TRANSPORTO PRIEMONĖS JUDĖJIMAS, RATAMS ATITRŪKUS NUO KELIO PAVIRŠIAUS

O. Lukoševičienė, E. Sokolovskij
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Literatūroje gana plačiai analizuojama rato sąveika su keliu, nustatyti parametrai, apibūdinantys šią sąveiką, bei šių parametrų reikšmės. Tačiau beveik nenagrinėjami atvejai, kai transporto priemonė juda, ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus. Kaip tokiu atveju nustatyti transporto priemonės judėjimo parametrus? Šiame straipsnyje ir bandoma atsakyti į šį klausimą.

2. Transporto priemonės judėjimas, ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus

Pasitaiko atvejų, kai būtina nustatyti transporto priemonės judėjimo parametrus, jos ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus. Tokiu atveju judėjimo trajektoriją lemia, viena vertus, transporto priemonės judėjimo greitis atsiskyrimo metu, o, antra vertus, žemės trauka, kurios veikiama ji krinta žemyn. Antroji trajektorijos dalis – transporto priemonės kritimas žemyn – pavaizduota 1 pav.

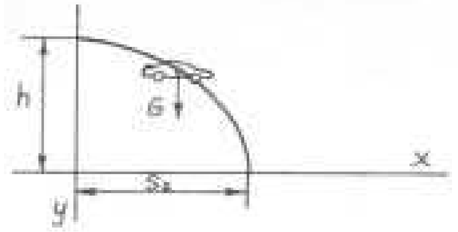
Transporto priemonei krintant, jos judėjimo trajektorijos horizontalioji komponentė nusakoma [1–3], taikant formulę:

$$x=v_2 t, \tag{1}$$

čia v_2 – transporto priemonės judėjimo greitis taške 2 (2 pav.), m/s; t – laikas, s.

Iš čia greitis:

$$v_2 = x/t. \tag{1*}$$



1 pav. Transporto priemonės kritimas žemyn
Fig 1. Landing of a vehicle

Vertikalioji komponentė leidžia nustatyti judėjimo laiką. Iš pastoviai kintamo judesio kinematinės lygties:

$$S = vt + gt^2/2, \tag{2}$$

čia g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2.

Transporto priemonės kritimo aukštis iki žemės būtų:

$$y=vt+gt^2/2. \tag{2*}$$

Trajektorijos aukščiausiame taške pradinis transporto priemonės kritimo žemyn greitis lygus nuliui. Taigi:

$$y = 0 + gt^2/2$$

arba

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}. \tag{3}$$

Šią reikšmę įrašę į v_2 išraišką (1*), turime transporto priemonės greitį trajektorijos viršūnėje v_2, kuriuo ji pradėjo leistis žemyn:

$$v_2 = \frac{x}{t} = \frac{x}{\sqrt{\frac{2y}{g}}} = x\sqrt{g/(2y)}. \tag{4}$$

Mūsų atveju $x = S_2$ ir $y = h$ (1 pav.), todėl transporto priemonės greitis būtų:

$$v_2 = S_2\sqrt{g/(2h)}. \tag{4*}$$

Tačiau transporto priemonė, atsiskyrusi nuo „tramplino“, pradžioje juda kylančia trajektorija, o vėliau, pasiekusi tam tikrą aukštį, veikiant žemės traukai, pradeda leistis krintančia trajektorija. Pradžioje panagrinėsime trajektoriją, kai transporto priemonė nusileidžia į tą patį aukštį, nuo kurio pakilo (2 pav.).

Nustatysime greitį v_1 pakilimo trajektorijos pradžioje.

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{h}{S_1}, \quad S_1 = \frac{h}{\mathrm{tg}\alpha}, \quad S_2 = S - S_1 = S - \frac{h}{\mathrm{tg}\alpha}, \tag{5}$$

čia α – transporto priemonės pakilimo kampas laipsniais; S, S_1, S_2 – atitinkami atstumai (2 pav.), m.

Greičio v_1 projekcijos į koordinačių ašis yra:

$$v_{1x}=v_1 \cdot \cos\alpha, \tag{6}$$

$$v_{1y}=v_1 \cdot \sin\alpha. \tag{7}$$

Vertikalioji greičio komponentė gali būti išreikšta darbu (sunaudota energija):

$$\frac{m \cdot v_{1y}^2}{2} = mgh, \qquad \frac{v_{1y}^2}{2} = gh, \tag{8}$$

čia m – transporto priemonės svoris, kg.

