

GPS REAL-TIME MEASUREMENT PRECISION IN LATPOS SYSTEM

GPS REĀLĀ LAIKA MĒRĪJUMU PRECIZITĀTE LATPOS SISTĒMĀ

Janis Zvirgzds, Latvia Geospatial Information Agency,
43 O.Vaciesa street, Riga, Latvia, manager of GPS network laboratory, master,
janis.zvirgzds@lgia.gov.lv,

Atslēgas vārdi: Globālā pozicionēšanas sistēma, Reālā laika mērījumi, Ģeodēziskie mērījumi.

Ievads

Globālās Pozicionēšanas Sistēma (turpmāk tekstā - GPS) tiek plaši pielietota ģeodēziskajos mērījumos. Viens GPS uztvērējs nedod iespēju veikt mērījumus ar ģeodēzisko precizitāti. Precizitātes uzlabošanai tiek pielietoti viens vai vairāki GPS uztvērēji, kas uzstādīti uz zināmiem punktiem. Ģeodēzisko mērījumu nodrošināšanai Latvijā veikti pētījumi un izstrādāta GPS bāzes staciju sistēma LatPos. Sistēma ietver 19 bāzes stacijas, kas nodrošina lielāko daļu Latvijas ģeodēzisko mērījumu veikšanai.

Šajā rakstā tiks aplūkota mērījumu veikšana ārpus GPS bāzes staciju sistēmas LatPos, kas ir atkarīga no sistēmas konfigurācijas, bāzes staciju izvietojuma. Unikālu šo mērījumu veikšanu padara apstākļi, ka katrā valstī, kur uzstādītas šādas sistēmas, precizitātes krišanās, attālinoties no sistēmas ir unikāla un neatkarīga. No tā izriet ka, lai modelētu precizitātes krišanos, nepieciešams veikt sēriju ar mērījumiem kritiskajos apgabalos, secināt par sasniedzamo precizitāti, izpētīt normatīvos aktus par nepieciešamo precizitāti un secināt par sistēmas uzlabošanas nepieciešamību, lai sasniegtu ģeodēzisko mērījumu precizitātes nodrošināšanu visā Latvijas teritorijā.

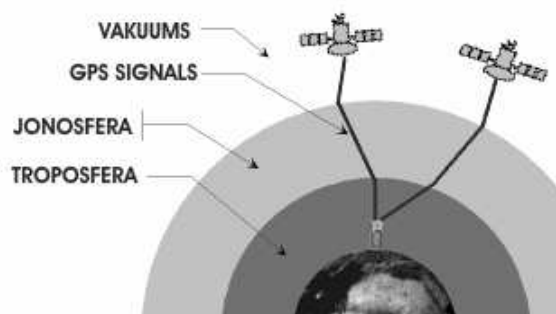
GPS mērījumu precizitāte.

Te tiks aplūkoti ģeodēziskie mērījumi ar divu frekvenču uztvērējiem, kas uztver NAVSTAR sistēmas satelītu signālus.

Tā kā GPS pamatprincips ir attālumu mērīšana līdz satelītam, tad tiek aplūkoti iespējamās kļūdu rašanās avoti atnākot signālam no satelīta līdz zemei (1.attēls):

- Jonosfēriskie traucējumi - līdz 5 metriem;
- Satelītu novirzes no matemātiski aprēķinātajām orbītām – līdz 2,5 metriem;
- Satelītu pulksteņu svārstības – līdz 2 metriem;
- Signāla atstarošanās kļūdas – līdz 1 metram;

- Troposfēriskie traucējumi – līdz 0,5 metriem;
- Koordināšu aprēķināšanas matemātika un rezultātu iegūšanas noapaļošana – līdz 1 metram.



1.attēls GPS signāla iespējamie kropļojumi

Visu šo kļūdu avoti ietekmē GPS uztvērējs pozīciju uz zemes var noteikt ar precizitāti līdz 10 metriem.

Augstas precizitātes iegūšanai izmanto vienu vai vairākas GPS bāzes uztvērējus, ko novieto uz zināmiem punktiem. Zināmie punkti dabā ir ģeodēziskie atbalsta punkti vai stacionāri izvietotas GPS bāzes stacijas – kas kopā veido GPS bāzes staciju sistēmu LatPos (2.attēls).



