

СВІТОВА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА КООРДИНАТ WGS-84 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

ЗВ'ЯЗОК З ІНШИМИ ГЕОДЕЗИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

(Затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 14.12.2001 р. № 467)

1. ВСТУП

Геодезія як наука присвячена вивченню форми і гравітаційного поля Землі в просторі та часі. Однією з важливих геодезичних задач є визначення місцеположення точки на поверхні Землі з необхідною точністю. Місцеположення точки визначається трьома просторовими координатами в прийнятій системі відліку. При цьому система відліку є основою для забезпечення високої точності та єдності вимірів.

Революційну роль в розвитку геодезії і вдосконаленні існуючих систем відліку зіграла поява глобальної супутникової радіонавігаційної системи координатно-часового забезпечення GPS (США), з допомогою якої стало можливим з високою точністю і оперативністю визначати координати пунктів спостережень, в тому числі і їх висотну складову.

Виконання високоточних вимірювань з використанням супутникової радіонавігаційної системи тісно пов'язано з визначенням координатних систем, відносно яких виконуються виміри. Вимірювання навігаційних параметрів супутників глобальної радіонавігаційної системи GPS і визначення місцеположення точок земної поверхні з використанням супутникових приймачів виконуються в різних системах координат. Вимірювання ведуться в системі координат супутників, не зв'язаною з добовим обертанням Землі, а результати вимірювань представляються в системі координат жорстко зв'язаною з Землею. В зв'язку з тим, що початки відліку цих двох систем безперервно зміщуються одна відносно другої, їх погодження необхідно виконувати з достатньо високою точністю в кожному сеансі спостережень.

В глобальній системі позиціонування GPS, в якості системи відліку, використовується Світова геодезична система 1984 року (WGS-84). В даному керівному нормативному документі, який розроблено, згідно Постанови Кабінету Міністрів України "Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84" №2359, від 22.12.1999 р. та розпорядження Кабінету Міністрів "Про затвердження плану заходів щодо впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84" №320-р від 11.08.2000 р., коротко подана інформація про створення супутникової системи GPS та системи відліку WGS-84. Приведені геодезичні та фізичні параметри даної системи відліку, основні параметри моделі гравітаційного поля Землі для WGS-84 і їх характеристики. Наведені основні етапи впровадження WGS-84 на території України та їх обґрунтування. Приведений аналіз методів визначення параметрів зв'язку системи WGS-84 з іншими супутниковими та референціальними системами координат, що необхідно для ефективного комбінованого використання GPS в рамках єдиної міжнародної системи глобальної супутникової навігації.

В додатках наведені основні методи перетворення координат, заданих в різних системах відліку і координат, схеми європейської перманентної GPS мережі.

2. СТВОРЕННЯ СВІТОВОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ СИСТЕМИ WGS-84

Визначення системи планетарних геодезичних даних, включаючи геоцентричну систему координат та параметри гравітаційного поля Землі, безпосередньо пов'язано із розвитком супутникової геодезії.

Історично супутникова геодезія, орієнтована на виконання геодезичних вимірювань на земній поверхні з використанням штучних супутників Землі (ШСЗ), виникла в кінці 50-х років, тобто після запуску перших ШСЗ. За більш чим 40-річний період ця область геодезії безперервно вдосконалювалась, пройшовши різні стадії розвитку, які умовно можна розділити на три наступні періоди:

1. *Період з 1958 по 1970 рр.* Цей період характеризується розвитком основних засад методів супутникових спостережень, включаючи в себе методи обчислення і аналізу супутникових орбіт. При цьому використовувалися спеціальні фотографічні камери, які дозволяли фіксувати на знімках положення зірок та супутників на фоні зірок. Шляхом організації синхронних спостережень подібного роду та послідовної обробки знімків було виконано побудову глобальної геодезичної мережі в єдиній системі координат. Значну увагу при цьому було приділено вивченню гравітаційного поля Землі.

Визначення світової геодезичної системи були розпочаті у США спеціалістами Військового картографічного агентства (DMA), Служби берегової і геодезичної зйомки та в подальшому Національного картографічного агентства США (NIMA). Розв'язок двох задач (координатної та гравітаційної) дозволив побудувати геоцентричну систему координат з точністю положення пунктів в середньому біля 20 м та отримати параметри гравітаційного поля землі, які забезпечували точність висот геоїда над загальноземним еліпсоїдом в середньому по 4 м. Так була створена світова геодезична система WGS-60 з подальшим уточненням її на епоху 1966 року - WGS-66.

2. *Період з 1970 по 1980 рр.* В даний період розвитку отримали нові методи спостережень такі, як доплерівські спостереження супутників Землі, лазерні вимірювання відстаней до супутників та супутникову альтиметрію. Безпосереднім попередником сучасної системи визначення місцеположення були доплерівські супутникові системи TRANSIT (NNSS) (США) і Цикада (Радянський Союз). Із обробки таких спостережень, використовуючи орбітальний метод космічної геодезії, отримували високоточну орбіту супутника, віднесену до центру мас Землі та геоцентричні координати пунктів спостережень. За цей же період виконані глобальні визначення форми геоїда з використанням даних гравіметричних, супутникових альтиметричних та астрономо-геодезичних вимірювань.

Підвищення точності вимірювальних систем, в першу чергу доплерівських, а також удосконалення методів побудови геоцентричної системи координат та визначення характеристик гравітаційного поля Землі привело до створення світової геодезичної системи. Точність геоцентричних положень пунктів у даній системі досягала порядку 3 м, точність висот геоїда в середньому по землі – 1,5-2,0 м.

3. *Період з 1980 по даний час.* Цей період характеризується широкомасштабним використанням супутникових технологій в навігації, геодезії, геодинаміці, картографії та інших суміжних областях науки і техніки. Відмічений прогрес пов'язаний, насамперед, з подальшим удосконаленням супутникових радіонавігаційних систем, а саме у використанні більш удосконалених методів вимірювання величин, на основі яких обчислюються координати точок земної поверхні, більш вдалим параметрів орбіт та цілого ряду інших технічних рішень. В результаті була створена багатофункціональна радіонавігаційна супутникова система позиціонування NAVSTAR (GPS).

