

TILTINIO MODULIO TIESIAEIGIŠKUMO PALAIKYMO SISTEMOS TYRIMAS

Neringa BURBAITĖ¹, Gintas VISELGA², Algirdas JASINSKAS³

^{1,2}Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ³Aleksandro Stulginskio universitetas

El. paštas: ¹neringa.burbaite@gmail.com; ²gintas.viselga@vgtu.lt; ³algirdas.jasinskas@asu.lt

Santrauka. Šiame darbe pateikiami šaudyklinio tiltinio modulio (ŠTM) tiesiaeigiškumo palaikymo sistemos eksperimentinių tyrimų rezultatai. Ištirta dirvos paviršiaus nelygumų įtaka ŠTM tiesiaeigiškumo tikslumui. ŠTM dirbo automatinio režimu tiesiaeigiškumą palaikant lazerine įranga. Lazero spindulių generatorius, skleidžiantis vertikalų spindulių pluoštą modulio kurso link, statomas lauko gale. Lazero spindulių pluošto gaudytuvas su fotodiodais montuojamas ant modulio stovo. Tiesiaeigiškumas buvo nustatomas dviem būdais: kai lazero spindulių pluošto gaudytuvas su fotodiodais ir pozicionavimo ratukas buvo sumontuoti ant kairės važiuoklės; kai lazero spindulių pluošto gaudytuvas su fotodiodais buvo sumontuoti sijos viduryje, o pozicionavimo ratukas paliktas ant kairės važiuoklės.

Nustatyta, kad dirvos paviršiaus nelygumai turi įtakos ŠTM tiesiaeigiškumui. Nustatant pirmuoju būdu kairiosios važiuoklės nuokrypiai kito nuo 45 mm iki 98 mm, o dešinėsios nuo 38 mm iki 150 mm. Nustatant tiltinio modulio tiesiaeigiškumą antruoju būdu kairiosios važiuoklės nuokrypiai kito nuo 50 mm iki 115 mm, o dešinėsios – nuo 36 mm iki 120 mm.

Reikšminiai žodžiai: tiltinė žemdirbystė, tiltinis modulis, tiesiaeigiškumas, automatinis valdymas, pozicionavimo tikslumas.

Įvadas

Pastaruoju metu ypač susirūpinta neigiama sudėtingos technikos įtaka dirvoms. Tiltinė žemdirbystė – tai vienas iš efektyviausių sprendimų siekiant sumažinti žemės ūkio mašinų važiuoklių žalingą poveikį dirvožemiui (Laguė *et al.* 2003). Taikant tiltinės žemdirbystės sistemą galima visiškai automatizuoti žemės dirbimo, sėjos, augalų priežiūros ir derliaus nuėmimo darbus. Šiuo klausimu mokslininkai jau dirba keletą dešimtmečių, tačiau pigių ir funkcionalių automatinio valdymo priemonių nebuvimas lemia, kad ilgą laiką visiškai ar iš dalies automatizuoti buvo tiktiliniai moduliai, judantys stacionariais technologiniais takais (Bolotin *et al.* 1996). Natūralaus grunto technologinių takų tiltinius modulus paprastai valdė operatorius (Chamen *et al.* 1994). Šiuolaikiniai valdikliai gali pakeisti operatorių, bet lig šiol natūralaus grunto technologinių takų modulių realios padėties lauke nustatymas išlieka opi problema. Šiam tikslui naudojami infraraudonųjų spindulių jutikliai, vaizdo kameros, DGPS sistema ir kt. (Domakin, Zubenko 1991).

Automatinio valdymo sistemos vienas pagrindinių elementų yra jutiklis, kuris nurodo mobilios mašinos padėtį. Padėties nustatymo metodus galima suskirstyti į keturias grupes (Kon 1998):

1. Vaizdo gavimo metodai. Šie metodai apima tiek aktyvų ploto atvaizdavimą, tiek pasyvų objektų išskyrimą iš

šio ploto. Aktyviems metodams taikoma ši įranga: radaras, lazerinis radaras ir garso bangų įranga. Jutiklio skleidžiami signalai, atsispindėję nuo objekto, grįžta atgal ir taip yra nustatomas mašinos atstumas bei greitis objekto atžvilgiu. Prie pasyvių metodų priskiriamas vaizdo arba šiluminis atvaizdavimas. Šiuo atveju speciali kamera perduoda vaizdą į procesorių, kuriuo, taikant vaizdo duomenų gausos apdorojimo algoritmą, nustatomi objektai (pvz., augalų eilutės, piktžolės) ir atstumai iki jų (Reid *et al.* 2000).

