  – vidutinis techninis greitis, km/h;

$\bar{b}_x$  – energijos nešiklio santykinis kuro suvartojimas dirbant tuščiaja eiga, lygus ( $B_x$ ) – tuščiojo ir ( $B_n$ ) nominalaus režimo valandinio kuro suvartojimo santykis:

$$\bar{b}_x = \frac{B_x}{B_n},$$

$K_x$  – lokomotyvo pagalbinių vartotojų galios naudojimo koeficientas dirbant tuščiaja eiga;

$K_{tp}$  – lokomotyvo techninės padėties koeficientas, lygus faktiniam ir lokomotyvo techninio paso valandinio kuro sunaudojimo santykiui dirbant nominaliu režimu;

$P$  – lokomotyvo svoris, t;

$w_0$  – santykinis pagrindinis pasipriešinimas traukinio judėjimui, kg/t, nustatomas pagal formulę:

$w_0 = (P \cdot w'_0 + Q \cdot w''_0) / (P + Q)$ , kur:  $w'_0$ ,  $w''_0$  – lokomotyvo ir vagonų pagrindiniai specifiniai pasipriešinimai, nustatomi empirinėmis lygtimis funkcijoje pagal traukinio judėjimo greičio, kelių ir vagonų technines charakteristikas;  $i$  – papildomas nuolydžio specifinis pasipriešinimas, % arba kg/t.

Normų nustatymo faktoriai apima parametrus, nuo kurių pagal (1) lygtį priklauso techninė norma  $N_u$ . Papildomai įskaitomi ir faktoriai, kurie, nors ir neįeina į (1) lygtį, bet turi nemažai įtakos  $N_u$ : greičio koeficientas kelio dalyje, aplinkos temperatūra, lokomotyvų parkų struktūra ir kt.

Analizei tikslinga iš didelių (1) priklausomybe sunkiai nustatomų praktikoje faktorių skaičiaus išskirti dominuojančius ir ypač svarbu išskirti tiesiogiai susijusius su šilumvežių dyzelių techninėmis charakteristikomis. Tai bus racionalių krypčių nustatymo pagrindas gerinant eksploatacinį kuro suvartojimą ir kartu normuojant ir kontroliuojant energetinius resursus geležinkelio transporto sistemoje.

Pagal (1) lygtį  $N_u$  dydis sudaromas iš dviejų dalių: kuro suvartojimo pagalbinių vartotojų darbui užtikrinti

(šaldymo sistemos ventiliatoriui; pagalbiniais generatoriams; kompresoriui ir kt.) ir kuro suvartojimo traukinio  $Q$  svorio  $V$  techniniu greičiu judėjimui (dešinėsios dalies antrasis narys). Abi (1) lygties dalis sudauginus iš daugiklio  $\frac{Q}{A_T}$  dešinėsios dalies pirmasis narys išreiškiamas kaip  $K_x \bar{b}_x N_n = (0,5 + 1,0) \cdot \frac{B_x}{B_n} \cdot \frac{B_n}{b_n} = \frac{B_{pag}}{b_n}$ . Jis rodo pagalbinių agregatų kuro suvartojimą, atitinkantį specifinio kuro suvartojimo vieneta dirbant nominaliosios galios režimu  $N_n$  ( $b_n = B_n / N_n$ , kg/(kW·h)). Dešinėsios dalies antrasis narys po  $\eta_{ln}^{-1}$  ikėlimo į skliaustelius ir padauginus iš ( $N_n / N_n$ ) išreiškiamas taip:

$$V \cdot \frac{1}{\eta_{ln}} \cdot \frac{(K_{tb} - K_x \bar{b}_x)}{367,2} (P+Q)(\omega_0 + i) = \left[ \frac{B_n^f}{B_n} - (0,5 + 1,0) \frac{B_x}{B_n} \right] \frac{1}{367,2} \cdot \frac{V(P+Q)(\omega_0 + i)}{\eta_{ln}} \cdot \frac{N_n}{N_n}. (2)$$

$\frac{V(P+Q)(\omega_0 + i)}{\eta_{ln}}$  daugiklis, pažymėtas  $N_v$ , atitinka dyzelio

galia, sunaudojamą traukiniui judėti, kai  $w_0$  – pasipriešinimas judėjimui ir  $\eta_{ln}$  – lokomotyvo naudingojo veikimo koeficientas (NVK). Analogiškai koeficientui  $K_x$  santykio koeficientas ( $N_v / N_n$ ) =  $K_v$  pavadintas dyzelio nominaliosios galios traukinio judėjimui naudojimo koeficientu. Išraiškos (2) pirmasis daugiklis yra ne kas kitas, kaip dyzelio valandinis kuro suvartojimas judėjimui  $B_v$ , padalytas iš  $B_n$ . Po pakeitimo  $B_v / B_n = b_v$  gaunama:

$$\frac{N_u Q V}{A_T} \sim (B_{pag} + K_v B_v) / b_n. (3)$$

Išraiška (3) rodo sąlyginio kuro suvartojimo valandinę normą. Realiai kuro sunaudojimo normai gauti (3) lygtis dauginama iš dyzelio specifinio efektinio kuro suvartojimo  $b_n$ , kuris pagal pradinę sąlygą imamas pastovus visame dyzelio šilumvežio darbo režimų lauke:

$$\frac{N_u \cdot Q \cdot V \cdot b_n}{A_T} \sim (B_{pag} + K_v \cdot b_v \cdot N_v) (4)$$

Taigi pagal (4) struktūrą šilumvežių dyzelių eksploatacinių parkų energetinių resursų ekonomijos rezervai susiję su  $b_v$  ir  $N_v$  mažinimu.

