

7-Д. Жоғарғы дәлдікті сызықтық өлшеулер жүргізу. Қашықтықты жарық сәулемен және радиоэлектрондық өлшеу әдістері.

7.1 Сызықтық өлшеу аспаптарының дамуы

Қазіргі геодезиялық өндіріс пен ғылымда кеңістікті сызықтық өлшеусіз жұмыс жүргізу мүмкін емес.

Ең алғашында сызықтық өлшеулер базистік аспаптармен жүргізілген. Базистік аспаптардың дамуының негізін Виллиброд Снеллиус салған. Ол 1615 жылы Алькмаар және Берген-оп-Зоом арасын анықтау үшін Нидерландыда үшбұрыштар желісін құру арқылы қысқа базисті (350м) өлшеген.

Тарихи дамуына сәйкес базистік аспаптар келесідей жіктеледі:

- ағаштан, кейіннен металдан жасалған өлшегіш жезл қатты базистік аспаптар;

- қатты емес базистік аспаптар - өлшегіш шынжырлар, таспалар, аспалы өлшегіш сымды және таспалы аспаптар. Сызықтық өлшеудің аталған құралдары механикалық аспаптарға жатады.

Қатты базистік аспаптардың дамуы келесі кезеңдермен сипатталады:

1. Контактілі базистік аспаптар. Бірінші жезлді аспаптар қарапайым ағаш бағаналардан тұрған, олардың ұштары бір-біріне түйіскен, кейінірек өзара айқасатын ұшы лезвие тәрізді жезлдер пайда болды. XVII ғ. басынан XVIII ғ. ортасына дейін базистік өлшеулер тек контактілік әдіспен жүргізілген және бұл әдіс ғылым мен техниканың дамуына сәйкес жетілдірілді.

2. Интервалды өлшейтін базистік аспаптар. Интервалды өлшеу кезінде өлшегіш жезлдер олардың ұштарының арасында арнайы құралдармен өлшенетін кішкентай аралықтар қалатындай қосылады.

3. Сәйкестік тәсілмен өлшеу. Бұл тәсілде штрихті жезлдер бірінің штрихының басы екінші штрихтің жалғасы болатындай етіп орналастырылады.

4. Бейметалды базистік аспаптар. Бұл әдісте жезл ұзындығының температура әсерінен өзгеруін ескеру мәселесі шешілген.

5. Оптикалық үйлесімді аспаптар. Жезлдер XIX ғасырдың соңына дейін (Германияда, Бельгияда, Данияда, Италияда және Австрияда XX ғасырдың 30 жылдарына дейін) жергілікті жерде сызықтар жоғары дәлдікті өлшеу үшін қолданылған. Қазіргі уақытта технологиялық жабдықтың жылжуынан бақылау үшін қысқа түзу ұзындықтарын жоғары дәлдікті өлшеу үшін өлшегіш ұшты және штрихті– ұшты жезлдер қолданылады. Жезл ұзындығы 1м болғанда, өлшеудің орта квадраттық қателігі 15мкм. Инварлы сымды базистік аспаптардан кейін өлшегіш таспалар мен шынжырлар пайда болды.

1880ж. Эдвард Едерин жоғары дәлдікті сызықтық өлшеулердің тұрақты кернеуде болатын болат таспалы әдісін ұсынады. Бұл базистік аспаптардың дамуында түбегейлі өзгерістерге алып келді.

Сымдармен өлшеудің жаңа бағыттары 1887ж ашылды. Рене Бенуа және Ш. Эд. Гильом «инвар» деп аталатын жаңа қоспаны ойлап шығарды.

Сызықтық өлшеулердің алдыңғы қатарлы құралдарының екінші тобын оптикалық және радиофизикалық дальномер деп бөлінетін физикалық – оптикалық аспаптар құрайды.

Қашықтықты оптикалық дальномермен өлшеу геометриялық оптика принциптеріне негізделген. Оптикалық дальномерлер екі топқа бөлінеді: тұрақты бұрышты дальномер және тұрақты базисті дальномерлер.

Кеңестік оптикалық дальномерлерді жасауда ілгері қадамдардың бірі 1947ж В.А. Белицин ЦНИИГАиК–пен бірге жасаған ДНБ-2 насадкалары болды. Бұдан кейін геодезиялық жұмыстарда кеңінен қолданылған алдыңғы қатарлы оптикалық дальномерлер жасалды. Оптикалық дальномерлер негізінен геодезиялық аспаптық (теодолит, тахеометр) дүрбісіне қондырылатын насадкалар болып табылады.

