

Kravas autotransporta līdzekļu sastāvu ceļu satiksmes negadījumu rašanās risku ietekmējošo parametru analīze

Aivis Grislis, Riga Technical University

Kopsavilkums. Pētījuma mērķis ir noteikt sakarību starp kravas autotransporta līdzekļu sastāvu ceļu satiksmes negadījumu notikšanas varbūtību un divjoslu vienas brauktuves autoceļu ģeometriskajiem un transporta plūsmas parametriem. Izmantojot Vuonga testu, savstarpēji salīdzināti Puasona, negatīvais binominālais (NB), Puasona ar nulļu ietekmi (ZIP) un negatīvais binominālais ar nulļu ietekmi (ZINB) regresijas modeļi. Par atbilstošāko izvēlēts ZINB matemātiskās prognozēšanas modelis. Izstrādāts matemātiskais prognozēšanas modelis, izmantojot izvēlēto teorētisko regresijas sadalījumu.

Atslēgas vārdi: autotransporta līdzekļu sastāvs, ceļu satiksmes negadījumu rašanās risks, Puasona sadalījums, negatīvais binominālais sadalījums, nenotikušu notikumu ietekme.

I. IEVADS

Analīzē par kravas autotransporta līdzekli vai to sastāvu tiek uzskatīts jebkurš autotransporta līdzeklis vai to sastāvs, kas paredzēts kravu pārvadājumiem un kura kopējā masa pārsniedz 4536 kg (10000 pounds). Nosacījumiem atbilst vidēji un lieli kravas automobiļi, automobiļu-vilcēju un puspiekabes savienojumi, kravas automobiļu ar piekabi savienojumi un automobiļa un vairāku piekabju savienojumi. Analīze veikta, izmantojot datus par ASV Vašingtonas štata (Washington State) divjoslu ceļiem, kur ceļu satiksmē atļauts piedalīties kravas autotransporta sastāviem ar divām piekabēm. Analīze veikta ceļu satiksmes negadījumiem, kuros ir iesaistīts tikai viens transporta līdzeklis vai to sastāvs. Netiek analizēti ceļu satiksmes negadījumi, kuros iesaistīti vairāki transporta līdzekļi. Pētījuma veikšanai izmantoti tikai divu joslu vienas brauktuves autoceļu posmi ārpus apdzīvotām vietām.

II. PĒTĪJUMA METODIKA

Pētījuma uzdevums ir savstarpēji salīdzināt vairākus teorētiskos regresijas modeļus, izvēlēties atbilstošāko no tiem, izstrādāt matemātiskās modelēšanas modeli un skaitliski novērtēt novērtētu autotransporta līdzekļu plūsmas parametru un divjoslu vienas brauktuves autoceļu ģeometriskos parametru ietekmi uz ceļu satiksmes negadījumu rašanos, kuros ir iesaistīta viena kravas autotransporta vienība. Prognozēšanas modelis izstrādājams ceļu satiksmes negadījumu analīzei, kas notikuši uz divjoslu ceļu posmiem (bez krustojumiem) ārpus apdzīvotām vietām, un kuros ir iesaistīts viens transporta līdzeklis (viens kravas automobilis vai autotransporta līdzekļu

sastāvs). Ceļu satiksmes negadījumi, kuros iesaistīti vairāki autotransporta līdzekļi, netiek analizēti.

Pētījumā savstarpēji tiek salīdzināti četri teorētiskie regresijas modeļi. Tie ir: Puasona (Poisson), negatīvais binominālais (Negative Binomial), Puasona ar nulļu ietekmi (Zero Inflated Poisson) un negatīvais binominālais ar nulļu ietekmi (Zero Inflated Negative Binomial) regresijas modeļi. Sekojošās apakš sadaļās dots regresijas modeļu teorētiskais izklāsts.

A. Puasona (Poisson) regresijas modelis

Satiksmes drošības teorijā uzskata, ka ceļu satiksmes negadījumu skaits, kas notiek kādā noteiktā laika periodā, kādā noteikta garuma ceļa posmā, atbilst normālajam sadalījumam. Tā kā ceļu satiksmes negadījumi ir diskrēti notikumi, normālā sadalījuma (nepārtraukta gadījumluma sadalījums) vietā ieteicams lietot Puasona sadalījumu (diskrētu gadījumlumus aprakstošs teorētiskais sadalījums). Varbūtība, ka noteiktajā laika periodā noteikta ceļa posmā, notiks m_i ceļa satiksmes negadījumi ir vienāda ar:

$$P(m_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{m_i}}{m_i!} \quad (1)$$

Izteiksmē (1) $P(m_i)$ ir varbūtība, ka ceļa posmā i noteiktā laika periodā notiks m_i skaits ceļa satiksmes negadījumi un λ_i ir Puasona parametrs katram i -tajam ceļa posmam.

Attiecība starp sagaidāmo ceļu satiksmes negadījumu skaitu un Puasona parametru ir izsakāma kā matemātiskā cerība: $E[m_i] = \lambda_i$. Sagaidāmais ceļu satiksmes negadījumu skaits (i -tā notikuma sagaidāmais biežums) ir vairāku katru autoceļa posmu raksturojošu parametru (piemēram, brauktuves platums, likumainība, satiksmes plūsma dienā) kopas funkcija. Parasti funkciju starp autoceļa posmu raksturojošo parametru kopu un Puasona parametru izsaka eksponenciālā formā:

$$\lambda_i = e^{\beta X_i} = \text{EXP}(\beta X_i) \quad (2)$$

β ir aprēķināmo parametru vektors un X_i ir autoceļa posmu raksturojošo parametru kopas vektors. Formulā (2) lietotie indeksi apzīmē vektoru, nevis konkrētu vērtību. Sadalījuma funkcijas maksimuma aprēķināšana procedūras (maximum likelihood estimator (MLE) procedure) izmantošana ir viens no veidiem kā iespējams noteikt β

parametrus. Varbūtības funkciju iespējams uzrakstīt šādā formā:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n (EXP(-EXP(\beta X_i))) [(EXP(\beta X_i))^{m_i} / (m_i!)] \quad (3)$$

Logaritmisko funkciju no 3. izteiksmes iespējams uzrakstīt šādā formā:

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^n [-EXP(\beta X_i) + m_i \beta X_i - \ln(m_i!)] \quad (4)$$