Iš (7) lygties įrašę v_{1y} reikšmę, gauname:

$$\frac{v_1^2 \cdot \sin^2\alpha}{2} = gh. \tag{9}$$

Transporto priemonės sunaudota energija:

$$E_{k1} - E_{k2} = E_p$$

arba

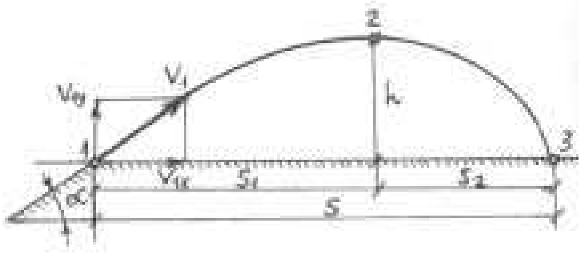
$$\begin{gathered} \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = mgh, \\ \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} = gh, \quad \frac{v_1^2}{2} = gh + \frac{v_2^2}{2}, \end{gathered} \tag{10}$$

$$v_1 = \sqrt{2gh + v_2^2}, \tag{11}$$

čia E_{k1}, E_{k2} – transporto priemonės kinetinė energija taškuose 1 ir 2; E_p – transporto priemonės potencinė energija.

Į formulę (11) įrašę v_2 reikšmę iš (4*) lygties, turime:

$$v_1 = \sqrt{2gh + (S_2\sqrt{g/2h})^2} = \sqrt{2gh + S_2^2 \frac{g}{2h}}. \tag{12}$$



2 pav. Trajektorija, kuria juda transporto priemonė, kai ji, atsiskyrusi nuo „tramplino“, nusileidžia į tą patį aukštį, nuo kurio pakilo

Fig 2. Movement of a vehicle while jumping-off from the rising ground and landing at the same level from which the jump began

Iš formulių (9) ir (12) gauname lygčių sistemą:

$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{2gh + S_2^2 \dfrac{g}{2h}}, \\ \dfrac{v_1^2 \sin^2\alpha}{2} = gh. \end{cases} \tag{13}$$

Iš (5) lygties įrašę S_2 reikšmę, turime:

$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{2gh + \left(S - \dfrac{h}{\mathrm{tg}\alpha}\right)^2 \dfrac{g}{2h}}, \\ \dfrac{v_1^2 \sin^2\alpha}{2} = gh. \end{cases} \tag{14}$$

Išsprendę šią lygčių sistemą, galime nustatyti pagrindinius transporto priemonės judėjimo parametrus, pavyzdžiui, transporto priemonės greitį:

$$h = \frac{v_1^2 \sin^2\alpha}{2g};$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g \cdot v_1^2 \sin^2\alpha}{2g} + \left(S - \frac{v_1^2 \sin^2\alpha}{2g \cdot \mathrm{tg}\alpha}\right)^2 \frac{g}{\dfrac{2v_1^2 \sin^2\alpha}{2g}}};$$

$$v_1 = \sqrt{v_1^2 \sin^2\alpha + \left(S - \frac{v_1^2 \sin^2\alpha \cos\alpha}{2g \cdot \sin\alpha}\right)^2 \frac{g^2}{v_1^2 \sin^2\alpha}};$$

$$v_1 = \sqrt{v_1^2 \sin^2\alpha + \left(S - \frac{v_1^2 \sin\alpha \cos\alpha}{2g}\right)^2 \frac{g^2}{v_1^2 \sin^2\alpha}};$$

$$v_1 = \sqrt{v_1^2 \sin^2\alpha + \left(S^2 - 2\frac{Sv_1^2 \sin\alpha \cos\alpha}{2g} + \frac{v_1^4 \sin^2\alpha \cos^2\alpha}{4g^2}\right)\frac{g^2}{v_1^2 \sin^2\alpha}};$$

$$v_1 = \sqrt{v_1^2 \sin^2\alpha + \frac{s^2 g^2}{v_1^2 \sin^2\alpha} - \frac{S \cdot g \cdot \cos\alpha}{\sin\alpha} + \frac{v_1^2 \cos^2\alpha}{4}};$$