2. Trianguliacijos metodai. Šios mobilios mašinos padėties nustatymo technologijos yra ypač tikslios ir paremtos atstumo nuo mašinos ir mažiausiai trijų nepriklausomų kontrolinių taškų matavimu. Paprastai iš kontrolinių taškų į mašiną arba, atvirkščiai, siunčiami signalai gali būti labai tiksliai išmatuoti. Diferencinė globalinė pozicionavimo sistema (DGPS) yra viena iš tokių sistemų (Keicher, Seufert 2000).

3. Sekimo pėdsakais metodai. Šiuo atveju ant mobilios mašinos sumontuoti jutikliai seka pažymėtu taku. Taką gali sudaryti magnetai, elektrinis kabelis, nudažyta arba chemiškai paveikta juosta, lazero spindulių pluoštas ir t. t. Šioms sistemoms laukuose būtina įrengti tam tikrą infrastruktūrą.

4. Aklo skaičiavimo metodai. Ant mašinos sumontuoti judėjimo jutikliai (inerciniai ar kitokie) tiksliai nustato mašinos judėjimo kryptį bei greitį. Tiksliai žinant pradinę mašinos poziciją ir integruojant jutiklio rodmenis galima nustatyti mašinos padėtį tam tikru laiko momentu. Kadangi didėjant nuvažiuotam atstumui paklaidos sumuojamos, mašinos padėtis periodiškai turi būti patikrinama kitomis priemonėmis.

Būtina ieškoti paprastesnių, pigesnių, bet kartu patikimų priemonių tiltinio modulio pozicijai nustatyti. Šiame darbe nagrinėjama viena iš tokių sistemų.

Išskirtinis tiltinio modulio bruožas – tai kelis kartus už ratinę bazę didesnis tarpuvėžio plotis. Lietuvos ir užsienio mokslininkų atlikti tyrimai rodo, kad, didinant tarpuvėžio plotį, ŠTS efektyvumas didėja, tačiau didelis tarpuvėžio plotis (gali būti didesnis nei 30 m) sukelia tam tikrų keblumų užtikrinant ŠTS tiesiaeigiškumą, nes tiltinio modulio važiuoklės juda nelygiu lauko paviršiumi (Ramalingam *et al.* 2000).

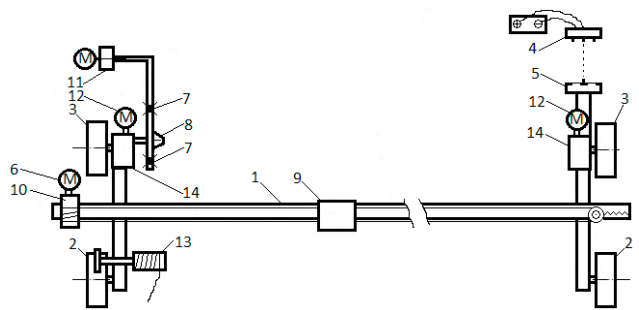
Šio darbo tikslas – ištirti šaudyklinio tiltinio modulio (ŠTM) tiesiaeigiško judėjimo tikslumą priklausomai nuo dirvos paviršiaus nelygumų ir kurso palaikymo lazerinės sistemos sumontavimo vietos.

Eksperimentinių tyrimų objektas ir metodika

Eksperimentinį šaudyklinį tiltinį modulį (1 pav.) sudarė 18 m ilgio tuščiaavidurė sija (1), kurios galuose sumontuotos dviratės važiuoklės. Važiuoklę sudaro vienas 0,8 m skersmens bei 0,2 m pločio varomasis ratas (2) ir 1,1 m skersmens bei 0,3 m pločio varantysis ratas (3). Važiuoklių varantieji ratai varomi per sliekinius reduktorius elektros varikliais (12). Sijos (1) būgninio temptuvo (10) lynu persutimamas padargų tvirtinimo vežimėlis (9), prie kurio tvirtinami žemės ūkio padargai, padėties nustatymo pradžioje ir pabaigoje jie gali pasisukti apie vertikalią ašį.

Atvažiuavęs į sijos galą padargų vežimėlis nuspaudžia galinius perjungimo kontaktus, paleidžiančius važiuoklių variklius.

Elektros energija tiekama įsivyniojančiu ant technologinio tako lanksčiu kabeliu. Jis vyniojamas ant būgno frikcine automatizuota perdava nuo vienos važiuoklės atraminio rato. ŠTM pavara veikia automatinio režimu. Varančiuosius ratus per sliekinius reduktorius suka elektros varikliai. Sija juda vežimėlis, prie kurio montuojami žemės ūkio padargai. Padargų vežimėliui pasiekus kraštinę padėtį, vienas iš galinių jungiklių siunčia signalą valdikliui, kuris sustabdo padargų vežimėlį ir įjungia ŠTM važiuoklių pavara.



