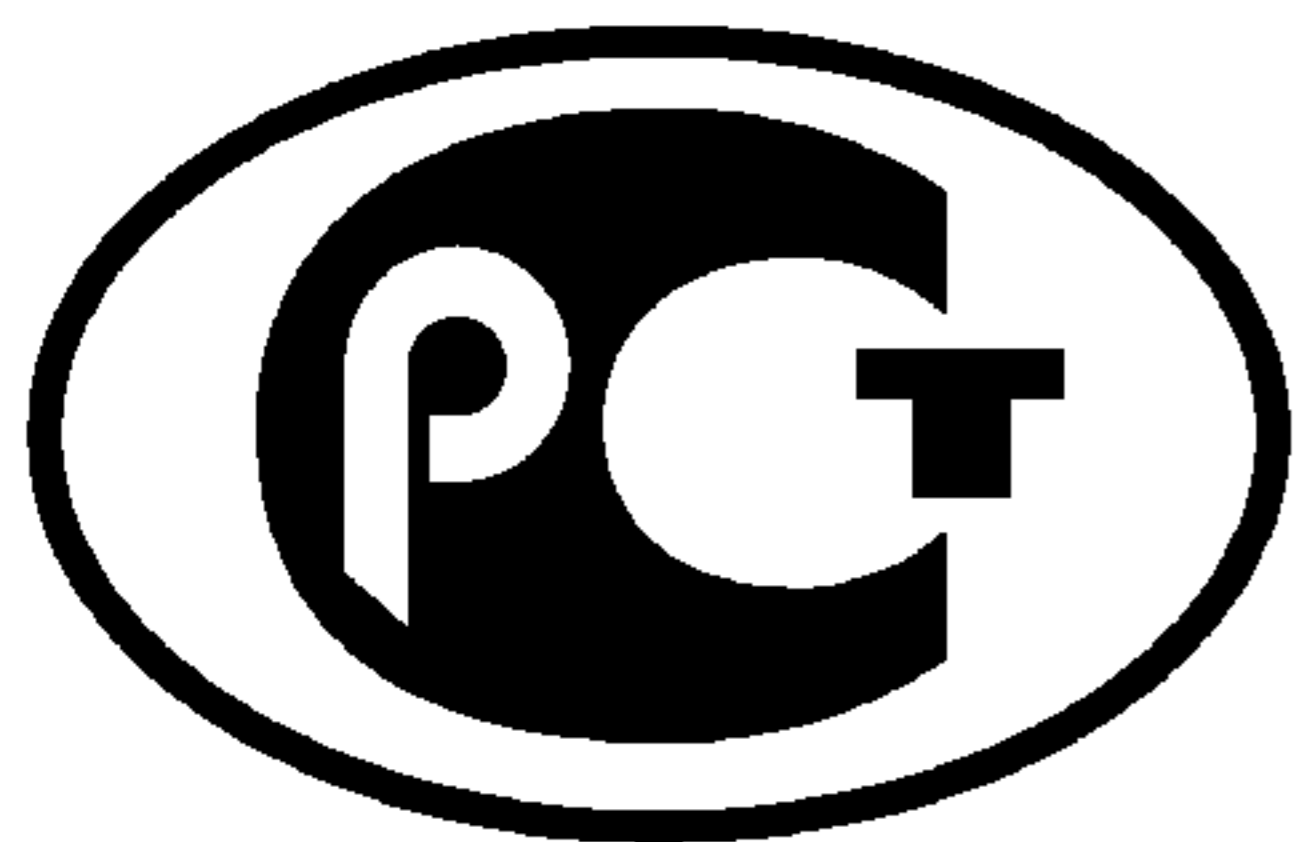

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
51794—
2008

Глобальные навигационные спутниковые системы

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

**Методы преобразований координат
определяемых точек**

Издание официальное

Б3 12—2008/528



Москва
Стандартинформ
2009

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН 29 Научно-исследовательским институтом Министерства обороны Российской Федерации

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 363 «Радионавигация»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. № 609-ст

4 ВЗАМЕН ГОСТ Р 51794—2001

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом 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

© Стандартинформ, 2009

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения	1
2 Термины и определения	1
3 Сокращения и обозначения	2
4 Системы геодезических параметров	3
5 Методы преобразований координат определяемых точек	4
Приложение А (обязательное) Элементы трансформирования между уточненной системой координат Параметров Земли и референцными системами координат Российской Федерации	11
Приложение Б (обязательное) Элементы трансформирования между системой координат Параметров Земли и национальными референцными системами Российской Федерации	12
Приложение В (обязательное) Элементы трансформирования между уточненной системой координат Параметров Земли и системой координат Мировой геодезической системы	13
Приложение Г (обязательное) Элементы трансформирования между системой координат Параметров Земли и системой координат Мировой геодезической системы	14
Приложение Д (обязательное) Элементы трансформирования между уточненной системой координат ПЗ-90.02 и системой координат ПЗ-90	15

