

6-Д. Жоғарғы дәлдікті бұрыштық өлшеулер жүргізу. Жоғарғы дәлдікті бұрыштық өлшеулер тәсілдері.

6.1. Жоғары дәлдікті бұрыш өлшегіш аспаптар

Негізгі геодезиялық тораптарды жасау кезіндегі геодезиялық өлшеудің жаппай түрі бұрыштық өлшеулер болып табылады. Бұл өлшеулердің дәлдігі геодезиялық торапты тұрғызу дәлдігіне байланысты.

Триангуляция және полигонометрия әдістерімен мемлекеттік геодезиялық торапты құруде барлық пункттерде горизонталь бұрыштар мен зениттік қашықтықтар өлшенеді, Лаплас пункттерінде ендік, бойлық және азимуттардың астрономдық өлшеулері жүргізіледі, ол үшін жұлдыздық және жерлік денелердің зениттік қашықтықтары өлшенеді, азимуттары анықталады. Трилатерация тораптарында бұрыштық өлшеулер ориентирлі бағыттарды бекіту үшін қолданады.

Атқаратын міндетіне байланысты геодезиялық бұрыш өлшегіш аспаптар теодолиттер және астрономиялық теодолиттер деп бөлінеді. Теодолиттерді бірқатар белгілері бойынша жіктеуге болады.

Қолдану аумағы бойынша теодолиттердің келесі топтарын көрсетеді: геодезиялық (геодезиялық практикада бұрыштарды өлшеу үшін қолданылады); астрономиялық (астрономиялық ендік, бойлық, азимуттарды анықтау үшін); маркшейдерлік (жерасты қазбаларда өлшеу үшін); гироскоптық(азимутты гироскоптық әдіспен анықтау үшін).

Өлшеу дәлдігі бойынша теодолиттер жоғары дәлдікті –қателігі 1,5” аз; дәл 1,5” –10”; техникалық - қателігі 10”-тан жоғары болып жіктеледі.

Ақпарат тасығыштары бойынша теодолиттер оптикалық және электронды болып бөлінеді. Оптикалық теодолиттердің лимбі оптикалық шыныдан жасалған, лимб бойынша есептеулерді шкалалық немесе оптикалық микрометрі бар оптикалық есептеу жүйесімен алады.

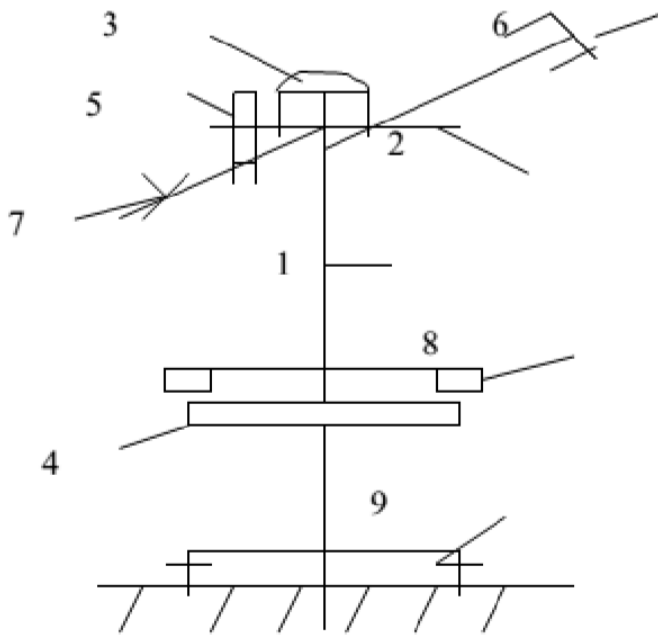
Электронды теодолиттерде жұмыс мөлшері электротехникалық элементтермен беріледі (индуктивтік, сыйымдылық, резисторлармен,) немесе «бұрыш –код –сан» типті бергіштермен беріледі. Ақпаратты сандық таблодан немесе автоматты режимде оқуға болады – ақпарат тасығышта тіркеу арқылы жүргізіледі.

