

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ**Глобальная навигационная спутниковая система****СИСТЕМЫ КООРДИНАТ****Методы преобразований координат определяемых точек****Global navigation satellite system. Coordinate systems. Methods of transformations for coordinates of determined points**

МКС 07.040

Дата введения 2014-07-01

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0-92 "Межгосударственная система стандартизации. Основные положения" и ГОСТ 1.2-2009 "Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены"

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом "Научно-технический центр современных навигационных технологий" "Интернавигация" (ОАО "НТЦ "Интернавигация")

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

3 Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2013 г. N 44)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 апреля 2014 г. N 354-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32453-2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2014 г.

5 Стандарт подготовлен на основе применения ГОСТ Р 51794-2008

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе "Национальные стандарты", а текст изменений и поправок - в ежемесячном информационном указателе "Национальные стандарты". В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе "Национальные стандарты". Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

ВНЕСЕНА поправка, опубликованная в ИУС N 4, 2016 год

Поправка внесена изготовителем базы данных

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на системы координат, входящие в состав систем геодезических параметров "Параметры Земли 1990 года" и референчные системы координат Российской Федерации.

Настоящий стандарт устанавливает методы преобразований координат и их приращений из одной системы в другую, а также порядок использования параметров преобразования систем координат при выполнении геодезических, навигационных, картографических работ с применением аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 большая полуось эллипсоида a : Параметр, характеризующий размер эллипсоида.

2.2 геоид : Эквипотенциальная поверхность, совпадающая с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженная под материками.

2.3 геодезическая высота : Высота точки над поверхностью отсчетного эллипсоида.

2.4 геодезическая долгота : Двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана.

2.5 геодезическая широта : Угол между нормалью к поверхности отсчетного эллипсоида, проходящей через заданную точку, и плоскостью его экватора.

2.6 гравитационное поле Земли; ГПЗ : Поле силы тяжести на поверхности Земли и во внешнем пространстве, обусловленное силой притяжения Земли и центробежной силой, возникающей в результате суточного вращения Земли.

2.7 квазигеоид : Математическая поверхность, близкая к геоиду, и являющаяся отсчетной для установления системы нормальных высот.

2.8 космическая геодезическая сеть; КГС : Сеть геодезических пунктов, закрепляющих геоцентрическую систему координат, положение которых на земной поверхности определено по наблюдениям искусственных спутников Земли.

2.9 модель гравитационного поля Земли : Математическое описание характеристик гравитационного поля Земли.

2.10 нормальная высота: Высота точки над квазигеоидом, определенная методом геометрического нивелирования.

2.11 нормальное гравитационное поле Земли: Модель гравитационного поля Земли, представляемое нормальным потенциалом силы тяжести.

2.12 общеземной эллипсоид; ОЗЭ: Эллипсоид вращения, поверхность которого наиболее близка к геоиду в целом, применяемый для обработки геодезических измерений на всей поверхности Земли в общеземной (геоцентрической) системе координат.

2.13 отсчетный эллипсоид: Эллипсоид вращения, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат.

2.14 планетарная модель гравитационного поля Земли: Модель гравитационного поля Земли, отражающая гравитационные особенности Земли в целом.

2.15 плоскость астрономического меридиана: Плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке и параллельная оси вращения Земли.

2.16 плоскость геодезического меридиана: Плоскость, проходящая через нормаль к поверхности отсчетного эллипсоида в данной точке и параллельная его малой оси.

2.17 плоскость начального меридиана: Плоскость меридиана, от которого ведется счет долгот.

2.18 плоские прямоугольные координаты: Плоские координаты ортогональной системы координат на плоскости, на которой отображена по определенному математическому закону поверхность отсчетного эллипсоида.

2.19 сжатие эллипсоида α : Параметр, характеризующий форму эллипсоида.

2.20 система геодезических координат: Система параметров, два из которых (геодезическая широта и геодезическая долгота) характеризуют направление нормали к поверхности отсчетного эллипсоида в данной точке пространства относительно плоскостей его экватора и начального меридиана, а третий (геодезическая высота) представляет собой высоту точки над поверхностью отсчетного эллипсоида.

2.21 система геодезических параметров Земли: Совокупность параметров и точностных характеристик фундаментальных геодезических постоянных, общеземного эллипсоида, планетарной модели гравитационного поля Земли, геоцентрической системы координат и параметров ее связи с другими системами координат.