$$v_1^2 = v_1^2 \sin^2\alpha + \frac{s^2 g^2}{v_1^2 \sin^2\alpha} - \frac{S \cdot g \cdot \cos\alpha}{\sin\alpha} + \frac{v_1^2 \cos^2\alpha}{4};$$

$$v_1^2 = \frac{4v_1^4 \sin^4\alpha + 4S^2 g^2 - 4v_1^2 Sg \sin\alpha \cos\alpha + v_1^4 \sin^2\alpha \cos^2\alpha}{4v_1^2 \sin^2\alpha};$$

$$\begin{gathered} 4v_1^4 \sin^2\alpha - 4v_1^4 \sin^4\alpha - 4S^2 g^2 + \\ 4v_1^2 Sg \sin\alpha \cos\alpha - v_1^4 \sin^2\alpha \cos^2\alpha = 0; \end{gathered}$$

$$\left(4\sin^2\alpha - 4\sin^4\alpha - \sin^2\alpha\cos^2\alpha\right)v_1^4 +$$
$$(4Sg\sin\alpha\cos\alpha)v_1^2 - 4S^2g^2 = 0.$$

Koeficientą, esantį prie v_1^4, galima supaprastinti taip:

$$4\sin^2\alpha - 4\sin^4\alpha - \sin^2\alpha\cos^2\alpha =$$
$$4\sin^2\alpha\left(1-\sin^2\alpha\right) - \sin^2\alpha\cos^2\alpha =$$
$$4\sin^2\alpha\cos^2\alpha - \sin^2\alpha\cos^2\alpha = 3\sin^2\alpha\cos^2\alpha.$$

Tada gauname:

$$3\sin^2\alpha\cos^2\alpha\cdot v_1^4 + 4Sg\sin\alpha\cos\alpha\cdot v_1^2 - 4S^2g^2 = 0. \quad (15)$$

Analogiškai iš lygčių sistemos (14) galima gauti lygtis kitiems transporto priemonės judėjimo parametrams nustatyti.

Dabar panagrinėsime kiek sudėtingesnį atvejį, kai transporto priemonė pakyla į orą nuo „tramplino", o nusileidžia dar aukštesniame lygyje. Jos judėjimo trajektorija grafiškai pavaizduota 3 pav.

Tai yra atvejis, kai kliūtis, nuo kurios transporto priemonė atsispiria, yra žemiau kelio lygio, ji pakyla į aukštį h ir nusileidžia ant kelio iš aukščio H', kur H'=h- Δ (3 pav.).

Tokiu atveju:

$$v_2 = S_2\sqrt{\frac{g}{2(h-\Delta)}}. \quad (16)$$

Analogiškai kaip ir pirmuoju atveju gauname (žr. (11) lygtį):

$$v_1 = \sqrt{2gh + v_2^2} = \sqrt{2gh + S_2^2\,\frac{g}{2(h-\Delta)}}. \quad (17)$$

Kadangi ji kyla į tą patį aukštį, tai antroji lygtis nekinta, t. y.:

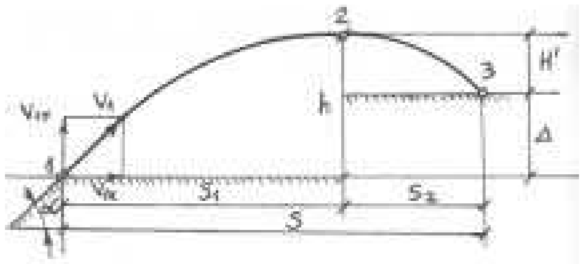
$$\frac{v_1^2\sin^2\alpha}{2} = gh, \quad arba \quad h = \frac{v_1^2\sin^2\alpha}{2g}.$$

Išsprendę šią lygčių sistemą, nustatome transporto priemonės greitį:

$$h = \frac{v_1^2\sin^2\alpha}{2g};$$

$$v_1 = \sqrt{2g\,\frac{v_1^2\sin^2\alpha}{2g} + \left(S - \frac{v_1^2\sin^2\alpha}{2g\cdot\mathrm{tg}\alpha}\right)^2 \frac{g}{2\left(\frac{v_1^2\sin^2\alpha}{2g} - \Delta\right)}};$$

$$v_1 = \sqrt{v_1^2\sin^2\alpha + \left(S - \frac{v_1^2\sin^2\alpha\cos\alpha}{2g\sin\alpha}\right)^2 \frac{g^2}{v_1^2\sin^2\alpha - 2g\Delta}};$$