Eksploatacijos sąlygomis  $b_v$  ir  $N_v$  rodo vidutinius eksploatacinius dydžius:

$$b_v = \frac{\sum_{i=1}^n b_{vi} \cdot N_{vi} \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^n N_{vi} \cdot \tau_i}, (5)$$

$$N_v = \sum_{i=1}^n N_{vi} \cdot \tau_i, (6)$$

$b_{vi}$ ;  $N_{vi}$  – parametrų atitinkamos reikšmės dirbant  $i$ -tuoju eksploatacijos režimu (šilumvežio valdymo sistemos kontrolerio pozicija);  $\tau_i$  – santykinė darbo trukmė dirbant  $i$ -tuoju režimu. Dyzelio  $b_v$  mažinimas dirbant eksploataciniais režimais užtikrinamas dviem būdais: pirmasis – indikatorinio proceso tobulinimu; antrasis – dyzelio apkrovos diapazono racionalios struktūros pasirinkimu, t. y. kai kuro ekonomiškumas yra kiek galima didesnis, o  $N_v$  pagal išvykos duotų techninių parametrų sąlygas – kuo mažesnis.

Tuo remiantis tolesnei analizei pasirinkti kuro ekonomiško gerinimo ir šilumvežio dyzelio eksploatacinio apkrovos ciklo racionalios struktūros pasirinkimo klausimai.

### 3. Dyzelio specifinio kuro suvartojimo rodiklių padidinimas

Esant nustatytoms gamintojo garantijos sąlygoms pagerinti dyzelio specifinį kuro suvartojimą eksploatuojančių įmonių pastangomis praktiškai neįmanoma. Dyzelio komplektacija, jo sistemų ir agregatų reguliavimo leistinus diapazonus, darbo režimų leistiną lauką reglamentuoja griežti eksploatacinės techninės dokumentacijos reikalavimai ir garantinių išpareigojimų sąlygos. Eksploatuojant dyzelius, kurių amžius yra didesnis, nei numatyta gamintojo garantijose, daugiausia sunkumų kyla užtikrinant modernizuojamų mazgų konstrukcijos unifikaciją ir tuo pat metu detalių šiluminių ir mechaninių įtempimų leistiną lygį. Jau nebegaminamiems dyzelių modeliams tai dažnai galima realizuoti tik lokalizuojant eksploatacinių režimų lauką pagal realų dyzelio apkrovimą objekte – galios vartotojuje, taip pat atrankinio reguliavimo ir dalinio dyzelio komplektavimo sezoniniam darbui „žiema – vasara“ būdu.

Šiame darbe taikant šiuolaikinius matematinius ESM modeliavimo metodus, įvertintas  $b_v$  mažinimo efektyvumas, keičiant didelio slėgio kuro siurblio (ASKS) plunžerių komplektaciją ir optimizuojant antrosios pakopos pripūtimo sistemos agregato parametrus. Tyrimo objektas buvo dyzelis 12ДН23/30 (įmonės gamintojos markė – 14Д40Y2), naudojamas masiškai eksploatuojamuose parko M62 (2M62) tipo šilumvežiuose. ASKS plunžerių konstrukcijų pakeitimo prasmė susijusi su dyzelio indikatorinio proceso dinaminėmis charakteristikomis atrankiniu formavimu. Dinaminės charakteristikos turi didelės įtakos kuro ekonomiškumui. Dyzelyje 14Д40Y2 oro pripūtimo sistemoje nėra tarpinio oro aušintuvo, kuris naudojamas dyzeliuose, norint stabilizuoti oro temperatūrą prieš cilindrą nepriklausomai nuo aplinkos oro temperatūros  $T_0$ , todėl dyzelio darbas neigiamoje  $T_0$  („žiemos periodas“) sukelia indikatorinio proceso dinaminės rodiklių padidėjimą ir  $b_v$  sumažėjimą. „Vasaros“ periodu teigiamoje  $T_0$ , atvirkščiai, – būdingas kuro ekonomiško pablogėjimas. Kadangi Lietuvos Respublikoje dominuoja santykinai šilti orai, ekonomiškai efektyvus  $b_v$  techninės priemonės pritaikymas priklausomai nuo  $T_0$ . Tai pasiekama reguliuojant dyzelio indikatorinio proceso dinaminės charakteristikas arba cilindro užpylimą

oru. Šiuo atveju optimizuojama oro pripūtimo temperatūra arba oro pertekliaus koeficiento reikšmė. Vienas iš techniškai paprastesnių būdų kompensuoti neigiamą  $T_0$  didėjimo įtaką  $b_v$  yra kuro padavimo fazės optimizacija, kuri pasiekama ASKS reguliavimo arba plunžerių konstrukcijos modernizavimo būdais. Dyzelio detalių mechaniniai ir šiluminiai įtempimai yra maksimalūs varikliui dirbant nominalios galios režimu. Esant daliniams apkrovos režimams jie daug mažesni. Tokiu atveju su kuro ekonomiško didinimu susijusių detalių mechaninių ir šiluminių įtempimų padidėjimas, esant vidutinės apkrovos režimams, nėra kritinis dyzelio darbo patikimumui. Modernizuotų plunžerių ir optimizuotos kuro įpurškimo fazės panaudojimas vienu metu yra racionalus, didžiąją laiko dalį dyzelį eksploatuojant nominalios galios režimu, kai valandinis kuro suvartojimas yra maksimalus, vadinas, maksimali bus ir jo ekonomija.