Радиоэлектрондық әдістер сәуле және радиолакацияға негізделген, яғни әртүрлі объектілердің бағыты, қашықтығы және орналасу орны оларға шағылысқан немесе олардан шыққан сәуле және радиотолқындар бойынша анықталады.

Электромагниттік толқындардың жер атмосферасында таралуы олардың тербелісінің ұзындығына байланысты. Сондықтан геодезиялық мақсатта ұзын толқындардан сантиметрлік және миллиметрлік толқындарға дейін және инфрақызыл және көрінетін спектр толқындарын пайдаланады.

1930 жылы кеңес академиктері Л.И. Мандельштам және Н.Д.Папалески қашықтықты өлшеудің радиотолқындары фазалық қатынастарын пайдалануға негізделген әдістерін ұсынған. Нәтижесінде 30-шы жылдары КСРО–да бірқатар радиогеодезиялық дальномерлік жүйелері (радиолаг, радиодальномер, фазалық зонд) жасалып, сынақтан өтті. Радиогеодезиялық дальномерлік жүйелерді конструкциялау және жетілдірудің дамуы бірқатар жоғары дәлдікті геодезиялық радиодальномерлердің жасалуына алып келді.

7.2 Жарық сәулемен қашықтықты өлшеу

Алғашқы жарық сәулелі қашықтықты өлшегіш 1936 жылы Мемлекеттік оптикалық институтында жасалған. 1953 жылы СВВ-1 жарық сәулелі қашықтықты өлшегіш, ал 1956 жылы ЭОД-1 жоғары дәлдікті жарық сәулелі қашықтықты өлшегіш жасалып, сериялық өндірісіне шығарылды. Жарық сәулелі қашықтықты өлшегіш техниканың әрі қарай дамуы оптикалық кванттық генераторлар мен жартылай өткізгіштердің жасалуымен байланысты.

Жарық сәулелі қашықтықты өлшегіштерде қашықтық жарық толқынының приемопередатчиктерден шағылыстырғышқа дейін таралу уақыты бойынша өзгереді. Егер бұл уақытты τ , жарық жылдамдығын c деп белгілесек, онда өлшенентін D қашықтығы келесі формуламен өрнектеледі:

$$D = c / 2 \cdot \tau + k ,$$

мұндағы k - дальномердің аспаптық түзетуі.

Уақытты фазалық әдіспен өлшейді, мұнда амплитуда бойынша немесе поляризация жазықтығы бойынша модульденген жарық ағыны жіберіледі. Кейбір дальномерлерде уақыт интервалын түрлендіргіш импульстік әдісті қолданылады.

Жарық модуляторы ретінде жарықты бір жазықтықта поляризациялайтын Керра ұяшығы, дифракциялық модуляторлар, литий ниобаты және басқа да элементтер негізіндегі қатты кристалдар қолданылады.

Алғашқы жарық сәулелі қашықтықты өлшегіштерде жарық көзі ретінде лампалар, сынап лампалары, қазіргі кезде лазерлік және жартылай өткізгішті сәулелендіргіштер қолданылады.

Инфрақызыл жарықтың жартылай өткізгішті сәулелендіргіштер модульденген жарық шығара алады, оған арнайы модуляторлардың қажеті жоқ. Жарық сәулелі қашықтықты өлшегіштерде жарықтық модуляциясының жүруі нәтижесінде ұзындығы λ жарық толқыны пайда болады:

$$\lambda = \Gamma / \nu, \quad (39)$$

мұндағы Γ - жарық модуляциясының жиілігі.

Уақыттың әрбір кезеңінде жарық толқыны өз фазасымен сипатталады. Себебі, жарық толқынына шағылыстырғыштар қашықтыққа дейін және кері қарай өтуі үшін белгілі бір уақыт керек, дистанцияны өткен жарық фазасы негізгі каналдағы жарық фазасымен сәйкес келмейді.

Фазалардың айырымы арнайы фаза өлшегіш қондырғылармен, оптикалық сызықпен, фаза айналдырғышпен немесе сандық есептеу қондырғысымен өлшенеді.

Жарық қабылдағыш ретінде бақылаушы көзі, фотокөбейткіш немесе фотокедергі қабылданады.

Гармониялық тербеліс фазаларының айырымы циклді түрде өзгереді, ал оны тікелей өлшеу бір фазалық циклде (жарық модуляциясының жартылай толқынының ұзындығы) жүргізіледі. Сондықтан толық қашықтығын анықтау үшін тербеліс фазаларының айырымын модуляцияның жиіліктерінде өлшейді немесе белгілі бір диапазонда толық фазалық циклдер санын табады.

