TRANSPORTO PRIEMONIŲ APTARNAVIMO PROCESO OPTIMIZAVIMAS MUITINĖS POSTE

A. Jarašūnienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

1993 m. sausio 1 d. Europos Sąjungoje užbaigtas transporto rinkos liberalizavimas kuriant bendrą muitų erdvę.

Būsimosioms Europos Sąjungos narėms, taip pat ir Lietuvai vis dar aktualios problemos, susijusios su krovinių srautų judėjimu per kitų valstybių teritorijas. Todėl siekiant pagerinti situaciją transporte svarbu tirti ir analizuoti įvairias transporto sritis ir ieškoti sprendimų, paremtų moksliniais tyrimais.

Transporto tyrimų sritis apima labai sudėtingų ir dinamiškų ryšių nagrinėjimą. Tyrimų kompleksiškumas atsiranda dėl to, kad būtina nagrinėti daugybę tarpusavyje susijusių ryšių tiek pačioje transporto sistemoje ar jos posistemyje, tiek tarp transporto sistemos ir ekonominės socialinės aplinkos.

Transporto sistemos tyrimų tikslas – išanalizuoti jos funkcionavimą, joje vykstančius pokyčius ir moksliškai pagrįsti priemones, kuriomis galima būtų ją koreguoti, kad ji atitiktų besikeičiančią situaciją [2].

Šiuo metu išsiplėtus rinkai, padidėjus krovinių srautams, pagrindinė muitinių užduotis – kuo operatyviau ir kokybiškiau aptarnauti krovinių transportą, vykstantį per pasienį.

Viena iš svarbesnių tyrimų sričių yra atvykstančių automobilių srautų pasiskirstymas per laiką ir jų pasiskirstymas linijose, transporto prastovų atliekant muitinės formalumus ir vežėjų aptarnavimo laiko priklausomybė nuo srauto dydžio. Remiantis šiais tyrimais parenkami atitinkami aptarnavimo tobulinimo metodai. Vienas iš jų yra transporto priemonių aptarnavimo proceso optimizavimas muitinės poste.

2. Transporto priemonių aptarnavimo proceso optimizavimas muitinės poste

Norint optimizuoti transporto priemonių tikrinimo procesą muitinės poste, reikia išspręsti automobilių skaičiaus muitinės poste susikaupimo problemą. Būtina nustatyti vidutinį automobilių skaičių muitinės posto aikštelėje ir prognozuojamą automobilių skaičių, kai jų atvykimo ir išvykimo laikas į muitinės aikštelę yra atsitiktiniai. Aišku, kad vieno automobilio aptarnavimo laikas nepriklauso nuo jų skaičiaus eilėje ir kad automobiliai aptarnaujami atvykimo tvarka [3].

Vidutinis automobilių skaičius eilėje nustatomas taip. Tarkime: n – automobilių skaičius eilėje iki laiko momento t; $P_n(t)$ – tikimybė, kad susidarys eilė iš n automobilių iki momento t; $\lambda\Delta t$ – tikimybė, kad į aikštelę atvyks kitas automobilis laikotarpiu nuo t iki $t+\Delta t$; čia λ – vidutinis automobilių atvykimo laikas; $\mu\Delta t$ – tikimybė, kad automobilis bus aptarnautas per laiką nuo t iki $t+\Delta t$; čia μ – vidutinis aptarnavimo laikas; $\overline{n}$ – vidutinis eilės ilgis, t. y. automobilių skaičius aikštelėje.

Taikydami pagrindinius tikimybių teorijos dėsnius, sudarysime diferencialinių lygčių sistemą $P_n(t)$ (ir toliau $\overline{n}$ [3].

Tikimybė, kad iki laiko momento $(t+\Delta t)$ aikštelėje bus n automobilių ($n>0$), gali būti užrašyta keturių sudėtingų nepriklausomų įvykių tikimybių suma:

1. Sandauga tikimybių, kad:

– iki laiko t laiko aikštelėje bus n automobilių – $P_n(t)$;

– per laiką Δt neatvyksta daugiau automobilių – $1-\lambda(\Delta t)$;

– per laiką Δt neaptarnautas nė vienas automobilis – $1-\mu(\Delta t)$.

2. Sandauga tikimybių, kad:

– iki laiko momento t aikštelėje yra $n+1$ automobilių – $P_{n+1}(t)$;

– per laiką Δt baigiamas aptarnauti vienas automobilis – $\mu(\Delta t)$;

– per laiką Δt daugiau automobilių neatvyksta – $1-\lambda(\Delta t)$.

