

14-Д. Жердің гравитациялық өрісі. Отвeстік түзудің ауытқуы. Геодезиядағы редукциялық есеп.

1 Жердің гравитациялық өрісі

Теориялық геодезия пәні жоғарғы геодезия есептерді шешудегі әдістерді теориялық негіздеу болып келеді, олардың ішінде ең маңыздысы болып Жер бетінің және гравитациялық өрісін жер бетінде және сыртқы кеңістікте анықтау есебі болып табылады.

Теориялық геодезияның соңғы мақсаты болып оптималды өңдеу және кейбір мағынада оның негізгі есептерін стратегиялық шешу болып табылады. Теориялық геодезия аралас ғылымдар арасында кең тараған, ал қорытынды теориялық шешімі әртүрлі өлшеу құрамдарында болуы мүмкін, олар: дәстүрлі, классикалық (геодезиялық, астрономиялық, гравиметриялық өлшеулер) жасанды Жер серіктерін бақылау, ғарыштық аппараттар, лазерлік, доплерлі арақашықтықты бұрыш кескінімен өлшеу, ұзын базисті радиоинтерферометрия.

Теориялық геодезия жоғарғы геодезияның негізгі есептерін зерттеумен айналысады:

- Жер пішінін анықтау;
 - Жердің сыртқы гравитациялық алаңының параметрлерін анықтау;
 - параметрлерді анықтау, Жердің және референц жазықтығының физикалық бетіндегі өзара мінездеме орындалуы;
 - жер бетінің өзгеруін және Жердің гравитациялық алқабының уақытта өзгеруін үйрену;
 - Жер бетінің қатыстылығын және координат жүйесінің тапсырмасын анықтау;
 - астрономо-геодезиялық торлардың үлкен өңдеуді дамыту әдістері;
 - геодинамикалық көріністер;
 - фундаменталды геодезиялық тұрақтылықты нақтылау және анықтау.
- Көрсетілген есептер келесі әдістерді қоса қолданғанда орындалады:
- астрономо-геодезиялық әдіс;
 - гравиметриялық әдіс;
 - жасанды Жер серіктерінде және ғарыштық аппараттарда, Айдың лазерлі локациясында, ұзын базисті радиоинтерферометрияда қолданылатын негізгі әдістер:

Жердің сыртқы гравитациялық өрісі деп Жердің айналасындағы кеңістікте және оның бетіндегі ауырлық күшін айтады.

Материалды нүктеге Жердің тартылыс күші F және ортаға тепкіш (центробежная сила) күш P әсер етеді, олар Жердің тәулік бойы айналуынан туындайды. Тең әсер ететін бұл күштер Жердің ауырлық күшін g құрайды:

$$g = P + F.$$

Жердің сыртқы түрін құрастыру, яғни оның пішінін құрастыру гравитациялық күштердің әсерінен туындайды. Сондықтан Жердің гравитациялық өрісін және оның құрамын үйрену өте маңызды ғылыми және практикалық мәнде болады. Геодезияда Жердің шын гравитациялық өрісін жер

беті геодезиясында және гравиметриялық өлшеулер негізінде нәтижелер шығару, сондай-ақ ғарыштық геодезия әдісімен үйрену геодезияның негізгі есебін шешуге, яғни Жердің пішінін анықтауға мүмкіндік береді.

Жердің гравитациялық өрісі W ауырлық күші потенциалымен сипатталады, ол тартылыс және ортаға тепкіш потенциалдарының қосындысына тең.

$$W = V + U \quad (123)$$

Жердің сыртқы гравитациялық алқабы келесі принциптермен беріледі. Кейбір дұрыс дененің деңгейлі бетін алып (эллипсоид), содан соң Жердің гравитациялық алқабының тандалған эллипсоидтың гравитациялық алқабынан ауытқуын анықтайды (нормальды сфероид):

$$T = W - U_0 \quad (124)$$

мұнда W - ауырлық күшінің потенциалы; U_0 - нормал потенциал (эллипсоид денесі), T - қозған (возмущающий) потенциал. Осы жағдайда $W = U_0 + T$ білу үшін, U_0 таңдау керек және T анықтау керек.