Негізгі жоғары дәлдікті тораптарды жасау кезінде бұрыштық өлшеулерді ауданның әртүрлі физикалық–географиялық және климаттық жағдайларында жүргізеді. Өлшеудің максимальді дәлдігін қамтамасыз ету үшін және аспаптың көп жыл пайдалану жағдайында оған ерекше талаптар қойылады:

-әртүрлі физикалық–географиялық жағдайларда және оны пайдалану мерзімінде тиімді жұмыс істеуін және бұрыштың өлшеулердің тұрақты дәл нәтижелерін сақтау;

-аспаптар геодезиялық жұмыстарда кеңінен қолдануға ыңғайлы болуы керек, ол үшін оның салмағы, өлшемдері және аспаптың құны азайтылады.

Жоғары дәлдікті оптикалық теодолит келесі негізгі бөліктерден тұрады (11 сурет):



11 сурет – Жоғарғы дәлдікті оптикалық теодолиттің сұлбасы

Осы тік жүйе, оған теодолиттің вертикаль осі кіреді 1, дәл деңгейі 3; дүрбінің айналу осі 2; тұғырық 9; горизонталь 4 және вертикаль 5 дөңгелектердің лимбтері; визирлік қондырғы – окулярлық микрометрлі дүрбі 7; есептеу қондырғысы 8, оған оптикалық микрометр кіреді.

Теодолиттің негізгі бөліктері өзара байланысқан; олардың дәлдігі келісулі болу керек.

Түзетулер және юстировка (тексерту) кезінде геометриялық параметрлеріне және оптикалық-механикалық талаптардан ауытқулар анықталады және жойылады.

Міндетті түзетулерге келесілер кіреді:

1) алидадағы горизонталь дөңгелектің цилиндрлік деңгей осі теодолиттің айналу осіне перпендикуляр болу керек;

2) көру дүрбісінің визирлік осі оның айналу осіне перпендикуляр болуы керек. Бұл шарттың орындалмауы коллимациондық қателерге алып келеді, олар мына шамадан аспау керек:

$$2c = \text{КЛ} - \text{КП} \pm 180 \leq 20''.$$

Коллимацияның әсері өлшеген бағытқа дүрбінің екі жағдайынан КЛ және КП алынған екі есептеуден толық жойылады.

3) көру дүрбісінің айналу осі теодолит осіне перпендикуляр болуы керек. Дүрбінің горизонталь осінің теодолиттің вертикаль осіне перпендикуляр еместігінен және цапф диаметрлерінің теңсіздігіне пайда болған қателерді жою үшін бағыттарды дүрбінің екі жағдайында өлшеп, олардың орта арифметикалық есебін алу қажет.

4) Верикаль дөңгелектің зенит MZ орнын немесе ноль MO орнын анықиауда $MZ = \text{КЛ} + \text{КП} - 180^0$ немесе $MO = \text{КП} - \text{КЛ} + 90^0$ ауытқу $10''$ көп болмау керек.

Жоғары дәлдікті теодолиттерді зерттеу кезінде лимб диаметрінің қателіктері, оптикалық, оптикалық микрометрдің бос жүрісі мен рені, алидада және лимб эксцентриситеттері анықталады.

Аспаптың бөліктері мен бөлшектерін дайындаумен байланысты қателіктер лимб диаметрінің қателеріне жатады. Бұл – ең ірі аспаптық қателіктер. Бұл қателіктердің әсерін бұрыштық өлшеулер жүргізу әдісімен азайтады. Әр бұрышты бірнеше амалдармен өлшейді. Әрбір амалда алидаданың бастапқы орналасуы лимбтің жартылай доғасында біртекті таралуы керек. Горизонталь дөңгелекті амалдар арасында келесі бұрышқа ауыстыру керек:

$$\delta = 180/m + i \quad (23)$$

мұндағы m – амалдар (прием) саны, i – теодолит лимбінің бөлінуі,

Оптикалық микрометрдің бос жүрісі (мертвый ход) кезінде микрометр шкаласы айналғанда беріліс механизмі параллель жазық пластинкаларды бірақ кешіктіріп қозғалысқа келтіреді, яғни лимб шкалалары кешігіп қозғалады.