3. Sandauga tikimybių, kad:

– iki laiko momento t aikštelėje bus n–1 automobilių – $P_{n-1}(t)$;

– per laiką Δt atvažiuos vienas automobilis – $\lambda(\Delta t)$;

– per laiką Δt nebus aptarnautas nė vienas automobilis – 1–(Δt).

4. Sandauga tikimybių, kad:

– iki laiko momento t aikštelėje yra n automobilių – $P_n(t)$;

– per laiką Δt atvažiuos vienas automobilis – $\lambda(\Delta t)$;

– per laiką Δt bus aptarnautas vienas automobilis – $\mu(\Delta t)$.

Tikimybė, kad atvažiuos arba bus aptarnautas daugiau kaip vienas automobilis per laikotarpį Δt, yra labai maža.

Užrašysime šių keturių tikimybių išraiškas:

1. $P_n(t)(1-\lambda\Delta t)(1-\mu\Delta t) = P_n(t)[1-\lambda\Delta t-\mu\Delta t]+a_1(\Delta t)$.

2. $P_{n+1}(t)(\mu\Delta t)(1-\lambda\Delta t) = P_{n+1}(t)\mu\Delta t + a_2(\Delta t)$.

3. $P_{n-1}(t)(\mu\Delta t)(1-\lambda\Delta t) = P_{n-1}(t)\mu\Delta t + a_3(\Delta t)$.

4. $P_n(t)(\lambda\Delta t)(\mu\Delta t) = a_4(\Delta t)$.

Dydžiai $a_i(\Delta t)$ yra daug didesni už dydžius Δt, ir todėl juos galima ignoruoti.

Sudėję šias formules, randame išraišką tikimybės, kad aikštelėje laiko momentu (t+Δt) bus n automobilių:

$$\begin{aligned}P_n(t+\Delta t) &= P_n(t)[1-\lambda\Delta t-\mu\Delta t]+P_{n+1}(t)\mu\Delta t+\\ &P_{n-1}(t)\lambda t+a_1(\Delta t)+a_2(\Delta t)+a_3(\Delta t)+a_4(\Delta t).\end{aligned} \tag{1}$$

Ši lygtis gali būti užrašyta taip:

$$\frac{P_n(t-\Delta t)-P_n(t)}{\Delta t} = \lambda P_{n-1}(t)+\mu P_{n+1}(t)-(\lambda+\mu)P_n(t)+$$

$$a_1(\Delta t)+a_2(\Delta t)+a_3(\Delta t)+a_4(\Delta t).$$

Teigdami, kad $\Delta t \to 0$, gauname diferencialinę lygtį:

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda P_{n-1}(t)+\mu P_{n+1}(t)-(\lambda+\mu)P_n(t) \quad (n>0). \tag{2}$$

Tarkime, kad iki laiko momento T prie aikštelėje esančių automobilių priskaičiuojami ir aptarnaujami ir naujai atvažiuojantys automobiliai, kai $n \geq 0$. Šiomis sąlygomis minėtosios tikimybių išraiškos turi būti pakeistos taip, kad būtų galima įvertinti atvejį n=0. Tikimybė, kad momentu t+Δt automobilių skaičius aikštelėje bus lygus 0, išreiškiama dviejų nepriklausomų įvykių tikimybių suma:

1) tikimybės $P_0(t)(1-\lambda\Delta t)$, kad momentu t aikštelėje automobilių nėra ir per laikotarpį Δt daugiau automobilių neatvažiuoja;

2) tikimybės $P_1(t)(\mu\Delta t)(1-\lambda\Delta t)$, kad momentu t aikštelėje yra vienas automobilis, kuris aptarnaujamas per laikotarpį Δt; per laiką Δt daugiau automobilių neatvyksta.

Sudėję šių dviejų nepriklausomų įvykių tikimybes, randame nulinio ilgio automobilių eilės atsiradimo galimybę laiko momentu t+Δt:

$$P_0(t+\Delta t) = P_0(t)(1-\lambda\Delta t)+P_1(t)\mu\Delta t-\lambda\mu P_1(t)(\Delta t)^2. \tag{3}$$