2.22 фундаментальные геодезические постоянные: Взаимосогласованные геодезические постоянные, однозначно определяющие параметры общеземного эллипсоида и нормальное гравитационное поле Земли.

2.23 эквипотенциальная поверхность: Поверхность, в каждой точке которой потенциал имеет одно и то же значение.

2.24 элементы трансформирования систем координат: Элементы, с помощью которых выполняется преобразование координат из одной системы координат в другую.

3 Сокращения и обозначения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

ГГС - государственная геодезическая сеть;

ГЛОНАСС - глобальная навигационная спутниковая система Российской Федерации;

ГНСС - глобальная навигационная спутниковая система;

ГПЗ - гравитационное поле Земли;

ОЗЭ - общеземной эллипсоид;

ПЗ-90 - Параметры Земли 1990 года - система геодезических параметров Российской Федерации;

СК - система координат;

GPS - Глобальная навигационная спутниковая система Соединенных Штатов Америки;

OXYZ, OX, OY, OZ - оси пространственной прямоугольной системы координат;

$a_{ПЗ-90}$ - большая полуось общеземного эллипсоида в системе ПЗ-90;

a_{WGS-84} - большая полуось общеземного эллипсоида в системе WGS-84;

$a_{Кр}$ - большая полуось эллипсоида Красовского;

$\alpha_{ПЗ-90}$ - сжатие общеземного эллипсоида в системе ПЗ-90;

α_{WGS-84} - сжатие общеземного эллипсоида в системе WGS-84;

$\alpha_{Кр}$ - сжатие эллипсоида Красовского;

WGS-84 - Мировая геодезическая система.

4 Системы геодезических параметров

4.1 Система геодезических параметров "Параметры Земли 1990 года"

4.1.1 Система геодезических параметров ПЗ-90 включает в себя:

- фундаментальные геодезические постоянные;
- параметры ОЗЭ;
- систему координат ПЗ-90, закрепляемую координатами пунктов космической геодезической сети;
- характеристики модели ГПЗ;
- параметры элементов трансформирования геоцентрической системы координат ПЗ-90 в национальные референцные системы координат России и геоцентрическую систему координат WGS-84.

Параметры элементов трансформирования между системой координат ПЗ-90 и референчными системами координат России и порядок их использования при преобразовании систем координат приведены в приложениях А, Б.

Примечание - Числовые значения элементов трансформирования между системами координат ПЗ-90 [1] и ПЗ-90.02 [2], а также порядок их использования при преобразовании систем координат приведены в приложении Д.

4.1.2 Теоретическое определение системы координат ПЗ основывается на следующих положениях:

- а) начало системы координат расположено в центре масс Земли;
- б) ось Z направлена в Международное условное начало;
- в) ось X лежит в плоскости начального астрономического меридиана, установленного

Международным бюро времени;

г) ось Y дополняет систему до правой системы координат.

4.1.3 Положения точек в системе ПЗ могут быть получены в виде пространственных прямоугольных или геодезических координат.

Геодезические координаты относятся к ОЗЭ, размеры и форма которого определяются значениями большой полуоси и сжатия.

Центр ОЗЭ совпадает с началом системы координат ПЗ, ось вращения эллипсоида - с осью Z , а плоскость начального меридиана - с плоскостью XOZ .

Примечание - За отсчетную поверхность в системах геодезических параметров ПЗ-90 и ПЗ-90.02 принят общеземной эллипсоид с большой полуосью $a_{ПЗ} = 6378136$ м и сжатием $\alpha_{ПЗ} = 1/298,25784$.

4.2 Система геодезических параметров "Мировая геодезическая система"

4.2.1 Система параметров WGS-84 включает в себя:

- фундаментальные геодезические постоянные;
- систему координат WGS-84, закрепляемую координатами пунктов космической геодезической сети;
- параметры ОЗЭ;
- характеристики модели ГПЗ;
- параметры элементов трансформирования между геоцентрической системой координат WGS-84 в различные национальные системы координат.

Параметры элементов трансформирования между геоцентрическими системами координат ПЗ-90 и WGS-84, а также порядок использования элементов трансформирования приведены в приложениях В и Г.

Примечание - В настоящее время действует четвертая версия системы координат WGS-84, обозначаемая как WGS-84(G1150). В приведенных обозначениях версий системы координат WGS-84 литера "G" означает "GPS", а "730", "873" и "1150" указывают на номер GPS-недели, соответствующей дате, к которой отнесены эти версии системы координат WGS-84.

