

---

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РОСКАРТОГРАФИЯ»**

---



**СТАНДАРТ  
ОРГАНИЗАЦИИ**

**СТО Роскартография  
3.5-2020**

---

**Геодезическая, топографическая  
и картографическая продукция  
МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ И  
ВЫСОТ ПРИ СПУТНИКОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЯХ**

Москва 2020

## Предисловие

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 1 РАЗРАБОТАН                    | АО «Роскартография»  |
| 2 ВНЕСЕН                        | Центром научно-технологического развития АО «Роскартография» |
| 3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ | Приказом АО «Роскартография» от 25 ноября 2020 г. № 220-п    |
| 4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ                |  |

*Применение настоящего стандарта осуществляется с учетом применимых принципов, предусмотренных статьей 4 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано на официальном сайте АО «Роскартография» в сети Интернет (<http://roscartography.ru/>)*

© АО «Роскартография», 2020

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Акционерного общества «Роскартография»

## Содержание

1 Область применения .....	4
2 Нормативные ссылки.....	4
3 Термины, определения, сокращения и обозначения.....	4
4 Общие положения .....	8
5 Преобразование координат .....	9
6 Преобразование высот.....	15
Приложение А (справочное) Формулы 7-ми параметрического трансформирования пространственных прямоугольных координат.....	19
Приложение Б (справочное) Параметры элементов трансформирования между пространственными прямоугольными системами координат .....	21
Приложение В (справочное) Формулы связи прямоугольных пространственных координат и геодезических координат .....	22
Приложение Г (справочное) Параметры земных эллипсоидов.....	25
Приложение Д (справочное) Формулы преобразования геодезических координат в плоские прямоугольные координаты .....	26
Приложение Е (справочное) Формулы аффинных преобразований плоских прямоугольных координат.....	28
Приложение Ж (справочное) Пример преобразования координат .....	29
Библиография.....	30

## СТАНДАРТ АО «РОСКАРТОГРАФИЯ»

---

### Геодезическая, топографическая и картографическая продукция МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ И ВЫСОТ ПРИ СПУТНИКОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЯХ

---

Дата введения – 20.12.2020

#### 1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на методы преобразования координат и высот при выполнении геодезических и топографических работ по определению координат объектов с использованием данных глобальных спутниковых навигационных систем.

1.2 Положения настоящего стандарта обязательны для применения структурными подразделениями АО «Роскартография».

1.3 Положения настоящего стандарта могут применяться иными организациями, выполняющими геодезические и топографические работы при исполнении обязательств в соответствии с договорами, заключенными с АО «Роскартография».

#### 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 22268-76 Геодезия. Термины и определения

ГОСТ 21667-76 Картография. Термины и определения

ГОСТ 32453-2017 Глобальная навигационная спутниковая система.

Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек

ГОСТ Р 52438-2005 Географические информационные системы. Термины и определения

ГОСТ Р 52572-2006 Географические информационные системы. Координатная основа. Общие требования

#### 3 Термины, определения, сокращения и обозначения

3.1 В настоящем стандарте применены термины, которые установлены и определены в статье 3 Федерального закона № 431-ФЗ [1], иные, не противоречащие Федеральному закону [1] термины с соответствующими определениями по ГОСТ 22268, ГОСТ 21667, ГОСТ 32453, ГОСТ Р 52572, а также, в целях настоящего стандарта, следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **высота геоида**: высота поверхности геоида над поверхностью отсчетного земного эллипсоида по нормали к нему в данной точке (по ГОСТ 22268).

3.1.2 **высота квазигеоида**: разность между геодезической высотой и нормальной высотой (по ГОСТ Р 52572).

3.1.3 **геодезическая высота**: высота точки над поверхностью земного эллипсоида, отсчитываемая по нормали.

3.1.4 **геодезические координаты**: величины, два из которых (геодезическая широта  $B$  и геодезическая долгота  $L$ ) характеризуют направление нормали к поверхности отсчетного эллипсоида в данной точке пространства относительно

плоскостей его экватора и начального меридиана, а третий (геодезическая высота  $H$ ) представляет собой высоту точки над поверхностью отсчетного эллипсоида.

**3.1.5 геоид:** фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками (по ГОСТ 22268-76).

**П р и м е ч а н и е** - Поверхность геоида является эквипотенциальной поверхностью земного гравитационного поля, которая везде перпендикулярна к направлению отвесной линии.