Salīdzinājumā ar varbūtības eksponenciālo formu, varbūtības logaritmisko funkciju ir iespējams vieglāk izmantot matemātiskā modeļa izstrādē. Puasona sadalījuma izmantošanas iespējas autotransporta nozares datu analīzei detalizēti aprakstītas literatūrā [1], [2], [3], [4]. Ja Puasona parametrs ir zināms, ceļa satiksmes negadījumu skaita varbūtība i -tajā ceļa posmā ir:

$$P_{0,i} = EXP(-\lambda_i)$$

$$P_{j,i} = \left(\frac{\lambda_i}{j}\right) P_{j-1,i} \quad (5)$$

$P_{0,i}$ ir varbūtība, ka i -tajā ceļa posmā noteiktajā laika periodā nenotiks neviens ceļu satiksmes negadījums. Varbūtība $P_{j,i}$ nosaka, ka i -tajā ceļa posmā noteiktajā laika periodā notiks ceļa satiksmes negadījumi. Pie tam, j apzīmē ceļu satiksmes negadījumu skaitu ($j = 1, 2, 3, \dots$).

B. Negatīvais binominālais (NB) regresijas modelis

Šobrīd nav zināms matemātiskais modelis, ko iespējams lietot situācijās, ja ceļu satiksmes negadījumu datu izlases dispersija (vidējā kvadrātiskā novirze) ir ievērojami mazāka par tās vidējo vērtību (matemātisko cerību), t.i., datu izlasei ir negatīva asimetrija. Ja datu izlases dispersija ir ievērojami lielāka par tās vidējo vērtību, visbiežāk tiek lietots negatīvais binominālais (NB) sadalījuma modelis. Tas ir tuvs Puasona sadalījuma modelim un ir radies līdz ar datu nevienādīguma formulēšanu. Katra i -tā notikuma novērošanas sagaidāmais biežums tagad ir izsakāms kā:

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (6)$$

Vienādībā (6) lietotā funkcija $EXP(\varepsilon_i)$ ir Gammas sadalījuma novirzi aprakstošs elements, kura vidējā vērtība ir 1 un dispersija ir α^2 . Šī mazā papildus elementa ietekme ir nozīmīga, jo tas ļauj izlases dispersijai (variation) atšķirties no vidējā lieluma (matemātiskās cerības (mean)):

$$Var[m_i] = E[m_i][1 + \alpha E[m_i]] = E[m_i] + \alpha E[m_i]^2 \quad (7)$$

Izvēle starp Puasona modeli un negatīvo binominālo (NB) modeli ir atkarīga no α vērtības. Ja α vērtība tiecas uz nulli, negatīvo binominālo modeli iespējams aizstāt ar Puasona

modeli. Ja α vērtība ievērojami atšķiras no nulles, negatīvais binominālais sadalījuma modelis ir labāk piemērots. Faktors α bieži tiek saukts arī par asimetrijas (over-dispersion) parametru. Negatīvo binominālā sadalījuma funkciju iespējams pierakstīt dažādi, viena no formām ir šāda:

$$P(m_i) = \frac{\Gamma((\alpha^{-1}) + m_i)}{\Gamma(\alpha^{-1})(m_i!)} \left(\frac{\alpha^{-1}}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i}\right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\lambda_i}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i}\right)^{m_i} \quad (8)$$

Izteiksmē (8) lietotais $\Gamma(\dots)$ apzīmējums ir Gamma funkcija. Ievērojot negatīvā binominālā sadalījuma blīvuma funkciju (probability mass function (PMF)), varbūtības funkcija uzrakstāma šādā formā:

$$L(\lambda_i) = \prod_{i=1}^n \ln \left[\frac{\Gamma((\alpha^{-1}) + m_i)}{\Gamma(\alpha^{-1})(m_i!)} \left(\frac{\alpha^{-1}}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i}\right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\lambda_i}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i}\right)^{m_i} \right] \quad (9)$$

Negatīvā binominālā sadalījuma modelim sadalījuma funkcijas maksimuma aprēķināšanas procedūru (maximum likelihood estimator (MLE) procedure) piemēro tādā pašā veidā kā to dara Puasona sadalījuma modeļiem. Bieži tiek veikta papildus datu pārbaude, lai noteiktu datu kopas asimetriju (pozitīvu vai negatīvu), t.i., lai noteiktu vai atšķirība starp matemātisko cerību un vidējo kvadrātisko novirzi ir statistiski ievērojama. Plašāka informācija par negatīvā binominālā sadalījuma īpašībām atrodama literatūrā [3], [4], [5], [6], [7], [8].

C. Nulles gadījumu skaita ietekme

Ceļu satiksmes negadījumu skaita prognozēšanas pētījumos izšķir divu veidu nenotikušus notikumus: nenotīcis ceļu satiksmes negadījums, kas citā laika periodā varētu notikt ar noteiktu varbūtību un nenotīcis ceļu satiksmes negadījums, kas nekad nevarētu notikt (true zero accident). Matemātiskā modeļa izstrādei izmantotajā datu izlasē abu veidu nenotikušie ceļu satiksmes negadījumi parādās kā nulles. Svarīgi, cik labi matemātiskais prognozēšanas modelis nošķir šo divu veidu nenotikušos notikumus.

Speciāli Puasona sadalījuma un negatīvā binominālā sadalījuma modeļi: Zero-Inflated Poisson (ZIP) un Zero-Inflated negative binomial (ZINB) ir izstrādāti, lai risinātu daudzu nulles gadījumu skaitīšanas procesus [1]. Iemesli tam, ka kādā no ceļa posmiem noteiktā laika periodā netiek novēroti attiecīgi notikumi, var būt dažādi. Speciālo matemātisko modeļu mērķis ir noteikt vai datu izlasē ir kāds novērojums, kas ir tuvu nulles skaitam vai to skaits ir nulle, un, ja tādi ir, kādam no zināmajiem teorētiskajiem sadalījuma likumiem tas ir tuvāks. Tomēr pastāv diskusija par šo specifisko modeļu pamatotību un iespējamo izmantošanu transporta nozares pētījumos. Literatūrā [4], [9] pieejama plašāka informācija par šo speciālo modeļu izmantošanas iespējām.