Глобальна система позиціонування NAVSTAR (GPS) була створена для того, щоб замінити систему TRANSIT, яка мала два суттєвих недоліки. Головною проблемою у використанні цієї системи були великі проміжки часу між окремими сеансами спостережень. Для визначення положення у довільний момент часу користувачі змушені були виконувати інтерполяцію між послідовними проходженнями супутників над станцією спостережень, що повторювалися приблизно через 90 хвилин. Другою проблемою системи TRANSIT була відносно мала точність визначення місцеположення. Реалізація в системі NAVSTAR (GPS) методу фазових вимірювань дозволила реалізувати сантиметровий (а в окремих випадках і міліметровий) рівень точності при вимірюванні базисних ліній довжиною від кількох метрів до тисячі і більше кілометрів.

Накопичення вимірювальної інформації системи NAVSTAR (GPS) та подальша її обробка привели до створення світової геодезичної системи WGS-84.

Вперше система WGS-84 була представлена в 1987 році. Ця система була створена з використанням результатів порівняння референтної системи міністерства оборони США (NSWC-9Z-2) та системи Міжнародного Бюро Часу (BTS) та розповсюджена через низку станцій Морської навігаційної супутникової система ВМФ США (NNSS) або по іншому доплерівської системи TRANSIT.

В 1993 р. були розпочаті роботи по вдосконаленню геодезичних та фізичних параметрів системи WGS-84. Перше – це уточнення величини гравітаційної сталої. В 1994 р. цей уточнений параметр був рекомендований для використання при визначенні високоточних значень орбіт. Друге – нове значення нормалізованої гармоніки другого ступеня, яке виникло при впровадженні EGM-96.

На даний час в глобальній системі позиціонування GPS використовується світова геодезична система WGS-84 (G873) глобальна узгодженість якої складає близько 0,1 м.

3. СВІТОВА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА WGS-84

3.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Світова геодезична система включає фундаментальні астрономічні та геодезичні сталі, модель гравітаційного поля Землі у вигляді коефіцієнтів розкладення геопотенціалу в ряд по шарових функціях, карти висот геоїда над еліпсоїдом. Практична реалізація системи WGS-84 здійснена низкою станцій Системи оперативного управління (OCS) з відомими координатами, які задають початок системи координат, орієнтацію її осей та масштаб.

3.2. ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ WGS-84

Світова геодезична система WGS-84 являє собою Загальноземну референцну систему (CTRS). Визначення цієї системи дано Міжнародною службою обертання Землі (IERS). Основні критерії даної системи наступні:

- геоцентрична, при визначенні центру мас враховуються також маси океанів та атмосфери;
- масштаб системи такий як і в локальній системі координат з врахуванням релятивістської теорії гравітаційного поля;
- орієнтація системи – за визначенням Міжнародного бюро часу на епоху 1984 року;
- зміни її положення з часом повинні узгоджуватися з рухом земної кори.

Система WGS-84 є правостороння ортогональна система координат початок якої суміщений з центром мас Землі (рис. 1).

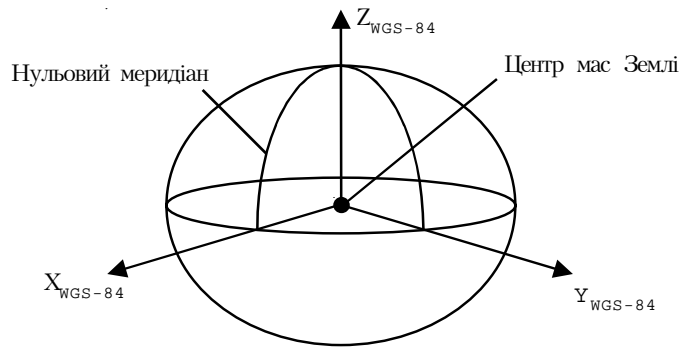


Рис.1 Система координат WGS-84

Початок та осі системи WGS-84 задаються наступним чином:

- | | |
|-------------------|--|
| Початок координат | — Центр мас Землі |
| Вісь Z | — Направлена на Умовний земний полюс (IRP), як рекомендовано Міжнародною службою обертання Землі (IERS). Цей напрямок відповідає напрямку на Загальноземний полюс (CTP) за визначенням Міжнародного Бюро Часу (БІН) на епоху 1984 р. з похибкою 0.005” |
| Вісь X | — Направлена в точку перетину нульового меридіана (IRM) з площиною екватора (СТР), які встановлені Міжнародною службою обертання Землі |
| Вісь Y | — Завершує правосторонню ортогональну систему координат з початком в центрі мас Землі. Вона розміщена в площині екватора (СТР) під кутом 90 градусів на схід від осі X. |

Координатна система WGS-84 суміщена з геометричним центром загальноземного еліпсоїда WGS-84, а вісь Z- з вісю обертання цього еліпсоїда.

3.1. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ WGS-84

Система WGS-84 реалізована шляхом зміни системи NSWC-9Z-2 за параметрами масштабу, початку координат та орієнтацією її таким чином, щоб вона найточніше співпадала з орієнтацією системи Міжнародного бюро часу (BTS) на епоху 1984 року. Цей перший варіант системи WGS-84 (визначений за допомогою системи TRANSIT) використовувався з січня 1987 року до липня 1994 року.

Незалежні дослідження показали, що існує систематична похибка в геодезичній висоті при визначенні координат одного й того ж пункту за допомогою системи GPS та за допомогою доплерівських спостережень. Для усунення цієї похибки та отримання незалежної GPS-реалізації даної системи Військове картографічне агентство МО США (DMA) в співробітництві з Військово-морським центром Division (NSWCDD) розробило виправлений список координат для мережі станцій стеження МО США. Це проводилось двічі: в 1994 та в 1996 роках.