4.2.2 Теоретическое определение системы координат WGS основывается на следующих положениях:

- а) начало системы координат расположено в центре масс Земли;
- б) ось Z направлена в Международное условное начало;
- в) ось X лежит в плоскости начального астрономического меридиана, установленного Международным бюро времени;
- г) ось Y дополняет систему до правой системы координат.

Положения точек в системе WGS-84 могут быть получены в виде пространственных прямоугольных или геодезических координат.

Геодезические координаты относятся к ОЗЭ, размеры и форма которого определяются значениями большой полуоси и сжатия.

Центр эллипсоида совпадает с началом системы координат WGS, ось вращения эллипсоида совпадает с осью Z , а плоскость начального меридиана - с плоскостью XOZ .

Примечание - За отсчетную поверхность в WGS принят общеземной эллипсоид с большой полуосью $a_{WGS-84} = 6378137$ м и сжатием $\alpha_{WGS} = 1/298,257223563$.

4.3 Референчные системы координат Российской Федерации

Координатная основа Российской Федерации представлена референчной системой координат, реализованной в виде ГГС, закрепляющей систему координат на территории страны, и государственной нивелирной сети, распространяющей на всю территорию страны систему нормальных высот (Балтийская система), исходным началом которой является нуль Кронштадтского футштока.

Положения определяемых точек относительно координатной основы могут быть получены в виде пространственных прямоугольных или геодезических координат либо в виде плоских прямоугольных координат и высот.

Геодезические координаты в референчной системе координат Российской Федерации относятся к эллипсоиду Красовского, размеры и форма которого определяются значениями большой полуоси и сжатия.

Центр эллипсоида Красовского совпадает с началом референчной системы координат, ось вращения эллипсоида параллельна оси вращения Земли, а плоскость нулевого меридиана определяет положение начала счета долгот.

За отсчетную поверхность в СК-42 и СК-95 [3]* принят эллипсоид Красовского с большой полуосью $a_{Кр} = 6378245$ м и сжатием $\alpha_{Кр} = 1/298,3$.

* Текст документа соответствует оригиналу. В бумажном оригинале в разделе Библиография поз.[3] не приводится. - Примечание изготовителя базы данных.

5 Методы преобразований координат определяемых точек

5.1 Преобразование геодезических координат в прямоугольные пространственные координаты и обратно

5.1.1 Преобразование геодезических координат в прямоугольные пространственные координаты осуществляют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X &= (N+H) \cos B \cos L \\ Y &= (N+H) \cos B \sin L \\ Z &= [(1-e^2) N+H] \sin B \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где X, Y, Z - прямоугольные пространственные координаты точки;

B, L - геодезические широта и долгота точки соответственно, рад;

H - геодезическая высота точки, м;

N - радиус кривизны первого вертикала, м;

e - эксцентриситет эллипсоида.

Значения радиуса кривизны первого вертикала и квадрата эксцентриситета эллипсоида вычисляют, соответственно, по формулам:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}}, \quad (2)$$

$$e^2 = 2\alpha - \alpha^2, \quad (3)$$

где α - большая полуось эллипсоида, м;
 α - сжатие эллипсоида.

5.1.2 Для преобразования пространственных прямоугольных координат в геодезические необходимо проведение итераций при вычислении геодезической широты.

Для этого используют следующий алгоритм:

1) вычисляют вспомогательную величину D по формуле

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}; \quad (4)$$

2) анализируют значение D :

а) если $D=0$, то

$$B = \frac{\pi Z}{2|Z|}, \quad (5)$$

$$L = 0,$$

$$H = Z \sin B - \alpha \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}; \quad (6)$$

б) если $D \neq 0$, то при

$$\left. \begin{array}{l} Y < 0, X > 0, \quad \text{то } L = 2\pi - L_2; \\ Y < 0, X < 0, \quad \text{то } L = \pi + L_2; \\ Y > 0, X < 0, \quad \text{то } L = \pi - L_2; \\ Y > 0, X > 0, \quad \text{то } L = L_2; \\ Y = 0, X > 0, \quad \text{то } L = 0; \\ Y = 0, X < 0, \quad \text{то } L = \pi, \end{array} \right\}, \quad (7)$$

$$\text{где } L_2 = \left| \arcsin \left(\frac{Y}{D} \right) \right|; \quad (8)$$