Барабан алғашында бос айналады. Бос жүріс барабан кері айқалғанда байқалады. Бұл қателіктің лимбке әсерін азайту үшін микрометр басы (головка) сағат тілімен айналдыра отырып, ол лимб штрихымен беттескен кезде аяқтау қажет.

Номиналды және микрометр көмегімен өлшенген жартылай лимбтің шамалар *рен* деп аталады. Микрометрдің есептік барабанының ең кіші бөлігі:

$$\mu = i/n \quad (24)$$

мұндағы i -лимб штрихтар арасындағы ең кіші интервал, лимб бөліктері; цена деления лимба;

n - лимбтің бір бөлігіне сәйкес келетін барабанн микрометрiнiң саны (цена деления)

Аспап конструкциясымен қарастырылған оның теориялық саны n_0 белгілі:

$$r = n_0 - n. \quad (25)$$

Алидаданың эксцентриситеті дегеніміз – алидаданың айналу осі мен лимб осінің сәйкес келмеуі. Лимб эксцентриситеті дегеніміз – горизонталь дөңгелектің айналу орталығының және лимб бөлігі сақинасы орталығының проекцияларының сәйкес келмеуі. Эксцентриситеттері сызықтың және бұрыштың элементтерімен сипатталады. Алидада эксцентриситеті есептік индексінің жылжуына алып келеді.

2. Жоғары дәлдікті бұрыштық өлшеулер тәсілдері.

При измерении горизонтальных углов возможны две принципиальные схемы: *измерение собственно отдельных углов, измерение направлений.*

Измерение направлений заключается в поочередном наведении трубы на все визирные цели, наблюдаемые с одного пункта, отсчете по закрепленному лимбу и вычислении ряда углов между начальным направлением и всеми остальными.

Өндірісте қолданылатын бұрыштық өлшеу тәсілдердің кеңінен тарағаны *Шрейбер* (n бағыттағы барлық комбинацияда жеке бұрыштарды екі рет өлшеу) және *Струв тәсілі* (дөңгелек амалдармен (круговой прием) өлшеу). Барлық қалғандары негізгі тәсілдердің модификациясы болып табылады және олардың мақсаты негізгі тәсілдердің кемшіліктерін азайту болып табылады.

Дөңгелек амалдар тәсілінің мәні: Лимб қозғалыссыз болған кезде теодолит алидадасын сағат тілі бағытымен айналдырады және кезекпен көру дүрбісін бақылау пункттеріне бағыттай және бастапқы бағытқа бағыттаумен (начальное направление) аяқтайды (замыкание горизонта). Өлшеулердің берілген кешені бірінші жартылай амалды (первый полуприем) құрайды. Сонан соң дүрбіні зенит арқылы өткізеді және алидаданы сағат тіліне қарсы айналдырып, дүрбіні сол пункттерге бағыттайды, бірақ кері кезекте – екінші жартылай амал (второй полуприем) болады.

Екі жартылай амалдың әр бағыты бойынша орташасын (среднее) шығарады. Осылай бірнеше амал жасайды: 2, 3 және 4 класты триангуляция пункттерінде сәйкесінше 12, 9, 6 амал, ал полигонометрия торларында – 18, 12 және 9 амал.

Бағыттың орташа шамаларын бастапқыға келтіреді. Бұл үшін берілген бағыт бойынша есептеуден (отсчет) бастапқы есептеуді (отсчет) шағырады. Пункттегі бағыттың соңғы мәні барлық амалдардан орташа арифметикалық мәнін шығару арқылы анықтайды.