**3.1.6 геоцентрические координаты:** величины, определяющие положение точки в декартовой системе координат, у которой оси  $X$  и  $Y$  лежат в экваториальной плоскости, ось  $Z$  направлена к начальному меридиану, ось  $Z$  направлена на север, орты образуют правую тройку векторов, а начало совпадает с центром масс Земли (по ГОСТ 22268-76).

**3.1.7 земная система координат:** пространственная система координат, жёстко связанная с Земной поверхностью и предназначенная для количественного описания положения объектов, находящихся на поверхности Земли и в околоземном пространстве.

**3.1.8 земной эллипсоид:** поверхность, полученная при вращении эллипса вокруг собственной оси (эллипсоид вращения), параметры которого (размеры большой, малой полуосей и сжатие) определяются измерениями формы и размеров Земли (по ГОСТ 22268).

**3.1.9 исходные геодезические даты (данные):** параметры, обеспечивающие связь координатной системы с Землей, включающие положение начала, масштаб и ориентирование осей системы координат по отношению к Земле. (по ГОСТ Р 52572).

**3.1.10 картографическая проекция:** математически определенный способ отображения поверхности шара или эллипсоида на плоскость, используемый для создания картографического произведения (по ГОСТ 21667-76).

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

**3.1.12 локальные параметры преобразования координат:** набор постоянных величин, входящих в уравнения математической связи между двумя системами координат, используемых для преобразования (трансформирования, перевычисления) координат на ограниченной территории.

**3.1.13 модель геоида:** математическое представление высот геоида над поверхностью земного эллипсоида на основе гравиметрической информации, используемое для перехода от геодезических высот к ортометрическим высотам.

**3.1.14 нормальная высота:** высота точки над поверхностью квазигеоида, отсчитывается по нормали.

**П р и м е ч а н и е** - Нормальной высотой является величина, численно равная отношению геопотенциальной величины в данной точке к среднему значению нормальной силы тяжести Земли по отрезку, отложенному от поверхности земного эллипсоида (по ГОСТ 22268-76).

**3.1.15 ортометрическая высота:** высота точки над поверхностью геоида, отсчитываемая по отвесной линии.

**3.1.16 перевычисление координат:** операция с координатами пространственных объектов, основанная на математически строго определенной связи, при переходе одного типа координат к другому, используя одни и те же исходные геодезические даты (по ГОСТ Р 52438).

**3.1.17 преобразование координат:** операция с координатами пространственных объектов с использованием их математической связи при

переходе от одной системы координат к другой, включающая в себя трансформирование и перевычисление координат.

**3.1.18 пространственный объект:** природный объект, искусственный и иной объект, местоположение которого может быть определено.

**Примечание** - Положение пространственного объекта описывается координатами одной или нескольких точек.

**3.1.19 параметры преобразования координат:** набор постоянных величин, входящих в уравнения математической связи между двумя системами координат, используемых для преобразования (трансформирования, перевычисления) координат.

**3.1.20 параметры картографической проекции:** постоянные величины, входящие в уравнения картографической проекции (по ГОСТ 21667-76).

**3.1.21 прямоугольные пространственные координаты:** система трехмерных линейных прямоугольных координат по координатным осям X, Y, Z координат, у которой оси X и Y лежат в экваториальной плоскости, ось X направлена к начальному меридиану, ось Z направлена на север, орты образуют правую тройку векторов, а начало координат совпадает с центром земного эллипсоида.

**3.1.22 плоские прямоугольные геодезические координаты:** прямоугольные координаты по координатным осям x, y на плоскости, на которой отображена поверхность земного эллипсоида в заданной картографической проекции (по ГОСТ 22268).

**3.1.23 референц-эллипсоид:** земной эллипсоид с определёнными размерами и положением в теле Земли, служащий вспомогательной математической поверхностью, к которой приводят результаты геодезических измерений на земной поверхности в референцной системе координат (по ГОСТ 22268).

**3.1.24 спутниковые определения:** определения пространственных координат точек или приращений координат между точками, включающие процессы наблюдения (измерения) и обработки измерительной информации, поступающей с навигационных спутников.

**3.1.25 трансформирование координат:** операция с координатами пространственных объектов при переходе от одной системы координат к другой системе координат, основанной на других исходных геодезических данных (по ГОСТ Р 52438).