3) анализируют значение Z :

а) если $Z=0$, то

$$B = 0; \quad H = D - \alpha; \quad (9)$$

б) во всех других случаях вычисления выполняют следующим образом:

- находят вспомогательные величины r , c , P по формулам:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad (10)$$

$$c = \arcsin \left(\frac{Z}{r} \right), \quad (11)$$

$$p = \frac{e^2 a}{2r}; \quad (12)$$

- реализуют итеративный процесс, используя вспомогательные величины s_1 и s_2 :

$$s_1 = 0, \quad (13)$$

$$b = c + s_1, \quad (14)$$

$$s_2 = \arcsin \left(\frac{p \sin(2b)}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 b}} \right), \quad (15)$$

$$d = |s_2 - s_1|, \quad (16)$$

если значение d , определяемое по формуле (16), меньше установленного значения допуска, то

$$B = b, \quad (17)$$

$$H = D \cos B + Z \sin B - a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}; \quad (18)$$

если значение d равно или более установленного значения допуска, то

$$s_1 = s_2 \quad (19)$$

и вычисления повторяют, начиная с формулы (14).

5.1.3 При преобразованиях координат в качестве допуска прекращения итеративного процесса принимают значение $(10^{-4})^r$. В этом случае погрешность вычисления геодезической высоты не превышает 0,003 м.

5.2 Преобразование пространственных прямоугольных координат

Пользователям ГНСС ГЛОНАСС и GPS необходимо выполнять преобразования координат из системы ПЗ-90 в систему WGS-84 и обратно, а также из ПЗ-90 и WGS-84 в референчные системы координат Российской Федерации. Указанные преобразования координат выполняют, используя семь элементов трансформирования, точность которых определяет точность преобразований.

Параметры элементов трансформирования между системами координат ПЗ-90 и WGS-84 приведены в приложениях В, Г.

Преобразование координат из системы WGS-84 в координаты референчных систем Российской Федерации осуществляют последовательным преобразованием координат сначала в систему ПЗ-90, а затем - в координаты референчных систем.

Преобразование пространственных прямоугольных координат выполняют по формуле

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_B = (1+m) \begin{pmatrix} 1 & +\omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & +\omega_x \\ +\omega_y & -\omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_A + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}, \quad (20)$$

где Δx , Δy , Δz - линейные элементы трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б, м;

ω_x , ω_y , ω_z - угловые элементы трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б, рад;

m - масштабный элемент трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б.

Обратное преобразование прямоугольных координат выполняют по формуле

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_A = (1-m) \begin{pmatrix} 1 & -\omega_z & +\omega_y \\ +\omega_z & 1 & -\omega_x \\ -\omega_y & +\omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_B + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}. \quad (21)$$

5.3 Преобразование геодезических координат

Преобразование геодезических координат из системы А в систему Б выполняют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} B_B &= B_A + \Delta B \\ L_B &= L_A + \Delta L \\ H_B &= H_A + \Delta H \end{aligned} \right\}, \quad (22)$$

где B , L - геодезические широта и долгота, выраженные в единицах плоского угла;
 H - геодезическая высота, м;

ΔB , ΔL , ΔH - поправки к геодезическим координатам точки.

Поправки к геодезическим координатам определяют по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned}
\Delta B &= \frac{\rho}{(M+H)} \left[\frac{N}{a} e^2 \sin B \cos B \Delta \alpha + \left(\frac{N^2}{a^2} + 1 \right) N \sin B \cos B \frac{\Delta e^2}{2} - \right. \\
&- (\Delta x \cos L + \Delta y \sin L) \sin B + \Delta z \cos B \left. \right] - \omega_x \sin L (1 + e^2 \cos 2B) + \\
&+ \omega_y \cos L (1 + e^2 \cos 2B) - \rho m e^2 \sin B \cos B; \\
\Delta L &= \frac{\rho}{(N+H) \cos B} (-\Delta x \sin L + \Delta y \cos L) + \operatorname{tg} B (1 - e^2) (\omega_x \cos L + \omega_y \sin L) - \omega_z; \\
\Delta H &= -\frac{a}{N} \Delta \alpha + N \sin^2 B \frac{\Delta e^2}{2} + (\Delta x \cos L + \Delta y \sin L) \cos B + \Delta z \sin B - \\
&- N e^2 \sin B \cos B \left(\frac{\omega_x}{\rho} \sin L - \frac{\omega_y}{\rho} \cos L \right) + \left(\frac{a^2}{N} + H \right) m,
\end{aligned} \right\} , \quad (23)$$