Амалдар арасында лимбті келесідей бұрышқа ауыстырады (переставляют):

$$\delta = 180^\circ / i + m \quad (26)$$

мұнда m - амалдар саны, i - теодолит лимбінің бөліктері (цена деления лимба).

Дәлдікті бағалау үшін берілген бағыт мәнінің әрбір амалда ν орта арифметикалықтан ауытқуын есептейді, олардан квадраттар сомасын құрайды және бір амалдан шығарылған бағыттың орташа квадраттың қателігін – салмақ бірлігінің қателігін Петерс формуласымен есептейді:

$$\mu = \frac{\sum |\nu|}{n} k, \quad (27)$$

мұндағы n - пункттегі бағыттар саны; m - амалдар саны;

$$k = 1.25 / \sqrt{m(m-1)}.$$

m амалдармен теңестірілген (уравненное направление) бағыттардың орташа квадраттық қателігі:

$$M = \mu / \sqrt{m}. \quad (28)$$

Тәсілдің артықшылықтары:

-өлшеулер процесін жылдамдататын бақылаулар жүргізудің қарапайымдылығы;

-арнайы бағдарламаны талап етпейтін дөңгелектің орын ауыстырулардың аз саны;

- тікелей өлшенген бұрыштардың көп қатары.

Тәсілдің кемшіліктері:

- барлық бағытта бірдей көріністің (видимость) қажеттілігі;
- бастапқы және басқа бағыттардың теңсіздігі. Бірінші бағытқа екі есе көп бағытталады соның нәтижесінде олармен жасаған бұрыштардың қателіктері аз.
- амалдағы өлшеулердің салыстырмалы ұзақ уақыты.

Бұрыштарды барлық комбинацияларда өлшеу тәсілін Гаусс ұсынған, неміс геодезисті Шрейбер жетілдірген, ол оны 1868-1874 жылы Пруссия триангуляциясында қолданған. Бұл тәсілде өзара әртүрлі комбинациялар құрайтын екі бағыт арасындағы жеке бұрыштар өлшенеді. n бағыттағы мұндай бұрыштардың саны:

$$\frac{n(n-1)}{2}. \quad (29)$$

Берілген пункттегі әрбір нақты жағдайда бұрыштарды өлшеу үшін амалдар саны бағыттар санына байланысты анықталады:

$$m = P / n \quad (30)$$

мұндағы P – Инструкциямен регламенттелген өлшеулер салмағы (вес). 1 кластық триангуляция үшін $P= 35-36$, 2 класс үшін – 24.

Әрбір бұрыштың мәнін үш рет алуға болады: бірі тікелей өлшеу және екеуі – екі басқа тікелей өлшеген бұрыштардың суммасы немесе айырымы ретінде.

$$(1.2) = (1.4) - (2.4) = (1.3) - (2.3);$$

$$(1.3) = (1.4) - (3.4) = (1.2) + (2.3)$$

Лимб бөліктерінің (деление) ауытқуларының әсерін азайту үшін және тәуелсіз нәтижелер алу мақсатында бұрыштарды горизонталь дөңгелектің әртүрлі орналасуында (установка) өлшейді. Лимбті амалдар арасында келесі бұрышқа орын ауыстырады.

$$\delta = \frac{180^0}{m} + i, \quad (31)$$

Бір-біріне түйіспейтін (не примыкающих) бұрыштар топтары үшін амалдар арасында лимб келесі бұрышқа орын ауыстырады:

$$\delta = \frac{\sigma}{n-1} + i, \quad (32)$$

n - бағыттардың жұп саны кезінде;

$$\delta = \frac{\sigma}{n} + i \quad (33)$$

n - тақ саны кезінде.