Жоғары жиілікті бағыттаулардың кері әсерін азайту үшін светодальномердегі фазалық өлшеулерді төмен аралық жиіліктерінде жүргізеді. Ол үшін негізгі масштабтық жиілік генераторларынан басқа, генератордың жиілік генераторы болады. Негізгі және гетерогендік жиіліктер айырымы аралық жиілікті береді. Негізгі масштабтық жиіліктердің әртүрлі светодальномерлерінің мәні 4-750 МГц аралығында, ал аралық жиіліктер 15-100 КГц-ті құрайды.

Өлшеулердің импульстік әдісінде сигналдар қысқа импульстер сериясы ретінде жіберіледі, ал олардың қажет қашықтыққа дейін өту уақыты тікелей өлшенеді. Аз уақытты және жоғары когерентті жарық импульстерін шығаратын оптикалық кванттық генераторлар жоғары дәлдікті импульстік лазерлік дальномерлерді шығаруға болады.

Жарық сәулелі қашықтықты өлшегіштер объектілерді электромагниттік толқын көмегімен оқшауландырып және олардың таралу уақытын анықтау принциптеріне негізделген. Бұл жағдайда электромагниттік энергия жарық ағынын береді. Электромагниттік тербеліс көзі ретінде жарықтың лазерлік көздері және жартылай өткізгіш жарық диодтары пайдаланылады. Светодальномерлердің пайда болуы сызықтық өлшеулерде революция жасады,

олар еңбекті көп қажет ететін механикалық базистік өлшеулерден бас тартуға мүмкіндік береді.

7.3 Қашықтықты өлшеудің электрондық әдістері

Қашықтықты өлшеудің электронды әдістерін іске асыратын аспаптарға бүгінгі күнде кеңінен тараған электронды тахеометр жатады.

«Электронды тахеометр» деген термин алғаш рет 1971 жылы светодальномер, бұрыштарды электронды өлшейтін сандық теодолит және өлшеу нәтижелерін сақтау модулінен тұратын жаңа өлшеу аспаптары пайда болғанда қолданылған. Бұлар – әлемге әйгілі Geodimeter–700 және Reo Eita 14 компанияларының Geotronics AB (Швеция) және Opton (Германия) аспаптары.

Қазіргі электронды тахеометрлер – күрделі оптикалық-электронды аспаптар, олар алдыңғы қатарлылары фирмалардың электроника, оптика, нақты механика, лазерлік техника, ақпараттық технологиялар аумағындағы соңғы техникалық жетістіктерін жинақтаған. Бұл өлшеу нәтижелерін автоматты түрде өңдейтін, бұрыштық және сызықтық өлшеулер жүргізуге мүмкіндік беретін көп функционалды аспаптар болып табылады. Электронды тахеометр электронды теодолит, электронды жоғары дәлдікті дальномер және дала компьютерлерінің барлық мүмкіндіктерін біріктірген.

Қазіргі микроэлектрониканы аспап жасауда кеңінен қолдану қашықтықты өлшеудің электромагниттік әдісінің жылдам дамуына алып келді. Электрондық тахеометрлердің жаңа буыны пайда болды. XX ғ. 90 жылдарының соңында шағылыстырушысыз аспаптардың сериялық модельдері пайда болды. Бұл жаңа аспаптар пайдалы қазба кенорындарын ашық игеруде, жаңа жолдарды салу және қайта жаңғыртуда, өндіріс объектілерін түсіруде кеңінен қолданыс тапты. Олардың артықшылықтары: түсіріс көмекшісіз жүргізіледі, қашықтарды шағылыстыру орнату қиын болатын нүктелерді де өлшеуге болады. Мұндай тахеометрлер, мысалы: Topcon (АҚШ) фирмасының GPT-8200 және GPT-7000 тахеометрлер сериясы, SOKKIA (Жапония) фирмасының SET 330R, SET 530R, SET 630R тахеометрлер сериясы. GPT-7000 тахеометрінің жаңа лазерлік дальномерлік модулі жоғары сапалы оптикалық жүйесімен және импульстік лазермен жабдықталған. Шағылыстырушысыз өлшеулер 250 м дейін, ал шағылыстырушысы бар өлшеулер 3 км дейін жүргізіледі.

Электрондық тахеометрлік жүйелердің алдыңғы қатарын өндірушілер Spektra Precision (Швеция/Германия), Leica (Швейцария), Sokkia, Topcon, Nikon, Rentax (Жапония) фирмалары электрондық тахеометрлердің 100-ге жуық модельдері мен модификацияларын шығарды.