где ΔB , ΔL - поправки к геодезическим широте, долготе, ...";

ΔH - поправка к геодезической высоте, м;

B , L - геодезические широта и долгота, рад;

H - геодезическая высота, м;

Δx , Δy , Δz - линейные элементы трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б, м;

ω_x , ω_y , ω_z - угловые элементы трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б, ...";

m - масштабный элемент трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б;

$$\Delta \alpha = \alpha_B - \alpha_A;$$

$$\Delta e^2 = e_B^2 - e_A^2;$$

$$a = \frac{a_B + a_A}{2};$$

$$e^2 = \frac{e_B^2 + e_A^2}{2};$$

(Поправка. ИУС N 4-2016).

M - радиус кривизны меридианного сечения ($M = a(1 - e^2)(1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{3}{2}}$);

N - радиус кривизны первого вертикала ($N = a(1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}}$);

a_B , a_A - большие полуоси эллипсоидов в системах координат Б и А соответственно;

e_B^2, e_A^2 - квадраты эксцентриситетов эллипсоидов в системах координат Б и А соответственно;

ρ - число угловых секунд в 1 радиане ($\rho = 206264,806''$).

При преобразовании геодезических координат из системы А в систему Б в формуле (22) используют значения геодезических координат в системе А, а при обратном преобразовании - в системе Б, и знак поправок $\Delta B, \Delta L, \Delta H$ в формуле (22) меняют на противоположный.

Формулы (23) обеспечивают вычисление поправок к геодезическим координатам с погрешностью, не превышающей 0,3 м (в линейной мере). Для достижения погрешности не более 0,001 м выполняют вторую итерацию, т.е. учитывают значения поправок к геодезическим координатам по формулам (22) и повторно выполняют вычисления по формулам (23).

При этом

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{B_A + (B_A + \Delta B)}{2}, \\ L &= \frac{L_A + (L_A + \Delta L)}{2}, \\ H &= \frac{H_A + (H_A + \Delta H)}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Формулы (22), (23) и точностные характеристики преобразований по этим формулам справедливы до широт 89° .

5.4 Преобразование геодезических координат в плоские прямоугольные координаты и обратно

5.4.1 Для получения плоских прямоугольных координат в принятой на территории Российской Федерации проекции Гаусса-Крюгера используют геодезические координаты на эллипсоиде Красовского.

Плоские прямоугольные координаты с погрешностью не более 0,001 м вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} x = & 6367558,4968B - \sin 2B (16002,8900 + 66,9607 \sin^2 B + 0,3515 \sin^4 B - \\ & - l^2 (1594561,25 + 5336,535 \sin^2 B + 26,790 \sin^4 B + 0,149 \sin^6 B + \\ & + l^2 (672483,4 - 811219,9 \sin^2 B + 5420,0 \sin^4 B - 10,6 \sin^6 B + \\ & + l^2 (278194 - 830174 \sin^2 B + 572434 \sin^4 B - 16010 \sin^6 B + \\ & + l^2 (109500 - 574700 \sin^2 B + 863700 \sin^4 B - 398600 \sin^6 B))))); \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} y = & (5 + 10n) 10^5 + l \cos B (6378245 + 21346,1415 \sin^2 B + 107,1590 \sin^4 B + \\ & + 0,5977 \sin^6 B + l^2 (1070204,16 - 2136826,66 \sin^2 B + 17,98 \sin^4 B - 11,99 \sin^6 B + \\ & + l^2 (270806 - 1523417 \sin^2 B + 1327645 \sin^4 B - 21701 \sin^6 B + \\ & + l^2 (79690 - 866190 \sin^2 B + 1730360 \sin^4 B - 945460 \sin^6 B))))), \end{aligned} \quad (26)$$

где x, y - плоские прямоугольные координаты (абцисса и ордината) определяемой точки в проекции Гаусса-Крюгера, м;

B - геодезическая широта определяемой точки, рад;

l - расстояние от определяемой точки до осевого меридиана зоны, выраженное в радианной мере и вычисляемое по формуле

$$l = \{L - [3 + 6(n - 1)]\} / 57,29577951, \quad (27)$$

где L - геодезическая долгота определяемой точки, ...°;

n - номер шестиградусной зоны в проекции Гаусса-Крюгера, вычисляемый по формуле

$$n = E[(6 + L) / 6], \quad (28)$$

$E[\dots]$ - целая часть выражения, заключенного в квадратные скобки.

