**Лекция № 11**

**Тақырып: Геометриялық нивелирлеу.**

*11.1 Геометриялық нивелирлеу.*

*11.2 Нивелирлер.*

*11.3 Нивелирлік рейкалар.*

*11.4 Нивелирлерді тексеру мен жөндеулері.*

**11.1 Геометриялық нивелирлеу.**

Нүктелердің биіктік белгілерінің мәні мен олардың салыстырмалы биіктіктерін есептеп шығаратын геодезиялық өлшеулер ***нивелирлеу***  деп аталады. Нүктелердің алынған биіктік белгілерінің мәні барлық масштабтағы топографиялық түсірістердің биіктік негізі болып саналады және олар шарышалықта қажетті инженерлік есептерді, сондай-ақ бірқатар ғылыми есептеулерді шешу үшін қолданылады.

Қолданылатын құралдар мен өлшенетін шамаларға тәуелді нивелирлеудің бірнеше түрі болады:

1. **Геометриялық нивелирлеу** – горизонталдық нысаналау сәулесі арқылы екі нүктенің арасындағы салыстырмалы биіктікті анықтау. Әдетте, оны нивелирдің көмегімен өлшейді.
2. **Тригонометриялық нивелирлеу** – ылди келетін нысаналау сәулесі көмегімен екі нүктенің арасындағы салыстырмалы биіктікті анықтау. Мұнда салыстырмалы биіктікті ылдилықтың өлшенген бұрыштың және қашықтықтың функциясы арқылы анықтайды, өлшеу үшін сәйкес құралдар қолданылады, тахеометр, кипрегель.
3. **Барометрлік нивелирлеу** – бұл өлшеудің негізінде жергілікті жерде атмосфералық қысым және нүктелер биіктігінің арасындағы тәуелсіздік жатыр.

***4. Аэрорадионивелирование -*** *превышения определяются путем измерения высот полета летательного аппарата радиовысотомером.*

***5. Механическое нивелирование -****выполняется с помощью приборов, устанавливаемых в путеизмерительных вагонах, тележках, автомобилях, которые при движении вычерчивают профиль пройденного пути. Такие приборы называются профилографы.*

***6. Стереофотограмметрическое нивелирование*** *основано на определении превышения по паре фотоснимков одной и той же местности, полученных из двух точек базиса фотографирования.*

*7. Серіктестік өлшеулер арқылы салыстырмалы биіктікті анықтау. GNSS жүйелері (****Global******Navigation******Satellites******System - Глобальные Навигационные Спутниковые  Системы – Әлемдік навигациялық серіктестік жүйелері****) жер бетіндегі нүктенің координаталарын және абсолюттік биіктігін анықтауға мүмкіндік береді. Бүгінгі таңда АҚШ -* ***GPS (Global Positioning System -*** *глобальная система место определения), Ресейдің - ГЛОНАСС – Глобальная Навигационная Спутниковая Система еуропалық «****Galilleo****» жүйелері қолдану барысында, ал қытайлық «****Beidou»*** *деген серіктік жүйесі сынаудан өту барысында.*

Жер бетінің кез келген нүктесінің биіктік координатасы оның белгілі бір деңгейден бастап абсолюттік биіктігі болып келеді. Топографиялық карталарда жер бетіндегі нүктелердің теңіз немесе мұхит деңгейінен абсолюттік биіктігін көрсетеді. ТМД елдерінде биіктік бойынша нөль метр, немесе бастапқы нүкте ретінде Кронштадттық футштоктың **0** метрі қабылданған.

Нүктелердің биіктіктерін екі нүктенің арасындағы салыстырмалы биіктігін анықтау арқылы табады. Абсолюттік биіктіктерді анықтау үшін мемлекеттік геодезиялық желісінің пунктері қолданылады.

**Геометриялық нивелирлеу.** Нүктелердің биіктігін техникалық нивелирлеуді қолданып геометриялық нивелирлеумен анықталады. Геометриялық нивелирлеу ортадан және алға қарай нивелирлеу тәсілдері болып бөлінеді.

Ортадан нивелирлеуде нивелир **А** және **В** нүктелерінің дәл ортасында **С** нүктесіне орнатылады, ал нүктелерге бірдей рейкалар қойылады. Дүрбінің нысаналау өсін горизонталь жағдайына келтіреді де, нивелирдің дүрбісін біртіндеп рейкаларға нысаналайды (сүрет 11.1).