Әрбір пунктте бақылау бағдарламасы жасалады. Лимбтің жұмыс қондырғыларының (установка) кестесі есептеледі. Бұл кезде нұсқауларда келтірілген лимб қондырғысының кестесін қолдануға болады.

Бұрышты өлшеу келесі ретпен жүргізіледі. КЛ кезінде көру дүрбісінің биссекторын сол жақ визирлік нысанаға бағыттайды, лимб бойынша берілген бұрыштың берілген амалы үшін сәйкес есеп (отсчет) жүргізіледі.

Алидаданы ағытып (открепив), сол жақ бағыттағы визирлік нысанаға сағат тілі бағытымен бағыттайды. Екі рет есеп алады. Бұл қозғалыстар бірінші жартылай амалды құрайды.

Екінші жартылай амал. Дүрбіні зенит арқылы өткізеді және алидаданы сағат тілі бағытымен айналдырып, көру дүрбісінің биссекторын оң жақ визирлік нысанаға бағыттайды. Есебін алады. Алидаданы ағытып және оны сағат тілі бағытымен айналдырып, көру дүрбісін сол жақ визирлік нысанаға бағыттайды. Есебін алады.

Бұл тәсіл бұрыштарды кез келген кезекте өлшеуге мүмкіндік береді және барлық бағыттағы қажетті көрініс (видимость) береді. Бір амалдың жалпы уақыты дөңгелек амалдағы дан аз. Шрейбер тәсілінде лимб бөліктерінің ауытқулары Струв тәсіліне қарағанда толығырақ жойылады, себебі лимб орындастыруларының саны артады.

Бұрыштық өлшеулер нәтижелерін өңдеу кезінде екі жартылай амалдан алынған бұрыштық орташа мәні шығарылады. Тікелей өлшеген бұрыштар мәні және басқа бұрыштардың айырылымы немесе суммасы ретінде алынған бұрыш мәні негізінде бұрыштық орташа мәнін табады. Әрбір бұрыш үшін оның тікелей өлшеген және теңестірілген (v) мәндері арасындағы айырымды анықтайды және дәлдігін бағалайды.

Бір амалдағы бұрыштық орта квадраттық ауытқу келесі формуламен анықталады:

$$\mu = \sqrt{\frac{2m\Sigma v^2}{(n-1)(n-2)}} \quad (34)$$

мұнда n -пункттегі бағыттар саны; m - амалдар саны

Теңестірілген станциялар бағытының орта квадраттық ауытқуы:

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{mn}} \quad (35)$$

мұнда μ - салмақ бірлігінің қателігі

4.5 Келтіру элементтерін анықтау (элементы приведения)

Мемлекеттік торап пункттерінде өлшеген бағыттар центр белгілеріне келтірілуі керек (приведены). Ол үшін оларға центрировкалық және редукциялық түзетулер (поправка) енгізеді.

Центрировкалық түзету аспаптың вертикаль осінің центрден тыс орналасуынан салдарынан есептеледі, ал редукциялық визирлік нысананың симметрия осінің марка центріне сәйкес келмеуінен есептеледі.

Бұл түзулерді есептеу үшін теодолиттің айналу осінің I және визирлік нысана осінің V және белгі центрінің O өзара орналасуын және геодезиялық торапқа қатысты бағытын білу қажет. Бұл үшін центрлеу және редукциялаудың бұрыштық (θ и θ_1) және сызықтық (l и l) келтіру (приведения) элементтері белгілі болуы керек.

Келтіру элементтері графиктік, аналитикалық және келтіру элементтерін тікелей өлшеу тәсілдермен анықталады.