5.4.2 Преобразование плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера на эллипсоиде Красовского в геодезические координаты осуществляют по формулам

$$B = B_0 + \Delta B; \quad (29)$$

$$L = 6(n - 0,5) / 57,29577951 + l, \quad (30)$$

где B , L - геодезические широта и долгота определяемой точки, рад;

B_0 - геодезическая широта точки, абцисса которой равна абциссе x определяемой точки, а ордината равна нулю, рад;

n - номер шестиградусной зоны в проекции Гаусса-Крюгера, вычисляемый по формуле

$$n = E[(y \cdot 10^{-6})], \quad (31)$$

$E[\dots]$ - целая часть выражения, заключенного в квадратные скобки;

y - ордината определяемой точки в проекции Гаусса-Крюгера, м.

Значения B_0 , ΔB и l вычисляют по следующим формулам

$$B_0 = \beta + \sin 2\beta(0,00252588685 - 0,00001491860 \sin^2 \beta + 0,00000011904 \sin^4 \beta); \quad (32)$$

(Поправка. ИУС N 4-2016).

$$\begin{aligned} \Delta B = & -z_0^2 \sin 2B_0(0,251684631 - 0,003369263 \sin^2 B_0 + 0,000011276 \sin^4 B_0 - \\ & - z_0^2(0,10500614 - 0,04559916 \sin^2 B_0 + 0,00228901 \sin^4 B_0 - \\ & - 0,00002987 \sin^6 B_0 - z_0^2(0,042858 - 0,025318 \sin^2 B_0 + 0,014346 \sin^4 B_0 - \\ & - 0,001264 \sin^6 B_0 - z_0^2(0,01672 - 0,00630 \sin^2 B_0 + 0,01188 \sin^4 B_0 - \\ & - 0,00328 \sin^6 B_0))))); \end{aligned} \quad (33)$$

(Поправка. ИУС N 4-2016).

$$\begin{aligned}
l = & z_0 (1 - 0,0033467108 \sin^2 B_0 - 0,0000056002 \sin^4 B_0 - 0,0000000187 \sin^6 B_0 - \\
& - z_0^2 (0,16778975 + 0,16273586 \sin^2 B_0 - 0,00052490 \sin^4 B_0 - 0,00000846 \sin^6 B_0 - \\
& - z_0^2 (0,0420025 + 0,1487407 \sin^2 B_0 + 0,0059420 \sin^4 B_0 - 0,0000150 \sin^6 B_0 - \\
& - z_0^2 (0,01225 + 0,09477 \sin^2 B_0 + 0,03282 \sin^4 B_0 - 0,00034 \sin^6 B_0 - \\
& - z_0^2 (0,0038 + 0,0524 \sin^2 B_0 + 0,0482 \sin^4 B_0 + 0,0032 \sin^6 B_0))))),
\end{aligned} \tag{34}$$

где β - вспомогательная величина, вычисляемая по формуле

$$\beta = x/6367558,4968; \tag{35}$$

z_0 - вспомогательная величина, вычисляемая по формуле

$$z_0 = (y - (10m + 5) \cdot 10^5) / (6378245 \cos B_0); \tag{36}$$

x, y - абсцисса и ордината определяемой точки в проекции Гаусса - Крюгера, м.

Погрешность преобразования координат по формулам (25), (26) и (32)-(36) составляет не более 0,001 м.

5.5 Преобразование приращений пространственных прямоугольных координат из системы в систему

Преобразование приращений пространственных прямоугольных координат из системы координат А в систему Б осуществляют по формуле

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_B = (1+m) \begin{pmatrix} 1 & +\omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & +\omega_x \\ +\omega_y & -\omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_A. \tag{37}$$

Обратное преобразование приращений пространственных прямоугольных координат из системы Б в систему А выполняют по формуле

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_A = (1-m) \begin{pmatrix} 1 & -\omega_z & +\omega_y \\ +\omega_z & 1 & -\omega_x \\ -\omega_y & +\omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_B. \tag{38}$$

В формулах (37) и (38) угловые элементы трансформирования $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ выражены в радианах.