Глобальные навигационные спутниковые системы

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Методы преобразований координат определяемых точек

Global navigation satellite system and global positioning system.
Coordinate systems. Methods of transformations for determinated points coordinate

Дата введения — 2009—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на системы координат, входящие в состав систем геодезических параметров «Параметры Земли», «Мировая геодезическая система» и координатной основы Российской Федерации, и устанавливает методы преобразований координат и их приращений из одной системы в другую, а также порядок использования числовых значений элементов трансформирования систем координат при выполнении геодезических, навигационных, картографических работ с использованием 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 **отсчетный эллипсоид**: Эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат.
- 2.3 **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.
- 2.4 **геодезическая широта**: Угол между нормалью к поверхности отсчетного эллипсоида, проходящей через заданную точку, и плоскостью его экватора.
- 2.5 **геодезическая долгота**: Двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана.
- 2.6 **геодезическая высота**: Высота точки над поверхностью отсчетного эллипсоида.
- 2.7 **плоскость геодезического меридиана**: Плоскость, проходящая через нормаль к поверхности отсчетного эллипсоида в данной точке и параллельная его малой оси.
- 2.8 **плоскость астрономического меридиана**: Плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке и параллельная оси вращения Земли.
- 2.9 **плоскость начального меридиана**: Плоскость меридиана, от которого ведется счет долгот.
- 2.10 **геоид**: Эквипотенциальная поверхность, совпадающая с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженная под материками.
- 2.11 **эквипотенциальная поверхность**: Поверхность, на которой потенциал имеет одно и то же значение.
- 2.12 **Глобальная система позиционирования (Global Positioning System)**: Глобальная навигационная спутниковая система, разработанная в США.
- 2.13 **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.

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

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

2.16 **Мировая геодезическая система** (World Geodetic System): Система геодезических параметров, разработанная в США.

2.17 **модель гравитационного поля Земли**: Математическое описание характеристик гравитационного поля Земли.

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

2.19 **нормальное гравитационное поле Земли**: Гравитационное поле Земли, представляемое нормальным потенциалом силы тяжести.

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

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

2.22 **сжатие эллипсоида α** : Параметр, характеризующий форму эллипсоида.

2.23 **система геодезических параметров Земли**: Совокупность числовых 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.

2.24 **фундаментальные геодезические постоянные**: Взаимосогласованные геодезические постоянные, однозначно определяющие фигуру общеземного эллипсоида и нормальное гравитационное поле Земли.

2.25 **элементы трансформирования систем координат**: Параметры, с помощью которых выполняется преобразование координат из одной системы координат в другую.

2.26 **плоские прямоугольные координаты**: Плоские координаты на плоскости, на которой отображена по определенному математическому закону поверхность отсчетного эллипсоида.

3 Сокращения и обозначения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

3.1 ГЛОНАСС — глобальная навигационная спутниковая система, разработанная в Российской Федерации.

3.2 GPS — глобальная навигационная спутниковая система, разработанная в США.

3.3 ГГС — государственная геодезическая сеть.

3.4 ГПЗ — гравитационное поле Земли.

3.5 КНС — космическая навигационная система.

3.6 WGS; Мировая геодезическая система — система геодезических параметров, разработанная в США.

3.7 ОЗЭ — общеземной эллипсоид.

3.8 $OXYZ$, OX , OY , OZ — оси пространственной прямоугольной системы координат.

3.9 ПЗ; Параметры Земли — система геодезических параметров, разработанная в Российской Федерации.

3.10 СК — система координат.

3.11 $a_{ПЗ}$ — большая полуось общеземного эллипсоида в системе ПЗ.

3.12 a_{WGS} — большая полуось общеземного эллипсоида в системе WGS.

3.13 $a_{кр}$ — большая полуось эллипсоида Красовского.

3.14 $\alpha_{ПЗ}$ — сжатие общеземного эллипсоида в системе ПЗ.

3.15 α_{WGS} — сжатие общеземного эллипсоида в системе WGS.

3.16 $\alpha_{кр}$ — сжатие эллипсоида Красовского.