**3.1.26 точка:** нульмерный пространственный объект, положение которого описывается координатами.

**3.1.27 уравнения картографической проекции:** система уравнений, определяющая связь между координатами точек на карте и соответствующих точек на поверхности эллипсоида или шара (по ГОСТ 21667-76).

3.2 В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

Балтийская система высот 1977 года	– государственная система высот на территории Российской Федерации, установленная постановлением Правительства РФ от 24 ноября 2016 года №1240 для использования при осуществлении геодезических и картографических работ;
ВГС	– высокоточная геодезическую сеть;
ГГС	– государственная геодезическая сеть;
ГЛОНАСС	– глобальная навигационная спутниковая система Российской Федерации;
ГНС	– государственная нивелирная сеть;

ГНСС	– глобальная навигационная спутниковая система;
ГСК-2011	– геодезическая система координат 2011 года – государственная система координат, установленная постановлением Правительства РФ от 24 ноября 2016 года №1240 для использования при осуществлении геодезических и картографических работ;
МСК	– местная система координат субъекта Российской Федерации, установленная для целей обеспечения проведения геодезических и картографических работ при осуществлении градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства, недропользования и иной деятельности.
ПЗ-90.11	– общеземная геоцентрическая система координат "Параметры Земли 1990 года" (эпоха 2010 года) - государственная система координат, установленная постановлением Правительства РФ от 24 ноября 2016 года №1240 для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов, решения навигационных задач и выполнения геодезических и картографических работ в интересах обороны;
СГС-1	– спутниковая геодезическая сеть 1 класса;
СК-42	– система координат 1942 года, введенная постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года №760 в качестве единой государственной системы координат при выполнении геодезических и картографических работ.
СК-63	– система координат 1963 года, предназначенная для создания топографических и специальных карт гражданского применения, а также для решения народнохозяйственных задач на территории Советского Союза. Отменена Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 25 марта 1987.
СК-95	– система координат 1995 года, установленная постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 года №568 в качестве единой государственной системы координат при выполнении геодезических и картографических работ.
СПО	– специальное программное обеспечение;
ФАГС	– фундаментальная астрономо-геодезическая сеть;
GPS	– Global Positioning System (рус. Система глобального позиционирования – глобальная навигационная спутниковая система США);
UTM	– Universal Transverse Mercator (рус. Универсальная поперечная проекция Меркатора – поперечная картографическая проекция Меркатора на основе эллипсоида WGS-84);
WGS-84	– World Geodetic System (рус. Всемирная геодезическая система – система геодезических параметров Земли 1984 года, используемая в GPS, в число которых входит система геоцентрических координат).

#### 4 Общие положения

4.1 Геодезические и топографические работы выполняют по утвержденным технологиям в соответствии с требованиями, установленными действующими нормативными правовыми актами, общеобязательными нормативно-техническими документами, договорами, а также стандартами и техническими (технологическими) документами соответствующей области обязательного применения на предприятии (далее – установленные требования).

4.2 При выполнении геодезических и топографических работ определения координат пространственных объектов выполняют с использованием государственных, местных, локальных и международных систем координат, государственной системы высот в соответствии с пунктом 1 статьи 7 Федерального закона № 431-ФЗ [1].

4.3 При выполнении геодезических и топографических работ применяются следующие виды представления координат и высот:

- прямоугольные пространственные координаты (X, Y, Z);
- геодезические (эллипсоидальные) координаты (B, L, H);
- плоские прямоугольные координаты (x, y) в равноугольной (конформной) картографической проекции;
- геодезические высоты;
- ортометрические высоты;
- нормальные высоты.

**П р и м е ч а н и е** - на территории Российской Федерации применяется Балтийская система высот 1977 года, которая является реализацией системы нормальных высот. Отсчет высот в Балтийской системе высот 1977 года ведется от нуля Кронштадтского футштока, укрепленного в устье моста через обводной канал в г. Кронштадте.

4.4 Спутниковые определения с использованием ГНСС выполняют в пространственной геоцентрической земной системе координат, практическими реализациями которой являются WGS-84, ПЗ-90.11 и ГСК-2011.

4.5 Для представления координат точек пространственных объектов в системах координат, отличающихся от пространственной геоцентрической земной системы координат, необходимо выполнить преобразования координат.