Iš reiškinio (3) gauname, kad:

$$\frac{P_0(t+\Delta t)-P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda P_0(t)+\mu P_1(t)-\lambda\mu P_1(t)(\Delta t)$$

ir

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0(t)+\mu P_1(t). \tag{4}$$

Diferencialinės lygtys (2) ir (4) netiesiogiai rodo ryšį tarp laukimo laiko ir automobilio aptarnavimo laiko ir yra pradinė sąlyga sprendžiant įvairius muitinės uždavinius. Tenka pažymėti, kad dėl $P_n(t)$ sudėtingumo sprendžiant šias lygtis susiduriama su sunkumais. Tačiau tam tikrais atvejais $P_n(t)$ nepriklauso nuo laiko ir yra lygus P_n. Tuomet tikimybė P_n laikui bėgant nesikeičia:

$$\frac{dP_n}{dt} = 0 \quad n=0,1,2,\ldots,$$

todėl lygtims (2) ir (4) turime:

$$0 = \lambda P_{n-1}-\mu p_{n+1}-(\lambda+\mu)P_n \; (n>0), \tag{5}$$

$$0 = \lambda P_0+\mu P_1 \; (n=0). \tag{6}$$

(5) ir (6) lygčių sprendimas, norint rasti P_0, P_1, ..., P_n, įvertinus $\sum_{i=1}^{\infty} P_i = 1$, gali būti toks:

Iš (6) lygties randame:

$$P_1 = (\lambda/\mu)P_0.$$

(5) lygtyje n=1, įrašę reikšmę P_1, gauname:

$$P_2 = (\lambda/\mu)^2 P_0.$$

(5) lygtyje n=2, įrašę reikšmę P_2, gauname:

$$P_3 = (\lambda/\mu)^3 P_0.$$

apskritai,

$$P_n = (\lambda/\mu)^n P_0.$$

Susumavę atitinkamus narius gauname:

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = P_0 \sum_{i=0}^{\infty} (\lambda/\mu)^n . \qquad (7)$$

Tarkime, kad $(\lambda/\mu) < 1$, t. y. vidutinis automobilių atvykimo [illegible] yra mažesnis už automobilio aptarnavimo laiką; [illegible] (automobilių eilė). Kadangi

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_i = 1 \quad \text{ir} \quad \sum_{n=0}^{\infty} (\lambda/\mu)^n = \frac{1}{1-(\lambda/\mu)} , \qquad (8)$$

$$\frac{1}{1-\lambda/\mu} = P_0 ,$$

$$P_0 = 1-(\lambda/\mu).$$

P_0 reikšmę įrašę į ankstesnę P_n išraišką randame tikimybę, kad aikštelėje bus n automobilių. Tarkime:

$$P_n = (\lambda/\mu)^n (1-\lambda/\mu) \qquad (9)$$

kai $\lambda/\mu < 1$; λ/μ – vidutinis aptarnaujamų automobilių skaičius per laiko vienetą.

Apskaičiuojame $\bar{n}$ – vidutinį automobilių skaičių aikštelėje. Kadangi $\sum P_n = 1$, tai:

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} nP_n . \qquad (10)$$

P_n reikšmę įrašę į (10) lygtį iš (9) lygties randame:

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} n(\lambda/\mu)^n (1-\lambda/\mu) = (1-\lambda/\mu) \sum_{n=0}^{\infty} n(\lambda/\mu)^n =$$

$$(1-\lambda/\mu)\left[\lambda/\mu + 2(\lambda/\mu)^2 + 3(\lambda/\mu)^3 + \ldots\right] = \qquad (11)$$

$$\lambda/\mu(1-\lambda/\mu)\left[1 + 2(\lambda/\mu) + 3(\lambda/\mu)^2 + \ldots\right].$$

Šį reiškinį galima apskaičiuoti paeiliui atliekant integravimo ir diferencijavimo operacijas eilutei, esančiai (11) skliausteliuose.

Pažymėsime šią eilutę $S(\lambda/\mu)$ ir integruosime ją pagal narius [2].

Reiškinys

$$\int_0^{\lambda/\mu} S(\lambda/\mu) d(\lambda/\mu) = \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \ldots$$

yra geometrinė progresija, kurios suma $(\lambda/\mu)/[1-(\lambda/\mu)]$.

Diferencijuodami šią sumą pagal λ/μ, gauname $1/[1-(\lambda/\mu)]^2$. Eilutės suma:

$$S(\lambda/\mu) = \frac{1}{[1-(\lambda/\mu)]^2} . \qquad (12)$$

Įrašę šį reiškinį į (11) lygtį, randame:

$$\bar{n} = (\lambda/\mu)(1-\lambda/\mu) \frac{1}{[1-(\lambda/\mu)]^2} . \qquad (13)$$

Taigi esamomis sąlygomis vidutinis automobilių skaičius aikštelėje:

$$\bar{n} = \frac{\lambda/\mu}{1-\lambda/\mu}, \quad \lambda/\mu < 1. \qquad (14)$$