3 pav. Trajektorija, kuria juda transporto priemonė, kai ji, atsiskyrusi nuo „tramplino", pakyla į orą ir nusileidžia dar aukštesniame lygyje

Fig 3. Movement of a vehicle while jumping-off from the rising ground and coming up into the air and landing at a higher level

$$v_1 = \sqrt{v_1^2\sin^2\alpha + \left(\frac{2gS - v_1^2\sin\alpha.\cos\alpha}{2g}\right)^2 \frac{g^2}{v_1^2\sin^2\alpha - 2g\Delta}};$$

$$v_1 = \sqrt{v_1^2\sin^2\alpha + \left(\frac{4g^2S^2 - 4gS\sin\alpha\cos\alpha\cdot v_1^2 + v_1^4\sin^2\alpha\cos^2\alpha}{4g^2}\right)\left(\frac{g^2}{v_1^2\sin^2\alpha - 2g\Delta}\right)};$$

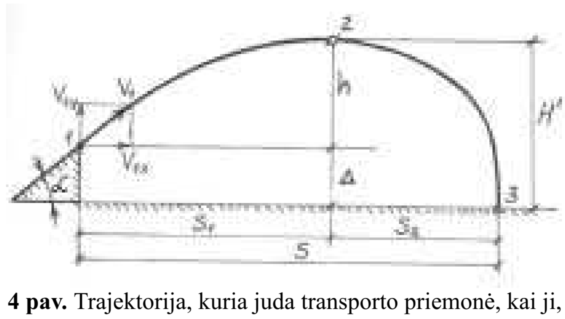
$$v_1 = \sqrt{v_1^2\sin^2\alpha + \left(\frac{4g^2S^2 - 4gS\sin\alpha\cos\alpha\cdot v_1^2 + \sin^2\alpha.\cos^2\alpha\cdot v_1^4}{4v_1^2\sin^2\alpha - 8g\Delta}\right)};$$

$$v_1^2 = \frac{4\sin^4\alpha\cdot v_1^4 - 8g\Delta\sin^2\alpha\cdot v_1^2 + 4g^2S^2 - 4gS\sin\alpha\cos\alpha\cdot v_1^2 + \sin^2\alpha\cos^2\alpha\cdot v_1^4}{4v_1^2\sin^2\alpha - 8g\Delta};$$

$$4\sin^2\alpha\cdot v_1^4 - 8g\Delta v_1^2 - 4\sin^4\alpha\cdot v_1^4 + 8g\Delta\sin^2\alpha\cdot v_1^2 -$$
$$4g^2S^2 + 4gS\sin\alpha\cos\alpha\cdot v_1^2 - \sin^2\alpha\cos^2\alpha\cdot v_1^4 = 0;$$
$$(4\sin^2\alpha - 4\sin^4\alpha - \sin^2\alpha\cos^2\alpha)v_1^4 -$$
$$4g(2\Delta - 2\Delta\sin^2\alpha - S\sin\alpha\cos\alpha)v_1^2 - 4g^2S^2 = 0;$$

$$3\sin^2\alpha\cos^2\alpha\cdot v_1^4 +$$
$$4g(S\sin\alpha\cos\alpha - 2\Delta\cos^2\alpha)v_1^2 - 4g^2S^2 = 0. \quad (20)$$

Dabar panagrinėsime atvejį, kai transporto priemonė pakyla į orą nuo „tramplino" ir nusileidžia į žemesnį lygį pakilimo taško atžvilgiu. Jos judėjimo trajektorija grafiškai pavaizduota 4 pav.



4 pav. Trajektorija, kuria juda transporto priemonė, kai ji, atsiskyrusi nuo „tramplino", pakyla į orą ir nusileidžia žemesniame lygyje

Fig 4. Movement of a vehicle while jumping-off from the ground and coming up into the air and landing at a lower level

Tokiu atveju transporto priemonė pakyla į aukštį h ir nusileidžia ant kelio iš aukščio H', kur H'=h+ Δ (4 pav.).