Нормал потенциалды U_0 таңдау үшін бірнеше әдістер қолданылады. Практикада U_0 потенциалы ретінде Жер айналуының бұрыштық жылдамдығы мен массасына тең келетін массасы M эллипсоид денесі ω бұрыштық айналу жылдамдықпен айналғанда туындайтын потенциал алынады. U_0 мәнін бұлай таңдау екі маңызды салдарға келтіреді:

1. T мәні мұнда кіші болады, бұл оның әрі қарай практикада қолдануын жеңілдетеді.

2. Гравиметриялық өлшеулер бұл жағдайда референц-эллипсоидқа жатады, яғни жер бетіне ол геодезиялық және астрономиялық өлшеулерде қолданылатын координаттары болып келеді. Сондықтан астрономиялық, геодезиялық және гравиметриялық өлшеулерді бірлік координаттар жүйесінде өңдеуге болады.

Континентте, теңіз және мұхит бетінде T потенциалының мәнін гравиметриялық әдіспен анықтауға болады.

Қозған потенциал Жердің g ауырлық күш өрісінің эллипсоидтың ауырлық күш γ өрісінен артта қалуымен сипатталады. Жер бетінде ауырлық күшінің мәнін гравиметриялық өлшеулерден алады. Эллипсоид бетіндегі ауырлық күшінің мәні Клеро теоремасы бойынша анықталады:

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin \varphi) \quad (125)$$

мұнда
$$\beta = \frac{5}{2} g - \alpha.$$

Осы мақсатта, қозған потенциал қозған потенциал g - γ айырмашылығымен белгіленген. Бұл айырмашылық *ауырлық күшінің аномалиясы* деп аталады. Ауырлық күш аномалиясы гравиметриялық әдіспен анықталады.

Астрономо-геодезиялық әдіспен материктердегі гравитациялық өрісті сипатау үшін берілген мән ретінде отвесті сызықтардың ауытқуы ξ және η

алынады, олардың қозған потенциалмен байланысы келесі формулаларда көрсетіледі:

$$\begin{aligned}\xi &= -\frac{1}{R\gamma} \frac{\partial T}{\partial B}; \\ \eta &= -\frac{1}{R\gamma \cos B} \frac{\partial T}{\partial L}.\end{aligned}\quad (126)$$

Осыдан, W астрономиялық-геодезиялық әдіспен анықтау үшін нормальды потенциалды және астрономиялық (φ және λ) және геодезиялық (B және L) пункт координаттарын білу (таңдау) керек, олардың ξ және η отвес сызықтарының ауытқуын анықтауға болады.

Деңгей беттер (уровенные поверхности)

Ауырлық күш потенциалы W кеңістіктегі координаттар нүктесінен тәуелді (жер бетінде немесе жерайналасындағы кеңістікте). Онда потенциалы тұрақты болатын нүктелер үшін мұндай бет (поверхность) беруге болады.

Мұндай бетті ***деңгей беті*** деп атайды. Ауырлық күшінің жалпы деңгейі беті мына формула болады:

$$W = \text{const} = C \quad (127)$$

Мұндай Жер бетінің әр нүктесіне ауырлық күші осы жер бетіне нормаль бойынша бағытталған, ал ауырлық күшін құраушылар жер бетімен жанасуы бойынша кез келген нүктеде нөлге тең.

Деңгейлі Жер беті бір бірімен қиылыспайды немесе жанаспайды, өйткені әр деңгейлі Жер беті өзінің бірінші потенциал $W = \text{const} = C$ мәніне сәйкес келеді.

Жердің негізгі беті геоид беті болып келеді, ол геодезияда Жер пішініне қабылданады. Бұл бет Дүние жүзілік мұхиттың тыныштық бетімен жақындатылып, известік сызық әр оның нүктесінде перпендикуляр болатындай жалғасқан.

Геоид беті ретінде қазіргі кезде деңгейлі бет деп түсіндіріледі, ол биіктік есеп берудің бас нүктесі арқылы өтеді. Біздің елде биіктік есеп берудің басы деп Кронштадтың футштогының нолі қабылданған, ол Балтық теңізінің орта деңгейіне сәйкес келеді, көпжылдық деңгей өлшеулерімен бақыланған.

W_0 - геоид бетіндегі потенциал.