1 pav. ŠTM valdymo įrangos principinė schema: 1 – sija; 2 – varomasis ratas; 3 – varantysis ratas; 4 – lazerinio spindulio generatorius; 5 – lazerinės aparatūros optiniai jutikliai; 6 – temptuvo elektros variklis; 7 – kumštelis; 8 – pozicionavimo ratuko galiniai jutikliai; 9 – padargų vežimėlis; 10 – temptuvas; 11 – pozicionavimo ratukas; 12 – važiuoklės variklis; 13 – kabelio būgnas; 14 – sliekinis reduktorius
Fig. 1. Diagram of the control system of the gantry module: 1 – beam; 2 – driven wheel; 3 – driving wheel; 4 – laser beam generator; 5 – optical sensors of laser hardware; 6 – electric motor of the puller; 7 – cam; 8 – rear sensors of the positioning wheel; 9 – instrument carrier; 10 – puller; 11 positioning wheel; 12 – chassis motor; 13 – drum of cable; 14 – reduction gear

Pozicionuojamo tiltinio modulio tiesiaeigis kursas palaikomas lazerine įranga UKL-1. Lazero spindulių generatorius (4), skleidžiantis vertikalų spindulių pluoštą modulio kurso link, statomas lauko gale. Lazero spindulių pluošto gaudytuvas su trimis optiniais jutikliais (5) įtaisytas ant ŠTM sijos (optinių jutiklių padėtis ant sijos gali būti keičiama). Šios įrangos pluoštinio spindulio generatorius statomas lauko gale taip, kad jo generuojamas spindulys būtų nukreiptas į vidurinę spindulio gaudytuvo optinį jutiklį ir tuo pat metu statmenas ŠTM sijai. Moduliu nukrypęs nuo kurso, lazero spindulių pluoštas patenka į vieną iš kraštinių fotodiodų, ir tada siunčiamas signalas į valdymo pultą, kuris koreguoja ŠTM judėjimą. Valdymo pultas išjungia vienos ar kitos važiuoklės perdavą ir, sijai pasisukus statmenai į tiesinį kursą, važiuoklės perdava vėl įjungiamą.

ŠTM pozicionuojamas specialiu pozicionavimo ratuku (11). Pozicionavimo ratuko svirtis gali laisvai slankioti tvirtinimo jungėje, kur nejudamai pritvirtinta prie ŠTM. Kai dirba padargai, važiuoklės stovi vietoje. Tuomet pozicionavimo ratukas, sukamas 12 V elektros variklio ir sliekinio reduktoriaus, juda į priekį nustatyto atstumo tarp pozicijų dydžiu, kol galinis kumštelis (7) neatjungia galinių jutiklių (8) kontaktų. Pozicionuojant tvirtinimo jungę su jungikliais slenka sustabdyto pozicionavimo ratuko svirtimi, kol jutiklis pasiekia priekinį kumštelį ir į valdiklį išsiunčiamas signalas baigti pozicionavimą.

Eksperimentinių tyrimų vienu atveju spindulio gaudytuvas buvo sumontuotas ant kairės ŠTM važiuoklės, o kitu atveju – sijos viduryje ir abiem atvejais nuo varančiųjų ratų ašies į priekį nutolęs per 2 m, o nustatytas atstumas tarp kraštinių optinių jutiklių buvo 50 mm. Pozicionavimo greitis siekė 0,25 m/s, o pozicionavimo ratuku nustatomas atstumas tarp pozicijų – 1 m.

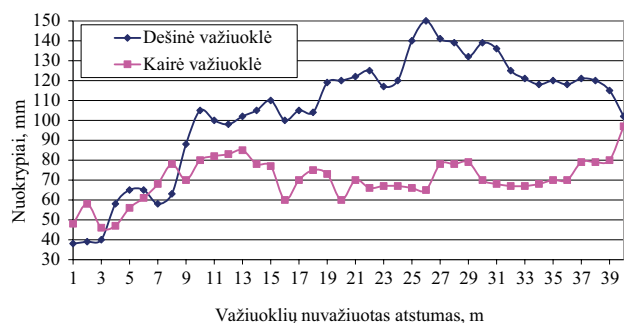
Nustatant ŠTM tiesiaeigiškumą natūraliu lauko paviršiumi, eksperimentinių tyrimų metu prie kiekvienos iš važiuoklių buvo pritvirtinti ženklintuvai, kurie dirvoje brėžė linijas. Pagal ištemtą valą kas 1 m metaline liniuote išmatuoti ženklintuvų nuokrypiai ir nustatytos abiejų važiuoklių nuokrypių priklausomybės nuo tiesaus judesio trajektorijos.