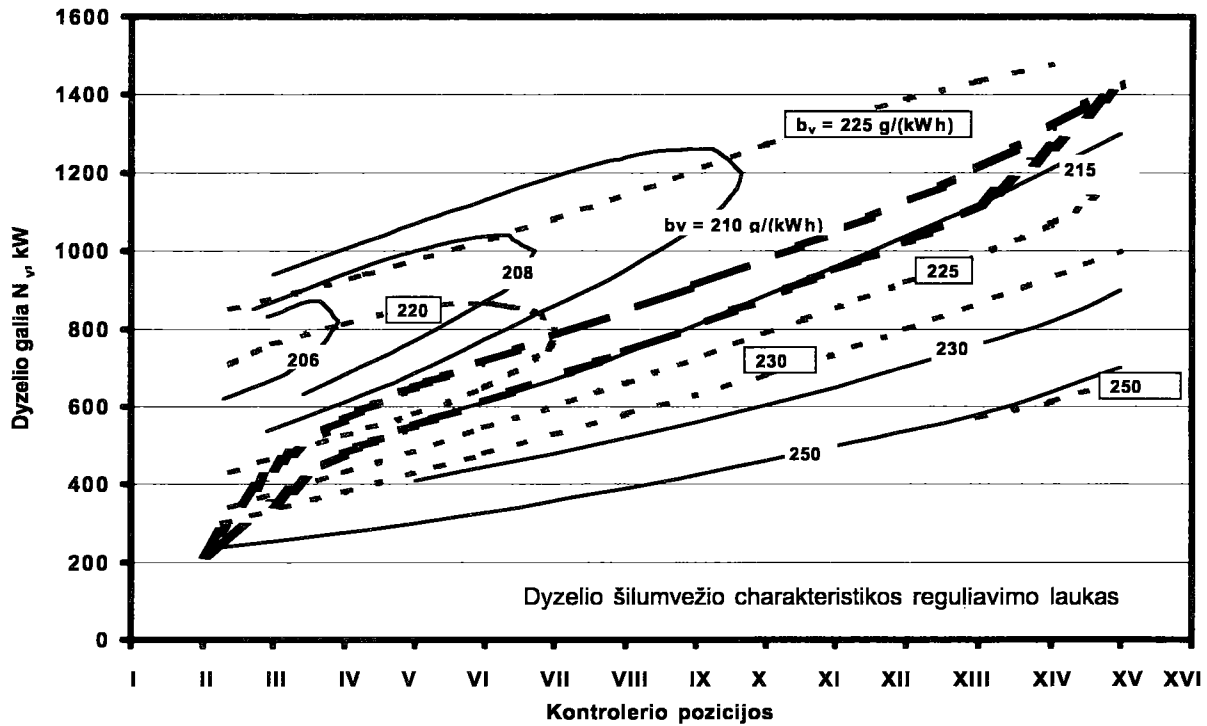
1 paveiksle parodyta ESM sumodeliuota universali dyzelio 14Д40Y2 charakteristika  $b_v$  izolinių ( $b_v = \text{const}$ ) pavidalu, skirta eksploatacijos sezonams „žiema – vasara“ ( $T_0$  yra atitinkamai – 20°C ir + 25°C).  $T_0$  padidėjimas „vasaros“ periodu susijęs su kuro ekonomiško pablogėjimu esant 5÷10 g/(kW·h), arba apytikriai 2,5÷5,0% esant vidutinės apkrovos režimams. Sezoninis ASKS komplektavimas dviejų tipų plunžerimis leidžia pagerinti  $b_v$  „vasaros“ periodu 3÷7 g/(kW·h), arba ~ 1,5÷3,5% (žr. 2 pav.). Laukiamas metinis efektyvumas įvertinamas atitinkamai 1,0÷2,5%. Detalių šiluminių mechaninių įtempimų rodiklių pasikeitimui įvertinti naudotas plačiai praktikoje aprobeutas prof. A. K. Kostino kriterijus. Ypač apkrautoms cilindro-stūmoklinės grupės detalėms, kurioms jis išreiškiamas kaip

$$\xi = P_{\max} \left( \frac{1}{\alpha} \right)^{0,88} (P_K C_m)^{0,5} n, \text{ kur: } P_{\max} - \text{maksimalus slėgis cilindre degant kurui; } \alpha - \text{oro pertekliaus koeficientas; } P_K - \text{pripūtimo oro slėgis; } C_m - \text{stūmoklio vidutinis greitis; } n - \text{alkūninio veleno apskos.}$$

„Vasaros“ eksploatacijos sąlygomis, palyginti su „žiemos“ sąlygomis, dyzelio šiluminiai-mechaniniai įtempimai didėja ~ 25÷30% visu apkrovos diapazonu (žr. 3 pav.). Modernizuotų plunžerių naudojimas  $\xi$  reikšmę papildomai didina tik esant vidutinio ir mažo apkrovimo režimams (kontrolerio II–VIII pozicijos). Bet jis praktiškai nekeičia patikimumo rodiklių, kadangi:  $\xi$  reikšmė esant nurodytam diapazonui yra perpus mažesnė, negu esant nominaliam dyzelio režimui. Analogišką išvadą galima padaryti ir dėl švaistiklio-skriejiko mechanizmo mechaninių įtempimų, kurių kriterijus yra  $P_{\max}$ .

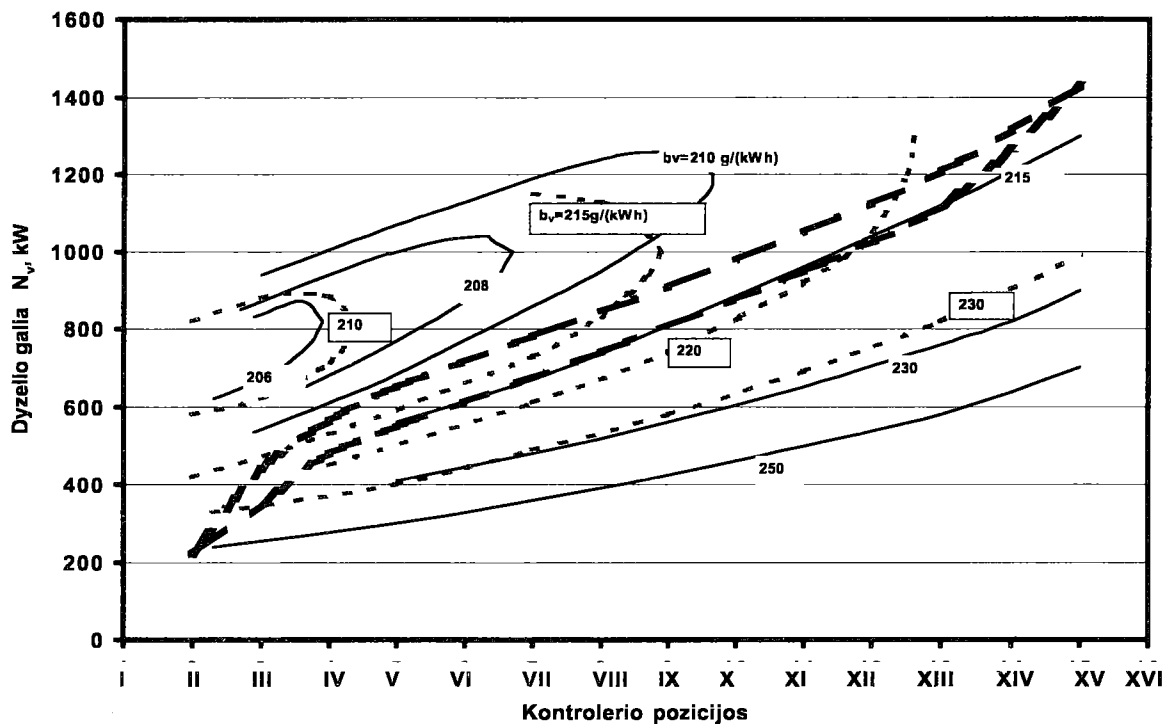
Padarius kai kurias prielaidas, antrosios pripūtimo pakopos parametrų optimizavimo efektyvumas apytikriai įvertinamas kaip  $b_v$  sumažėjimas 1÷1,5% „žiemos“ periodu. Perskaičiuojant metams kuro ekonomiško didėja 0,3÷0,5%. Taigi per metus kuro sutaupoma 1,5÷3,0%.