ZIP un ZINB matemātisko sadalījumu algebriskais pieraksts veikts atbilstoši J.M. Williamson un līdzautoru darbam [10]. Pieņemsim, ka M_i ir nenegatīvs vesels ceļa satiksmes

negadījumu skaits, kas noticis sistēmas *i-tajā* ceļa posmā, $i = 1, 2, 3 \dots N$. Varbūtība, ka nulle ir lieka tiek apzīmēta ar π_i , $0 \leq \pi_i \leq 1$. Atbilstoši Y.B. Cheung darbam [11], ja gadījuma lielums M_i seko ZIP sadalījumam, tad [10]:

$$P(M_i = m_i) = \begin{cases} \pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i}, & \text{ja } m_i = 0 \\ (1 - \pi_i) \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{m_i}}{m_i!}, & \text{ja } m_i > 0 \end{cases}$$

ja $i = 1, 2, 3 \dots N$. (10)

ZIP sadalījumam atbilstoša gadījuma lieluma matemātiskā cerība ir vienāda ar: $E(M_i) = (1 - \pi_i)\lambda_i$, bet dispersija – ar: $VAR(M_i) = (1 - \pi_i)\lambda_i(1 + \pi_i\lambda_i)$.

Ja gadījuma lielums M_i seko ZINB sadalījuma likumam, tad [10]:

$$P(M_i = m_i) = \begin{cases} \pi_i + (1 - \pi_i) \left(\frac{1}{1 + \alpha\lambda_i}\right)^{\alpha-1}, & \text{ja } m_i = 0 \\ (1 - \pi_i) \frac{\Gamma((\alpha-1) + m_i)}{\Gamma(\alpha-1)\Gamma(m_i+1)} \left(\frac{\alpha\lambda_i}{1 + \alpha\lambda_i}\right)^{m_i} \left(\frac{1}{1 + \alpha\lambda_i}\right)^{\alpha-1}, & \text{ja } m_i > 0 \end{cases}$$

ja $i = 1, 2, 3 \dots N$. (11)

ZINB sadalījumam atbilstoša gadījuma lieluma matemātiskā cerība ir vienāda ar: $E(M_i) = (1 - \pi_i)\lambda_i$, bet dispersija – ar: $VAR(M_i) = (1 - \pi_i)\lambda_i(1 + (\alpha + \pi_i)\lambda_i)$, kur α ir asimetrijas (over-dispersion) parametrs. Ja $\alpha \rightarrow 0$, ZINB modelis atbilst ZIP modelim un izteiksme (11) kļūst vienāda ar izteiksmi (10).

Pētījuma izstrādē ir izmantotas matemātisko modeļu izvēles pamatnostādnes, ko izstrādājuši V. Shankar ar kolēģiem [12]. Metode balstīta uz Vuonga testa iespējamajām vērtībām un asimetrijas parametra α t-statistiku. Vuonga statistika [13] tiek lietota, lai noteiktu, kurš no teorētiskajiem sadalījumiem precīzāk atbilst konkrētajai datu izlasei. Pētījumā savstarpēji novērtēti un salīdzināti Zero-Inflated Poisson (ZIP) un Zero-Inflated negative binomial (ZINB) matemātiskie modeļi.

III. IEPRIEKŠ VEIKTIE PĒTĪJUMI

Iepriekš veikto pētījumu analīzē uzsvars likts uz matemātisko prognozēšanas modeļu pielietošanu ceļu satiksmes negadījumu izpētē, kas notikuši uz divu joslu vienas brauktuves ceļiem un kuros iesaistīti kravas automobiļi vai to sastāvi. Lineārā regresija ir viena no biežāk pielietotajām modelēšanas metodēm notikumu prognozēšanā. Tā iemesls ir tās salīdzinošā vienkāršība. Lineārās regresijas analīzes piemērs vispārējā ceļu satiksmes negadījumu prognozēšanā ir Okamoto un Koshi veiktais pētījums [14]. Pētnieka Shau-Pin Miaou vadītajos pētījumos [2], [3], [6] salīdzināti lineārā sadalījuma modeļi ar normālsadalījuma jeb Puasona (Poisson) sadalījuma modeļiem un Puasona modeļi ar negatīvā binominālā sadalījuma modeļiem. Secināts, ka, salīdzinot ar lineārā sadalījuma modeļiem, Puasona sadalījuma modeļi labi apraksta nejauši notikušus, diskrētus, nenegatīvus ceļu

satiksmes negadījumus. Puasona sadalījuma (ieskaitot Zero-Inflated Puasona (ZIP) sadalījuma), negatīvā binominālā (NB) sadalījuma (ieskaitot Zero-Inflated negatīvā binominālā (ZINB) sadalījuma) modeļus ceļu satiksmes negadījumu skaita un tos ietekmējošo parametru prognozēšanas pētījumos izmantojuši M. Poch un F. Mannering [7], un Y. Wang [8]. Šajos pētījumos prognozēti autoceļu krustojumos notikušie ceļu satiksmes negadījumi izmantojot negatīvā binominālā sadalījuma modeļus. M. A. Hadi [15], izmantojot ceļu satiksmes negadījumu statistiskos datus no ASV Floridas štata, izstrādājis prognozēšanas modeli ceļu satiksmes negadījumu biežuma novērtēšanai uz šosejām (highways) pie dažāda satiksmes intensitātes līmeņa. Ceļa ģeometriskā parametru un citu apkārtējās vides faktoru ietekme uz vispārēju ceļu satiksmes negadījumu notikšanas frekvenci (biežumu) uz autoceļiem, izmantojot dažādus Puasona un negatīvā binominālā sadalījuma matemātiskās prognozēšanas modeļu variantus, novērtēta pētījumā, ko veicis V. Shankar [12].