Tyrimų rezultatai ir jų analizė

Pagal gautus tyrimo rezultatus matyti, kad šaudyklinis tiltinis modulis juda netolygiai. Kiekvienos važiuoklės nuokrypių rezultatai tam tikru atstumu leidžia palyginti ratų judėjimą, kai pakoreguojame juos nukrypus nuo tiesiaeigio kurso.

Tiltinis modulis juda natūraliais dirvožemio nelygumais. Takai, kuriais judėtų tiltinis modulis, turėtų būti išlyginti, tai sumažintų korekcijų dažnį ir padidintų nuvažiavimo tarp korekcijų atstumus, nes važiuoklės judėtų tiesiau.

Pirmuoju atveju lazerinio prietaiso optiniai jutikliai bei pozicionavimo ratukas pritaistyti ant ŠTM kairės važiuoklės. Važiuoklių nuokrypiai nuo tiesaus judėjimo buvo paveikti įvairių nelygumų ir kitų minėtų faktorių. Kadangi kairė važiuoklė buvo pozicionuojama ratuku ir ant jos buvo pritaistyti lazerinio prietaiso optiniai jutikliai, jos nuokrypiai buvo mažesni nei dešinės važiuoklės. Kairės važiuoklės didžiausias nuokrypis siekė 98 mm, o mažiausias 45 mm. Apskaičiuotas vidutinis kairės važiuoklės nuokrypis sudarė 70,15 mm, o vidutinis kvadratinis nuokrypis $\pm 10,6$ mm (2 pav.). Dešinės važiuoklės nuokrypiai buvo

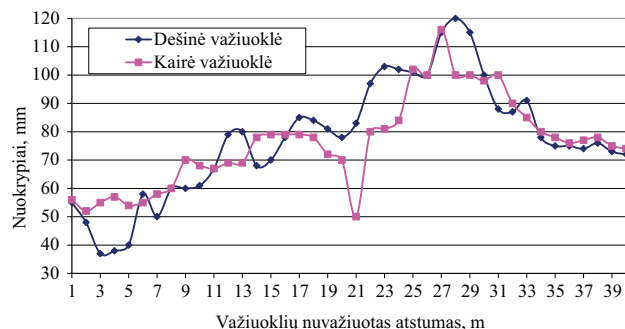


2 pav. Važiuoklių nuokrypiai, kai pozicionavimo ratukas ir lazerio spindulio gaudytuvas buvo sumontuoti ant šaudyklinio tiltinio modulio kairės važiuoklės

Fig. 2. Chassis deviations when the positioning trundle and photodiodes of the laser catcher were mounted on the left chassis

didesni nei kairės. Šios važiuoklės didžiausias nuokrypis siekė 150 mm, o mažiausias 38 mm. Dešinės važiuoklės vidutinis nuokrypis sudarė 105 mm, o vidutinis kvadratinis nuokrypis $\pm 29,8$ mm.

Antruoju eksperimentinių tyrimų etapu lazerio spindulio gaudytuvas buvo sumontuotas ant ŠTM sijos viduryje. Konstruktyviai sumontuoti gaudytuvą ant sijos yra sudėtingiau, nes dėl jos virpesių sunku užtikrinti stabilų padėtį, be to, tvirtinimo jungė turi netrukdyti padargų vežimėlio judesiu. Kaip ir pirmuoju variantu pozicionavimo ratuku buvo pozicionuojama kairė važiuoklė. 3 pav. pateikti rezultatai, iš kurių matyti, kad nepozicionuojamos dešinės važiuoklės nuokrypiai nuo nustatytos tiesios trajektorijos sumažėjo. Šios važiuoklės didžiausias nuokrypis nuo tiesaus judėjimo siekė 120 mm, o mažiausias 36 mm. Vidutinis dešinės važiuoklės nuokrypis sudarė 75 mm, o vidutinis kvadratinis nuokrypis $\pm 15,86$ mm (3 pav.). Pozicionuojamos kairės važiuoklės nuokrypiai buvo panašūs, kaip ir dešinės, tačiau, lyginant su pirmuoju variantu, jie 9 mm padidėjo. Šios važiuoklės didžiausias nuokrypis siekė 115 mm, o mažiausias 50 mm. Vidutinis nuokrypis nuo tiesios trajektorijos siekė 79 mm, o vidutinis kvadratinis nuokrypis $\pm 20,7$ mm.