Išnagrinėti būdai neapima visų eksploatuojamų šilumvežių dyzelių parkų modernizacijos kryptių siekiant pagerinti kuro ekonomiško. Reikšmingą efektą, kaip jau



1 pav. Sezono įtaka 14D40Y2 šilumvežio dyzelio specifiniam kuro ekonomiškumui (— „žiema“,  $T_o = 253\text{ K}$ ; ---- „vasara“,  $T_o = 298\text{ K}$ )

Fig 1. Influence of the season exploitation on specific fuel consumption of locomotive diesel 14D40Y2 (— “winter”,  $T_o = 253\text{ K}$ ; ---- “summer”,  $T_o = 298\text{ K}$ )



2 pav. 14D40Y2 šilumvežio dyzelio kuro ekonomiškumo sezoniniam darbui padidinimo rezervas, taikant modernizuotas konstrukcijos ASKS (— standartinis ASKS, „žiema“; ---- modernizuotas ASKS, „vasara“)

Fig 2. Reserves of raising fuel economy of locomotive diesel 14D40Y2 for seasonal exploitation, using the modernized designs ASKS (— standard ASKS, “winter”; ---- modernized ASKS, “summer”)

buvo minėta, duoda pripūtimo temperatūros mažinimo priemonės „vasaros“ periodu. Kartu su motoriniais metodais, turinčiais įtakos indikatoriniam procesui, nemažą efektą mažinant  $b_v$  duoda aušinimo ir paleidimo sistemų charakteristikų gerinimas; dyzeliui dirbant tuščiąja eiga – stabilumo užtikrinimas; optimalios pagal „kokybės – kainos“ kriterijų degiosios tepamosios medžiagos, atitinkančios dyzelio cheminę ir technologinę specifikaciją, pasirinkimas ir kt. Dyzelio charakteristikų ir parametrų skaičiavimai taikant šiuolaikinius ESM modeliavimo metodus leidžia minimizuoti materialines ir laiko sąnaudas. Šiuo metu vis aktualesnė tampa aplinkos apsaugojimo nuo dyzelių kenksmingų išmetamųjų dujų problema. Todėl svarbus darbo aspektas yra sudaryti galimybę skaičiavimo būdu kompleksiskai optimizuoti dyzelio parametrus, atsižvelgiant į tarpusavyje susijusius kuro ekonomiško, dyzelio patikimumo rodiklius ir išmetamųjų dujų toksiškumą [7].

#### 4. Dyzelio eksploatacinio apkrovos ciklo racionalios struktūros pagrindimas

Jėgos agregato kuro ekonomiško eksploatacijos metu formuoja, viena vertus, objekto – galios vartotojo charakteristika  $N_v = f(n)$ , pateikta dyzelio universalios charakteristikos  $b_v = f(N_v, n)$  lauke, antra vertus, – apkrovos ciklo struktūra. „Apkrovos ciklas“ suprantamas kaip dyzelio charakteringų apkrovos režimų visuma, kai jis veikia objekte, t. y. – šilumvežyje. Atitinkamai jėgos agregato eksploatacinio kuro ekonomiško gerinimas gali būti realizuotas dviem kryptimis: pirmoji – objekto charakteristikos pastūmimu į universalios charakteristikos  $b_v$

minimumo zoną; antroji – dyzelio apkrovimo režimų, atitinkančių geriausią kuro ekonomiško, pasirinkimą.

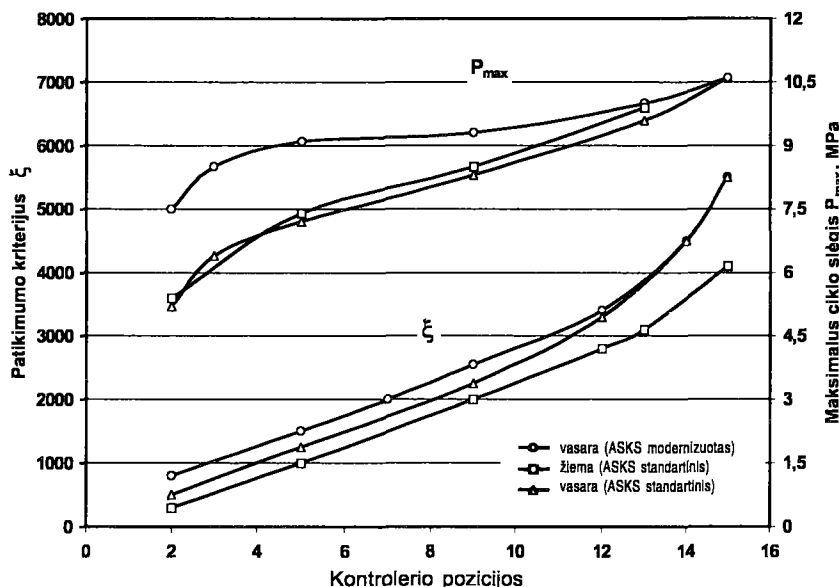
Taigi jėgos agregato apkrovos ciklo optimizacijos esmė – šilumvežio darbo režimų suderinimas su dyzelio specifinio kuro sunaudojimo minimumo zonomis.