Використовуючи дані GPS-спостережень ВПС США та системи перманентних станцій DMA сумісно з даними від деяких станцій Міжнародної служби вивчення геодинаміки з допомогою GPS (IGS), Військове картографічне агентство МО США отримало оновлені координати для перманентних станцій ВПС США та картографічного агентства (NIMA). При цьому координати деяких вибраних станцій Міжнародної служби вивчення геодинаміки з допомогою GPS (IGS) були прив'язані до Земної референсної система (ITRF) Міжнародної служби обертання Землі (IERS). Отримані оновлені координати для станцій стеження МО США мають підвищену точність за рахунок усунення систематичної похибки у визначенні геодезичної висоти та за рахунок використання найновітніших супутникових технологій. Точність по всіх трьох координатах для кожної станції стеження МО США складає біля 0,05 м (одна сигма).

На сьогодні, за даними Сегменту оперативного управління (OCS) GPS є дві незалежні GPS-реалізації системи WGS-84: WGS-84 (G730) та WGS-84 (G873). Літера “G “ вказує на те, що координати були отримані з використанням системи GPS, а цифра, яка слідує за нею – на GPS-тиждень коли ці координати були реалізовані при оцінці точних ефемерид. Координати отримані за допомогою цих реалізацій почали використовувати з 29 червня 1994 та 29 січня 1997 року відповідно.

Практична реалізація системи WGS-84 здійснена через мережу станцій, розташованих по всій території Землі, які закріплюють дану систему координат (рис.2).

Список та координати станцій, які реалізують систему WGS-84 (G873) на епоху 1997 року наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Місцеположення станції	Номер станції за класифікацією NIMA	Просторові координати		
		X (км)	Y (км)	Z (км)
Станції ВПС США				
Colorado Springs	85128	-1248.597221	-4819.433246	3976.500193
Ascension	85129	6118.524214	-1572.350829	-876.464089
Diego Garcia (<2 Mar 97)	85130	1917.032190	6029.782349	-801.376113
Diego Garcia (>2 Mar 97)	85130	1916.197323	6029.998996	-801.737517
Kwajalein	85131	-6160.884561	1339.851686	960.842977
Hawaii	85132	-5511.982282	-2200.248096	2329.481654
Станції NIMA				
Australia	85402	-3939.181976	3467.075383	-3613.221035
Argentina	85403	2745.499094	-4483.636553	-3599.054668
England	85404	3981.776718	-89.239153	4965.284609
Bahrain	85405	3633.910911	4425.277706	2799.862677
Ecuador	85406	1272.867278	-6252.772267	-23.801890
US Naval Observatory	85407	1112.168441	-4842.861714	3985.487203
China	85409	-2148.743914	4426.641465	4044.656101

* Координати приведені до фазового (електронного) центру антени.

Різниці координат станцій між двома GPS – реалізаціями світової системи WGS-84 (G873) (епоха 1997.0) та WGS-84 (G730) (епоха 1994.0) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Місцеположення станції	Номер станції за класифікацією NIMA	Різниці по східній компоненті, см	Різниці по північній компоненті, см	Різниці геодезичних висот, см
Станції ВПС США				
Colorado Springs	85128	0.1	1.3	3.3
Ascension	85129	2.0	4.0	-1.1
Diego Garcia (<2 Mar 97)	85130	-3.3	-8.5	5.2
Kwajalein	85131	4.7	0.3	4.1
Hawaii	85132	0.6	2.6	2.7
Станції NIMA				
Australia	85402	-6.2	-2.7	7.5
Argentina	85403	-1.0	4.1	6.7
England	85404	8.8	7.1	1.1
Bahrain	85405	-4.3	-4.8	-8.1
Ecuador	85406	-2.0	2.5	10.7
US Naval Observatory	85407	39.1	7.8	-3.7
China	85409	31.0	-8.1	-1.5

* Координати приведені до фазового (електронного) центру антени.

3.4. ПАРАМЕТРИ СИСТЕМИ WGS-84

3.4.1. ГЕОДЕЗИЧНІ (ГЕОМЕТРИЧНІ) ПАРАМЕТРИ WGS-84

При практичному використанні системи координат WGS-84 настає необхідність визначення трьох поверхонь відносності: топографічна поверхня (рельєф), еліпсоїд, геоїд.

При виборі еліпсоїда для WGS-84 група розробників даної системи використала еквіпотенціальний еліпсоїд геодезичної референційної системи 1980 р. (GRS-80), яка була прийнята на XVII Генеральній Асамблеї Міжнародного геодезичного і геофізичного союзу (МГТС) і на даний час є

офіційною системою Міжнародної асоціації геодезії (IAG). Згідно цього еліпсоїд WGS-84 визначається, як геоцентричний еліпсоїд обертання. Для визначення еліпсоїда WGS-84 обрано чотири параметри: велика піввісь, гравітаційна стала, нормалізована зональна гармоніка другого ступеню та кутова швидкість обертання Землі. Всі ці параметри такі ж самі як і у еліпсоїда GRS-80, за одним виключенням – різниця у нормалізованій зональній гармоніки другого ступеню.

В 1993 були ініційовані процеси направлені на вдосконалення цих параметрів. Перше – це уточнення величини гравітаційної сталої. В 1994 цей уточнений параметр був рекомендований для використання при визначенні високоточних значень орбіт. Друге – нове значення нормалізованої гармоніки другого ступеня, яке виникло при впровадженні EGM-96.

Для збереження значення великої півосі та стиснення для еліпсоїду WGS-84 були дещо змінені чотири параметри, які визначають еліпсоїд GRS-80, а саме замість нормалізованої зональної гармоніки другого ступеню введено поняття стиснення. На даний час еліпсоїд WGS-84 визначають такі параметри: велика піввісь, стиснення, гравітаційна стала та кутова швидкість обертання Землі.