4 Системы геодезических параметров

4.1 Система геодезических параметров «Параметры Земли»

Система ПЗ включает в себя: фундаментальные геодезические постоянные, параметры ОЗЭ, систему координат ПЗ, закрепляемую координатами пунктов космической геодезической сети, характеристики модели ГПЗ и элементы трансформирования между системой ПЗ и национальными референцными системами координат России. Числовые значения элементов трансформирования между системой ПЗ и национальными референцными системами координат России и порядок их использования при преобразовании систем координат приведены в приложениях А, Б.

Примечания

1 Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 года № 568 для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач геоцентрической системе координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90) придан статус государственной системы координат.

2 Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 июня 2007 года № 797-р в целях повышения тактико-технических характеристик глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, улучшения геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач принята к использованию уточненная версия государственной геоцентрической системы координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.02).

3 Числовые значения элементов трансформирования между системами координат ПЗ-90.02 и ПЗ-90 и порядок их использования при преобразовании систем координат приведены в приложении Д.

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.

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»

Система параметров WGS включает в себя: фундаментальные геодезические постоянные, систему координат WGS, закрепляемую координатами пунктов космической геодезической сети, параметры ОЗЭ, характеристики модели ГПЗ, элементы трансформирования между геоцентрической системой координат WGS и различными национальными системами координат.

Числовые значения элементов трансформирования между системой координат ПЗ и системой координат WGS, а также порядок использования элементов трансформирования приведены в приложениях В и Г.

Примечание — С 1 января 1987 года была введена первая версия системы координат WGS-84. Со 2 января 1994 года была введена вторая версия системы координат WGS-84, обозначаемая как WGS-84(G730). С 1 января 1997 года была введена третья версия системы координат WGS-84, обозначаемая как WGS-84(G873). В настоящее время действует четвертая версия системы координат WGS-84, обозначаемая как WGS-84(G1150) и введенная с 20 января 2002 года. 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.

Теоретическое определение системы координат WGS основывается на положениях, приведенных в 4.1.

Положения точек в системе WGS 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 $a_{\text{WGS}} = 6378137$ м и сжатием $\alpha_{\text{WGS}} = 1/298,257223563$.

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.

Примечания

1 В 1946 году была принята единая для всей территории СССР референчная Система координат 1942 года (СК-42). За отсчетную поверхность в СК-42 принят эллипсоид Красовского с большой полуосью $a_{\text{кр}} = 6378245$ м и сжатием $\alpha_{\text{кр}} = 1/298,3$.

2 Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 года № 568 для использования при осуществлении геодезических и картографических работ принята новая референчная система геодезических координат 1995 года (СК-95). За отсчетную поверхность в СК-95 принят эллипсоид Красовского.

5 Методы преобразований координат определяемых точек

5.1 Преобразование геодезических координат в прямоугольные пространственные координаты и обратно

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 a — большая полуось эллипсоида, м;

α — сжатие эллипсоида.

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

Для этого используют следующий алгоритм:

а) вычисляют вспомогательную величину D по формуле

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

б) анализируют значение D :

1) если $D = 0$, то

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

$$L = 0, \\ H = Z \sin B - a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}; \quad (6)$$

2) если $D \neq 0$, при

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

где

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

в) анализируют значение Z :

1) если $Z = 0$, то

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

2) во всех других случаях вычисления выполняют следующим образом:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 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).

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

5.2 Преобразование пространственных прямоугольных координат

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

Элементы трансформирования между системами координат ПЗ и WGS приведены в приложениях В, Г.

Преобразование координат из системы WGS в координаты референцной системы Российской Федерации осуществляют последовательным преобразованием координат сначала в систему ПЗ, а затем — в координаты референцной системы.

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:

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

где $\Delta B, \Delta L$ — поправки к геодезическим широте, долготе, ...";

ΔH — поправка к геодезической высоте, м;

B, L — геодезические широта и долгота, рад;

H — геодезическая высота, м;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ — линейные элементы трансформирования систем координат при переходе из системы А в систему Б, м;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ — 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;

$$\Delta a = a_B - a_A;$$

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

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

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

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), а 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

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

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

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

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

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

L — геодезическая долгота определяемой точки, ...°;

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

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

$E[...]$ — целая часть выражения, заключенного в квадратные скобки.

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

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

$E[...]$ — 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:

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

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

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

где β — вспомогательная величина, вычисляемая по формуле

$$\beta = x/6367558,4968; \quad (35)$$

z_0 — вспомогательная величина, вычисляемая по формуле

$$z_0 = (y - (10n + 5) \cdot 10^5) / (6378245 \cos B_0); \quad (36)$$

x , y — абцисса 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

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

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

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

В формулах (37) и (38) угловые элементы трансформирования ω_x , ω_y , ω_z выражены в радианах.