14Д40Y2 šilumvežio dyzelio darbo režimai formuojami derinant apsukas ir apkrovos reguliatorių. Eksploatacijos metu darbo režimas užtikrinamas nuo I iki XV kontrolerio pozicijomis, o siekiama galia papildomai priklauso nuo pagalbinių agregatų energijos suvartojimo. Šilumvežio charakteristikos režimai, ypač esant mažoms ir vidutinėms apkrovoms, nevienareikšmiai pagal kuro ekonomiško. Nominaliosios galios  $b_v$  reikšmė 223 g/(kW·h) IV–V kontrolerio pozicijose mažėja iki 213 g/(kW·h) ir vėl didėja iki 250 g/(kW·h) II pozicijoje, kai dyzelis apkrautas 15% nominaliosios galios. Kuro išteklių ekonomijos potencialus rezervas kaip tik ir susijęs su esminiais  $b_v$  parametro pokyčiais esant sirtingiems dyzelio eksploatacinės charakteristikos  $b_v = f(N_v)$  režimams. Be to, kaip parodė atlikti įvertinimai, jis yra vienas iš pagrindinių kuro ekonomijos rezervų. Priklausomai nuo traukinio (keleivinio, krovinio, manevravimo) judėjimo tipo, traukinio svorio, išorinių aplinkos sąlygų (aplinkos parametrų  $P_0, T_0$ ; bėgių kelių techninės būklės, vietovės reljefo) ir ypač nuo judėjimo greičio apribojimo, šilumvežio charakteristikų režimų leistinas diapazonas susiaurinamas. Todėl apkrovos ciklo racionalios struktūros pasirinkimas nėra vienareikšmis priklausomai nuo išvykos atlikimo sąlygų. Į tai būtina atsižvelgti kuriant KEI normavimo ir kontrolės automatizuotas informacines sistemas.

1 ir 2 pav. sujungti 14Д40Y2 dyzelio skaičiavimo universaline charakteristika ir jo šilumvežio charakteristika

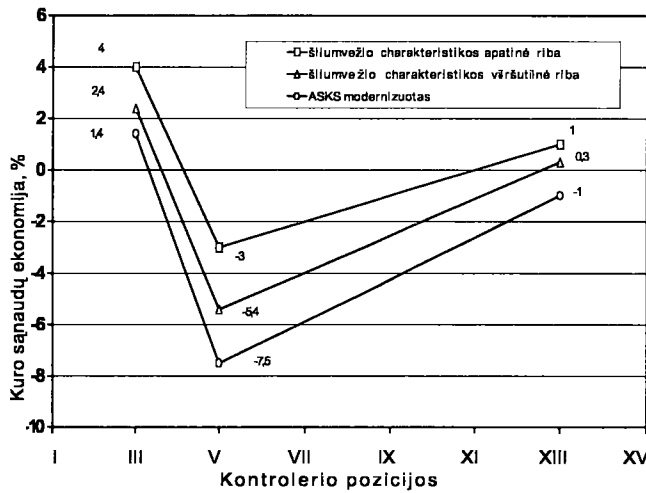
$N_v = f(n)$ , kurią reglamentuoja eksploatacinė dokumentacija. Laukas tarp dviejų paralelinių  $N_v = f(n)$  linijų atitinka šilumvežio charakteristikos leistinojo diapazono realizavimą. Šie duomenys rodo, kad šilumvežio dyzelio generatoriaus agregato reguliavimas atitinkamai leistinojo diapazono aukštutinei ribai yra pirmasis galimas rezervas mažinti  $b_v$ . Lygioms  $N_v$  reikšmėms  $b_v$  mažinimo efektas siekia 5 g/(kW·h), arba vidutiniškai 2% V–X kontrolerio pozicijose, palyginti su reguliavimo diapazono žemutine riba. Didžiausias kuro ekonomiško pasiekiamas IV–VIII kontrolerio pozicijose. Atitinkamas galios diapazonas traukinio judėjimui  $N_v = 550\text{--}850$  kW, tai sudaro 38÷58% nominaliosios reikšmės ir pakankamai tiksliai atitinka statistinius duomenis.

Siekiant įvertinti kuro ekonomiją pasirenkant racionalius dyzelio apkrovos diapazonus, atliktas vidutinio



3 pav. 14Д40Y2 šilumvežio dyzelio eksploataciniai patikimumo kriterijai

Fig 3. Criteria of reliability of locomotive diesel 14Д40Y2 in exploitation



4 pav. 14D40Y2 šilumvežio dyzelio eksploatacinių kuro sąnaudų ekonomijos rezervai

Fig 4. Economy reserves of fuel consumption of locomotive diesel 14D40Y2 in exploitation

eksploatacinio  $b_v$  sulyginimas trims charakteringiems apkrovos ciklams: mažos galios (II–IV kontrolerio pozicijos), vidutinės (IV–VI kontrolerio pozicijos) ir artimos nominaliajai galiai (4 pav).

Išvykos realios sąlygos, be abejonės, susiaurina uždavinio invariantinių režimų diapazoną. Daugiausia įtakos tam turi judėjimo greičio apribojimai nustatytiems traukinio svoriui ir judėjimo laiko grafikui. Tačiau negamybinių prastovų mažinimas ir traukinio racionalaus svorio pasirinkimas išsaugo ciklo struktūros optimizavimo rezervus. Tuo remiantis I ir III lyginamųjų ciklų kombinaciją galima įvertinti kaip nesubalansuotą pagal greitį judėjimo grafiką. Be to, I ciklas artimas manevriniam darbams, o III ciklas – judėjimo tipui, kai traukinys perkrautas. Sulyginimui daroma prielaida, kad cikluose atlikti darbai  $\sum_{i=1}^n N_{vi} \cdot \tau_i$  yra lygūs,

viena vertus, II, o antra vertus, – I ir III ciklų kombinacijoms. Šiuo atveju pagal (5) vidutinis eksploatacinis kuro suvartojimas nagrinėjamas kaip kuro ekonomiškumo sulyginimo parametras. Sąlyginiam sulyginimui nustatytas etaloninės apkrovos ciklas, vienodo termino visiems dyzelio darbo režimams nuo II iki XV kontrolerio pozicijoms.