Uz divjoslu ceļiem ārpus apdzīvotām vietām notikušo ceļu satiksmes negadījumi analizēti gan Eiropā, gan ASV. Daži no pētījumiem specifiski orientēti/mērķēti autoceļu (ārpus apdzīvotām vietām) ģeometriskā parametru un ceļu satiksmes negadījumu notikšanas savstarpējo sakarību noskaidrošanai. Piemēram, izmantojot negatīvo binominālo sadalījumu, A. Vogt un J. Bared [16] izstrādājuši atsevišķos divjoslu ceļa posmos ārpus apdzīvotām vietām un autoceļu krustojumos ar mazākas nozīmes ceļiem notiekošu ceļu satiksmes negadījumu prognozēšanas modeļus. Ceļu satiksmes negadījumu, kuros iesaistīti kravas automobiļi un to sastāvi, ietekmējošo divjoslu autoceļu un apkārtējās vides parametru analīze un iespējamā ceļu satiksmes negadījumu skaita prognozēšana, veikta salīdzinoši reti. Ceļu satiksmes negadījumos, kuros iesaistīti kravas automobiļi un to sastāvi, bojā gājušo un ievainoto skaita analīzi, izmantojot multinomial logit izpētes paņēmieni, veicis A. Khorashadi ar kolēģiem [17]. Pētījumā salīdzināti apdzīvotās vietās un ārpus tām notikušo ceļu satiksmes negadījumu rašanos ietekmējošie faktori – autovadītāji, transporta līdzekļi, apkārtējā vide, autoceļa ģeometrija un satiksmes plūsma.

Vispārēji ceļu satiksmes negadījumi un to rašanos ietekmējošie faktori ir analizēti plaši. Pieejami pētījumu rezultāti, kas vairāk orientēti uz divu joslu autoceļiem notikušo satiksmes negadījumu prognozēšanu izmantojot dažādus teorētiskos sadalījumu modeļus. Pētījumi par ceļu satiksmes negadījumu, kuros ir iesaistīti kravas automobiļi un to sastāvi, ietekmējošajiem faktoriem un apstākļiem ir salīdzinoši maz. Pieejami tikai daži pētījumu rezultāti par ceļu satiksmes negadījumu prognozēšanas modeļu izstrādi divu joslu autoceļu posmiem.

IV. IZSTRĀDĀTĀ DATU IZLASE UN DATU BĀZE

Pētījuma veikšanai un matemātiskā modeļa izstrādei tiek izmantoti dati no ASV Lielceļu Drošības Informācijas Sistēmas (Highway Safety Information System) (HSIS) datu bāzes. Izvēlētajā datu bāzē ir apkopota informācija par deviņos

ASV štatoss notikušajiem ceļu satiksmes negadījumiem un autoceļu ģeometriskajiem parametriem. Veiktais pētījums balstīts uz informāciju par Vašingtonas štatā notikušajiem ceļu satiksmes negadījumiem un tur esošajiem divjoslu vienas brauktuves autoceļiem.

Pētījuma sagatavošanās periodā veikta sākotnējā HSIS datu bāzes izpēte izmantojot internetā pieejamo informāciju par datu bāzes pieejamajiem laukiem [18]. Vairāki no pieejamajiem datu laukiem netika pieprasīti, lai izpildītu konfidencialitātes nosacījumu. Pēc datu iegūšanas, konstatēts, ka pilnīga informācija par ceļu satiksmes negadījumos iesaistīto autotransporta līdzekļu tipu ir pieejama sākot ar 2002. gadu. Turpmākajā analīzē tiek izmantoti dati par laika posmu no 2002. gada līdz 2005. gadam.

Sākotnējā matemātiskā modeļa izstrādes stadijā izmantoti visi pieejamie datu lauki (raksturojošie mainīgie).

Pētījuma veikšanai pieejamā informācija apstrādāta un sakārtota speciāli izstrādātajā datu bāzē *MS SQL 2005* vidē. Šķirti esošie datu faili apvienoti atbilstoši katra ceļu satiksmes negadījuma lietas numuram, gadam, autoceļa numuram un autoceļa tekošajai kilometrāžai. Datu bāze veidota par pamatu ņemot datu failus „*Road file*”, jo tajos esošie dati sadalīti atbilstoši ceļa posmiem, kuros ir nemainīgi visi ceļa klātnes parametri (piemēram, joslu platums, nomales, u.c.).

Pētījumā analizēti ceļu satiksmes negadījumi, kas notikuši uz divu joslu vienas brauktuves autoceļiem ārpus apdzīvotām vietām. Atbilstoši HSIS datu bāzes konfigurācijai, atlasīti ieraksti par 8193,17 kilometriem (*5091 jūdzes*), kas ir aptuveni 95% no visiem divjoslu lielceļiem Vašingtonas štatā. Aptuveni 68% no datu izlasē esošajiem ceļa posmiem kravas automobiļu vidējā dienas plūsmas intensitāte gadā nepārsniedz 500 transportlīdzekļus dienā (automobiļu/diennakts). Vidējā kravas automobiļu dienas plūsma gadā (*TruckAADT*) aprēķināta izmantojot HSIS datu bāzē pieejamos datus par kopējo vidējo dienas plūsmas intensitāti gadā (*AADT*) un kravas transportlīdzekļu procentuālo daļu satiksmes plūsmā katrā ceļa posmā kalendārā gadā (*TruckPrct*).

Atbilstoši ceļa numuram un tekošajai kilometrāžai pievienota informācija par autoceļu plāna līknes parametriem: pagrieziena līknes leņķi, rādiusu, sākuma un beigu punktu. Informācijas datu bāzē pieejama informācija par ceļa garenprofila kāpuma un krituma gradientu: izmaiņas virziens, slīpums, sākuma un beigu punkts.

Veicot informācijas precizitātes un uzticamības pārbaudi, noteikts informācijas adekvātums par autoceļa platumu, joslu konfigurāciju un lielāku pilsētu esamību kādā noteiktā ceļa posmā. Ceļa posmi, kas atrodas pilsētu teritorijā, ir izņemti no izmantotās datu izlases. Atbilstoši pētījuma uzdevumam, dati par ceļu satiksmes negadījumiem autoceļu krustojumos izņemti no izmantotās datu izlases.