Велика піввісь (a). Це один з основних параметрів еліпсоїда WGS-84. Визначення величини даного параметра базувалося на проведених у 1976-1979 роках лазерних, доплерівських та інших радіотехнічних спостереженнях.

Стиснення (1/f). При розробці WGS-84 спочатку замість стиснення використовувалась нормалізована зональна гармоніка другого ступеню. Пізніше з цієї гармоніки було виведене значення стиснення, яке і стало одним з параметрів які визначають еліпсоїд WGS-84. Значення стиснення для WGS-84 різняться від значення для еліпсоїда

GRS-80. Причиною цього є те, що під час процесу нормалізації значення нормалізованої гармоніки другого ступеню було уточнене.

Гравітаційна стала Землі (GM). Значення гравітаційної сталої GM відомо з більшою точністю аніж просто значення G (універсальної гравітаційної сталої) або M (маси Землі). Під час розробки WGS-84 значення гравітаційної сталої декілька разів уточнювалося.

При вирахуванні цієї величини враховувалася маса атмосфери, ця величина була обчислена з використанням космічних спостережень.

Для деяких практичних застосувань необхідно мати значення гравітаційної сталої для Землі без врахування маси атмосфери або ж мати гравітаційну сталу самої атмосфери Землі.

Кутова швидкість обертання Землі (w). Це значення представляє стандартну Землю, яка обертається з постійною кутовою швидкістю. Реальна швидкість обертання Землі змінюється з часом. Але для практичних застосувань ці флуктуації можна не враховувати.

Система геодезичних параметрів та параметрів для спеціальних застосувань наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Числове значення
Основні параметри			
1	Велика піввісь	a	6378137.0 м
2	Стиснення	1/f	298.257223563
3	Кутова швидкість Землі	w	$7292115.0 \times 10^{-11}$ рад/с
4	Гравітаційна стала Землі	GM	3986004.418×10^8 м ³ /с ²
Параметри для спеціальних застосувань			
5	Гравітаційна стала без врахування атмосфери Землі	GM'	3986000.9×10^8 м ³ /с ²
6	Гравітаційна стала атмосфери Землі	GM _A	3.5×10^8 м ³ /с ²
7	Кутова швидкість обертання Землі (на задану епоху)	w*	$(7292115.8553 \times 10^{-11} + 4.3 \times 10^{-15} T_U)$ рад/с

3.4.2 ДОПОМІЖНІ ГЕОМЕТРИЧНІ ТА ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ WGS-84

Для геодезичних цілей необхідно мати додаткові геометричні та фізичні параметри, які визначають еліпсоїд WGS-84. Вони розраховуються з використанням чотирьох основних параметрів еліпсоїда WGS-84 на основі теорії еквіпотенціального еліпсоїда.

Допоміжні геометричні та фізичні параметри еліпсоїда WGS-84 які мають найбільш широке застосування наведені в таблиці 4.

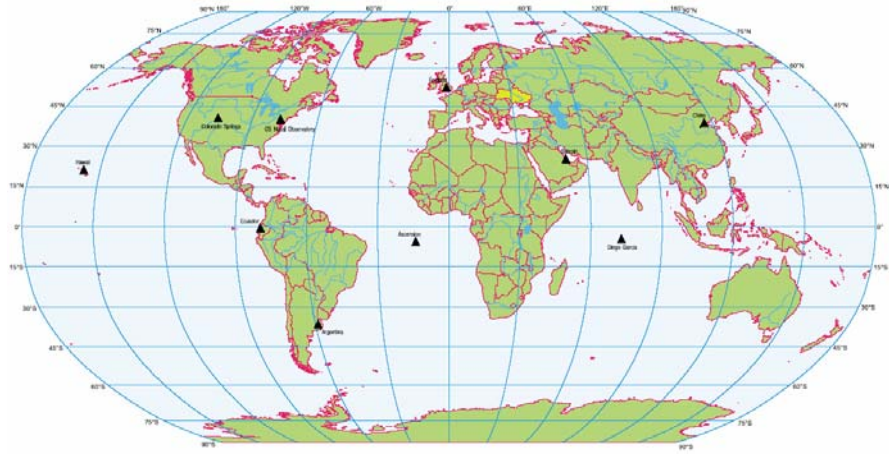


Рис 2. Схема розміщення постійних станцій, які реалізують Світову геодезичну систему WGS-84

¹ ç/í	Í açàà í àðàì àòðó	Í í çí à-áí í ý	× èñèí àà çí à-áí í ý
Äíííí ðæí³ àáíí àòðè-í³ í àðàì àòðè			
1	Çíí àèüí à ààðì íí³èà àðóáíáí ñòóí áí ý	C _{2,0}	- 0.484166774985 x 10 ⁻³
2	Í àèà í³àá³ñü	B	6356752.3142 ì
3	Í àðøéé àèñóáí òðèñèòàò	E	8.1819190842622 x 10 ⁻²
4	Èàààðàò í àðøíáí àèñóáí òðèñèòàò	e ²	6.69437999014 x 10 ⁻³
5	Äðóàéé àèñóáí òðèñèòàò	e'	8.2094437949696 x 10 ⁻²
6	Èàààðàò àðóáíáí àèñóáí òðèñèòàò	e' ²	6.73949674228 x 10 ⁻³
7	E³í³éíéé àèñóáí òðèñèòàò	E	5.2185400842339 x 10 ⁻⁵
8	Í í èýðíéé ðàá³òñ èðèàèçí è	C	6399593.6258 ì
9	A³áííøáíí ý íñáé	b/a	0.996647189335
10	Ñàðááí³é ðàá³òñ	R1	6371008.7714 ì
11	Ðàá³òñ ñòàðè ð³áíí ç í èí ù³	R2	6371007.1809 ì
12	Ðàá³òñ ñòàðè ð³áííáí í á'òí ó	R3	6371000.7900 ì
Äíííí ðæí³ ò³çè-í³ í àðàì àòðè			
13	Í í ðì àèüí éé ííòáí ò³àé ñèèè òýæ³íí ý àè³í ñí çàà	U0	62636851.7146 ì ² / ñ ²
14	Í í ðì àèüí éé ííòáí ò³àé ñèèè òýæ³íí ý í à àèààðíð³	e	9.7803253359 ì / ñ ²
15	Í í ðì àèüí éé ííòáí ò³àé ñèèè òýæ³íí ý í à ííèðñ³	p	9.8321849378 ì / ñ ²
16	Ñàðááí³ çí à-áí í ý ííðì àèüí íáí ííòáí ò³àéó ñèèè òýæ³íí ý		9.7976432222 ì / ñ ²
17	Èíí ñòáí òà òíðì óèè ííðì àèüí íáí àðáá³òàó³éííáí íí èý	K	0.00193185265241
18	Í àñà Çàì è³ ç àðàðóááí í ý ì àòí íñòàðè	M	5.9733328 x 10 ²⁴ èä
19	m = ² a ² b / GM	M	0.00344978650684