Келтіру элементтерін графиктік тәсілмен анықтау келесідей жүргізіледі. Геодезиялық белгі биіктігінен үш есе үлкен қашықтықта орналасқан көмекші теодолиттің үш қондырғысынан теодолиттің айналу осін және визирлік цилиндр осін, мензулаға бекітілген, центрлік бетте (лист) жобалайды. Мензула пункт

центрінің үстінде орнатылады. Дәл сол сияқты теодолитті марка көрінетін қашықтықта орналастырып, үш қондырғымен пункт центрін жобалайды. Бұл кезде ауытқулар үшбұрышы пайда болады, олардың қабырғалары: пункт центрін жобалау кезінде 3мм, тодолит осін жобалау кезінде 5мм және визирлік нысана осін жобалау кезінде 100мм аспау керек.

Центрлеу бетіндегі I және V нүктелерінен A бастапқы және қандай да бір B пунктіне бағыт (направление) жүргізеді. I және V нүктелерін O нүктесімен қосады және линейкамен 0.001 м дәлдіке дейін өлшейді. Центрлеу сызықтық элементін $l=OI$ және редукцияның сызықтық элементін $l_1=OV$. I и V нүктелерінде θ және θ_1 бұрыштары сағат тілімен бағыттан пункт центріне қарай өлшенеді. Өлшеген бағыттың центрлеу түзетулері келесі формуласымен есептеледі:

$$c = \frac{l \sin(M + \theta)}{S} \rho \quad (36)$$

Редукциялық түзету:

$$r = \frac{l_1 \sin(M_1 + \theta_1)}{S} \rho, \quad (37)$$

мұндағы S - пункттер арақашықтығы;

θ - бұрыштық элемент;

l - сызықтық элемент;

M - өлшенген бағыттың мәні.

3. Жоғары дәлдікті бұрыштық өлшеулер қателіктерінің көздері

Горизонталь бұрыштарды өлшеудің екі принциптік сұлбасы бар: жеке бұрыштардың өзін өлшеу және бағыттарын өлшеу.

Бағыттарын өлшеу кезінде бір пункттен бақыланатын визирлік нысаналарға дүрбіні кезекпен бағыттау, бекітілген лимб бойынша есептеулер және алғашқы бағыт және басқа бағыттар арасындағы бұрыштар қатарын есептеу жұмыстарын жүргізеді.

Жеке бұрыштары өлшеу пункттердің әрбір жұбын кезекпен өлшеу, лимб бойынша есептеу және өлшейтін бұрыш шамасын анықтайтын айырма есептеледі.

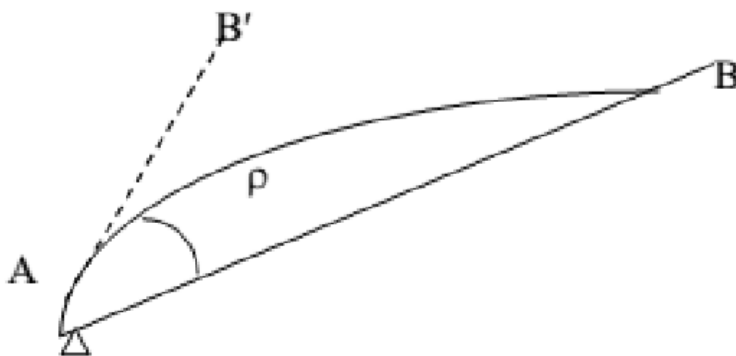
Бұрыштық өлшеулердің қателіктерінің негізгі көздері аспаптық, жеке (личные) және сыртқы орта.

Сыртқы ортаның әсері бұл өлшеулердің дәлдігін шектейді, себебі олар атмосфераның тәулік ішінде үздіксіз өзгеріп отыратын жер бетіндегі қабатында жүргізіледі. Атмосфераның жер бетіндегі қабаты су буымен, шағылысу, сәулелің жұтылуы және таралуынан өзгеріске ұшырап отырады.

Бұрыштық өлшеулердің кең тараған қателігінің бірі – рефракция қателері, ауаның конверциялық ағындары, белгілердің бұрылуы, визирлік цилиндр фаза қателіктері болып табылады.