*Сурет 11.1 Геометриялық нивелирлеу: а - ортадан нивелирлеу және б - алға қарай нивелирлеу*

Бұдан кейін арттағы (**З**) және алдындағы (**П**) рейкалардан есептеулерін алады, олар нысаналау сәулесінен **А** және **В** нүктелеріне дейінгі кесінділер болып саналады. Мұнда **А** және **В** нүктелерінің арасындағы салыстырмалы биіктік **(һ)** мына формула бойынша есептеліп шығарылады:

**Һ = З – П. (1)**

Егер «артқа есептеу» **З** «алға есептеуден» **П** артық болса (З > П), онда салыстырмалы биіктік **Һ** оң болады, яғни **В** нүтесі **А** нүктесінен биік орналасады. Ал «артқа есептеу» **З** «алға есптеуден» **П** кем болса **(З < П),** онда салыстырмалы биіктік теріс болады, яғни **В** нүктесі **А** нүктесінен төмен орналасады.

Егер **А** нүктесінің биіктік белгісінің мәне **НА** белгілі болса, онда келесі **В** нүктесінің биіктік белгісінің мәні **НВ** бұрыңғы нүктенің биіктік белгісінің мәні **НА** мен олардың арасындағы салыстырмалы бикітігінің қосындысына тең болады:

**НВ = НА + Һ (2)**

Нивелирдің нысаналау сәулесінің теңз деңгейінен биіктігі *аспаптың горизонты* **АГ** деп аталып былайша анықталады:

**АГ = НА + З = НВ + П (3)**

Едәуір ара қышықтықта орналасқан **А** және **Д** нүктелерінің арасындағы (сүрет) салыстырмалы биіктікті анықтау кезінде жүйелі нивелирлеу қолданылады. Ол үшін шеткі нүктелердің ара қышықтығын ортадан нивелирлеуге мүмкіндік беретін бірнеше кесінділерге бөледі. Осы байланыстыру нүктелерінің арасындағы салыстырмалы биіктіктерді жүйелі анықтап, олардың қосындысын тауып, бастапқы **А** және соңғы **Д** нүктелерінің арасындағы салыстырмалы биіктікті анықтайды. Екі нүктенің арасындағы салыстырмалы биіктік байланыстыру нүктелері арасындағы салыстырмалы бөліктердің алгебралық қосындысы болып саналады. Нивелирдің екі шектес орналасуына ортақ нүктелерді байланыстыру нүктелері деп атайды.

О1 станциясына нивелирді орнатады да артқы З1 және алдыңғы П1 рейкалардан есептеулер алады. Содан кейін А нүктесіндегі рейканы В нүктесіне апарып қояды да О2 станциясынан З2 және П2 есептеулерін алады, осындай жүйелі түрде барлық жүрісте нивелирлеу жүргізеді (сүрет).

Шеткі А және Д нүктелерінің арасындағы салыстырмалы биіктік (ҺАД) төмендегідей жолымен анықталады:

**ҺАД = Һ1 + Һ2 + Һ3 +...+Һn = (З1 – П1) + (З2 – П2) + (З3 – П3) +...+ (Зn – Пn); (4)**

бұл формула жалпы түрде төмендегідей болады:

**ҺАД =** **. (5)**

Геометриялық нивелирлеуді ғылыми өңдеу далалық журналдардағы жазулар мен есептеп шығаруларды тиянақты түрде қарап шығудың және бақылаушы жасайтын әр беттік тексеруден басталады. Әр беттік тексеру жасалып біткеннен кейін, жүрістің қиыспаушылығын есептеп шығаруға кіріседі.

**11.2 Нивелирлер.**

Нысаналау өсі арқылы жер бетінің горизонталь сызығын түсіру қызметін атқаратын дүрбілі аспап нивелир деп аталады.