3.4.3. ᏅᏅ ÄÄ ÄÍ ÄÍ ᏅÄÈÜ³ ð ÑᏅÄÈ² ÑÈÑᏅÄÍ È WGS-84

Äèý àèçíà-áíí ý WGS-84 àèèíðèñíàòðòüñý í àñòóíí³ ò³çè-í³ í àðàì àòðè: øàèèè³ñòü ñà³òèà òà àèí àí³-í èè ñòèñí áíí ý Çàì è³.

Çíà-áíí ý øàèèèñ³ ñà³òèà í ðèéí ýòà, çà³áí í ò³ò³éííáí ð³òáíí ý Ì ðæí àðí áíí ç àñí ò³àó³ ç àáí ààç³ ç (²AG).

Äèí àí³-í à ñòèñí áíí ý í áíáð³áí à àèý í à-èñèáíí ý íñííáí èò í ìí áí ò³à³ í àðð³ ç àèý Çàì è³ - A, B òà C.

ᏅᏅ ÄÄ ÄÍ ÄÍ ᏅÄÈÜ³ ñòà è³ ñèñòàì è WGS-84 í ààááí³ á òààèèò³ 5.

¹ ç/í	Í açàà í àðàì àòðó	Í í çí à-áí í ý	× èñèí àà çí à-áí í ý
1	ᏅᏗèèè³ñòü ñà³òèà	ñ	299792458 ì / ñ
2	Äèí àí³-í èè èíáò³ò³òíð ñòèñèò Çàì è³	H	1 / 305.4413
3	Ñà³òí àà àðáá³òàó³éí à ñòàèà	G	6.673 x 10 ⁻¹¹ ì ³ / èä ñ ²
4	Í íí áí òè³ í àðð³ ç Çàì è³	A B C	8.0091029 x 10 ³⁷ èä ì ² 8.0092559 x 10 ³⁷ èä ì ² 8.0354872 x 10 ³⁷ èä ì ²

3.5. Ì Í ÄÄÈÜ ÄÄÄÄ²ᏅÄᏅÈÍ Í ÄÍ Í Í ÈᏅ ÇÄÍ È² ÑÈÑᏅÄÍ È WGS-84

3.5.1. Í Ä×ÈÑÈÄÍ Í Ꮕ Í Í ðì ÄÈÜÍ Í - ÑÈÈÈ ᏅᏅÄÈÍ Í Ꮕ ÄÈᏅ ÄÈ²Í ÑÍ - ÄÄ WGS-84

Äè³í ñí çà WGS-84 àèçíà-à³òüñý ýè àáí òà íððè-í èè àèá³ííòáí ò³àèüí éé àè³í ñí çà í áàððáíí ý. Äèá³-ííòáí ò³àèüí éé àè³í ñí çà - òà íðìñòí àè³í ñí çà ýèèè á òíé æà ñàì èé ðáñ³ àèá³ííòáí ò³àèüí í Ꮕ ííáàð-òíáð, òíáòí ííáàðòíáð á áóäü ýèèè òí-ò³ ýèí çíà-áíí ý ííòáí ò³àèó ñèèè òýæ³íí ý í áí àèíáà. Äè³í-ñí çà í áàððáíí ý WGS-84 àèçíà-à³òüñý ýè àèá³ííòáí ò³àèüí à ííáàðòí ý ç çàááí èí òáí ðàðè-í èè çíà-áíí ý ì ñèèè òýæ³íí ý (U). Ꮕáí ðàðè-í á çíà-áíí ý ííòáí ò³àèó í íæà áóðè í áí í çíà-áíí ý àèçíà-áí á, á í açàèæáííñ³ á³à ðí çííá³éó í áñ áñàðáèí³ àè³í ñí çà, çà àíííííáí Ꮕ ñèñòàì è ðíðèðüò í açàèæáí èò èííñòáí ò - í àðàì àòð³à, ýè³ àèçíà-à³òüñý àè³í ñí çà. Ꮕè çàçíà-àèííý ðáí³òà òà òàè³ í àðàì àòðè: ààèèèà í³àá³ñü, ñòèñí áíí ý, èóòíàà øàèèè³ñòü í áàðð áíí ý Çàì è³ òà àðáá³òàó³éí à ñòàèà.

Í Í ðì ÄÈÜÍ ÄÄÈÈÄ ᏅᏅÄÈÍ Í Ꮕ Í ÄÍ ÄÄᏅᏅ³ ð ÄÈ²Í ÑÍ - ÄÄ

Ꮕáí ðàðè-í á çíà-áíí ý ííðì àèüí í ç ñèèè òýæ³íí ý - ààèè-èèè àðáá³òíðó ᏅᏅí èò³ ç ííðì àèüí íáí ííòáí ò³àèó U çàááí à í á ííáàðòí³ àè³í ñí çà í íæà áóðè í á-èñèáí á çà àíííííáí Ꮕ Ꮕíðì óèè Ñíí³ àè³áí à (Somigliana):

$$= \frac{1+k \sin^2 B}{c \sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} \quad \text{äà} \quad k = \frac{b}{a} - 1$$

a, b – áàèèèà òà ì àèà ì³ áíñ³ àè³ ì ñí çàà
 e' – òáí ðàðè-í á çí à-áí í ý ì ðì àèúí ì ç; ñèèè ò ýæ³ í ý ì á àèààí ð³ òà ì í èðñ³ á³ áí í á³ áí;
 e^2 – éááàðàð ì áðøí áí àèñóáí òðèñèòàòó;
 B – ááí áàçè-í á øèðí òà.