Gautas rezultatas (4 pav.) rodo, kad kuro ekonomiškumo efektas, kai dyzelis dirba pagal II apkrovos ciklą, siekia 7,8% ir 5,7%, palyginti atitinkamai su I ir III ciklais. ASKS plunžerių konstrukcijos modernizavimas (žr. 2 skyrių) kuro ekonomiją didina iki 8,9% ir 6,5% lygio. Vidutinių apkrovų darbo diapazono parinkimas taip pat yra racionalus siekiant sumažinti detalių šiluminius-mechaninius įtempimus, vadinasi, didinant resurso ir patikimumo rodiklius. Taigi kriterijaus  $\xi$  dydis esant II ciklo režimams sudaro mažiau negu 35% jo nominalios reikšmės.

KEI mažinimų privalumų, dyzeliams dirbant vidutinių apkrovų režimais, neriboja specifinio kuro suvartojimo  $b_v$  gerinimas. Traukinio greičio mažėjimas savo ruožtu mažina

Kelioninio kuro suvartojimo pasikeitimas priklausomai nuo greičio

The change of travel fuel consumption depending on speed

V, km/h	20	40	60	80
$\frac{\bar{B}_v}{V}$	1,0	1,27 ÷ 1,36	1,67 ÷ 1,81	2,17 ÷ 2,35

Pastaba.  $W_0$  apskaičiuotas  $M_{bm}$ ,  $M_{tv}$ ,  $M_r$  keitimo diapazonams (0 ÷ 0,5).

$w_0$  pasipriešinimą traukinio judėjimui ir pagal (1) ir (4) išraiškas – dyzelio  $N_v$  galią. Todėl kuro sąnaudų norma mažėja kaip  $b_v$  ir  $N_v$  mažinimo rezultatas. Remiantis atliktais įvertinimais,  $V$  greičio sumažinimas diapazonu 80 ÷ 20 km/h daugiau negu perpus mažina  $w_0$ .  $V$  įtaka  $w_0$  didėjimui priklauso nuo sudūrimų bėgių kelio dalies ( $M_{bk}$ ), tuščių vagonų ( $M_{tv}$ ) bei vagonų su rutuliniais guoliais ( $M_r$ ) skaičiaus. Kartu su  $V$  mažinimu išvykos atlikimo laikas didėja. Todėl vertinant kuro sąnaudas esant skirtingiems

$V$  racionalu naudoti specifinį kelioninį kuro suvartojimą

$\frac{b_v N_v}{V} = \frac{B_v}{V}$ , kuris rodo kuro sąnaudas kelio vienetui (žr. lent.).

Esant  $V = 20 \div 80$  km/h kitimo diapazonui kelioninių kuro sąnaudų mažinimo efektas siekia 117 ÷ 135%. Gauti rezultatai akivaizdžiai parodo eksploatuojamų lokomotyvų parkų potencialios ekonomijos reikšmingus rezervus. Šilumvežio dyzelio racionalus reguliavimas didina kuro ekonomiškumą 1,5 ÷ 3,0%; apkrovos ciklo racionalios struktūros pasirinkimas – atitinkamai 6,5 ÷ 8,0% priklausomai tik nuo specifinio kuro sumažėjimo. Įskaitant  $N_v$  įtaką, suminis kuro suvartojimo efektas daug didesnis.

5 pav. pateikti kuro sąnaudų išvykos metu skaičiavimo rezultatai M62 šilumvežiams. Skaičiavimo maršruto nuotolis imtas 165 km, o parametų apibendrinimui pasirinkta 14B40Y2 dyzelio galia, tenkanti sąstato masės vienetui ( $N_v/Q$ ) tam, kad skaičiavimo rezultatus galima būtų sulyginti su eksperimentiniais duomenimis [5]. Po tam tikrų supaprastinimų traukinio galios išraiška [5] transformuojama:  $N_v = KVw_0'' Q$ , kur  $K$  – jėgos agregatų suminis NVK (lokomotyvo svoris  $P$  ir jo  $w_0''$  pasipriešinimas judėjimui imti kaip  $Q$ ,  $w_0''$  parametru daugikliai ir įtraukti į  $K$  koeficiento reikšmę; specifinis nuolydžio pasipriešinimas  $i = 0$ ).

Taigi konkrečios išvykos sąlygomis parametras  $N_v/Q$  yra vienareikšmė greičio funkcija ( $w_0'' = f(V)$ ). 5 pav. grafines priklausomybės  $G = f(N_v/Q, Q = \text{var})$  rodo kuro sąnaudas išvykos metu. Taip pat nubraižytos kuro sąnaudų priklausomybės pagal sąlygą  $N_v = \text{const}$ . Priklausomybės  $G = f(N_v/Q; N_v = \text{const})$  apima 14D40Y2 dyzelio galios realų diapazoną nuo 400 kW iki 1200 kW (kontrolerio pozicijos nuo III iki XIII–XIV, 1 pav.). Akivaizdu, kad konkrečiomis išvykos sąlygomis esant fiksuotai sąstato masei  $Q$  tokį judėjimo režimą grafike atitinka tik vienas taškas.

Būdinga, kad jį praktiškai visiškai atitinka eksploatacinių duomenų apibendrinimo rezultatai pagal [5] medžiagą (5

pav. punktyrinės linijos). M62 šilumvežio valdymo sistema užtikrina fiksuotu galios lygiu tam tikrą valandinį kuro sunaudojimą. Todėl optimizacijos modelis, bazuojantis judėjimo režimo sąlygą  $N_v = \text{const}$ , nenagrinėja kuro sąnaudų kaip optimizacijos, parametro. Tačiau G optimizavimo aktualumui didėjant, vis didėja pervežimų energijos potencialas (šilumvežių galia, krovinų apyvarta ir kt.). Pavyzdžiui, traukinio greičiui sumažėjus nuo 40 km/h iki 30 km/h ( $N_v/Q = 1,15$  ir  $N_v/Q = 0,4$ ) kuro kelionės metu sutalpoma ~ 230 kg, kai šilumvežio galia arti nominaliosios ( $Q_4$ ). Tų išlaidų, susijusių su laiko sąnaudomis, padidėjimas neviršija 25% kuro ekonomijos efekto ( $E$ ).