Izmantotā datu izlase izveidota atbilstoši HSIS datu bāzes īpašībām un kravas autotransporta līdzekļu definīcijai, kas dota ievadā. Datu izlasē ietverta informācija par 66134 ceļu satiksmes negadījumiem, kas notikuši pētījuma perioda laikā (2002. – 2005. gads) uz Vašingtonas štata divu joslu vienas brauktuves 148 lielceļiem (*State Roads*). Tas ir vidēji 10760

ceļu satiksmes negadījumi (standartnovirze $SD = 300$) gadā, kuros ir iesaistīti aptuveni 16500 transportlīdzekļi gadā. Aptuveni 3,5% no visiem negadījumiem, jeb 2279 ceļu satiksmes negadījumos, ir iesaistīti lieli kravas automobiļi un to sastāvi. No tiem 1327 gadījumos jeb 58% ir iesaistīti divi autotransporta līdzekļi, 76 gadījumos (3%) ir iesaistīti trīs autotransporta līdzekļi un mazāk par 1% no visiem ceļu satiksmes negadījumiem (iesaistīti lieli kravas autotransporta līdzekļi) ir iesaistīti vairāk par trim autotransporta līdzekļiem. Pētījuma uzdevums ir analizēt ceļu satiksmes negadījumus, kuros ir iesaistīts viens autotransporta līdzeklis. Datu izlasē ir 863 atbilstoši ieraksti, kas sastāda 38% no visiem ceļu satiksmes negadījumiem ar lieliem kravas automobiļiem.

V. MATEMĀTISKĀ MODEĻA IZSTRĀDE

Par vienas transporta vienības lielu kravas automobiļu un ATL sastāvu ceļu satiksmes negadījumu atkarīgo mainīgo definēts kravas automobiļu un ATL sastāvu ceļu satiksmes negadījumu skaits (*TruckAccNum*) katrā ceļa posmā visa analīzes perioda laikā. Analīzes datu bāzē atkarīgais mainīgais ieviests saskaņojot autoceļa identifikācijas numuru, katra autoceļa posma sākuma un beigu kilometrāžu ar ceļu satiksmes negadījuma notikšanas kilometrāžu. Datu izlasē ir 13799 autoceļa posmi, kuros visā analīzes perioda laikā nav noticis neviens atbilstošs ceļu satiksmes negadījums (96,5% no datu izlasē iekļautajiem autoceļu segmentiem). Pēc datu pareizības un precizitātes pārbaudes, kā arī datu apstrādes un neatbilstošo datu izņemšanas no datu izlases, visu pieejamā informācija apkopota *MS SQL 2005* datu bāzē.

Tā kā analizējot ceļu satiksmes negadījumus var teikt, ka varbūtība tos novērot nav atkarīga no citu novērojumu rezultātiem šajā pašā ceļa posmā vai citur (ceļu satiksmes negadījuma notikšana vispārējā gadījumā nav atkarīga no cita ceļu satiksmes negadījuma notikšanas), tad jebkuru novēroto ceļu satiksmes negadījumu var uzskatīt par neatkarīgu. Neatkarīgu notikumu varbūtību iespējams noteikt izmantojot Bernulli formulu [19]. Salīdzinoši mazās ceļu satiksmes negadījumu notikšanas varbūtības un lielā novērojumu skaita dēļ, ceļu satiksmes negadījumu varbūtības aprēķinā Bernulli formulu var aproksimēt ar Puasona formulu [20].

Izmantojot datu izlasi, noteikta dažādu sadalījumu modeļu piemērotība vienas transporta vienības ceļu satiksmes negadījumu notikšanas ticama matemātiskā modeļa izstrādei. Pārbaude veikta savstarpēji salīdzinot *NB*, *ZINB*, Puasona un *ZIP* modeļus. Procedūrā izmantoti literatūrā [12] dotie norādījumi. Speciālajos matemātiskajos modeļos (*ZIP* un *ZINB*) ņem vērā datu izlasē esošo nenotikušo notikumu novērojumu divējādo dabu, t.i. datu ģenerēšanas procesā paredzēts sadalīšanas režīms: „divu veidu nulles” (nenotikuši notikumi) – pilnībā droši un nedroši. Atbilstoša matemātiskā modeļa izvēle ir izdarīta balstoties uz *Vuonga* testa [13] vērtību un asimetrijas parametra (ω) *t*-statistisku.

Sākotnēji modeļu pārbaudes procedūra veikta izmantojot statistisko programmatūru „*SYSTAT 11*” (veikta datu *t*-statistika), tomēr, programmatūras ierobežoto iespēju dēļ [21],

turpmākais pārbaudes process veikts izmantojot atvērtā koda programmatūru „R 2.7.1” [22].

Datu izlases asimetrijas parametra vērtība ir: $\alpha = 0,587$ tā t-statistikas vērtība ir 5,886. Tā kā α vērtība uzrāda, ka VI. datu kopas sadalījums ir asimetrisks (pie varbūtības līmeņa 95%), Puasona sadalījuma modelis nav piemērots šai datu izlasei. *Vuonga Non-Nested Hypothesis Test* statistiskā parametra vērtība ir: $V = -10,175$, kas iesaka lietot *Zero-Inflated* speciālo matemātisko modeli.

Atbilstoši veikto pārbažu rezultātiem, *Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB)* sadalījuma modelis izvēlēts, lai noteiktu sagaidāmo ceļu satiksmes negadījumu notikšanas frekvenci. *ZINB* modeļa metodoloģija un pielietošanas piemēri transporta problēmu risināšanā atrodami literatūrā [3], [12].

Matemātiskā modeļa izstrādes gaitā noteikta ceļu satiksmes negadījumu, kuros iesaistīta viena transporta vienība – kravas automobilis, vai autotransporta līdzekļu sastāvs, sagaidāmā notikšanas funkcija katrā ceļa i-tajā posmā uzrakstāma šādā formā:

$$\lambda_i = (L_i) \exp(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (12)$$

Izteiksmē (12) izmantotais parametrs (L_i) ir katra i-tā ceļa posma garums (jūdzes), β ir katra ietekmējošā parametra koeficients, kas ir jāaprēķina, un ε_i ir NB sadalījumu raksturojošais parametrs. Ja ceļu satiksmes negadījumu risks ir definēts kā notikušo ceļu satiksmes negadījumu skaits pret kopējo transportlīdzekļu nobraukumu, tad funkcija $\exp(\beta X_i + \varepsilon_i)$ izsaka šo ceļu satiksmes negadījumu notikšanas risku. Iespējamo lieko nullu ietekme un to divējādā daba ir ievērtēta izstrādājot matemātisko modeli atbilstoši izteiksmei (11).

Datu analīze un varbūtības blīvuma funkcijas noteikšana veikta izmantojot programmatūras „R 2.7.1” *Political Science*

Computational Laboratory, Stanford University izstrādāto statistisko moduli „pscl” [23].