Òà³ ò òí ðì òèà àèý ì á-èñèáí ý ì ðì àèúí ì ç; ñèèè ò ýæ³ í ý àèý àè³ ì ñí çàà WGS-84. Áèá³ ì òáí ò³-
 àèúí èè àè³ ì ñí çàà ñèóæèòú ì á ò³ èúèè è ì è ì ááððí ý á³ áí ñí ñ³ àèý áí ðèçí í òà èúí èò òà ááððèè àèúí èò
 àèì³ ð³ á, àèà³ è ì ááððí ý á³ áí ñí ñ³ àèý ì ðì àèúí ì ç; ñèèè ò ýæ³ í ý.

Ðí çí³ ðí³ ñòú ì ððèì áí ì ç; áàèè-èí è á ñèñòáí³ Í ÈÑ (ì áòð, è³ èí ì áòð, ñàèóí áà) áóáá òà èòíò M/ñ², ááí
 ì ì /ñ² = 10⁵ ì Áàè.

Í Í ÐÌ ÀÈÚÌ À ÑÈÈÀ ØΒÆ² Í Β Í ÁÁ Í Í ÁÁÐÕÍ ÁÐ ÀÈ² Í ÑÌ -ÁÁ

Í ðè ì áááèèè ì ó çí à-áí í³ ááí áàçè-í ì ç; àèñí ðè, ì ðì àèúí á ñèèà ò ýæ³ í ý ì áá ì ááððí áð àè³ ì ñí ç-
 áá ì èñó òòúñý òà èèì àèðàçí ì :

$$h = c + \frac{1}{h} h + \frac{1}{2} \frac{b^2}{h^2} bh^2$$

Àèý ì á-èñèáí ý ì ðì àèúí ì ç; ñèèè ò ýæ³ í ý ì áá ì ááððí áð àè³ ì ñí çàà ì ðè áí ááòí ì ì ó çí à-áí í³ ááí-
 áàçè-í ì ç; àèñí ðè àèèì ðèñòí áó òòúñý ðí çèèááí ý ì ááí áí àèðàçó á ð ýà Òà èè ì ðà, è ì ðè è ì á ò àèðàç:

$$h = \left[1 - \frac{2}{a} (1 + f + m - 2f \sin^2 B) h + \frac{3}{a^2} - h^2 \right], \quad \text{áá } m = \frac{a^2 b}{GM}$$

f – ñèñí áí ý, á – áàèèèà ì³ áá³ ñú,

B – ááí áàçè-í á øèðí òà,

- ì ðì àèúí á ñèèà ò ýæ³ í ý ì áá ì ááððí³ àè³ ì ñí çàà ì á øèðí ð³ B.

3.5.2. Í Í ÁÁÈÚ ÁÐÁÁ² ØÁÓ² ÈÍ Í ÁÍ Í Í ÈΒ ÇÁÌ È² EGM-96 ÁÈΒ WGS-84

Òí ðì à ì ðááñòáà èáí ý ì ááá³ òà ò³ èí ì ç; ì í ááè³ EGM-96 àèý WGS-84 – òà ñòáðè-í á ááðì ì í³-í á
 ðí çèèááí ý ì òáí ò³ áèò áðáá³ òà ò³ èí ì ç; ì í èý (V). EGM-96 – ðí çèèááí ý á ð ýà áí 360-áí ñòóí áí þ
 òà 360-áí ì ð ýà èò, è ì ááððí áó³ 130137 èí á ò³ ò³ ò³ á.

EGM-96 áóèà ñòáí ðáí à ñóí³ ñí èì è çòñèèè è Ì áò³ ì áèúí ì áí èáððí áðáá³-í í áí áááí òñòáà ÑØÁ
 (NIMA), è ì ðááñòáà èèà áðáá³ òà ò³ èí ì ç; ááí³, NASA/GSFC òà Ì Í ÑØÁ – è³ ì ðááñòáà èèè ááí³ ñí ì-
 ñòáðáèáí ý çá ñóí òóí èèè è.

Í í ááèú EGM-96 áí 70 ñòóí áí þ òà ì ð ýà èò àèè þ-í ì ðáèì áí áí ááí à àèý àèñí èí òí-í èò àèçí á-
 -áí ú ì ðá³ ò ñóí òóí èè³ á.

Í òáí ò³ áè áðáá³ òà ò³ èí ì ç; ì í èý Çáí è³ ì í èñó òòúñý òà èèì ð³ áí ýí ýì :

$$W = V + \hat{O},$$

áá \hat{O} – ñèèááí áá -áñòèí à ì òáí ò³ áèò, áèèèèèáí à áí èèáí ì í ááððáí ý Çáí è³.

Óóí èò³ ý ì òáí ò³ áèò ñèèè ò ýæ³ í ý (V) àèçí à-áí à èè:

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{n_{max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \overline{P}_{nm}(\sin B') (\overline{N}_{nm} \cos mL + \overline{S}_{nm} \sin mL) \right]$$

Áá V – ì òáí ò³ áè ñèèè ò ýæ³ í ý (ì² / ñ²);

GM – áðáá³ òà ò³ èí à ñòàèà;

r – ááí òáí òðè-í á á³ áñòáí ú;

a – áàèèèà ì³ áá³ ñú àè³ ì ñí çàà WGS-84;

n, m – ñòóí³ í ú òà ì ð ýàí è á³ áí í á³ áí í;

B' – ááí òáí òðè-í á øèðí òà; L – ááí òáí òðè-í á áí ááí òà;

\overline{N}_{nm} , \overline{S}_{nm} – ì ðì àè³ çí ááí³ áðáá³ òà ò³ èí ì ç; èí á ò³ ò³ ò³ òè.