Геоид бетін нақты анықтау Жер қабаттарын білуімен байланысты. 1945 ж. Молоденский М.С. Жердің пішінін және гравитациялық алқабын анықталмаған геоид бетіне негіздемей дәл анықтауға болатынын көрсетті. Ол квазигеоид бетін жүргізіледі, ол Жер бетінде жүргізілсе, нормальды биіктіктер H' қалыптасады.

Квазигеоид беті геоид бетімен теңіздерде, мұхиттарда және континенталды бөліктерде сәйкес келеді, геоид бетінен 2 м максималды қалады. Практикада геоидты эллипсоид айналуымен алмастырады, оның беті деңгейлікке қабылданады. Айналу эллипсоиды, центрі және оның экваторы орталық массамен және Жер экваторымен сәйкес келетін және өте жақсы түрмен геоидтың бетін планетарлы масштабта аппроксимирлейді, оның жалпы жер аралық эллипсоид деп аталды.

Жалпы жер шары эллипсоиды үлкен жарты осі a_e бар, полярлық сығылу α , M масса және бұрыштық жылдамдық ω сәйкес келетін Жер параметрлерімен сай келеді, оны Жер нормасы деп атайды. Нормальды Жер параметрлері a_e , α , ω , гравитациялық тұрақтылықты ***fM фундаментальды геодезиялық тұрақтылық*** деп атайды. Нормальды Жердің гравитациялық өрісі Жердің нормальды гравитациялық өрісіне қабылданған.

2. Тіктеуіш сызығының ауытқуы

Тіктеуіш ауытқуы – бұл тіктеуіш сызығы бағыты және нормаль бетің қатынасының арасындағы бұрыш. Егер қатысты бетке деп жалпы жершар эллипсоид бетін қабылдаса, онда отвес ауытқуы абсолютті деп аталады. Егер нормалдан отвес ауытқуы референц- эллипсоидқа қаралса, онда отвес ауытқуы қатынасты деп аталады. Астрономиялық-геодезиялық отвестік сызық деп отвес сызығымен референц-эллипсоид арасындағы бұрышты айтады, ол астрономиялық және геодезиялық өлшеулерден алынады. Олар қатынасты болып келеді.

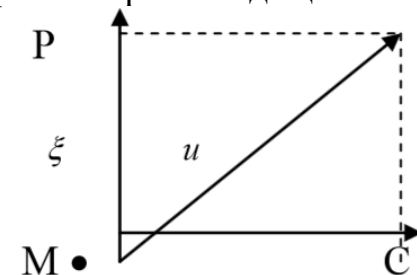
Отвес сызықтарының бағыты Жер үстінде астрономиялық бақылаулардан астрономиялық координаттарды шығару жолдарымен анықталады (ϕ , λ).

Референц-эллипсоид бетіндегі нормаль бағыттары геодезиялық B , L координаттармен анықталады.

Гравиметриялық отвес ауытқуы деп нормальды γ бағыт және нақты g ауырлық күші арасындағы бұрыш деп аталады.

Топографиялық отвес ауытқуы деп шын ауырлық күшінің нормаль ауырлық күшінен ауытқуын айтады, ол топографиялық массалар тартылысымен берілген. Топографиялық ауытқулар әдетте таулы жерлерде есептеледі.

Геодезиялық есептерді шешкенде толық отвес ауытқуының сызығының биіктігін u екі құраушылар түрінде көрсетеді: ξ - меридиан жазықтығында және η - бірінші вертикальдың жазықтығында. (20 сурет)



20-сурет

Астрономо-геодезиялық отвес ауытқуын құраушылар геодезиялық және астрономиялық координаттардың айырмашылығымен байланысты:

$$\begin{aligned} \xi &= \phi - B \\ \eta &= (\lambda - L) \cos B \end{aligned} \quad (128)$$

мұнда ϕ , λ - астрономиялық ендік және бойлық; B , L - пунктiнiң геодезиялық ендігі және бойлығы.

(128) формуласы бойынша отвес сызығының ауытқуын тек астропункттерде есептеуге болады. Қалған барлық нүктелер үшін тіктеуіш ауытқуы интерполирлеумен алады.

Гравиметриялық тіктеуіш ауытқуын қолданып интерполирлегенде астрономо-геодезиялық ауытқуы өздері интерполирлейді, ал астрономогеодезиялық және гравиметриялық отвес ауытқуының айырмашылығын $\xi^{AG}-\xi^{GP}$, $\eta^{AG}-\eta^{GP}$ формуласымен береді.