 Дәльдігі бойынша өндірісте қолданылатын нивелирлердің мынадай түрлері қолданылады:

1. **Жоғары дәльдікті Н – 05** оптикалық микрометрлік нивелир, салыстырмалы биіктікті 1 км-лік екі мәрте жүрісте 0,5 мм-ден аспайтын орташа квадраттық қателіктен анықтауға арналған;
2. **Н – 3, Н – 3К, Н – 3Л** нивелирлері салыстырмалы биіктікті 1 км-лік екі мәрте жүрісте 3 мм-ден аспайтын орташа квадраттық қателіктен аықтауға арналған дәл аспаптар;
3. **Н – 10, Н – 10Л, Н – 10К, Н – 10КЛ** техникалық 1 км-лік екі мәрте жүрісте салыстырмалы биіктікті 10 мм-ден аспайтын орташа квадраттық қателіктен аықтауға арналған техникалық нивелир;

Бұрын нысаналау сызығын горизонталдық жағдайға орнату тәсілі бойынша, нысаналау сызығын дүрбіге бекітілген цилиндрлік деңгейі бойынша нысыналау сызығын орнататын *деңгейлік нивелирлер* жасалынған. Қазіргі таңда барлық нивелирлерде компенсатордың көмегімен нысыналау сызығы автоматты түрде орнатылады. Мұндай нивелирлер *өз-өзін орнататын* нивелир деп аталады. Алдын ала жалпы қателігі 5-10" шамасында болатын нивелирдің осін тіктік жағдайға келтіреді.

 Компенсатордың іс-әрекеті принципі ауырлық күшті пайдалануға негізденген. Қазіргі оптикалық-механикалық компенсаторлар жеңіл, компактті және нысаналау сызығын стабилизациялау дәльдігі бойынша сұйықтық компенсаторлардан жоғары болады. Компенсаторлар нысаналаудың горизонталдық сызықтарынан маңызды емес ауытқуға автоматтық түрде мүмкіндік бермейді.

 Нивелирлер екі негізгі бөліктен тұрады: 1) домалақ орнату деңгейі бойынша аспапты горизонталдық деңгейге орнатуға мүмкіндік беретін үш көтеру винттері бар тұғырықтан тұратын *төменгі бөлігі*, және 2) біріккен цилиндрлік деңгеймен нысынылау дүрбісі нивелирдің қозғалмалы *жоғарғы бөлігін* құрайды. Өрескел түрде рейкаға нысаналау үшін нысаналау дүрбінің үстіндегі целик (кентірек) және мушканы қолданады. Нивелир штативке винтпен бекітіледі.

 Нивелирді жұмыс жағдайына алғашқы келтіру тұғырықтың көтеру винттерімен орындалады. Нысаналау сызығын өз-өзін орнататын нивелирлерде компенсаторлар болады, мұнда домалақ деңгейдің ауасын ортаға орнатқан соң, нысаналау дүрбісінің ылдилығы ±15' дейін болған жағдайда нивелирдің нысаналау осі дәльдігі 1,5" аспайтын горизонтальдық жағдайға келеді.

**11.3 Нивелирлік рейкалары.**

 Нивелирлеу үшін тұтас немесе бүктемелі ағаш рейкалары қолданылады, олар ұзындығы 3 – 4 м, ені 10 см және қалыңдығы 2 – 3 см бітеу тұтас тақтай ағаш болып табылады. Тақтайлар ақ майлы бояумен боялады және оларға сантиметрлік тор көз бөліктері түсіріледі. Онда әрбір дециметр жазылады, ал сантиметрлік бөліктер есептеулерді жеңілдету үшін 5 см сайын топтарға бөлінеді.

 Рейкалар бір жақты немесе екі жақты болуы мүмкін, екіншісінде оның бір жағында сандар қызыл түспен, екінші жағында қара түспен боялған болады. Рейканың қара жағында нөлге тең есептеу, оның тақасымен (пятка рейки) дәл келеді, ал қызыл жағындағы есептеу әдетте қара жағының жалғасы, немесе нольден тыс кез келген саннан басталады.

 Рейкаларды биіктік бойынша дәл түсіру үшін рейканы таңдалған нүктеде орнатылған қазықтың үстіне қойылады.

**11.4 Нивелирлердің тексерулері мен жөндеулері.**

Нивелирлеу жұмыстарын бастау алдын ала нивелирді сыртқы байқаудан өткізеді, нивелир комплектациясын тексереді, дүрбінің жағдайын көреді, көтеру винттерінің түзулігіне көз жеткізеді, штативтің бөліктерін тексереді.