Қазіргі электрондық тахеометрлерді қашықтықты әртүрлі дәлдікпен өлшейтін аспап ретінде қарастыруға болады: 3000 м-ді 1 мм + 1ppm дейін.

Ұзындықты өлшеудің радиоэлектрондық әдісіне ұзын базистік квазарлық радиоинтерферометрияны жатқызуға болады. Бұл әдісті 1965 жылы совет радиоастрономдары Л.И.Матвиенко, Н.С.Кардашев және Г.Б.Шоломицкий ұсынған. Радиоинтерферметрия бақылаулары қолдану принципі келесі әрекетке негізделген. Квазарлық сигналдары радиотелескоп антенналарына бір уақытта

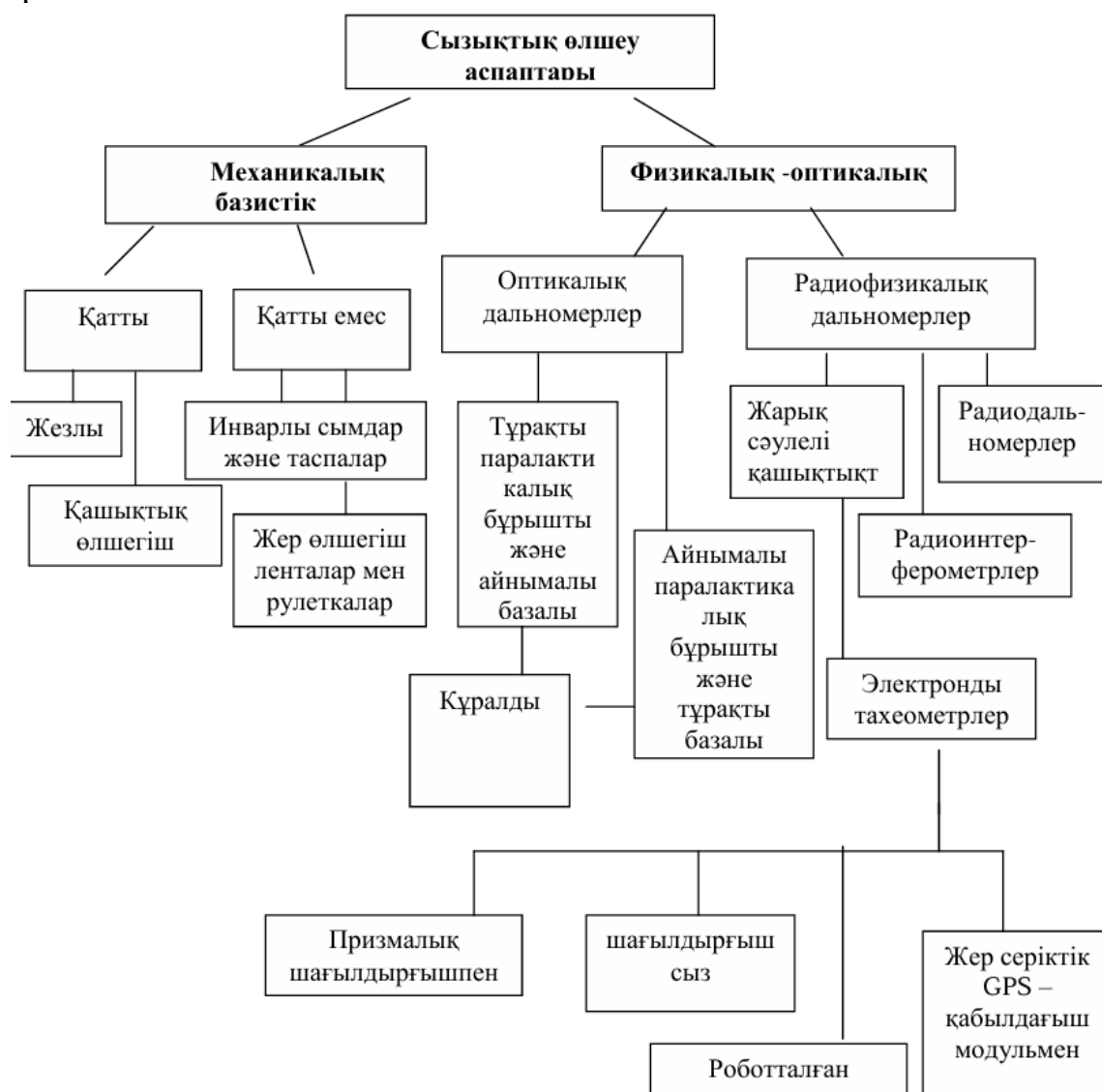
түспейтіндіктен, радиоинтерферометрияның базистік пункттерінен квазарға дейінгі қашықтықтың бағыты әртүрлі болады.