Астрономиялық-геодезиялық тіктеуіш отвес ауытқуылары кез келген нүктеде гравиметриялық тіктеуіш ауытқуының және ауытқу айырымын интерполирленгендегі қосындысынан шығады. Осылай алынған отвес ауытқуы **астрономо-гравиметриялық** деп аталады.

Тіктеуіш ауытқуын құру Жердің физикалық бетінің өлшенген биіктігінен референц-эллипсоид бетіне көшкенде түзету есептеріне өте қажет. Тіктеуіш ауытқу арқылы астрономиялық және геодезиялық координаттар арасында байланыс орнатылады. Тіктеуіш ауытқуы сызығы арқылы өлшенген астрономиялық азимуттан геодезиялыққа Лаплас теңдігі көмегімен дәл өту орындалады.

$$A_m = \alpha_m - \eta \operatorname{tg} \varphi. \quad (129)$$

3. Геодезиядағы редукциялық есеп

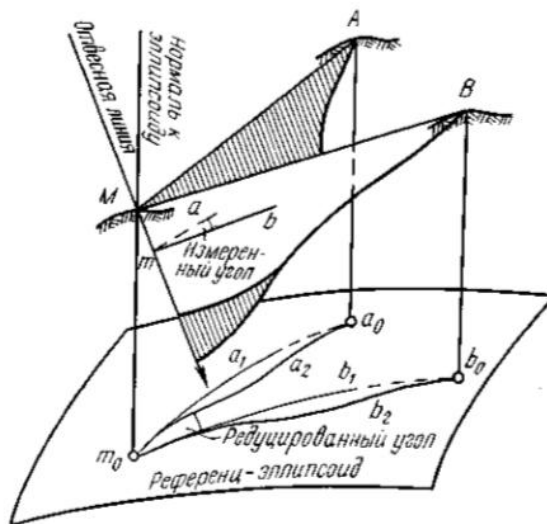
Жер бетіндегі өлшенген геодезиялық торап элементтері (қабырға ұзындықтары және көлденең бағыттар) референц-эллипсоид бетінде редуцирленеді. Жерде өлшенген биіктіктерді оларға сәйкес келетін эллипсоид бетіндегі биіктіктерге көшу теориясы геодезияның редукциялық есебі деп атайды.

Өлшенген көлденең бағыттарға отвес сызығының ауытқуы түзетуі енгізіледі, бақыланатын зат биіктігіне нормалды қиылысудан геодезиялық сызыққа өту байқалады.

Отвес сызығының ауытқуына түзетуді келесі формула шешеді:

$$\nu_1 = (\eta_1^{ag} \cos A_{12} - \xi_1^{ag} \sin A_{12}) \operatorname{ctg} Z_{12}, \quad (135)$$

мұнда η_1^{ag}, ξ_1^{ag} - аспап тұрған нүктедегі астрономиялық-геодезиялық отвес сызығының ауытқуын құраушылар; A_{12} - азимут; Z_{12} - бақыланатын бағыттың зениттік арақашықтығы.



22 сурет – Горизонтальды бағыттардың редукциясы

Крассовский эллипсоиды үшін бақыланатын зат биіктігінің түзетуін келесі формуламен табады:

$$v_2 = 0.108'' H_2 \cos^2 B_2 \sin 2A_{12}, \quad (136)$$

мұнда H_2 және B_2 - бақыланатын пункттің геодезиялық биіктігі және ендігі. Нормальды қиылысудан геодезиялық сызыққа өтуден түзетулер Красовский эллипсоидында келесі формулалармен есептеледі

$$v_3 = 0.0282'' S^2 \cos^2 B_1 \sin 2A_{12}.$$

Өлшенген қашықтықты редуцирлеу (сызықты, жарықтырадиодальномермен өлшенген) келесі формуламен есептеледі

$$S = \sqrt{S_{изм}^2 - \Delta H^2 \left(1 - \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) + \frac{S^3}{24R^2}}, \quad (137)$$

мұнда H_1, H_2 - Жер бетінің геодезиялық нүктелері; R - өлшенген сызық аралығындағы эллипсоидтың орта қисықтық радиусы $\Delta H = H_1 - H_2$

$$R = a \left(1 - \frac{1}{2} e^2 \cos 2B_m \right),$$