2.attēls GPS bāzes staciju sistēma LatPos

LatPos sistēmā darbojas 19 bāzes stacijas.

Mērījumu apgabali.

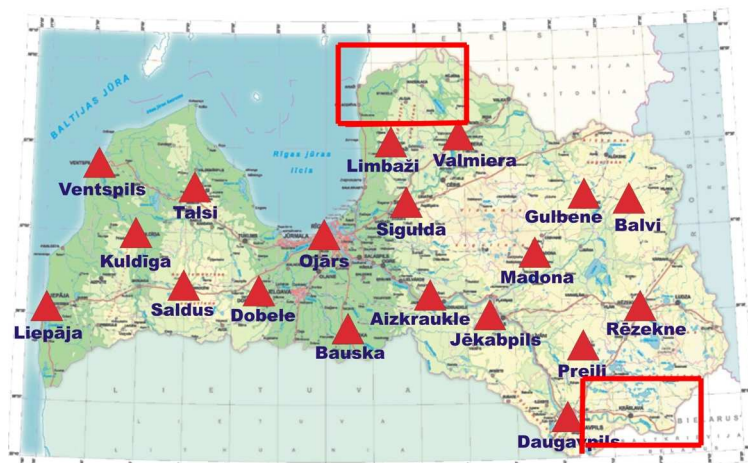
Augstas precizitātes mērījumiem, izmantojot bāzes staciju sistēmas, veic dažādu kļūdu modelēšanu un novēršanu. Galvenās ir satelītu orbītu kļūdas un atmosfēras iedarbība uz signālu. Šo kļūdu modelēšana ir tieši atkarīga no attāluma līdz bāzes stacijai. Ja netiek pielietota pareiza modelēšanas stratēģija, var nonākt pie ievērojamām kļūdām. Līdz ar to, vienas bāzes līnijas gadījumā ir pieņemts, ka RTK režīmā veicot mērījumus reālā laikā nav ieteicams pārsniegt bāzes līniju vairāk par 30 kilometriem no bāzes stacijas.[1]. Tomēr iespēja pielietot citu stratēģiju, izslēdzot šīs kļūdas. Jonosfēras kļūdas tiek izslēgtas, lietojot divu

frekvenču uztvērējus ar L1 un L2 frekvencēm, kas izslēdz pirmās pakāpes jonosfēras radītās kļūdas.

Lai veiksmīgi varētu kļūdu avotus modelēt, pielietojot bāzes staciju sistēmu, iespējams bāzes līniju pagarināt līdz 100 kilometriem. Latvijas apstākļos tālākā vieta ārpus LatPos sistēmas var būt līdz 70 kilometriem. Bet jāņem vērā, ka bāzes līnijas pagarināšana iespējama tikai sistēmas iekšienē. Kļūdas prognoze iespējama korekti, ja atmosfēras un troposfēras apstākļi ir viendabīgi. Tā kā šie apstākļi tomēr mēdz būt arī neviendabīgi, ar lokāla rakstura, tad var gadīties tomēr mērījumus veikt ar lielāku kļūdu, nekā tas ir paredzēts.[2]. Papildus viens no svarīgiem ietekmes avotiem uz precizitāti ir saules aktivitātes, kas veic lielas izmaiņas jonosfēras morfoloģijā, aizkavējot GPS signālu minūtes laikā. Šāda veida aiztures var rasties un turpināties pat stundām ilgi. Bet, šinī darbā tiks apskatīti mērījumi, kas veikti ārpus bāzes staciju sistēmas.

Ģeodēzisko kontroles mērījumu veikšana LatPos sistēmas tīkla iekšienē ir pierādījuši, ka mērījumu vidējās kvadrātiskās kļūdas nepārsniedz divus centimetrus [3].

Sakarā ar to, ka Latvijas teritorijā ir izveidojusies situācija, ka ir apgabali, kas atrodas ārpus sistēmas un pētījumi jāveic tieši pie noteiktajiem apstākļiem, tad tika veikta virkne mērījumu ārpus LatPos sistēmas. Latvijas ziemeļu daļā garākā bāzes līnija iespējama līdz 60 kilometriem. Latvijas dienvidaustrumu daļā – aiz Krāslavas, pie Indras, iespējams sasniegt 70 kilometrus garu bāzes līniju.