Далалық жұмыстарды бастар алдында аспаптың осьтер жүйелері мен нивелирді конструкциялаудың негізгі схемасына енгізілген геометриялық сәйкестікті келтіру мақсатымен тексерулер жүргізіледі. Нивелирлер төмендегідей талаптарды қанағаттандыруы тиіс:

1. Нивелирдің дөңгелек деңгейінің осі нивелирдің вертикаль айналу осіне параллель болуы тиіс. Тексеру үшін деңгейдегі кез келген екі көтеру винттерінің аралығына қояды да, оларды әр жаққа бұрау арқылы деңгейдің үлбіреуігін (пузырек) ортасына келтіреді, содан кейін үшінші винттің көмегімен оны нөл-пунктке тұрғызады. Егер, нивелирдің жоғарғы бөлігін 180º-қа айналдырғаннан кейін үлбіреуік деңгейдің ортасында қалса, онда осы шарттың орындалғаны болып саналады. Деңгейдің үлбіреуігі екі көтеру винтінің бағытында жылжып кеткен жағдайда, оның центрден ауытқуының жартысы деңгейдің түзету винттерімен реттелінеді, ал одан кейін үлбіреуіктің қалған жартысын көтеру винттерімен нөл-пунктке келтіреді. Нивелирді 90º-қа бұрып, тексеруді үшінші көтеру винттінің бағытында қайталайды. Деңгейдің үлбіреуігі центрінен ауытқыған жағдайда, оның ауытқуының жартысын түзету винттерімен центрге жақындатады да, қалған жартысын көтеру винтімен теңестіреді. Тексеруді нивелирді ось төңірегінде айналдырғанда нөл-пункттен деңгейдің үлбіреуігі ауытқымайтын болғанша бірнеше қайталайды.
2. Жіптер торының негізгі горизонталдық штрихы нивелирдің айналу осіне перпендикулярлы, ал тордың вертикаль жібі нивелирдің айналу осіне параллель болуы тиіс. Тордың горизонтальдық және вертикальдық жіптерінің перпендикулярлығын және параллель болуын нивелирді жасап шығаратын зауыт қамтамасыздандыраду. Сондықтан, нивелирдің тексеруін төмендегідей тәсілдерімен жүргізуге болады. Бірінші тәсіл: Нивелирді орнатып, оның айналу осін вертикаль жағдайға дөңгелек деңгей көмегімен келтіреді де, жіптер торының негізгі горизонталь штрихын нивелирден 20 – 25 м қашықтықта орналасқан тіктеуішге нысаналайды. Тордың вертикальдық штрихының бір шетін тіктеуіштің жібімен сәйкестендіреді, егер штрихтың екінші шеті тіктеуіштің жібінен сәйкестілігі 0,5 мм асып кеткен жағдайда, онда жіп торының орнын түзетеді (сурет 11.2).



*Сурет 11.2 Нивелирдің қыл-жіп торының тексеру схемасы*.

Екінші тәсіл: нивелирді рейкаға нысаналап, дүрбіде көрінетін рейканың бейнесін көзге көрінетін алаңның сол жағына келтіреді де, рейка бойынша есеп алады. Нивелирді бұру арқылы бейнені дүрбіде көрінетін алаңның оң бөлігіне ауыстырады және қайталап есеп алады. Алынған есептер арасындағы айырмашылық 1 мм аспауы тиіс.

 *Геометриялық нивелирлеудің қателігі*. Геометриялық нивелирлеудің дәльдігіне аспаптың қателігі, бақылаушының жеке қателігі және сыртқы жағдайдың ықпалына себепші қателіктер әсер етеді. Екі нүктенің арасындағы салыстырмалы биіктік мына формуламен анықталады:

**h = a – b**,

мұнда, ***a, b*** - артқы және алдыңғы рейкалардан алыңған есеп.

Егер, ***ma*** и ***mb*** – рейкалар бойынша қараудың орташа квадраттық қателіктері болса, онда салыстырмалы биіктік қателігі төмендігідей болады:

**mh =** $\sqrt{m\_{a}^{2}+ m\_{b}^{2}}$

***ma*** = ***mb*** = ***mқарау*** деп есепке алғанда, онда

**mh** = **mвзгл**$\sqrt{2}$

Рейка бойынша есеп алу дәльдігіне көптеген факторлар әсер етеді, солардан ең маңыздылары: 1) нивелир дүрбісінің нысаналау осін горизонтальдық жағдайға келтірудегі қателік, ол домалақ деңгейінің үлбіреуін нөл-пункте орнатудағы қателікке және оның жеткіліксіз сезімділігіне байланысты; 2) рейка бойынша алынған есептің қателігі; 3) нысаналау дүрбінің жақындату жағдайына тәуелді есеп алудың қателігі; 4) рейка бөліктерінің қателігі.