VI. MATEMĀTISKĀS MODELĒŠANAS REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Izstrādātā *Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB)* matemātiskā modeļa rezultāti uzrādīti 1. tabulā. Tajā norādīta katra ietekmējošā parametra koeficienta vērtība un standartklūda (*Standard Error*). Koeficienta vērtība un zīme (negatīvs/pozitīvs) raksturo katra parametra ietekmi uz iespējamo ceļa satiksmes negadījumu risku. Mainīgā parametra koeficienta negatīva vērtība norāda, ka parametra ietekme uz ceļa satiksmes negadījumu rašanās risku samazinās, ja tā vērtība palielinās.

Izstrādātā matemātiskā modeļa rezultāti (skatīt 1. tabulu) uzrāda tikai ceļu satiksmes negadījumu rašanās risku būtiski ietekmējošos parametrus. Autoceļu ģeometriskie parametri un transporta plūsmu raksturojošie parametri, kuru ietekme uz analizēto specifisko CSNg risku nav būtiska pie varbūtības līmeņa 95%, nav iekļauti matemātiskā modeļa rezultātu tabulā. Ceļu satiksmes negadījumus, kuros ir iesaistīta viena transporta vienība – kravas automobilis vai autotransporta līdzekļu sastāvs, būtiski ietekmē septiņi transporta plūsmas un autoceļu ģeometriskie parametri. Jāņem vērā, ka modeļa izstrādes uzdevums bija noteikt tikai būtiski ietekmējošos parametrus, kas saistāmi ar transporta plūsmu un divu joslu autoceļiem ārpus apdzīvotām vietām. Modelī netika analizēti citi iespējamie ietekmējošie parametri (piemēram: redzamība, laika apstākļi, autovadītāju psiho-sociālās īpašības). Par būtiski ietekmējošiem parametriem uzskatīti visi tie, kuru z-testa vērtība pārsniedza 1,96 (atbilst varbūtības līmenim 95%).

1. TABULA

ĀRPUS APDZĪVOTĀM VIETĀM, UZ DIVU JOSLU CEĻIEM NOTIEKOŠU CEĻU SATIKSMES NEGADĪJUMU, KUROS IESAISTĪTA VIENA KRAVAS AUTOTRANSPORTA VIENĪBA, RISKU IETEKMĒJOŠIE PARAMETRI, KAS NOTEIKTI, IZMANTOJOT ZERO-INFLATED SPECIĀLO NEGATĪVO BINOMINĀLO SADALĪJUMU

Diskrētu notikumu modelis (<i>negative binomial with log link</i>)				
Mainīgais	Mainīgā skaidrojums	Koeficienta vērtība	Standartnovirze	z vērtība
Constant	Konstante	-3.694	0.193	-19.136
TruckPct	Kravas automobiļu procentuālais skaits	0.071	0.005	13.058
MVMT	Autotransporta līdzekļu kopējais nobraukums	0.515	0.051	10.004
aadt	Vidējā ikdienas transporta plūsma gadā	-0.113	0.017	-6.568
PrincipArterial	Galvenais autoceļš ārpus apdzīvotas vietas	0.594	0.099	5.981
AveShldWid	Abu nomaļu vidējais platums	-0.067	0.020	-3.273
PrcCurveC	Ceļa posma daļa, kurā ir līkums ar pagriezienu leņķi robežās $6 \leq \alpha < 10$ grādi (procenti)	0.022	0.003	7.587
PrcCurveD	Ceļa posma daļa, kurā ir līkums ar pagriezienu leņķi robežās $\alpha \geq 10$ grādi (procenti)	0.023	0.003	7.444

Nulļu ietekmes (Zero-Inflated) modeļa koeficienti (binomial with logit link)				
Mainīgais	Mainīgā skaidrojums	Koeficienta vērtība	Standartnovirze	z vērtība
Konstante	Konstante	2.541	0.186	13.678
MVMT	Autotransporta līdzekļu kopējais nobraukums	-10.308	1.970	-5.233
Atbilstības varbūtība konstantei (Log-likelihood with constant only) (G)				-2467
Atbilstības varbūtība pilnam modelim (Log-likelihood at convergence) (G)				-1979

Visvairāk ceļu satiksmes negadījumu skaitu ietekmējošais parametrs ir kravas automobiļu procentuālais skaits kopējā transporta plūsmā (*TruckPrct*), kura z-testa vērtība ir 13,058. Parametrs „*TruckPrct*” raksturo kravas automobiļu plūsmu katrā ceļa posmā. Jo vairāk kravas automobiļu pārvietojas pa konkrēto ceļa posmu, jo augstāks ir ceļu satiksmes negadījumu risks, kuros ir iesaistīti kravas automobiļi un to sastāvi.

Kopējais nobraukums katrā ceļa posmā (*MVMT*) ir vienīgais parametrs, kas būtiski ietekmē gan iespējamo ceļu satiksmes negadījumu skaitu, gan varbūtību, ka nenotiks šāds ceļu satiksmes negadījums. Parametrs „*MVMT*” ir stipri ietekmējošs parametrs, kam ir pieaugoša ietekme (parametra koeficienta vērtība: $\beta = 0,505$). Analizējot nenotikušu ceļu satiksmes negadījumu nenotikšanas drošumu (*true-zero state*), parametrs „*MVMT*” ir vienīgais būtiskais parametrs, kas nosaka pilnībā drošus ceļa posmus. Palielinoties kopējam nobraukumam katrā ceļa posmā, varbūtība, ka nenotiks ceļu satiksmes negadījums, strauji samazinās. To uzrāda parametra koeficienta negatīvā vērtība ($\beta = -10,308$) modeļa nenotikušo notikumu analīzes daļā.

Vidējās ikdienas transporta plūsmas intensitāte gadā (*AADT*) būtiski ietekmē ceļu satiksmes negadījumu skaitu, kuros ir iesaista viena transporta vienība (modelī izmantoti dati *AADT * 1000*). Parametra koeficienta vērtība ir negatīva, kas liecina, ka, pieaugot vidējai ikdienas transporta plūsmai ceļa posmā, parametra ietekme uz ceļu satiksmes negadījumiem samazinās. Šķietami nepareizo rezultātu iespējams ietekmē autoceļu posmu dažāda tehniskais stāvoklis. Autoceļu posmi, kurus izmanto intensīvāk (augstāka vidējā ikdienas transporta plūsma gadā), parasti projektē piemērojot augstākas drošības normas (piemēram: labāka ceļa vizuālā uztveramība, samazināts nedrošu ceļa elementu skaits). Modelēšanas rezultātus ietekmē arī izmantotās datu izlases izvēle.