Pagal analogiją gauname lygčių sistemą:

$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{2gh + \left(S - \dfrac{h}{\text{tg}\alpha}\right)^2 \dfrac{g}{2(h+\Delta)}}, \\ \dfrac{v_1^2 \sin^2\alpha}{2} = gh. \end{cases} \tag{21}$$

Taip pat analogiškai gaunama lygtis greičiui nustatyti:

$$3\sin^2\alpha\cos^2\alpha \cdot v_1^4 + 4g(S\sin\alpha\cos\alpha + 2\Delta\cos^2\alpha)v_1^2 - 4g^2S^2 = 0. \tag{22}$$

Todėl bendruoju atveju gauname lygčių sistemą:

$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{2gh + \left(S - \dfrac{h}{\text{tg}\alpha}\right)^2 \dfrac{g}{2(h\pm\Delta)}}, \\ \dfrac{v_1^2 \sin^2\alpha}{2} = gh. \end{cases} \tag{23}$$

O greičiui nustatyti bendruoju atveju gauname tokią lygtį:

$$3\sin^2\alpha\cos^2\alpha \cdot v_1^4 + 4g(S\sin\alpha\cos\alpha \pm 2\Delta\cos^2\alpha)v_1^2 - 4g^2S^2 = 0. \tag{24}$$

Šiose lygtyse pliuso ženklas rašomas, kai transporto priemonė nusileidžia į žemesnį lygį pakilimo taško atžvilgiu, o minusas – kai ji nusileidžia aukštesniame lygyje.

Matome, kad iš šių lygčių, atitinkamai įrašę teigiamą, neigiamą Δ reikšmę arba $\Delta = 0$, gausime anksčiau išvestas lygtis kiekvienam konkrečiam atvejui.

Dar reikia paminėti, kad šie skaičiavimai neįvertina oro varžos. Todėl, vertinant rezultatus, gautus taikant šią metodiką, reikia į tai atsižvelgti. Pavyzdžiui, apskaičiuotas transporto priemonės greitis jai atsiskiriant nuo „tramplino" bus minimalus, o apskaičiuotas atstumas, kurį transporto priemonė judės, atitrūkus ratams nuo kelio paviršiaus, bus maksimalus, nes dalį energijos ji dar praras oro varžai įveikti.

3. Skaičiavimo pavyzdys

Panagrinėsime konkretų atvejį. Reikėjo nustatyti motociklo greitį prieš autoavariją. Nustatyta, kad jo ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus kurį laiką jis skriejo oru. Avarijos aplinkybės yra tokios:

Kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda motociklas „Kawasaki" ZX-6R, važiuojantis Klaipėdos kryptimi antrąja eismo juosta, kliudė ta pačia kryptimi važiavusio automobilio „Opel Rekord" kairįjį šoną ties priekiniu kairiuoju ratu (kuris prieš tai iš pirmosios eismo juostos išvažiavo į antrąją); po to motociklas priešpriešinio eismo juostoje susidūrė su automobiliu „Audi-100", važiuojančiu Kauno kryptimi pirmąja eismo juosta.

Sprendžiant iš transporto apžiūros protokoluose užfiksuotų bei fotonuotraukose matomų motociklo ir automobilio „Opel Rekord" išorinių sugadinimų, motociklas priekine dalimi, daugiau dešiniuoju šonu, trenkėsi į priekinį kairįjį automobilio sparną – pradedant nuo priekinių kairiųjų durelių priekinės briaunos, į priekinį kairįjį automobilio ratą iš galo (smūgis į ratą buvo radialinis, ką rodo charakteringa disko deformacija), prakirsdamas padangą ir deformuodamas rato diską, priekinį kairįjį sparną, o per jį (tiksliau, jo priekinę dalį) – dar ir skydą, nuplėšdamas priekinį bamperį. Techniniu požiūriu įvertinus deformacijas ir jų pobūdį, deformuojančių jėgų kryptis, galima teigti, jog susidūrimo metu automobilio ir motociklo išilginės ašys sudarė nedidelį smailų kampą (apie $11^o \div 15^o$). Motociklas užšoko ant priekinio kairiojo rato (nuleista padanga, deformuotas diskas) ir dešiniuoju šonu braukė automobilio kairįjį šoną, priekiu pakilęs nuo žemės apie 26 cm (sprendžiant pagal automobilio priekinio kairiojo rato sugadinimus), t. y. motociklo išilginei simetrijos ašiai esant pakrypusiai (priekiu pakilusiai) nuo žemės paviršiaus apie 10^o smailiu kampu:

$$\sin\alpha = \frac{0{,}24}{1{,}38} = 0{,}1739,$$

$$\alpha \cong 10^o,$$

(čia 1,38 m – motociklo bazė). Dideliu greičiu judantis motociklas su motociklininku, atsiskyręs nuo automobilio „Opel Rekord" priekinio kairiojo kampo (rato), veikiamas didelės inercijos jėgos, ėmė kilti į orą. Atšokęs nuo rato kaip nuo tramplino ir vartydamasis ore motociklas (motociklininkas nukrito atskirai ant vejos) per veją nuskriejo įstrižai į kairiąją kelio pusę (žiūrint Klaipėdos kryptimi) ir trenkėsi į dideliu greičiu Kauno link važiuojančio automobilio „Audi-100" priekinį stiklą maždaug 1 m aukštyje nuo žemės paviršiaus. Krisdamas į automobilio saloną, jis sužalojo ten esančius žmones. Techniniu požiūriu skriedamas oru ir vartaliodamasis motociklas galėjo trenktis ratu į žemę, vėl pakilti į orą ir veikiamas inercijos jėgos skrieti toliau. Iš pateiktos medžiagos matyti, kad automobilio „Audi-100“ vairuotojas prieš susidūrimą efektyviai stabdė, tačiau, kai motociklas trenkėsi į langą, automobilis tapo nevaldomas. Įvertinus šią aplinkybę, motociklo ir automobilio „Audi-100“ susidūrimas turėjo įvykti 26,1 m ilgio automobilio ratų stabdymo pėdsako pabaigoje, t. y. apie 70 m atstumu nuo motociklo pakilimo į orą pradžios (šis atstumas apskaičiuotas pagal avarijos vietos apžiūros planą).

Norint nustatyti, kokiu atstumu nuo susidūrimo vietos automobiliui „Opel Rekord“ išvažiuojant į antrąją eismo eilę buvo motociklas „Kawasaki“, reikia žinoti pastarojo judėjimo greitį.

Nustatome motociklo judėjimo greitį v_1 jam atsiskyrus nuo automobilio „Opel Rekord“ (pakilus nuo jo priekinio kairiojo rato kaip nuo tramplino). Kaip buvo nurodyta anksčiau, motociklas pradžioje skriejo apie 10° smailiu kampu (atakos kampu) aukštyn, o vėliau leidosi žemyn žemėjančia trajektorija. Taigi atsiskyrusio motociklo (pradžioje kartu su motociklininku) judėjimo trajektoriją lėmė, viena vertus, jo judėjimo greitis, o, antra vertus – žemės trauka, kurios veikiamas motociklas turėjo kristi žemyn. Pradžioje panagrinėsime atvejį, kai motociklas pakyla nuo kelio paviršiaus ir nusileidžia trajektorijos gale ant kelio paviršiaus.

Konkrečias parametrų reikšmes įrašome į (15) lygtį, t. y. S=70 m; $\alpha=10^{o}$. Tada:

$$3\sin^2 10^0 \cos^2 10^0 \cdot v_1^4 + 4\cdot 70\cdot 9{,}81\times$$
$$\sin 10^0 \cos 10^0 \cdot v_1^2 - 4\cdot 70^2\cdot 9{,}81^2 = 0;$$
$$0{,}0877\cdot v_1^4 + 469{,}7\cdot v_1^2 - 1886227{,}6 = 0;$$
$$v_1^2 = x;$$
$$x^2 + 5355{,}8x - 21507726{,}3 = 0;$$
$$x_{1,2} = -\frac{5355{,}8}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{5355{,}8}{2}\right)^2 + 21507726{,}3};$$
$$x_1 = 2677{,}4;\ x_2 = -8033{,}2;$$
$$v_1 = \sqrt{x_1} = \sqrt{2677{,}4} = 51{,}7\,m/s =$$
$$186{,}1\ km/h \approx 186\ km/h.$$