7.4 Қашықтық өлшелерінің аспаптарының жіктемесі

Триангуляцияда, полигонометрияда түзу сызық ұзындығын өлшеу мемлекеттің бүкіл аумағында бірыңғай жүйедегі негізгі процестерінің бірі болып табылады.

Мемлекеттік геодезиялық торларда жоғары дәлдікті сызықтық өлшеулерді триангуляциядағы базистік өлшеулер ретінде немесе жоғары кластың полигонометрия қабырғаларын тікелей өлшеу арқылы жүргізеді.

Сызықтық өлшеулер аспаптарының классификациясы 12-суретте келтірілген.



12-сурет. Сызықтық өлшеулер жүргізу аспаптарының сипаттамасы.

Түзу сызық ұзындығын қажетті дәлдікпен тікелей өлшеу үшін әртүрлі өлшеу аспаптары және өлшеудің әртүрлі технологиялары қолданылды.

Түзу ұзындығын ұзақ уақыт аралығында тікелей өлшеу базис ұзындығын, базис қабырғаларын және полигонометрия түзулерінің ұзындықтарын өлшеудің жалғыз тәсілі болды. Геодезиядағы салыстырмалы қателігі 1:1000 000 сызықтық өлшеулердің ең жоғары дәлдігі инварлы сымды базистік аспап (Едерин аспабы) көмегімен жүзеге асырылады.

Едерин базистік аспабы БП-1, БП-2, БП-3 маркаларымен шығарылады. Жоғары дәлдікті өлшеулер БП-1 аспабымен жүргізіледі.

Едерин базистік аспабы өлшегіш сымдардан маркалы штативпен нивелирлеу, центрлеу үшін көмекші аспаптан тұрады. Өлшегіш сымдар инвардан, яғни 36% никельден және 64% темірден тұратын қоспадан жасалды. Түзу ұзындығын өлшеудің қазіргі аспаптары светодальномер, радиодальномерлер ХХ ғ. 70 жылдары пайда болды. Дальномерлермен қашықтықты өлшеу принциптері: өлшенетін D қашықтығын электромагниттік толқынның тура және кері бағытта өту уақытын τ өлшеу.

Егер электромагниттік тербелісінің ұтаралу жылдамдығы белгілі болса, онда

$$D = v\tau / 2 \quad (40)$$

Геодезиялық радиодальномерлер бірнеше жүз метрден бірнеше ондаған км-ге дейінгі қашықтықты 1/200 000-1/300 000 дәлдікпен өлшеуге арналған.

Геодезиялық светодальномерлер 1 және 2 класты полигонометрия қабырғаларын өлшеуге арналған.

Жарық сәулелі қашықтықты өлшегішпен қашықтықты өлшеу дәлдігі радиодальномерлердің дәлдігінен біршама жоғары. 1 және 2 кластық геодезиялық торлардан түзу ұзындығын өлшеу үшін «Кварц», 2 класс торларында СГ – 3 жарық сәулелі қашықтықты өлшегіштері қолданылады.

«АГА Геотроник» фирмасының (Швеция). «Геодиметр 600» светодальномері геодезиялық торлар мен геодинамикалық полигондарда 60км дейінгі қашықтықты өлшеуге арналған.

1965 жылы кеңес радиоастрономдары Л.И.Матвиенко, Н.С.Кардашев және Г.Б.Шоломицкий өте ұзын базалы (РСДБ) радиоинтерферометрия әдісі туралы тұжырым жасады. Радиоинтерферометриялық бақылауларды геодезиялық мақсатта қолдану келесі принциптерге негізделген. Квazarлардың сигналдары үлкен қашықтықтардағы радиотелескоп антенналарына бір уақытта түспейді, радиоинтерферометрияның базистік пункттерінен квazarға дейін қашықтық берілген τ уақытына кешігіп беріледі. Квazarға дейінгі белгілі бағыттар бойынша келесілерді анықтауға болады: база ұзындығы, бұрыштық секундтың жүздік бөлігіне дейінгі дәлдікпен базаның бағытын сипаттайтын бұрыштарды, жердің айналу жылдамдығын, литосфералық плита қозғалысы. Ұзын базистік радиоинтерферометрия әдісі геодезиялық торларды, жер полюстерінің қозғалысын анықтау, жер қыртысы блоктарының өзара орын ауыстыруын бақылау және дәлдігін арттыруда қолданылады.