Lai identificētu autoceļu posmu funkciju klases ietekmi uz ceļu satiksmes negadījumu notikšanas skaitu, modelī izmantoti trīs binārie mainīgie. Atbilstoši modelēšanas rezultātam, ceļa posma piederība galvenajam autoceļam ir būtisks ceļu satiksmes negadījumu skaitu ietekmējošs faktors. Parametra būtiskā ietekme uz ceļu satiksmes negadījumu skaitu būtu jāņem vērā lemjot par finansējuma piešķiršanu autoceļu remontam un rekonstrukcijai.

Vidējā abu ceļa nomaļu platuma „*AveShldWid*” ietekme ir salīdzinoši neliela, tomēr tas jāuzskata par vienu no galvenajiem ietekmējošajiem faktoriem. Negatīvā koeficienta zīme norāda, ka ietekme uz pieaugošu ceļu satiksmes negadījumu skaitu, palielinoties vidējās ceļa nomaļu platumam, samazinās.

Modelēšanas rezultāti uzrāda, ka likumi ar pagrieziena leņķi virs 6 grādiem (mainīgie: „*PrcCurveC*” un „*PrcCurveD*”)

būtiski ietekmē analizētā veida ceļa satiksmes negadījumu rašanās risku. Pozitīvā parametra koeficienta vērtība norāda, ka ceļa posmos, kuru procentuāli lielāku daļu aizņem līkums ar pagrieziena leņķi virs 6 grādiem, rada pieaugošu ceļu satiksmes negadījumu rašanās risku. Modeļa izstrādes gaitā izmantoti arī parametri „*PrcCurveA*” un „*PrcCurveB*”, tomēr to ietekme uz ceļu satiksmes negadījumu rašanos nevar tikt uzskatīta par būtisku.

Modeļa rezultāti uzrāda, ka autoceļa garenprofila kāpums un kritums būtiski neietekmē analizētā veida ceļu satiksmes negadījumu rašanās risku. Nevienš no autoceļu garenslīpuma parametriem (*PrcGradeA*, *PrcGradeB*, *PrcGradeC* un *PrcGradeD*) nav vērtējams kā būtisks. Iegūtie rezultāti saskan ar secinājumiem, ko izdarījis J. Mohamedshah savā pētījumā [24].

Sadalījuma funkcijas mēra parametrs (*shape/scale parameter*) θ nebija zināms, tas tika noteikts atbilstoši modelī izmantotajiem datiem. Parametra θ vērtība ir tuva 1. Modeļa atbilstības mērs: $G^2 = -1979$ uzrāda salīdzinoši augstu modeļa uzticamības pakāpi. Tomēr modelis nav statistiski nevainojams, vairāku detalizētu parametru, lielākas datu izlases, „tīrāku” datu izmantošana dotu precīzākus un uzticamākus modelēšanas rezultātus.

Pētījuma rezultāti uzskatāmi par būtisku sākotnējās izpētes soli, lai noskaidrotu lielu kravas automobiļu un autotransporta līdzekļu sastāvu ceļu satiksmes negadījumu, kuros iesaistīta viena transporta vienība, ietekmējošos faktoros. Izmantojot datu izlasi un matemātiskās modelēšanas iespējas ir identificēti svarīgi CSNg rašanās risku ietekmējoši transporta plūsmu un autoceļu ģeometriskie parametri. Pētījuma veikšanā lietota metodika, kas uzskatāma par progresīvu risinājumu. Iegūtais matemātiskais modelis nodrošina apmierinošu statistisko atbilstību izejas datiem un labus rezultātus.

Modelēšanas rezultātā iegūti kvantitatīvi salīdzināmi autoceļu ģeometriju un transporta plūsmu raksturojošo parametru ietekmes rādītāji uz ceļu satiksmes negadījumu skaitu, kuros ir iesaistīta viena transporta vienība – kravas automobilis vai autotransporta līdzekļu sastāvs.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. S. P. Washington, M. Karlaftis, and F. Mannering, *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2003.
2. S.P. Miaou and H. Lum, "Modeling Vehicle Accidents and Highway Geometric Design Relationships," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 25, no. 6, pp. 689-709, 1993.
3. S.P. Miaou, "The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 26, no. 4, pp. 471-482, 1994.
4. D. Lord, S.P. Washington, and J.N. Ivan, "Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing

- statistical fit and theory," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 37, no. 1, pp. 35-46, 2005.
5. **A. Cameron and P. Trivedi**, "Regression Based Tests for Overdispersion in the Poisson Model," *Journal of Econometrics*, vol. 46, no. 3, pp. 347-364, 1990.
 6. **S.P. Miaou and H. Lum**, "Statistical Evaluation of the Effects of Highway Geometric Design on Truck Accident Involvements," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1407, pp. 11-23, 1993.
 7. **M. Poch and F. Mannering**, "Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 122, no. 2, pp. 105-113, 1996.
 8. **Y. Wang, H. Ieda, and F. Mannering**, "Estimating Rear-End Accident Probabilities at Signalized Intersections: Occurrence-Mechanism Approach," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 129, no. 4, pp. 377-384, 2003.
 9. **D. Lord, S.P. Washington, and J.N. Ivan**, "Further Notes on the Application of Zero Inflated Models in Highway Safety," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 39, no. 1, pp. 53-57, 2007.
 10. **J.M. Williamson, L. Hung-Mo, and R.H. Lyles**, "Power Calculations for ZIP and ZINB Models," *Journal of Data Science*, vol. 5, pp. 519-534, 2007.
 11. **Y. B. Cheung**, "Zero-inflated models for regression analysis of count data: a study of growth and development," *Statistics in Medicine*, vol. 21, p. 1461-1469, 2002.
 12. **V. Shankar, J. Milton, and F. Mannering**, "Modeling Accident Frequencies as Zero-Altered Probability Processes: An Empirical Inquiry," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 29, no. 6, pp. 829-837, 1997.
 13. **Q. Vuong**, "Likelihood Ratio Tests for Model Selection and Non-Nested Hypotheses," *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, vol. 57, pp. 307-334, 1989.
 14. **H. Okamoto and M. Koshi**, "A Method to Cope with Random Errors of Observed Accidents Rates in Regression Analysis," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 21, no. 4, pp. 317-322, 1989.
 15. **M.A. Hadi, J. Aruldas, L.F. Chow, and J.A. Wattleworth**, "Estimating Safety Effects of Cross-Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression," *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board of the National Academies*, vol. 1500, pp. 169-177, 1993.
 16. **A. Vogt and J. Bared**, "Accident Models for Two-Lane Rural Segments and Intersections," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1635, pp. 18-28, 1998.
 17. **A. Khorashadi, D. Niemeier, V. Shankar, and F. Mannering**, "Differences in Rural and Urban Driver-Injury Services in Accidents Involving Large-Trucks: An Exploratory Analysis," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, no. 5, pp. 910-912, 2005.
 18. **Turner-Fairbank Highway Research Center**. (developed: 2007, May) Highway Safety Information System (HSIS). [Online]: <http://www.hsisinfo.org/hsis.cfm?num=5&page=3>
 19. **Z. Goša**, *Statistika*. Rīga: Izglītības solī, 2004.
 20. **F. Mannering, W.P. Kilareski, and S.S. Washburn**, *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*, 3rd ed. USA: John Wiley & Sons, 2005.
 21. **SYSTAT**, *Manual for SYSTAT 11*. Point Richmond: SYSTAT Software, 2005.
 22. **R Development**. (Developed: 2006, April) The R Project for Statistical Computing. [Online]: <http://www.r-project.org/index.html>
 23. **S. Jackman**. (2008, April) Department of Political Science, Stanford University. Stanford. [Online]. <http://pscl.stanford.edu>
 24. **Y.M. Mohamedshah, J.F. Paniati, and A.G. Hobeika**, "Truck Accident Models for Interstates and Two-lane Rural Roads," *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board of the National Academies*, vol. 1407, pp. 35-41, 1993.

Aivis Grīslis, M.Sc.Eng. The author of paper initiated studies at Riga Technical University in 1998. The bachelor's degree in Mechanical Engineering has been obtained in the 2001. Master's degree in transportation and traffic science has been defended in 2004. Studies at professional master's degree in total quality management have been successfully finished in 2005. The author is studying at doctoral study program in Department of Automobile Transport since 2004. The author is currently working as an assistant in Department of Automobile Transport at Riga Technical University and lecturing study courses: "Road transport, basics" and "Road transport, advanced course (Parts: I, II, and III)". At the same time working as manager for Courses of Professional Competence in International Road Haulage and Passenger Transport, "AutoRTU" Ltd. Previously, the author was a technical expert of road haulage and passenger transport management at quality management system audits. The author has won the Werner Von Siemens Excellence Award in 2004 and he is a grant recipient from the U.S. scholarship program „Valle Scholarships Program” in 2007.- 2008.

Aivis Grīslis. Analysis of Factors Influencing Freight Combination Vehicles' Collisions

This paper provides a demonstration of choosing the most appropriate statistical model and modeling techniques for large truck accident number prediction. The study is focused on examination of geometric parameters of two-lane rural segments of highways affecting single-vehicle large truck accidents. The study is done to specify geometric parameters of two-lane rural roads affecting large truck accidents where only one vehicle/combination vehicles is involved. The effects of controllable roadway design on single-vehicle large truck accident risk were quantitatively evaluated. Data from the Highway Safety Information System (HSIS) covering information about traffic accidents in Washington State for 2002-2005 is used for his study. The appropriateness of Negative Binomial, Zero Inflated Negative Binomial, Poisson and Zero Inflated Poisson regression models has been checked to create the reliable model for single-vehicle large truck accident prediction. The model-selection is based on possible value of the Vuong test overdispersion parameter (α) t-statistics. The ZINB regression model is chosen for modeling the expected frequency for single-vehicle large truck accidents. Created model provide a good statistical fit and provide reasonable results. The most significant geometric parameters influencing single-vehicle large truck accidents on two lane rural roads are average shoulder width and the percentage of roadway segment with curvature larger than 6 degrees. Traffic-related elements: annual average daily traffic (AADT), million vehicle miles traveled (MVMT) and truck percentage in the traffic stream on roadway segment have increasing effect on number of single-vehicle large truck accidents. Road segments of principal arterials have increasing effect too. It is found that MVMT is exclusive parameter for zero-accident state.

Айвис Грислис. Анализ факторов, влияющих на столкновения грузовых автопоездов

Настоящая статья предусматривает демонстрацию выбора наиболее подходящей статистической модели и методы моделирования для прогнозирования вероятного числа аварий грузовых автопоездов. Исследование основано на изучении геометрических параметров автомобильных дорог с двумя полосами движения, влияющих на аварии одного автотранспортного средства или большого грузовика. Исследование проведено для уточнения геометрических параметров дорог с двумя полосами движения, влияющих на аварий грузовиков, где участвует только один автомобиль / транспортное средство. Количественно оценены эффекты меняемых параметров проезжей части на риск аварии одного грузового автомобиля. Для исследования используются данные информационной системы по безопасности дорожного движения, охватывающий информацию в штате Вашингтон за 2002-2005 годы. Для создания надежной модели для прогнозирования вероятного числа дорожно-транспортных происшествий с одним транспортным средством была проверена целесообразность моделей регрессии: Пуассона, отрицательное биномиальное и оба распределения с завышенным числом нулей (ZIP и ZINB). Отбор лучшей модели основана на возможном значении параметра Vuong теста и t-статистики. Модель регрессии ZINB выбрана для моделирования ожидаемого числа дорожно-транспортных происшествий с участием одного транспортного средства. Модель обеспечивает приемлемые результаты. Наиболее значительное из геометрических параметров, влияющих на число дорожно-транспортных происшествий с участием одного транспортного средства на дороге с двумя полосами движения, является средняя ширина обочины и процент проезжей части сегмента с кривизной больше, чем на 6 градусов. Параметры автомобильного движения/потока: средний объем движения (AADT), миллионы автомобильных миль (MVMT) и процент грузовиков в поток движения в каждом сегменте дороги имеют наибольшее влияние на число дорожно-транспортных происшествий с участием одного транспортного средства. Установлено, что миллионы автомобильных миль MVMT является эксклюзивным параметром для описания сегментов дороги с нулевым количеством дорожно-транспортных происшествий.