Įvertinus įvykio vietoje prieš susidūrimą paliktą motociklo ratų 21 m ilgio stabdymo pėdsaką, matyti, kad stabdomas motociklas neteko energijos, ekvivalentiškos apie 64,1 km/h greičiui:

$$v_1^{*} = 1{,}8\cdot t_3\cdot j_m + \sqrt{26\cdot j_m\cdot S_{b.st.m}} = 1{,}8\cdot 0{,}2\cdot 7{,}4 +$$
$$\sqrt{26\cdot 7{,}4\cdot 19{,}62} = 64{,}1\ \ km/h,$$

j_m – stabdomo motociklo lėtėjimas ant sauso asfalto dangos (j_m=g· φ =9,81·0,75=7,4 m/s2); t_3 – lėtėjimo didėjimo laikas (0,2 s); $S_{b.st.m.}$ – motociklo tiesioginio stabdymo kelias atėmus jo bazę (21 m – 1,38 m = 19,62 m). Be to, motociklas atleidus stabdžius dar judėjo riedėdamas (ir manevruojamas kairėn) apie 22 m laisvu ratų riedėjimu iki susidūrimo vietos. Įvertinus tam sunaudotą energiją, matyti, kad jis ekvivalentiškai neteko greičio dar apie 10,6 km/h:

$$v_1^{**} = \sqrt{254\cdot f_r\cdot S_r} = \sqrt{254\cdot 0{,}02\cdot 22} =$$
$$10{,}6\ km/h,$$

f_r – ratų riedėjimo varža ant sauso asfalto dangos (0,02); S_r – kelias, kurį riedėjo motociklas atleidus stabdį iki susidūrimo (22 m).

Taigi greitis, kuriuo važiavo motociklas „Kawasaki“ prieš stabdant, techniniu požiūriu galėjo būti apie 197 km/h:

$$v_1^{\Sigma} = \sqrt{v_1^2 + v_1^{*2} + v_1^{**2}},$$
$$v_1^{\Sigma} = \sqrt{(186)^2 + (64{,}1)^2 + (10{,}6)^2} = 197\ km/h.$$

Tačiau mūsų konkrečiu atveju motociklas pakilo į orą nuo „tramplino“, o nusileido dar aukštesniame lygyje (virš automobilio „Audi-100“ variklio gaubto, t. y. apie 1 m atstumu virš žemės paviršiaus). Todėl tikroji jo judėjimo trajektorija buvo tokia, kaip pavaizduota 3 pav.

Į formulę (20) įrašome skaitmenines reikšmes, kai: S=70 m; $\alpha=10^{o}$;

$$\Delta = 1{,}0\ \mathrm{m} - 0{,}26\ \mathrm{m} = 0{,}74\ \mathrm{m}.$$

$$3\sin^2 10^0 \cos^2 10^0 \cdot v_1^4 + 4\cdot 9{,}81\times$$
$$\left(70\sin 10^0 \cos 10^0 - 2\cdot 0{,}74\cos^2 10^0\ \ v_1^2\right) -$$
$$4\cdot 9{,}81^2\cdot 70^2 = 0;$$
$$0{,}0877\cdot v_1^4 + 413{,}4\cdot v_1^2 - 1886227{,}6 = 0;$$
$$v_1^2 = x;$$
$$x^2 + 4713{,}8x - 21507726{,}3 = 0;$$
$$x_{1,2} = -\frac{4713{,}8}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{4713{,}8}{2}\right)^2 + 21507726{,}3};$$
$$x_1 = 2845{,}3;\ x_2 = -7559{,}1;$$
$$v_1 = \sqrt{x_1} = \sqrt{2845{,}3} = 53{,}3\ m/s =$$
$$191{,}9\,km/h \approx 192\ km/h.$$

Įvertinus įvykio vietoje prieš susidūrimą paliktą 21 m ilgio motociklo ratų stabdymo pėdsaką ir apie 22 m ilgio ratų riedėjimo iki susidūrimo kelią (atleidus stabdžius ir manevruojant kairėn), motociklo greitis prieš stabdant techniniu požiūriu buvo apie 202,7 km/h:

$$v_1^{\Sigma} = \sqrt{(192)^2 + (64{,}1)^2 + (10{,}6)^2} = 202{,}7 km/h.$$

Čia neįvertinama kinetinės energijos, kurią motociklas prarado vartaliodamasis ore ir galbūt atsitrenkdamas į žemę (veją, asfaltą), ir energijos, prarastos motociklui atsitrenkus į automobilio „Opel Rekord" priekinį kairįjį sparną bei ratą, automobilio „Audi-100" bei motociklo deformacijų motociklui įskriejus pro priekinį automobilio langą į saloną, oro varžos. Todėl techniniu požiūriu motociklo važiavimo prieš autoavariją greitis galėjo būti ne mažesnis kaip 202,7 km/h.