Taigi akivaizdu, kad ekonominiu atžvilgiu tikslinga padidinti krovinų pervežimų optimizavimo parametru skaičių įskaitant ir suvartojamo kuro sutaupymą. Pavyzdžiui, optimizuojant  $E(N_v/Q, N_v)$  lauke būtų tikslinga matematinį modelį [5] papildyti posistemiu, skirtu eksploatacinėms kuro sąnaudos įvertinti, kuris bazuojasi jėgos agregatų realiomis techninėmis charakteristikomis.

### 5. Racionalios KEI normavimo ir kontrolės metodologijos pasirinkimas

Dėl didelio normas sudarančių faktorių, įskaitant platų šilumvežio dyzelio eksploataavimo režimų spektrą, skaičiaus griežtos  $N_v$  nustatymo analizinės priklausomybės nėra patogios naudoti. Eksploatacijos sąlygomis normų nustatymo sunkumus objektyviai lemia dauguma  $i$  (1) įeinančių išraiškos faktorių. Skaičiuojant suminę taupymo paklaidą  $N_u$  gali viršyti patį metodo tikslumą. Todėl praktikoje pakankamai plačiai buvo taikomi  $N_u$  nustatymo pagal lenteles metodai. Nustatyti eksperimentų skirtingoms šilumvežių dyzelių modeliams kuro suvartojimo dydžiai struktūruoti lentelėje pagal traukinio judėjimo tipą; traukinio

ir kelių technines charakteristikas, metų sezoną. Praktiniu požiūriu metodas patogus, nes operuoja suminiu  $B_v$  dydžiu, kuriam turi įtakos dauguma faktorių. Šis privalumas informacinio aptarnavimo sistemos požiūriu kartu yra ir trūkumas. Bet koks (vartyuvo ir ypač energetinių agregatų) pakeitimas šilumvežiu susijęs su reikalingumu atnaujinti visus naudojamus eksploatacinius duomenis.

Atrodytų universalesnė yra metodologija, realizuojanti tokias padėtis:

- $N_u$  planuojamos normos pagrindą sudaro  $N_u^0$  – faktinis jo dydis per praėjusį laikotarpį; kuro suvartojimo operatyvinei kontrolei  $N_u^0$  reikšmė nustatoma bandymo metodu kontrolinėje kelionėje;

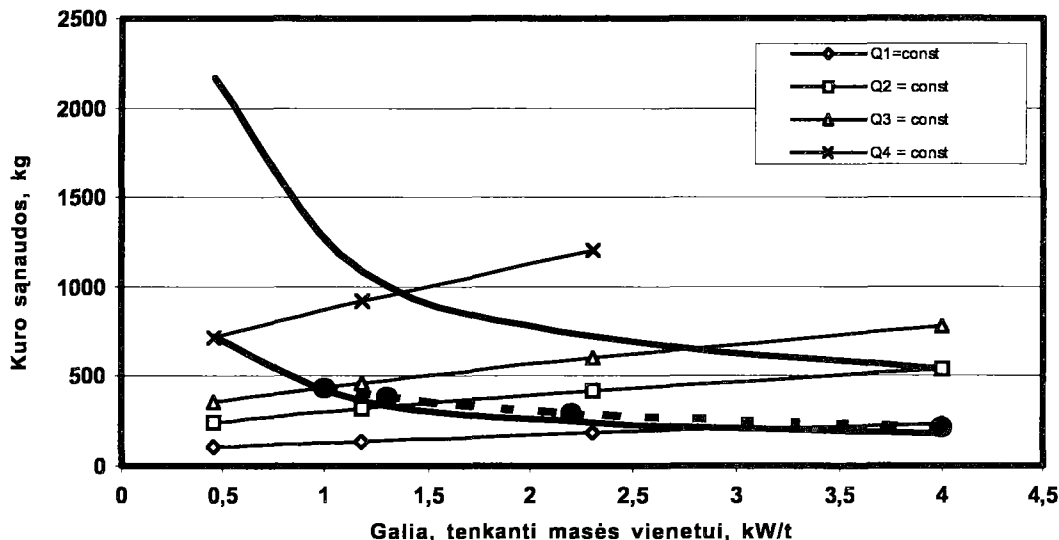
- planuojamam laikotarpiui  $N_u^0$  dydžio koregavimas atliekamas įskaitant santykinį visų  $i$  (1) įeinančių išreiškimo normų sudarymo faktorių pakeitimą;

- normų sudarymo faktorių įtakos koeficientai  $N_u^0$  nustatomi skaičiuojant lokomotyvo traukos (1) lygties dalines išvestines; gautos reikšmės patikslinamos pagal praėjusio laikotarpio pakeitimus, pavyzdžiui, atitinkamai [5]:

$$N_u = N_u^0 \left[ 1 + 0,01 \left( \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta I_i + \delta_{nf} \right) \right],$$

$\Delta I_i$  –  $i$ -tojo normų sudarymo faktoriaus keitimas;  $\beta$  –  $i$ -tojo normų sudarymo faktoriaus įtakos koeficientas;  $\delta_{nf}$  – neįskaitinių faktorių suminė spėjamoji įtaka  $N_u$  normai.

Normų sudarymo faktorių santykinų įtakos koeficientų stabilumas užtikrina metodo tikslumą, pakankamą sprendžiant praktines užduotis. Atskiriems įtakos koeficientams patikrinti visiškai pakanka atlikti lokalinį eksperimentą arba matavimą eksploatacijos sąlygomis. Ypač svarbu, kad naudoto algoritmo struktūra gerai atitiktų reikalavimus,



5 pav. Šilumvežio dyzelio 14D40Y2 kuro sąnaudų mažinimas optimizuojant lokomotyvo judėjimo režimą  
Fig 5. Reduction of fuel consumption of locomotive diesel 14D40Y2 accounting optimization of locomotive movement

keliamus metodo realizavimui ir jo technologiniam aprūpinimui praktikoje automatizuoto kuro sąnaudų normavimo ir kontrolės sistemose.