3 pav. Važiuoklių nuokrypiai, kai lazerio spindulio gaudytuvas buvo sumontuotas ant sijos vidurio, o kairė važiuoklė buvo pozicionuojama ratuku

Fig. 3. Chassis deviations when photodiodes were mounted in the middle of the spar and the left chassis was positioned by the trundle

Išvados

1. Eksperimentiniu būdu nustatyti šaudyklinio tiltinio modulio nuokrypiai nuo tiesaus judėjimo, kai tiesiaeigiškumo palaikymo sistema sumontuota vienoje iš važiuoklių arba sijos viduryje. Pastaruoju atveju vidutiniai važiuoklių nuokrypiai skiriasi tik 4 mm.
2. Remiantis turimais eksperimentiniais rezultatais, kai lazerio spindulio gaudytuvas, kuriame atstumas tarp kraštinių optinių jutiklių 50 mm, buvo perkeltas nuo papildomu ratuku pozicionuojamos kairės važiuoklės

ant sijos vidurio, kairės važiuoklės vidutinis nuokrypis padidėjo nuo $70,15 \pm 10,6$ mm iki $79,0 \pm 20,7$ mm, o dešinės važiuoklės – sumažėjo nuo $105,0 \pm 29,8$ mm iki $75,0 \pm 15,86$ mm.

3. Atlikus šaudyklinio tiltinio modulio tiesiaieigio judėjimo tikslumo tyrimus įsitikinta, kad abiem variantais dirvos paviršiaus nelygumai daro įtaką ŠTM tiesiaieigiškumui, todėl jį reikia koreguoti arba lyginti lauką įrengiant dirbtines vėžes.

Literatūra

- Bolotin, V. M.; Maslov I. P.; Khabrat, N. I.; Savchenko, I. F. 1996. Mostovoe shassi: konstruktsiya, raschet i ispytaniya mekhanizma privoda khoda, *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny* 4: 25–28.
- Chamen, W. C. T.; Dowler, D.; Leede, P. R.; Longstaff, D. J. 1992. Assessment of a wide span vehicle (gantry) and soil and sereal crop responses to it use in a zero traffic regime, *Soil and Tillage Reaseasch* 24: 359–380.
[http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(92\)90119-V](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(92)90119-V)
- Domakin, B. M.; Zubenko, B. I. 1991. Avtomatizatsiya mostovykh sistem, *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny* 9: 19–23.
- Keicher, R.; Seufert, H. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe, *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 169–194.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00062-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00062-9)
- Kon, T. 1998. *Collision warning and avoidance system for crest vertical curves*. Special Report. Digital Library and Archives. 93 p.
- Laguë, C.; Agnew, J.; Khelifi, M. 2003. *Theoretical evaluation on the feasibility of Controlled-Traffic Farming (CTF) using Wide-Span Implement Carriers (WSIC) for Canadian agriculture*. The Canadian Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological systems CSAE, Paper No. 03-233. 32 p.
- Ramalingam, N.; Stombaugh, T. S.; Mirgeaux, J. 2000. DGPS-Based Automatic Vehicle Guidance, in *Annual International Meeting*, 9–12 July 2000, Midwest Express Center, Milwaukee, Wisconsin. ASAE Paper No. 001068.
- Reid, J. F.; Zhang, Q.; Noguchi, N.; Dickson, M. 2000. Agricultural automatic guidance research in North America, *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 155–167.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00061-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00061-7)

RESEARCH ON THE RECTILINEAR MOTION SYSTEM OF THE GANTRY MODULE

N. Burbaitė, G. Viselga, A. Jasinskas

Abstract

The paper submits experimental researches into guidance on the shuttle gantry module. The article has determined the influence of the roughness intensity of soil surface on the accuracy of guidance on the shuttle gantry module. The gantry module worked in automatic mode. A laser beam generator emitting a vertical beam has been placed at the end of the experimental field. A laser beam catcher equipped with photo diodes has

been mounted onto the replaceable support of the positioned gantry module. Chassis deviations have been determined in two ways: when a laser beam trap with equipped a photodiode and the positioning have been mounted on the left chassis and when the laser beam equipped with a photodiode trap has been mounted in the middle of the beam, and the positioning wheel has been left on the left chassis.

The conducted researches have shown that the roughness of the soil surface influences the accuracy of guidance. In the first case, deviations of the left chassis evolved from 45 mm to 98 mm, whereas those of the right one – from 38 mm to 150 mm. For determining the accuracy of guidance on the gantry module in the second case, deviations of the left chassis varied from 50 mm to 115 mm while those of the left one from 36 mm up to 120 mm.

Keywords: field gantry system, gantry chassis, straight-line course movement, automatic mode, positioning accuracy