4.6 Преобразования координат из одного типа координат в требуемый (конечный) тип координат осуществляется по математическим формулам, выражающим математическую связь этих типов координат. Преобразования высот из исходной системы высот в требуемую (конечную) систему высот осуществляется по математическим формулам, выражающим математическую связь этих систем.

4.7 Преобразования координат и высот при выполнении спутниковых определений осуществляют с помощью СПО, в котором реализованы формулы трансформирования и перевычисления координат между различными системами координат, вычисления параметров преобразования координат, а также преобразования высот между различными системами высот.

4.8 При преобразовании координат необходимо учитывать, что погрешности преобразованных координат точек включают погрешности координат точек в исходной системе координат и погрешности параметров преобразования координат. При преобразовании высот необходимо учитывать, что погрешности преобразованных высот точек включают погрешности высот точек в исходной системе высот и погрешности параметров преобразования высот.

4.9 Перед использованием СПО для преобразования координат, необходимо выполнить проверку (тест) функций СПО по преобразованию координат и высот, а также точности преобразований координат и высот на соответствие установленным требованиям (пункт 4.1).



## **5 Преобразование координат**

### **5.1 Трансформирование координат между прямоугольными пространственными системами координат**

5.1.1 Трансформирование координат  $X, Y, Z$  между прямоугольными пространственными системами координат осуществляют с использованием формул 7-ми параметрического линейного трансформирования, общий вид которых приведен в приложении А.

5.1.2 Трансформирование координат  $X, Y, Z$  между прямоугольными пространственными системами координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011, СК-42 и СК-95 выполняют по упрощенным формулам 7-ми параметрического линейного трансформирования в соответствии с пунктом 5.2 ГОСТ 32453.

**П р и м е ч а н и е** - Формулы, приведенные в ГОСТ 32453, следует применять при трансформировании прямоугольных пространственных координат только при значениях угловых параметров трансформирования не более 3 угловых секунд (по модулю), значении масштабного коэффициента не более 10-5 (по модулю) и линейных параметрах элементов трансформирования меньше 600 м (по модулю) [6].

5.1.3 Исходными данными для 7-ми параметрического трансформирования координат являются прямоугольные пространственные координаты в исходной системе координат и параметры трансформирования;

- три линейных параметра элементов трансформирования (составляющие сдвига начала конечной системы координат относительно начала исходной);
- три угловые параметра элементов трансформирования (углов вращения осей координат конечной системы координат относительно начала исходной);
- масштабный параметр трансформирования (масштабный коэффициент).

Значения параметров трансформирования между пространственными прямоугольными системами координат приведены в приложении Б.

### **5.2 Перевычисление прямоугольных пространственных координат в геодезические координаты и обратно**

5.2.1 Перевычисление прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$  в геодезические координаты  $B, L, H$  и обратно осуществляют с использованием формул связи прямоугольных пространственных координат и геодезических (эллипсоидальных) координат, приведенных в приложении В.

5.2.2 Перевычисление прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$  в геодезические координаты  $B, L, H$  и обратно в системах координат WGS-84, ПЗ-90.11, ГСК-2011, СК-42 и СК-95 выполняют в соответствии с пунктом 5.1 ГОСТ 32453.

5.2.3 Исходными данными для перевычисления прямоугольных пространственных координат в геодезические координаты и обратно являются координаты в исходной системе координат и параметры земного эллипсоида, используемого для представления геодезических координат:

- большая полуось эллипсоида;
- сжатие эллипсоида.

Значения параметров земных эллипсоидов приведены в приложении Г.

### **5.3 Перевычисление геодезических координат в плоские прямоугольные координаты**

5.3.1 Перевычисления геодезических координат  $B, L$  в плоские прямоугольные координаты  $x, y$  осуществляют с использованием формул и параметров соответствующей картографической проекции.

5.3.2 Перевычисления геодезических координат  $B, L$  в плоские прямоугольные координаты  $x, y$  в системах координат СК-42, СК-95, МСК и

ГСК-2011 осуществляют с использованием формул и параметров картографической проекции Гаусса-Крюгера (приложение Д).

5.3.3 Перевычисления геодезических координат  $B, L$  в плоские прямоугольные координаты  $x, y$  в системе координат WGS-84 осуществляют, как правило, с использованием формул и параметров картографической проекции UTM.