3.attēls Mērījumu veikšanas apgabali

Mērījumu tehnoloģija

GPS bāzes staciju sistēma ir nākošā paaudze ģeodēziskai atbalsta sistēmai – fiziski ierakstiem zemē un nostiprinātiem ģeodēziskajiem punktiem – precīzu koordināšu ieguve apvidū. Atšķirība tā, ka GPS bāzes staciju sistēma precīzās koordinātas piedāvā elektroniski un atbalsta punkti (GPS antenas) atrodas aizsargātās vietās. Izmantojot GPS uztvērēju ar reālā laika pieslēgumu LatPos bāzes staciju sistēmai, iespējams iegūt precīzas koordinātes visā Latvijas teritorijā. Lai veiktu precizitātes kontrolmērījumus, tika veikti mērījumi uz dabā nostiprinātajiem ģeodēziskajiem punktiem. Mērījumi tika veikti uz 1., 2., un 3. klases ģeodēziskajiem punktiem, kam koordinātas ir noteiktas Latvijas koordinātu sistēmā LKS-92 ar GPS mērījumiem. Paralēli tam vēl pastāv ģeodēziskie punkti, kam koordinātas noteiktas analītiski no iepriekšējām koordinātu sistēmām, pirms 1991. gada. Koordinātu transformēšanā tika secināts, ka iespējamā kļūda var būt līdz 20 centimetriem.

Mērījumi tika veikti uzstādot trijkāji ar precīzo, optisko centrēšanos, lai centrēšanās kļūda nepārsniegtu 1mm. Augstums mērīts ar mērstieni. Šajā darbā apskatītas tikai horizontālo koordinātu novirzes. Mērījumi veikti reālā laikā. Sesijas garums 20 sekundes. Sesijas tika atkārtotas stundas garumā, sekojot vienai aiz otras. GPS uztvērējs netika pārstartēts. Mērījumi tika veikti plānojot labvēlīgākos GPS pavadoņu izvietojumus un sesiju laikus. Mērījumi tika veikti ar Leica GPS uztvērēju System 1200, lietojot RTCM versiju 3.1, tīkla korekciju. Mērījumi tika veikti, izmantojot ASV NAVSTAR GPS sistēmas pārraidītos signālus. Mērījumi uzsākti pēc instrumenta korekcijas signālu saņemšanas un darbības uzsākšanu RTK režīmā, kas nodrošina 2 centimetru precizitāti. „Navigācijas” režīms nodrošina koordinātu precizitāti ar 15 metriem. DGPS – ir pakalpojums vienfrekvenču uztvērējiem, kas nodrošina to mērīšanu diferenciālajā režīmā ar precizitāti līdz 80 centimetriem. Augstāka precizitāte nav iespējama, sakarā ar vienas frekvences izmantošanu.

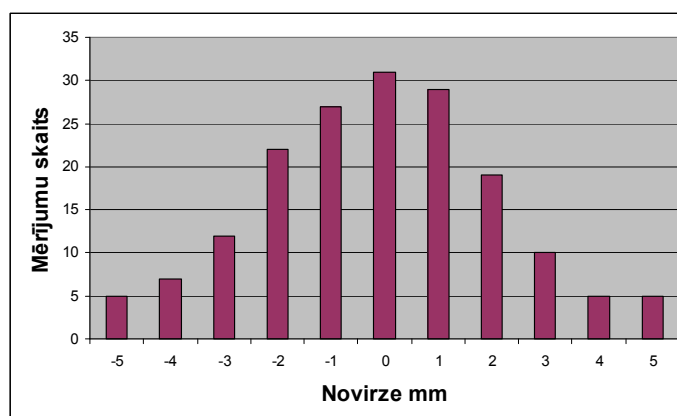
Mērījumu rezultāti

Latvijas ziemeļu daļā tika izvēlēti četri ģeodēziskie atbalsta punkti ar labu GPS signāla uztveršanas iespēju, punkti atrodas klajās vietās. Ģeodēziskie punkti ir pirmās un otrās klases punkti. Punktu attālumi līdz tuvākajai bāzes stacijai, šinī gadījumā Limbaži, doti kilometros. Šeit var redzēt, ka trīs no izmantotajiem punktiem atrodas „droša” attāluma ietvaros – zem 35 kilometriem no bāzes stacijas.