4. Išvados

1. Gautos lygčių sistemos (14), (19), (21), kuriose yra sujungti pagrindiniai judančios transporto priemonės, jos ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus judėjimo parametrai, o būtent: važiavimo greitis ratų atsiskyrimo nuo kelio paviršiaus momentu; atstumas, kurį transporto priemonė judės, ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus; pakilimo kampas ir aukštis. Jos gautos atvejams, kai transporto priemonė nusileidžia tame pačiame lygyje, nuo kurio pakilo, aukštesniame ar žemesniame lygyje, ir iš jų galima apskaičiuoti minėtus parametrus.

2. Straipsnyje gautos lygtys (15), (20), (22) visiems trims atvejams, iš kurių pagal kitus parametrus galima apskaičiuoti transporto priemonės važiavimo greitį atsiskyrimo nuo kelio paviršiaus momentu.

3. Straipsnyje pateiktas skaičiavimo, taikant šią metodiką, pavyzdys, o būtent pagal atstumą, kurį motociklas judėjo, jo ratams atitrūkus nuo kelio paviršiaus, nustatytas jo važiavimo greitis atsiskyrimo nuo kelio paviršiaus metu.

4. Pateiktą metodiką galima taikyti atliekant autotechnines ekspertizes.

Literatūra

1. M. Danner, J. Halm. Technische Analyse von Verkehrsunfällen. Eurotax (International) AG CH-8808 Pfäffikon, 1994. 570 S.
2. Б. Е. Боровский. Безопасность движения автомобильного транспорта. Л.: Лениздат, 1984. 304 с.
3. Судебная автотехническая экспертиза. Часть 2. Москва, 1980. 491 с.

Įteikta 2000 10 09

MOVEMENT OF A VEHICLE AFTER LOOSING THE TOUCH OF THE WHEELS WITH ROAD SURFACE

O. Lukoševičienė, E. Sokolovskij

S u m m a r y

The article includes the examination of the movement of a vehicle while its wheels lose the touch with road surface. Moving of a vehicle while it comes down to the same level from which it has risen is being examined at the beginning of the article. The received system of equations (14) with the main parameters of such movement, namely the speed of moving at the moment when wheels lose their touch with road surface; the distance within which the vehicle will move loosing the touch with road surface; the angle and height of takeoff, is presented.

The same cases of coming down of the vehicle in the higher or lower level in respect of takeoff from the road surface are examined. Respective systems of equations (19), (21) are received for such cases as well; from those it is possible to make calculations of the main parameters of the movement of the vehicle. The equations of all three cases of moving of a vehicle while its wheels lose the touch with road surface (Equations (15), (20) and (22)) are received.

The article also contains an example of calculation applying this method, namely the speed of moving at the moment of loosing the touch with road surface was defined according to the distance made by a motorcycle.

ONA LUKOŠEVIČIENĖ

Doctor Habil, Professor, Department of Automobile Transport, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), J. Basanavičiaus g. 28, LT–2009 Vilnius, Lithuania. E-mail: giedr@ti.vtu.lt

Doctor Habil of Technical sciences, Kiev Highway Institute, 1989. Doctor of Technical sciences, Moscow Highway Institute, 1970.

Employment: Senior Assistant (1971), Assoc Professor (1975), Professor (1994), Department of Automobile Transport, Vilnius Civil Engineering Institute (VISI, later VTU, now VGTU). State motor inspector of the Driver Qualification Commission, Vilnius, 1958-1962. Senior research worker and senior expert, Forensic Examination Research Institute, Vilnius, 1962-1971.

Publications: author of over 85 scientific works. Research interests: automobile theory, traffic safety, technical examination.

EDGAR SOKOLOVSKIJ

Master of Science (Transport Engineering) (1998), doctoral student (Transport Technology), Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Road accident reconstruction expert (Lithuanian institute of forensic examination), J. Basanavičiaus g. 28, LT–2009 Vilnius, Lithuania. E-mail: ESokolovskij@hotmail.com

First degree in Transport Engineering, VTU, 1996.

Publications: author of 8 scientific publications. Research interests: automobile theory, road traffic safety.