**11.5 Техникалық нивелирлеу.**

 Техникалық нивелирлеу 1:500 – 1:5000 масштабтардағы топографиялық түсірістердің биіктік негіздеулерін құру мақсатымен, сондай-ақ барлау, жобалау және әр түрлі инженерлік құрылыстарды салу үшін жасалынады.

 Нивелирлеу жұмыстары проектті құрастыру, жергілікті жерді алдын ала барлау (рекогносцировка), нивелирлік белгіліерді орнату (реперлер, яғни қазықтарды қағып шығу), аспаптар мен құралдарды тексеру, дала жұмыстарын жүргізу, дала бақылау нәтижелерін өңдеу және нивелирлеу пункттерінің биіктіктерін есептеу жұмыстарын қамтиды.

 Проектілеу барысында карта бетіне жоспарланған нивелирлік жүрістерді, бұрын жасалынған нивелирлеу жұмыстарын және жоспарлы геодезиялық тордың пункттерін түсіреді. Техникалық проектте жұмыс түрлері, олардың көлемі, бағасы, орындау тәртібі және жұмыстарды орындау бойынша техникалық нұсқаулар беріледі.

 Нивелирлеу жұмыстары ауа райы жағымды, желсіз, ашық күндері орындалады. Күн ашық кезде нивелирді тура күн сәулесінен қорғау мақсатында қол шатырын пайдалану қажет.

 Нивелирлеу бір бағытта орындалады. Рейкалар бойынша есептеулер тек ғана орта жіптен алынады. Әдеттегі екі жақты рейкаларды қолданғанда станциядағы жұмыс атқару реті төмендегідей болады:

1. Артқы рейканың қара және қызыл жақтарынан есептеулер алу;
2. Алдыңғы рейканың қара және қызыл жақтарынан есептеулер алу;

Бір жақты рейкаларды қолданғанда жұмыс атқару реті мынадай болуы тиіс:

1. Артқы рейкадан есептеу;
2. Алдыңғы рейкадан есептеу;
3. Нивелирдің горизонтын 10 см-ден артық шамағы өзгерту;
4. Қайтадан алдыңғы рейкадан есептеу;
5. Қайтадан артқы рейкадан есептеу.

 Нивелирлеу барсында бақылаушы рейкадан есепті қыл-жіпті торының орадағы горизонтальдық штрихы бойынша алады. Есептеу нәтижелері арнайы журналына толтырылады. Әр бір станцияда есептеу алады және бақылауды қайта тексереді, ол үшін:

а) қашықтық өлшеуіш штрихтары бойынша алынған есептер бойынша нивелирден рейкаларға дейін қашықтықты өлшейді:

**dзад = (ач' - ач")·100; dперед = (bч' - bч")·100**

бұл анықталған қашықтықты лента мен немесе басқа тәсілмен өлшенген қашықтыпен салыстырады, **Δd = dзад – dперед ;**

б) бақылау үшін қашықтық өлшейтін штрихтардың орта көрсеткішін осы рейканың орта штрихы бойынша алынған көрсеткішпен салыстырады, мұндағы айырмашылығы 3 мм-ден аспауы тиәс:

$\frac{а\_{ч}^{'}+ а\_{ч}^{"} }{2}$ **– ач ≤ ± 3 мм,** $\frac{b\_{ч}^{'}+ b\_{ч}^{"} }{2}$ **– bч ≤ ± 3 мм.**

в) рейкалардың қызыл және қара жақтары бойынша айырмашылықтарды есептейді:

**hч = aч – bч, hкр = aкр – bкр**

Егер, қара және қызыл рейкалардан алынған көрсеткіштер арасындағы қиыспаушылық 3 мм-ден аспаған жағдайда салыстырмалы биіктіктің мәні ретінде олардың орта көрсеткішін қабылдайды.

**h =** $\frac{h\_{ч}+h\_{кр}}{2}$

Одан кейін нивелирді келесі ІІ станцияға ауыстырады, ал артқы рейка бірінші нүктеден үшінші нүктеге ауыстырылады.

 Жүрістердегі қиыспаушылық **±50**$\sqrt{L}$ мм-ден аспауы тиіс, мұндағы L – жүрістің километрлік ұзындығы.