Remiantis pažymėta prielaida Klaipėdos universiteto specialistai sukūrė KEI normavimo ir kontrolės geležinkelio transporte automatizuotos sistemos eskizinį projektą. Sistema, turinti sąlygį pavadinimą „Profil“ struktūriškai jungia šiuos šiuolaikinius informacinius-technologinius struktūrinius elementus:

- ❖  $N_u$  normų nustatymo faktorių įtakos koeficientų; dyzelių ir eksploatuojamo lokomotyvų parko energetinių agregatų techninių charakteristikų duomenų bazės;
- ❖ specializuotą ESM programinę įrangą, skirtą dyzelių eksploatacinėms charakteristikoms modeliuoti;
- ❖ interaktyvinį modelį, užtikrinantį optimizacijos proceso vizualizaciją ir patogaus darbo režimą operatoriui.

Eksploatacinio kuro suvartojimo nustatymo algoritmo pagrindą sudaro universalios ir šilumvežio charakteristikų skaičiavimas ir grafinis jų suderinimas, analogiškas pateiktam 1 pav. Dyzelio charakteristikos modeliuojamos specializuotų programų bloke, įskaitant realios eksploatacijos sąlygas ir dyzelių techninę būklę. Duomenys apie juos kaupiami duomenų bazėje atliekant planinį techninį aptarnavimą bei bandymus. Integralinės kuro sąnaudos išvykai arba  $N_u$  norma skaičiuojama pagal tam tikrą dyzelio apkrovos ciklo struktūrą, krovinį ir keleivių planinių pervežimų dydžiu, vidutinį techninį judėjimo greitį ir kitus normoms turinčius įtakos parametrus.

Sukurta metodologija skirta daugeliui praktinių užduočių spręsti – pradedant nuo eksploatuojamų šilumvežių parkų KEI operatyvinės kontrolės ir normavimo, baigiant KEI perspektyvinio planavimo geležinkelio transporto sistemos.

## 6. Išvados

Šilumvežių dyzelių eksploatacinių charakteristikų tobulinimas lokomotyvų dyzelių jėgos agregatams yra vienas iš svarbiausių kuro energetinių išteklių (KEI) taupymo Lietuvos Respublikos geležinkelio transporto sistemoje problemos aspektų. Jis apima: specifinio kuro suvartojimo rodiklių didinimą; eksploatuojamų dyzelių parkų apkrovos ciklo optimizavimą ir šiuolaikinių informacinių technologijų įdiegimą KEI kontrolės ir normavimo sistemose. Apskritai taikant ESM matematinį modeliavimą įvertintas laukiamas rezervas siekiant sumažinti išlaidas eksploatuojant 14Д40У2 dyzelius masiškai naudojamuose М62 šilumvežiuose. Kuro įpurškimo ir oro aprūpinimo agregatų atrankinis reguliavimas „žiema – vasara“ sezoniniams darbams bei dyzelio optimalus apkrovimas šilumvežyje užtikrina kuro ekonomiją atitinkamai 1,5÷3,0% ir 6,5÷8,0%. KEI kontrolei ir normavimui geležinkelio transporte Klaipėdos universiteto specialistai sukūrė skaičiuojamojo informacinio komplekso „Profil“ tipinį eskizinį maketą. Jo algoritmo pagrindą sudaro: mažų poky-

čių matematinis metodas, programos, specializuotos dyzelio eksploatacinėms charakteristikoms skaičiuoti, ir jėgos agregatų parko techninių parametrų duomenų bazės. Kompiksas skirtas operatyviniams ir strateginiams klausimams spręsti.

## Literatūra

1. Sharma V. UIC Develops Six Global Freight Corridors. *International Railway Journal* (IRJ). 2001 February, p. 3–7.
2. Towards a Safer, Better, Bigger Railway / Passengers, Freight, Infrastructure. *Annual report 2000–2001 of Strategic Rail Authority*, 132 p.
3. Govert Th. Modernising Locomotives At Low Cost. *International Railway Journal* (IRJ), 2001 June, p. 23–28.
4. Bazaras Ž., Ivaškevičius A., Keršys R. Šilumvežio traukos apskaičiavimo optimizavimas. *Transportas*, XIII t., Nr. 4. Vilnius: Technika, 1998, p. 146 – 157.
5. Lingaitis L. P., Vaičiūnas G. Traukos riedmenų naudojimo optimizavimas. *Transportas*, XV t., Nr. 6. Vilnius: Technika, 2000, p. 209 – 214.
6. Методика анализа результатов расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. М., 1997. 91 с.
7. Лебедев С. В., Нечаев Л. Н. Совершенствование показателей высокооборотных дизелей унифицированного типоразмера/ Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. 112 с.

## ECONOMY OF FUEL - ENERGY RESOURCES ON RAIL-FREIGHT TRAFFIC IMPROVING THE EXPLOITATIONS CHARACTERISTICS OF FUEL CONSUMPTION OF DIESELS

S. Lebedevas

### Summary

The improvement of the exploitation features of diesel power units of locomotives is one of the most important aspects solving the problems of saving fuel energy resources (FER) in the rail-freight traffic system. It covers in full the following: the increase of specific fuel economy factors, the optimization of load cycles used park of locomotive diesels and the introduction of informational technologies in operative checking systems and normalizing FER. On the base of modern accounting methods of mathematical simulation on PC the expected reserve of reducing the expenses on the fuel is evaluated for the most frequent type of diesels in Lithuania such us 14Д40У2 in diesel locomotive М62(2М62). The regulation of units of systems of fuel injection and aeroprovision for the seasonal periods «winter-summer» and the optimum of their loading accordingly allows to reach fuel economy 1,5-3,0% and 6,5-8,0%. Rational base of algorithm for automatic checking systems and normalizing FER on enterprises of rail-freight traffic is a method of small incrementations, in combination with the use of databases of the technical characteristics of power units park. Standard draft model similar to accounting-information complex «Profil» is designed by specialists of Klaipėda university.