Tabula 1 Attālumi līdz tuvākajai bāzes stacijai ziemeļlatvijā

Ģeodēziskais punkts	Tuvākā stacija	Attālums līdz stacijai, km
Tūja	Limbaži	20,1
Meleki	Limbaži	22,7
Svētciems	Limbaži	30,0
Līči	Limbaži	40,0

Ņemot vērā, ka eksperimenta mērķis ir noteikt reālā laika precizitātes lielumu lielos attālos, tad šajā rakstā atspoguļoti rezultāti ģeodēziskajā punktā Līči.



4. Attēls Mērījumu noviržu sadalījums

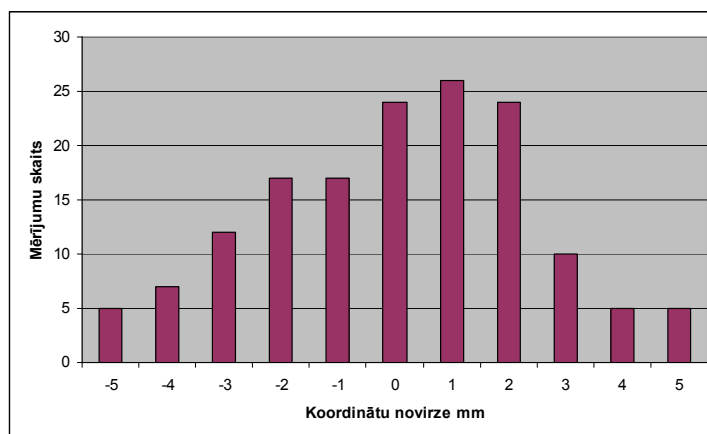
Veicot analīzi par mērījumu noviržu sadalījumu, 1. Attēls, ar varbūtību 90% mērījumi iekļaujas divu centimetru robežās. Ievērojot to, ka ir arī mērījumi, kas pārsniedz pieļaujamās robežas, bet tas sastāda 10% no mērījumu skaita.

Otrs apgabals, kas pārsniedz ieteicamo attālumu no bāzes stacijām un pie tam ārpus izveidotā GPS bāzes staciju tīkla LatPos, ir Latvijas dienvidaustrumos pie Indras, Krāslavas rajonā. Tur maksimālais sasniedzamais attālums ārpus bāzes staciju tīkla, no tuvākās bāzes stacijas ir 70 kilometri, kas praktiski tika pārbaudīti arī uz Baltkrievijas robežas. Viens no iepriekš ar GPS reālā laikā uzmērītiem punktiem ir nosaukts par 43D, jo to ierīkojusi licencēta firma. Uz tā tika veikti kontrolmērījumi ar trīs dažādu ražotāju GPS uztvērējiem. Mērījumu rezultāti pārlicinoši parādīja, ka atšķirības koordinātās nepārsniedza 1 cm. Mērījumi tika veikti reālajā laikā un datu faili netika saglabāti.

Tabula 2 Attālumi līdz bāzes stacijai Daugavpils

Ģeod. punkts	Attālums, km
Rp682	51,0
G3 152	55,0
Rp 1370	59,6
43D	72,3

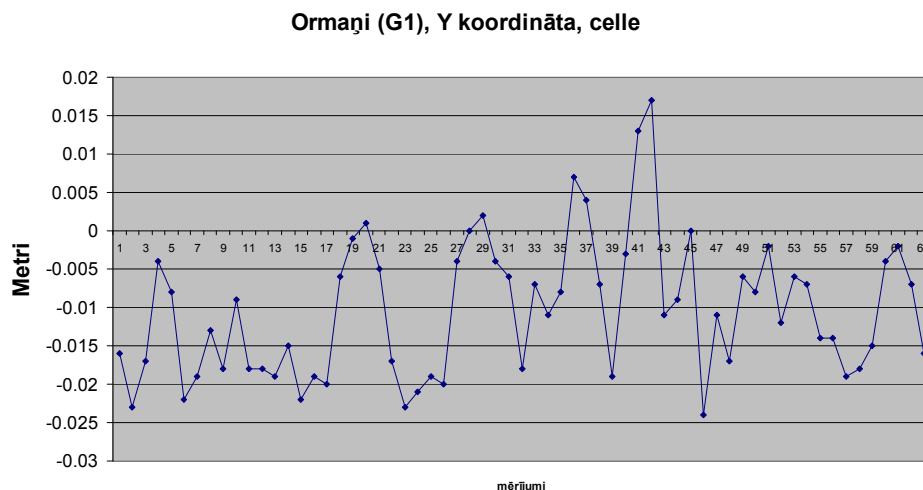
Tiek aplūkots punkts 152, jo tas ir pat 3. klases punkts, kura vidējā kvadrātiskā kļūda var sasniegt par 30 milimetrus attiecībā pret augstākas klases ģeodēziskajiem punktiem. 2. Attēlā parādīts koordināšu mērījumu skaita sadalījums pa novirzēm no zināmās ģeodēziskās zīmes dotajām kataloga koordinātām. Šoreiz var novērot, ka Gausa sadalījuma zvana centrs ir novirzīts uz koordinātu novirzi +1 centimetrs. Šis fakts parāda koordinātu tīklu nesaderību. Ņemot vērā faktu, ka šis ir trešās klases GPS uzmērītais punkts, ar precizitātes uzmērījumu 30 milimetri attiecībā pret augstākas klases ģeodēziskajiem punktiem, tad šo novirzi var ieskaitīt sistemātiskajās kļūdās un turpmāk to dot kā labojumu mērījumu veikšanai katalogos.