5.3.4 Исходными данными для перевычисления геодезических координат в плоские прямоугольные координаты являются координаты точек  $B, L$ , параметры эллипсоида, на котором заданы геодезические координаты, и параметры картографической проекции, для соответствующей меридианной зоны:

- долгота осевого меридиана меридианной зоны;
- масштабный коэффициент вдоль осевого меридиана;
- смещение начала плоской системы координат по оси  $x$ ;
- смещение начала плоской системы координат по оси  $y$ .

5.3.5 Перевычисления геодезических координат  $B, L$ , заданных на референц-эллипсоиде Красовского, в плоские прямоугольные координаты  $x, y$  в проекции Гаусса-Крюгера и обратно осуществляют по приближенным формулам в соответствии с пунктом 5.4 ГОСТ 32453. Данный вид преобразования следует применять для преобразования геодезических координат в плоские прямоугольные координаты в системах координат СК-42, СК-95 и МСК с референц-эллипсоидом Красовского.

#### **5.4 Трансформирование координат между прямоугольными плоскими системами координат**

5.4.1 Трансформирование координат  $x, y$  между прямоугольными плоскими системами координат осуществляют с использованием формул аффинного преобразования, общий вид которых приведен в приложении Е.

5.4.2 Формулы аффинного преобразования (сдвиг, поворот и масштабирование) используют для трансформирования плоских прямоугольных координат из СК-95, СК-42, СК-63, МСК в локальные (условные) системы координат.

5.4.3 Исходными данными для аффинного преобразования (сдвиг, поворот и масштабирование) координат являются координаты точек  $x, y$  в исходной системе координат и параметры перехода:

- два линейных параметра сдвига вдоль осей  $x$  и  $y$ ;
- угол разворота осей координат;
- масштабный множитель.

**П р и м е ч а н и е** - аффинное преобразование применяется для плоских прямоугольных местных систем координат, установленных на территориях площадью до нескольких тысяч квадратных километров. При создании таких систем координат параметры аффинного преобразования обычно задают от базовой системы координат (например, СК-42, СК-63).

#### **5.5 Преобразование координат из ГСК-2011 в МСК**

5.5.1 Преобразование координат из ГСК-2011 в МСК выполняют в пределах границы кадастрового округа Российской Федерации, которая, как правило, совпадает с границей территорий субъекта Российской Федерации.

5.5.2 Преобразование координат из ГСК-2011 в МСК при выполнении спутниковых определений выполняют путем последовательного (пошагового) преобразования, включающего трансформирование и перевычисления координат, в следующем порядке:

1) трансформирование прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$ , заданных в ГСК-2011, в прямоугольные пространственные координаты  $X, Y, Z$  в СК-42;

2) перевычисление прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$  в

СК-42 в геодезические координаты  $B, L$ ;

3) перевычисление геодезических координат  $B, L$  в СК-42 в плоские прямоугольные координаты  $x, y$  в МСК в картографической проекции Гаусса-Крюгера для соответствующей меридианной зоны.

**Примечание** - В случае если МСК на территории субъекта Российской Федерации была создана на основе СК-95, то при последовательном преобразовании координат из ГСК-2011 в МСК вместо СК-42 используется СК-95.