Рефракция – күн сәулесінің атмосфераның әртүрлі тығыздықты қабатынан өту кезіндегі сыну траекториясы. Бақылаушы A нүктесінен B нүктесін AB бағыты бойынша емес, AB^1 жанама түзуі бойынша көреді.

Рефракция өлшемі АВ жанамаcы мен АВ хордасы арасындағы ρ бұрышы болып табылады (11 сурет).



11 сурет –Рефракция бұрышы

Бұл бұрыштың АВ түзуінің соңғы нүктесінен өтетін вертикаль жазықтыққа түсетін проекциясы вертикаль рефракция деп аталады, ал горизонталь жазықтағы проекциясы –горизонталь немесе бүйілік рефракция деп аталады. Бүйірлік рефракция горизонталь бұрыштарды өлшеудің кездейсоқ және жүйелі қателерде, ал вертикаль рефракция – зениттік қашықтық қателеріне алып келеді. Вертикальді көлбеуліктен бір–екі деңгейге жоғары. Рефракция шамасына температураның өзгеруі (температура градиенті) ең көп әсер етеді. Бүйір рефракция түнгі және күндізгі кезеңдерде қарама-қарсы белгіде болады. Көлбеу рефракцияның азайтудың тиімді шарасы: торларды сәулелердің рефракциялық әсерінің күшті жерлерінен қашықтау жерлерден әтуін ескеріп жобалау; температуралық градиент шамалары минимальді аспаптарды таңдау; әрбір пунктте әртүрлі, бірақ метеорологиялық жағдайлары бойынша қолайлы аспаптарды қолдану қажет. Бақылаулар жүргізу үшін қолайлы кезең – таңертең және кешкі кезеңнің күн ұясына кіргеннен кейін 1сағаттан кейін.

Ауаның конверциялық ағыны. Күнмен жер бетінің қызуы салдарынан пайда болады. Олар визирлік нысаналар көрінісінің биіктігі және азимуты бойынша тербелістерге алып келеді, ол биссекторды бағыттауды қиындатады.

Белгілердің бұрылуы. Әрбір сигнал немесе штативтің әруақытта температуралық өзгерістерден, жел қысымынан жеке бөліктерінің деформациялануынан аздаған ауытқулары (азимуты бойынша) болады.

Визирлік цилиндр қателер –күн сәулесінің тегіс емес түсуінен болатын құбылыс, оның салдарынан визирлік қондырғының бақылынатын осінен жүйелі ауытқу орын алады. Егер цилиндрдің бір бөлігіне жарық түссе, ал екіншісі көлеңкеде болса, онда оны көлеңкеде жобалағанда жарық бөлігі ғана көрінеді, ал жарықты жобалағанда қараңғы жағы көрінеді. Бақылау үшін аз фазалы цилиндрлер қолданылады, мысалы, В..Н. Шишкин конструкциясы.

Теодолит пен маркаларды орналастыру. Теодолитті белгіде және штативте орнықты орналастыру – жоғары дәлдікті өлшеулер алудың басты шарттарының бірі.

Температураның теодолитке әсері. Барлық жоғары дәлдікті теодолиттер температуралық өзгерістерге өте сезімтал болып келеді. Температура әсерін азайтудың тиімді құралы теодолиттерді термостатирлеу, яғни оны тікелей күн сәулелерінен сақтау.

Геодезиялық тораптарды жоғары дәлдікті өлшеулері бақылауға қолайлы уақытта, яғни визирлік нысаналар көрінісінің тербелісі шамалы, атмосфералық көрінуі және көру жағдайлары жақсы, ал бүйір рефракцияның әсері аз болған кезде жүргізеді. Мұндай жағдайлар таңертең және кешкісін, ауа қабаттында визирлік сәуле биіктігінде изометрияға жақын жағдай болғанда пайда болады. Бақылауға қолайлы уақыт ұзақтығы ауа температурасына, бұлттылыққа визирлік сәуле биіктігіне байланысты.