5. Attēls Koordinātu novirze G3 152 punktā

Mērījumu precizitātes uzlabošanai nepieciešamas vairākas darbības. Viena no tām ir bāzes staciju optimizācija, lai Latvijas teritorija atrastos GPS bāzes staciju iekšienē un nebūtu jāveic mērījumi ārpus tīkla robežām.

Veicot kontrolmērījumus uz triangulācijas punktiem, 3.attēls, kuru koordinātas ir iegūtas transformācijas ceļā veidojas līdzīga situācija ar mērījumu svārstību kā 2.attēlā uz G3 punkta. Mērījumu novirze no vidējās koordinātes ir viens centimetrs.



6. Attēls Koordinātu novirzes mērījumu laikā

Nobeigums

Patreizējie mērījumi ir veikti pie noteiktas situācijas un ar pieejamiem līdzekļiem. Turpmāk plānojot sistēmas attīstību, kā vienu no ģeodēziskajiem tīkliem, nākošās paaudzes, ir jāņem vērā faktori, par nepieciešamību palielināt bāzes staciju skaitu, lai palielinātu precizitāti, vai veikt datu korekciju aprēķināšanas metodikas uzlabojumus[4].

Turpmākie plāni ietver arī sistēmas uzlabošanu pārējo esošo (GLONASS) un nākamo (GALILEO un KOMPASS) sistēmu signālu uztveršanu.

Mērījumu novirzes no ģeodēzisko punktu koordinātām norāda uz šo tīklu nehomogenitāti. Papildus veicot mērījumus uz visiem punktiem, iespējams sastādīt transformācijas matricu, ar kuras palīdzību iespējams pārrēķināt mērīto punktu koordinātas no GPS tīkla Latpos uz iepriekšējo veco tīklu sistēmu. Patlaban Latvijā lielākās novirzes no esošajiem tīkliem novērotas līdz 20 centimetriem.

Literatūra

1. L.Dai Innovative Algorithms to Improve Long Range RTK Reliability and Availability// In: ION NTM, January 2007. – p.860 – 861;
2. D.Kim and R. B. Langley Improving Long-Range RTK// In: GPS World, March 2008. – p. 50 – 51;

3. D.A. Grejner-Brzezinska Multi-Reference Station Approach to long range RTK GPS // In: Geophysical Research, 2003 - Vol. 5, 12366;
4. Kim, D. and R. B. Langley Long-range single-baseline RTK for complementing network-based RTK. // In: Proceedings of ION GNSS September 2007, pp. 639-650.