Óóí èò³ ý Èáæáí áðà àèý ì ðì àè³ çí ááí èò èí á ò³ ò³ ò³ ò³ á:

$$\overline{P}_{nm}(\sin B') = \left[\frac{(n-m)!(2n+1)k}{(n+m)!} \right]^{\frac{1}{2}} P_{nm}(\sin B')$$

áá $P_{nm}(\sin B')$ – á³ áí í á³ áí à Óóí èò³ ý Èáæáí áðà:

$$P_{nm}(\sin B') = (\cos B')^m \frac{d^m}{d(\sin B')^m} [P_n(\sin B')]$$

áá $P_n(\sin B')$ – ì í è³ í ì Èáæáí áðà:

$$P_n(\sin B') = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{d(\sin B')^n} (\sin^2 B' - 1)^n$$

$$\left| \frac{\overline{N}_{nm}}{\overline{S}_{nm}} \right| = \left[\frac{(n+m)!}{(n-m)!(2n+1)k} \right]^{\frac{1}{2}} \left| \frac{\tilde{N}_{nm}}{S_{nm}} \right|$$

àà Ñ_m, S_m — çàè-àéí³ äðáá³òáó³éí³ èí áò³ó³í ðè àèý m = 0, k = 1; m ≠ 0, k = 2.

Àñà àèù áàè èèáááí à ñí ðáááèèèáá àèý r a, òí-³ ìí æá àèèí ðèñòí áóááòèñü ç í áááèèèí þ ìí ðèá-èí þ í á çáí í³ è ìí ááððóí³ òà á³èý í á, òà èèí -èíí ì r Í í ááððóí ý Çáí è³. Àèá àñà àèù á àèèèèááá í á ìí æá áóòè àèèí ðèñòí á í ðè r Í í ááððóí ý Çáí è³.

Çí à-áí ý ìí ðè àè³çí ááí èò èí áò³ó³í òá í ááè³ EGM-96 áí 18 ñòóí áí þ³ ìí ðýáèò àèèþ-íí í áá-ááí³ ó áí áàòèò 1.

4. ÁÍ ÐÍ ÁÁÁÆÁÍ Í ß ÑÁ²ÓÍ ÁÍ - ÁÁÍ ÁÄÇÈ×Í Í - ÑÈÑÒÀÌ È WGS-84 Í À ÒÄÐÈÒÍ Ð²-ÓÈÐÀ-Í È

4.1. ÇÁÁÆËÍ ² Í Í ÈÍ ÆÁÍ Í ß

Ñòáí ðáí ý çà ìí òáí³ ðááýòèð³-+ý ÒÓ ñò. áí áðáòòè ð³ ì áóí á³á èíí ðàèí àòí èò àèçí à-áí ü í á ìí í á³ ñóí óóí èèí áèò ðáá³íí áá³ááó³éí èò ñèñòàì ðááèèèèèè èí -èíí çí³ í èèí ñàí á óýáèáí ý ìí ðè ááí áàçè-í³ ðí áí ðè. Í í á³ ñóí óóí èèí á³ ì áóí áè á ìí ð³ áí ý³ ç ððáàèò³éí èí è ì áðòù ááááòí í áðááá. Áí í èò í áðááóñ³ ñè³á á³ áí áñòè:

- ìí æèèèñòù í áðáá-³ èíí ðàèí àò ìí ðàèòè-íí í á áóáü-ýè³ á³áñòáí³ ç ìí áðáòèáí³ñòþ é òí-í³ñòþ, í ááí ñýáí þ àèý ððáàèò³éí èò ì áóí á³á;
- í áí áí á³ ýçèí á³ñòù áçá³íí; àèèè ìí³³ ìí æá í óí èòáì è, ùí áà³ çí í áó ááç ñíí ððáàèáí ý ááí áàçè-í èò çí áè³á ðí çí³ ù óááòè í óí èòè á ìí³ñýò, í áèá³èùò ñí ðèýòèèèèè àèý çò ç áðáàèáí ý òà ìí ááèù-òí áí àèèí ðèñòáí ý;
- çáí èèáí ý àèí í á áí ù³èüíí³ àèò³áí; ááí áàçè-íí; ì áðáè³, ùí áí çáí èý³ çí à-íí çí áí èòèè è³èüèñòù ááí áàçè-í èò í óí èò³á ìí ðí èò ì áðáè;
- á³èùò í ðí ñòí ðó á ìí ááí³çáó³; òà àèèí áí í³ ðí á³ò, ìíí áèèí ó ááèèí áí ñòóí í èò ðàèí í áò;
- àèùèè ð³ááí ü ááòí ì áòèçáó³; í á áñ³ò ñòáá³ýò àèèí áí ý ðí á³ò, á³áñòóí³ñòù òáóí³-íí; ç áèèèí³ ð³ á³á -áñò áí áè, ðí èò, ìí áí áí èò óí í á;
- èðáü³ ìí æèèèñò³ àèý í á³ áí áí ý òí-íí; í èáí í áí; òà àèñí óí; ááí áàçè-í èò ìí í á í á áàç³ àèèí-ðèñòáí ý³ òáèí; òáòí í èí á³; ñóí³ ù áí ý³ í óí èò³á, ìíí³á èíí ðàèí àò³ àèñí ò òà çá³ýçèò³ ñí óþ-èò í èáí í áèò³ àèñí èò ì áðáè.

Çáñòí ñòááí ý ñóí óóí èèí áèò ì áóí á³á ìí áóáí áè ááí áàçè-í èò ì áðáè òàè -è³ í áèòá ìí á³ýçáí á ç àèèí ðèñòáí ý ñàí á ç ááèèí í çáí íí; ñèñòàì è á³áè³èò WGS-84 ìí ðè ì áðí áó³ ðáçèèèèèèè àèí³ð³á.