5.6 Связь между геодезической и нормальной высотами

Геодезическая и нормальная высоты связаны соотношением:

$$H = H^\gamma + \zeta, \tag{39}$$

где H - геодезическая высота определяемой точки, м;

H^{η} - нормальная высота определяемой точки, м;

ζ - высота квазигеоида над эллипсоидом в определяемой точке, м.

Высоты квазигеоида над отсчетным эллипсоидом систем геодезических параметров ПЗ и WGS вычисляются по моделям ГПЗ, являющимися составной частью систем геодезических параметров.

При перевычислении высот квазигеоида из системы координат А в систему координат Б используют формулу

$$\zeta_B = \zeta_A + \Delta H, \quad (40)$$

где ζ_B - высота квазигеоида над ОЗЭ, м;

ζ_A - высота квазигеоида над эллипсоидом Красовского, м;

ΔH - поправка к геодезической высоте, вычисляемая по формуле (23), м.

Приложение А
(обязательное)

Параметры преобразования между системой координат ПЗ-90.02 и референчными системами координат Российской Федерации

А.1 Преобразование координат из референционной системы координат 1942 года в систему координат ПЗ-90.02

$$\Delta x = +23,93 \text{ м}; \quad \omega_x = 0'';$$

$$\Delta y = -141,03 \text{ м}; \quad \omega_y = -0,35'';$$

$$\Delta z = -79,98 \text{ м}; \quad \omega_z = -0,79'';$$

$$m = -0,22 \cdot 10^{-6};$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} = (1 + (-0,22) \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & -3,8300 \cdot 10^{-6} & +1,6968 \cdot 10^{-6} \\ +3,8300 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ -1,6968 \cdot 10^{-6} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{СК-42}} + \begin{pmatrix} +23,93 \\ -141,03 \\ -79,98 \end{pmatrix}$$

А.2 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02 в референцную систему координат 1942 года

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{СК-42}} = (1 - (-0,22) \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & +3,8300 \cdot 10^{-6} & -1,6968 \cdot 10^{-6} \\ -3,8300 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ +1,6968 \cdot 10^{-6} & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} - \begin{pmatrix} +23,93 \\ -141,03 \\ -79,98 \end{pmatrix}$$

А.3 Преобразование координат из референцной системы координат 1995 года в систему координат ПЗ-90.02

$$\Delta x = +24,83 \text{ м}; \quad \omega_x = 0,00'';$$

$$\Delta y = -130,97 \text{ м}; \quad \omega_y = 0,00'';$$

$$\Delta z = -81,74 \text{ м}; \quad \omega_z = -0,13'';$$

$$m = (-0,22) \cdot 10^{-6};$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} = (1 + (-0,22) \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & -0,6302 \cdot 10^{-6} & 0 \\ +0,6302 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{СК-95}} + \begin{pmatrix} +24,83 \\ -130,97 \\ -81,74 \end{pmatrix}$$

А.4 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02 в референцную систему координат 1995 года

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{СК-95}} = (1 - (-0,22) \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & +0,6302 \cdot 10^{-6} & 0 \\ -0,6302 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} - \begin{pmatrix} +24,83 \\ -130,97 \\ -81,74 \end{pmatrix}$$

Приложение Б
(обязательное)

Параметры преобразования между системой координат ПЗ-90 и референчными системами координат Российской Федерации

Б.1 Преобразование координат из референционной системы координат 1942 года в систему координат ПЗ-90

$$\Delta x = +25 \text{ м}; \quad \omega_x = 0'';$$

$$\Delta y = -141 \text{ м}; \quad \omega_y = -0,35'';$$

$$\Delta z = -80 \text{ м}; \quad \omega_z = -0,66'';$$

$$m = 0;$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} = \begin{bmatrix} 1 & -3,1998 \cdot 10^{-6} & +1,6968 \cdot 10^{-6} \\ +3,1998 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ -1,6968 \cdot 10^{-6} & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{СК-42}} + \begin{bmatrix} +25 \\ -141 \\ -80 \end{bmatrix}.$$

Б.2 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90 в референционную систему координат 1942 года

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{СК-42}} = \begin{bmatrix} 1 & +3,1998 \cdot 10^{-6} & -1,6968 \cdot 10^{-6} \\ -3,1998 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ +1,6968 \cdot 10^{-6} & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} - \begin{bmatrix} +25 \\ -141 \\ -80 \end{bmatrix}.$$

(Поправка. ИУС N 4-2016).