Pavyzdys. Tarkime, kad vidutinis automobilių, kurie atvažiuoja į terminalą per valandą, skaičius λ yra 10, o vidutinis per valandą aptarnaujamų automobilių skaičius yra μ=20. Tuomet santykis λ/μ lygus $^{10}/_{20} = ^{1}/_{2}$. Šį dydį įrašę į (9) ir (14) lygtis randame:

$$P_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n \left(1-\frac{1}{2}\right) \quad \text{ir} \quad \bar{n} = \frac{1/2}{1-1/2} = 1 .$$

Tikimybė, kad aikštelėje bus 0, 1, 2, ... automobilių bet kuriuo laiko momentu:

n=0, 1, 2, 3, 4, ...

$$P_n = \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}, \ldots .$$

Įdomu, kad didėjant apkrovimo intensyvumui (λ/μ) vidutinis automobilių skaičius aikštelėje greitai didėja ir kai $\lambda/\mu \to 1$, dydis $\bar{n}$ darosi be galo didelis (lygtis (14)).

Kelias λ/μ reikšmes įrašę į (14) lygtį, galime nustatyti, kaip keičiasi vidutinis automobilių skaičius aikštelėje priklausomai nuo λ/μ

Apkrovimo intensyvumas $\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, \frac{15}{16}, \frac{31}{32}, \ldots .$

Vidutinis automobilių skaičius aikštelėje 1, 3, 7, 15, 31, ...

3. Laikotarpiai tarp automobilių atvykimų į muitinės postą

Tarkime automobilio aptarnavimo laikas T. Atvykstančių automobilių skaičius per šį laiką pasiskirstęs pagal Puasono dėsnį. Tuomet, jeigu vidutinė trukmė tarp automobilių atvykimo į muitinės postą lygi a, tai vidutinis atvykusių automobilių skaičius $\lambda = T/a$. Pavyzdžiui, T lygus 1 h, o λ – šeši automobiliai, per 1 h atvykę į muitinės postą. Tuomet vidutinis laiko intervalas, skiriantis automobilių atvykimo momentus, sudaro 10 min: $a=T/\lambda=1/6$.

Nustatysime laikotarpių t_a tikimybių tarp momentų pasiskirstymo tankį, kai atvyksta automobiliai. Tarkim, $p(t_a)$ tikimybė, kad laikotarpiu t_a po momento, kai buvo atvykęs automobilis, daugiau automobilių neatvyks, o $\lambda\Delta t_a$ – tikimybė, kad laikotarpiu (t_a, $t+\Delta t$) atvyks automobilis. Tuomet tikimybė, kad per laiką t_a neatvyks automobilių, o intervalu (t_a, $t_a+\Delta t_a$) atvyks vienas automobilis, lygi sandaugai:

$$P(t_a)\left[\frac{T}{a}\Delta t_a\right].$$

Jeigu $T=1$, tai pastarasis reiškinys bus:

$$P(t_a)\Delta t_a / a.$$

Taigi

$$P(t_a) - P(t_a+\Delta t_a) = P(t_a)(\Delta t_a / a)$$

arba, kadangi

$$P(t_a) - P(t_a+\Delta t_a) = -\Delta P(t_a),$$

tai

$$-\Delta P(t_a) = \frac{1}{a}P(t_a)\Delta t_a. \tag{15}$$

(15) išraiškos fizinė prasmė – tikimybė, kad laiko intervalu Δt_a į muitinės postą atvyks lygiai vienas automobilis. Iš (15) matyti, kad t_a tikimybių pasiskirstymo tankis $-\frac{1}{a}P(t_a)$.

Padaliję (15) lygties abi dalis iš Δt_a, gauname:

$$\Delta P(t_a)/\Delta t_a = -P(t_a)/a.$$

Kai $\Delta t \to 0$, gauname:

$$dP(t_a)/dt_a = -P(t_a)/a, \tag{16}$$

bet, kadangi $1/a=\lambda$, tai:

$$dP(t_a)/dt_a = -\lambda P(t_a). \tag{17}$$

Šios diferencialinės lygties sprendinys:

$$P(t_a) = Ke^{-\lambda t_a}. \tag{18}$$

Pastovioji $K=1$ pagal pradines sąlygas:

$$P(0)=1. \tag{19}$$

Taigi gauname:

$$P(t_a) = e^{-\lambda t_a}. \tag{20}$$

4. Automobilio aptarnavimo laikas

Eksperimentu nustatyta, kad į muitinės postą atvykstančių automobilių srautas pasiskirstęs pagal eksponentinį dėsnį. Tuomet vidutinis automobilių skaičius $\bar{n}$ aikštelėje gali būti išreikštas vidutiniu automobilių atvykimo greičiu ir aptarnavimo laiko dispersija:

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2\sigma_{t_s}^2 + (\lambda/\mu)^2}{2[1-(\lambda/\mu)]}, \tag{21}$$

$\sigma_{t_s}^2$ – aptarnavimo laiko t_s dispersija. Iš (21) lygties matyti, kad, esant fiksuotoms λ ir μ reikšmėms, vidutinis automobilių skaičius didėja didėjant dispersijai $\sigma_{t_s}^2$. Jeigu λ ir μ yra nekintantys, minimalus vidutinis automobilių skaičius aikštelėje atitinka $\sigma_{t_s}^2 = 0$, t. y. nekintantį apkrovimo laiką. Kitaip interpretuojant, kai automobilių atvykimo greitis λ ir toks pat jų aptarnavimo laikas μ, tuomet:

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{(\lambda/\mu)^2}{2[1-\lambda/\mu)}. \tag{22}$$

Jeigu automobilių aptarnavimo laikas, pasiskirstęs pagal eksponentinį dėsnį, turi neigiamą reikšmę μ, tuomet dispersija $\sigma_{t_s}^2 = 1/\mu^2$.

Tokiu atveju lygtis (21) bus:

$$\bar{n} = \frac{\lambda/\mu}{1-\lambda/\mu},$$

Iš (21) lygties matyti, kad kuo dažniau automobiliai atvyksta, esant vidutiniam aptarnavimo laikui (λ–μ), tuo greičiau didėja vidutinis automobilių skaičius aikštelėje. Be to, iš šios lygties matyti, kad pagal nustatytą automobilių aptarnavimo laiko pasiskirstymo dėsnį automobilių skaičius aikštelėje gali būti sumažintas tik mažinant dydžius λ/μ. Kitaip tariant, automobilių skaičių aikštelėje lemia santykis λ/μ. Pavyzdžiui, mažėjant λ/μ,, dydis $1-(\lambda/\mu)$ didėja, o automobilių skaičius aikštelėje mažėja.

5. Išvados

Kai vidutinis aptarnavimo laikas nekinta, vidutinis automobilių skaičius muitinės poste didėja.

Sukurtas transporto priemonių aptarnavimo proceso optimizavimo muitinės poste modelis leidžia išsiaiškinti technologinio proceso „siaurąsias vietas“ ir modeliuoti įvairius parametrus.

Literatūra

1. Transport of fast Changig Europe. Vers un Reseau Europeen des systems de transport by Group Transport 2000 Plus. Brussels, 2000. 90 p.
2. D. W. Walters. Gattorna Managing the Supply Chain. A. Strategic Perspective.Macmillas Press Ltd, 1998.
3. A. Jarašūnienė. Krovinių vežimų kelių transportu per Lietuvos Respublikos muitines problemų analizė ir jų sprendimo kryptys: Technologijos mokslų daktaro disertacija. V., 2000. 116 p.

Įteikta 2001 08 15

THE SERVICE OF THE OPTIMISATION PROCESS FOR VEHICLES IN CUSTOMS LINE

A. Jarašūnienė

Summary

The process and problems of carrying goods through customs, modelling of special factors influencing the carriers and customs work are analyzed in the article.

The influence of all the factors on carriers and customs is described on the basis of this analysis and the ways of improving all the activity concerning relations between customs officers and carries. The importance of the experience of foreign countries, the improvement of the normative and law basis according to the improvement standards and the employment of means of information are emphasized in the article.

One of the main operations in the customs daily work is the distribution of vehicles in lines. The distribution of vehicles in time and separate lines and the investigation of this distribution and the service of the optimization process for vehicles in customs line are proposed in the article.

ALDONA JARAŠŪNIENĖ

Doctor of Science, Department of Transport Management, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Plytinės g. 27, LT-2040 Vilnius, Lithuania, E–mail: aldojara@takas.lt

Doctor of Science (Transport Management), Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), 2000. First degree in Transport Management (VGTU) 1992.
Publications: „Analysis of relations between road transport carriers and customs officers in the Republic of Lithuania“ (Transportas, 1999, XIV t., Nr. 1. „Investigation of flow distribution in time and lines for vehicles in the customs territory“ (Transportas, 1999, XIV t., Nr. 3). „Investigation of transport demurrages connected with customs formalities“ (Transportas, 2000, XV t., Nr. 5). Research interest: social problems of transport.