Ç ì áóí þ³ ìí ááðáò³; Óèðáí è á ñá³òí áó òà³ ððí áèññèò àèííí³-í³ ñèñòàì è, çáí ðí áááèáí ý ñò-áñí èò ñèñòàì í áá³ááò³; ððáí ñíí ðí èò çáñí á³á, ó-áñò³ á ìí æáí áðí áí èò ì áóèí áèò áí ñè³áèáí ýò àèí áèèí èò àèí-èí á³-í èò³ ááí áèí áí³-í èò ìí ðí òáñ³á, àèá-áí ý³ ò³áòòè Çáí è³, èáðòí áðáòóááí ý òáðèòí ð³, ðí çáèòèò òà ìí ááðí³çáó³; Ááðáèáí; ááí áàçè-íí; ì áðáè³ Èáá³ áóí Í³ ìí ðð³á Óèðáí è ìí èèí ýòá ìí ñòáí í áá "Í ðí áí ðí áááèáí ý í á òáðèòí ð³; Óèðáí è Ñá³òí áí; ááí áàçè-íí; ñèñòàì è èíí ðàèí àò WGS-84" ¹ 2359, á³á 22.12.1999 ð. òà ðí çí í ððýáèáí ý "Í ðí çáòááðáèáí ý í èáí ó çáòí á³á ùí áí áí ðí áááèáí ý í á òáðèòí ð³; Óèðáí è Ñá³òí áí; ááí áàçè-íí; ñèñòàì è èíí ðàèí àò WGS-84" ¹ 320-ð á³á 11.08.2000 ð., ýè³ ìí áðááá-áðòù:

- ìí áóáóááòè ì áðí áí áí óí ò ì áðáèò ñòáí³ è ñóí óóí èèí áèò ðáá³íí áá³ááó³éí èò ñí ìí ððáàèáí ü, ýè³ ðáàè³çòþòù ñèñòàì ó WGS-84 í á òáðèòí ð³; Óèðáí è òà àèèþ-èòè è ü áí³ ááðí áèññèí; ì áðí áí áí ò-íí; ì áðáè³ (EPN);
- ñòáí ðèòè ááí áàçè-í ò ì áðáèò ì áðòí áí ìí ðýáèò òà ç áááçí á-èòè è çá³ýçí è³ ç ñèñòàì í þ WGS-84 òà ETRS89 (ááðí áèññèèà çáí í á ðáòáðáí óí á ñèñòàì à 1989 ðí èò)³ ITRS (Í³ æáí áðí áí á çáí í á ðáòáðáí óí á ñèñòàì á);
- àèèí áòè ðí áí ðè ç óóí-í áí ý ðáá³í áèèí í áí ááí; áá á ñèñòàì³ WGS-84.

4.2. Í Í ÁÓÁÍ ÁÁ Í ÁÐÌ ÁÍ ÁÍ ÓÍ Í - Ì ÁÐÁÆ² ÑÓÍ ÓÓÍ ÈÈÍ ÁÈÒ ÐÁÁ²Í Í ÁÁ²ÁÁÒ²ÈÍ ÈÒ ÑÍ Í ÑÒÁÐÁÆÁÍ Û

Í ñí í áí þ èáí èí þ áñ³; ñòðòè óòòè ðáàè³çáó³; ñèñòàì è WGS-84 í á òáðèòí ð³; èðáí è ì á³ áóòè ì áðí áí áí óí ò ì áðáèá ñóí óóí èèí áèò ðáá³íí áá³ááó³éí èò ñí ìí ððáàèáí ü (Í Ì ÑÐÑ), ýèá³ ñèèááí áí þ -áñòèí þ Óóí ááí áí òáèí; ááí áàçè-íí; ì áðáè³ (ÓÁÍ). Í ñí í áí³ Óóí èò³; ì áðáè³:

- ç ááááí ý òà ìí áðáòèáí á á³áòáí ðáí ý ç ááèèí í çáí íí; ááí óáí òðè-íí; ñèñòàì è èíí ðàèí àò;
- óñóí áí ý ìí æèèèèè ñíí ðáí ðáí ü ááðáèáí; ááí áàçè-íí; ì áðáè³ (ÁÁÍ) òà ìí áðáè çáòù áí ý á ðáá³í áèèí í ò òà àèí áèèí í ò òà áñòðáááò;
- àèñí áðèí áí òáèí á àèýáèáí ý òà í áè³è ááòí ðí-í áí áí èèáò ááí áèí áí³-í èò ìí ðí òáñ³á í á ñòáá³èüí³ñòù èíí ðàèí áóí; ìí í áè (òàè çááí á ìí èáááí ý áí³ èèí; áí í ðè);
- ì áðí èí á³-í á ç áááçí á-áí ý ì áðí áèèí í; àèðí áí è-í; á³ýèüíí³ (áòáèí óááí ý é áòáñòá³ ì áèáóóí³ ò àèñí èí-í èò èíí³-í èò òà³ èòè ñèñòàì).

Áèòí áý-è³ ç Óóí ááí áí òáèí í áí ìí ðèçí á-áí ý ì áðí áí áí óí ò ì áðáè³, è ìí óí èòè ìí áèí³ áóòè ð³áí-í³ ðí ðí ðí çáí³ ìí áñ³è òáðèòí ð³; èðáí è ç ñáðááí³ è á³áñòáí ý è ìí æá í èí è 200-300 èí. Òèò í óí èò³á ì á³ áóòè 8-10. Áçá³í í á ìí èí æáí ý ñóí æéí èò í óí èò³á ñè³á àèçí á-áòè ç á³áííí þ ìí èèè þ ìí ðýá-èò 1:10-8. Óáèí áè ìí ðýáèò ìí èèè áí í òñòè³³ á ááí óáí òðè-í èò ðáá³òñ - áàèòí ðáò í óí èò³á.