Б.3 Преобразование координат из референционной системы координат 1995 года в систему координат ПЗ-90

$$\Delta x = +25,90 \text{ м};$$

$$\Delta y = -130,94 \text{ м};$$

$$\Delta z = -81,76 \text{ м};$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{СК-95}} + \begin{bmatrix} + 25,90 \\ + - 130,94 \\ - 81,76 \end{bmatrix}.$$

Б.4 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90 в референцную систему координат 1995 года

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{СК-95}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} - \begin{bmatrix} + 25,90 \\ - 130,94 \\ - 81,76 \end{bmatrix}.$$

Приложение В
(обязательное)

Параметры преобразования между системой координат ПЗ-90.02 и системой координат WGS-84

В.1 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02 в систему координат WGS-84

$$\Delta x = -0,36 \text{ м}; \quad \omega_x = 0;$$

$$\Delta y = +0,08 \text{ м}; \quad \omega_y = 0;$$

$$\Delta z = +0,18 \text{ м}; \quad \omega_z = 0;$$

$$m = 0;$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84(G1150)}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} + \begin{bmatrix} - 0,36 \\ + 0,08 \\ + 0,18 \end{bmatrix}.$$

В.2 Преобразование координат из системы координат WGS-84 в систему координат ПЗ-90.02 референцную систему координат 1995 года

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84(G1150)}} - \begin{bmatrix} -0,36 \\ +0,08 \\ +0,18 \end{bmatrix}.$$

Приложение Г
(обязательное)

Параметры преобразования между системой координат ПЗ-90 и системой координат WGS-84
Г.1 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90 в систему координат WGS-84

$$\begin{aligned} \Delta x &= -1,10 \text{ м}; & \omega_x &= 0; \\ \Delta y &= -0,30 \text{ м}; & \omega_y &= 0; \\ \Delta z &= -0,90 \text{ м}; & \omega_z &= -0,20'' \pm 0,01''; \end{aligned}$$

$$m = (-0,12) \cdot 10^{-6};$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = (1 - 0,12 \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -0,9696 \cdot 10^{-6} & 0 \\ +0,9696 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} + \begin{bmatrix} -1,10 \\ -0,30 \\ -0,90 \end{bmatrix}.$$

(Поправка. ИУС N 4-2016).

Г.2 Преобразование координат из системы координат WGS-84 в систему координат ПЗ-90

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} = (1 + 0,12 \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & +0,9696 \cdot 10^{-6} & 0 \\ -0,9696 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} - \begin{bmatrix} -1,10 \\ -0,30 \\ -0,90 \end{bmatrix}.$$

Приложение Д
(обязательное)

Параметры преобразования между системой координат ПЗ-90.02 и системой координат ПЗ-90
Д.1 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02 в систему координат ПЗ-90

$$\Delta x = +1,07 \text{ м}; \quad \omega_x = 0;$$

$$\begin{aligned} \Delta y &= +0,03 \text{ м}; & \omega_y &= 0; \\ \Delta z &= -0,02 \text{ м}; & \omega_z &= +0,13''; \\ m &= (+0,22) \cdot 10^{-6}; \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} = (1 + 0,22 \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & +0,6302 \cdot 10^{-6} & 0 \\ -0,6302 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} + \begin{bmatrix} +1,07 \\ +0,03 \\ -0,02 \end{bmatrix}.$$

Д.2 Преобразование координат из системы координат ПЗ-90 в систему координат ПЗ-90.02

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90.02}} = (1 - 0,22 \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -0,6302 \cdot 10^{-6} & 0 \\ +0,6302 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ПЗ-90}} - \begin{bmatrix} +1,07 \\ +0,03 \\ -0,02 \end{bmatrix}.$$

Библиография

- [1] Постановление Правительства Российской Федерации от 28.07.2000 г. N 568 "Об установлении единых государственных систем координат"
- [2] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.06.2007 г. N 797-р "Об использовании уточненной версии государственной геоцентрической системы координат "Параметры Земли 1990 года" (ПЗ-90.02)"

УДК 629.783:[528.2+528.344+523.34.13]:006.354

МКС 07.040

Ключевые слова: приемная аппаратура глобальной навигационной спутниковой системы, системы координат, определение координат местоположения

М.: Стандартиформ, 2014
Редакция документа с учетом
изменений и дополнений подготовлена
АО "Кодекс"