Zvirgzds J., GPS reālā laika mērījumu precizitāte LatPos sistēmā

Latvijā izstrādāta un uzstādīta Globālās Pozicionēšanas Sistēmas bāzes staciju sistēma LatPos. Ar šo sistēmu iespējams veikt ģeodēziskos mērījumus reālā laikā ar precizitāti līdz 2 centimetriem. Ņemot vērā sākotnējos bāzes staciju uzstādīšanas nosacījumus, ir izveidojusies situācija, ka ir teritorijas, kas atrodas ārpus GPS bāzes staciju tīkla – ģeogrāfiski ārpus noslēgtiem trijstūriem. Uzstādot sistēmu, ražotāji apgalvoja, ka staciju tīkla iekšienē tiks sasniegta nepieciešamā precizitāte 2 centimetri. Pašlaik ir situācija, ka ir divas teritorijas, kas atrodas ārpus nosacītā tīkla. Veicot mērījumus šajās teritorijās var tikt pārsniegts pieļaujamais attālums, kāds tehnoloģiski paredzēts RTK mērījumos – līdz 35 kilometriem no tuvākās bāzes stacijas. Maksimālais attālums, kas var tikt sasniegts ir pat 70 kilometri. Tā kā mērījumu veikšana un rezultāti katrā vietā ir unikāli, tad nepieciešams veikt kontroles mērījumus katrā konkrētā vietā. Tika veikti mērījumi, attālinoties no tuvākās bāzes stacijas Daugavpils, ārpus GPS bāzes staciju sistēmas. Lai izslēgtu iespējamību, ka labi rezultāti tiek sasniegti tikai ar vienas firmas instrumentiem, tika izmantoti trīs dažādu ražotāju instrumenti. Šie instrumenti izrādīja rezultātus, kas neatšķirās vairāk par vienu centimetru. Ārpus sistēmas mērījumu koordinātu atšķirības nepārsniedza četrus centimetrus. Lauku apvidos pieļaujamā mērījumu precizitāte ir līdz pusmetram, līdz ar ko tiek izpildītas prasības pilnībā un iespējams veikt mērījumus no LatPos sistēmas visā Latvijā. Lai attīstītos kopā ar tehnoloģijām, paredzēts papildināt LatPos uztveršanas iespēju arī ar GLONASS signāliem, kas palīdzētu veikt mērījumus un dotu augstāku ticamību tieši sliktos mērīšanas apstākļos.

Zvirgzds J., GPS real-time measurement precision in LatPos system

Global Positioning System base station network has been established. This system was designed especially for Latvia and best layout was selected. This is real-time network for precise geodetic measurements and two centimeter level accuracy can be acquired. There were special conditions for selecting site locations, one of them data transfer network and in result, separate locations are outside network configuration. This means, that not estimation of error can be achieved outside network. Maximum baseline length for RTK measurements are up to 35 kilometers from nearest base station. In two regions in Latvia, maximum baseline up to 70 kilometers can be achieved. As conditions in different places are different, a real-time measurement test has been done on exact geodetic benchmarks. Measurements have been done, moving away from base station Daugavpils. To exclude theory – LatPos is only for Leica, there were three company GPS receivers: Trimble, Topcon and Leica. Results in preciseness did not exceed one centimeter. With maximum distance, error did not exceed four centimeters. To achieve better results in future, system will be upgraded to receive GLONASS and later GALILEO signals.

Звиргзде Я. Точность измерений в реальном времени ГПС в системе LatPos.

В Латвии разработана и построена система базисных станций Системы глобального позиционирования LatPos. При помощи этой системы возможно проведение геодезических измерений в реальном времени с точностью до 2 см. Согласно основным установкам при построении базисных станций сейчас существуют территории вне сети станций ГПС – географически вне замкнутых треугольников. При создании сети, производители станций утверждали, что внутри сети точность измерений будет до 2 см. Но сейчас две территории расположены вне условной сети. Проводя измерения в этих территориях, можно увеличить допустимое расстояние, определенное в технологических установках RTK – до 35 км от ближайшей базисной станции. И максимальное расстояние может быть даже до 70 км. Так как измерения и результаты в каждой точке уникальны, то необходимо проведение контрольных измерений. Были проведены измерения удаляясь от ближайшей базисной станции Даугавпилс вне системы станций ГПС. Чтобы исключить возможность получения хороших результатов только с приборами одной фирмы, были использованы приборы трех различных производителей. Эти приборы дали результаты разница которых была не более 1 см. Разница в измерениях вне системы станций координат была не более 4 см. В сельской местности допустима точность измерений до полметра, а это означает, что все требования выполнены полностью и по всей территории Латвии можно проводить измерения используя систему LatPos. Планируется дополнить возможности приема в данной системе сигналами ГЛОНАСС, что расширит возможности геодезических измерений и даст более высокую точность особенно при плохих условиях работ.