5.6 Связь между геодезической и нормальной высотами

Геодезическая и нормальная высоты связаны соотношением:

$$H = H^y + \zeta, \quad (39)$$

где H — геодезическая высота определяемой точки, м;

H^y — 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 вычисляют по моделям ГПЗ, являющимся составной частью систем геодезических параметров.

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

$$\zeta_{\text{Б}} = \zeta_{\text{А}} + \Delta H, \quad (40)$$

где $\zeta_{\text{Б}}$ — высота квазигеоида над ОЗЭ, м;

$\zeta_{\text{А}}$ — высота квазигеоида над эллипсоидом Красовского, м;

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

**Приложение А
(обязательное)**

**Элементы трансформирования между уточненной системой координат Параметров Земли
и референчными системами координат Российской Федерации**

Преобразование координат из референционной
Системы координат 1942 года в систему ПЗ-90.02

$$\begin{aligned} \Delta x &= +23,93 \text{ м}; \omega_x = 0''; \\ \Delta y &= -141,03 \text{ м}; \omega_y = -0,35''; \\ \Delta z &= -79,98 \text{ м}; \omega_z = -0,79''; \\ m &= -0,22 \cdot 10^{-6}; \end{aligned}$$

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

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02
в референционную Систему координат 1942 года

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

Преобразование координат из референционной
Системы координат 1995 года в систему ПЗ-90.02

$$\begin{aligned} \Delta x &= +24,83 \text{ м}; \omega_x = 0,00''; \\ \Delta y &= -130,97 \text{ м}; \omega_y = 0,00''; \\ \Delta z &= -81,74 \text{ м}; \omega_z = -0,13''; \\ m &= (-0,22) \cdot 10^{-6}; \end{aligned}$$

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

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02
в референционную Систему координат 1995 года

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

**Приложение Б
(обязательное)**

**Элементы трансформирования между системой координат Параметров Земли
и референцными системами координат Российской Федерации**

Преобразование координат из референцной
Системы координат 1942 года в систему ПЗ-90

$$\begin{aligned}\Delta x &= +25 \text{ м}; \omega_x = 0''; \\ \Delta y &= -141 \text{ м}; \omega_y = -0,35''; \\ \Delta z &= -80 \text{ м}; \omega_z = -0,66''; \\ m &= 0;\end{aligned}$$

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

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90
в референцную Систему координат 1942 года

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

Преобразование координат из референцной
Системы координат 1995 года в систему ПЗ-90

$$\begin{aligned}\Delta x &= +25,90 \text{ м}; \\ \Delta y &= -130,94 \text{ м}; \\ \Delta z &= -81,76 \text{ м};\end{aligned}$$

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

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)**

**Элементы трансформирования между уточненной системой координат Параметров Земли
и системой координат Мировой геодезической системы**

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02
в систему WGS-84

$$\begin{aligned}\Delta x &= -0,36 \text{ м}; \omega_x = 0; \\ \Delta y &= +0,08 \text{ м}; \omega_y = 0; \\ \Delta z &= +0,18 \text{ м}; \omega_z = 0; \\ m &= 0;\end{aligned}$$

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

Преобразование координат из системы координат WGS-84
в систему ПЗ-90.02

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

**Приложение Г
(обязательное)**

**Элементы трансформирования между системой координат Параметров Земли
и системой координат Мировой геодезической системы**

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90
в систему WGS-84

$$\begin{aligned} \Delta x &= -1,10 \text{ м}; \omega_x = 0; \\ \Delta y &= -0,30 \text{ м}; \omega_y = 0; \\ \Delta z &= -0,90 \text{ м}; \omega_z = -0,20'' \pm 0,01''; \\ m &= (-0,12) \cdot 10^{-6}; \end{aligned}$$

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

Преобразование координат из системы координат WGS-84
в систему ПЗ-90

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

**Приложение Д
(обязательное)**

**Элементы трансформирования между уточненной системой координат ПЗ-90.02
и системой координат ПЗ-90**

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90.02
в систему ПЗ-90

$$\begin{aligned}\Delta x &= +1,07 \text{ м}; \omega_x = 0; \\ \Delta y &= +0,03 \text{ м}; \omega_y = 0; \\ \Delta z &= -0,02 \text{ м}; \omega_z = +0,13''; \\ m &= (+0,22) \cdot 10^{-6};\end{aligned}$$

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

Преобразование координат из системы координат ПЗ-90
в систему ПЗ-90.02

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

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

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 18.05.2009. Подписано в печать 22.07.2009. Формат 60x84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,60. Тираж 131 экз. Зак. 425.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6