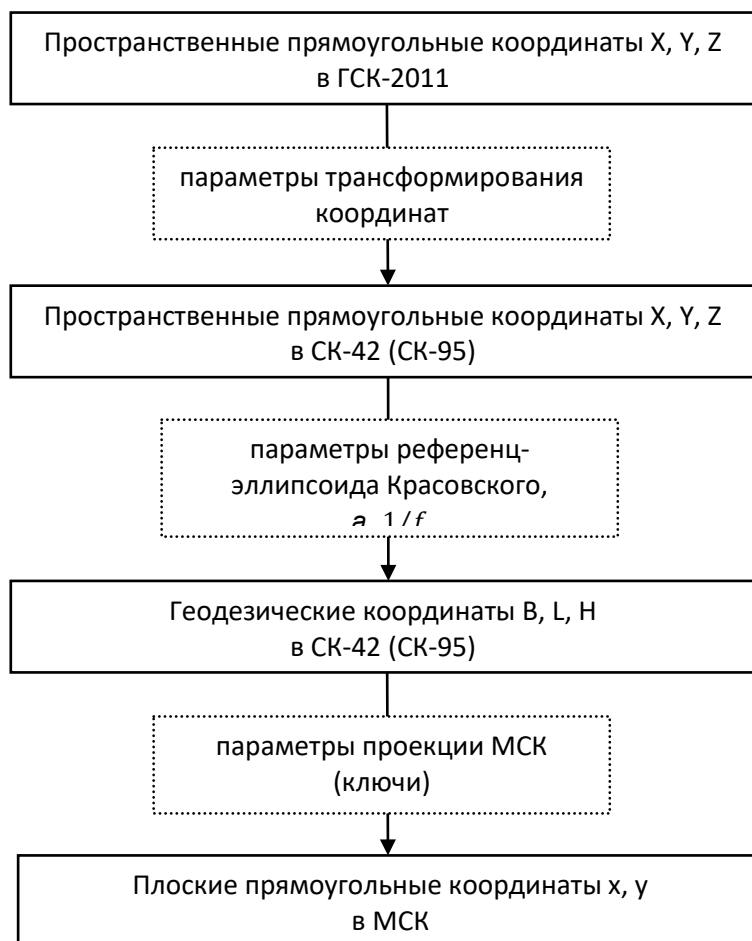


Рисунок 1 – Порядок преобразования координат из ГСК-2011 в МСК при спутниковых определениях.

5.5.3 Трансформирование прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$  из ГСК-2011 в СК-42 (СК-95) выполняют в соответствии с требованиями подраздела 5.1.

5.5.4 Перевычисление прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$  в СК-42 (СК-95) в геодезические пространственные координаты  $B, L$  выполняют в соответствии с требованиями подраздела 5.2. При этом следует применять параметры референц-эллипсоида Красовского.

5.5.5 Перевычисление геодезических координат  $B, L$  в плоские прямоугольные координаты  $x, y$  в МСК выполняют в соответствии с требованиями подраздела 5.3. При этом в качестве параметров проекции Гаусса-Крюгера для меридианной картографической зоны следует применять параметры перехода (ключи) МСК, установленные для кадастрового округа в соответствии с Приказом Федерального агентства кадастра объектов недвижимости от 18 июня 2007 года № П/0137 [7].



Рисунок 2 – Порядок преобразования координат из ГСК-2011 в МСК при спутниковых определениях с использованием математической модели нерегулярных локальных деформаций СК-42 (СК-95).

5.5.6 Точность преобразованных координат в МСК зависит от погрешности координат точек в ГСК-2011 и погрешности используемых параметров преобразования (пункт 4.8).

**П р и м е ч а н и е** - Приведенный порядок преобразования координат (пункт 5.5.2) не учитывает погрешности трансформирования из ГСК-2011 в СК-42 (СК-95) из-за нерегулярных локальных деформаций СК-42 (СК-95) [6]. Для преобразования координат в МСК может применяться метод пошагового преобразования с использованием математической модели нерегулярных локальных деформаций (матрицы деформаций) СК-42 (СК-95), учитывающей разности координат пунктов ГГС из каталогов и полученных в результате спутниковых определений.

5.5.7 Погрешность преобразования координат из ГСК-2011 в МСК определяют по координатам геодезических пунктов, с известными координатами в ГСК-2011 и МСК. Погрешность преобразования координат определяется как средняя величина остаточных невязок координат известных геодезических пунктов в МСК, полученных после их преобразования из ГСК-2011.

**Примечание** - Для определения погрешности параметров преобразования координат между ГСК-2011 и МСК используют пункты ГГС, координаты которых в МСК известны, а в ГСК-2011 определены с помощью спутниковых методов определений относительно ближайших пунктов СГС-1, ВГС, ФАГС.

5.5.8 Вычисление средней величины остаточных невязок координат при преобразовании координат выполняют в следующем порядке:

1) координаты геодезических пунктов, полученных в результате спутниковых определений, преобразуют из ГСК-2011 в МСК с применением пошагового преобразования координат (пункт 5.5.2);

2) вычисляют разницу значений координат (остаточные невязки) между вычисленным и известными координатами геодезических пунктов в МСК;

3) по значениям остаточных невязок координат вычисляют среднюю величину остаточных невязок координат по формуле:

$$m_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(dx_i)^2 + (dy_i)^2}}{n}$$

где:

$m_{xy}$  – средняя величина значений невязок координат в плане;

$dx_i$  – значение остаточной невязки координат  $i$ -го геодезического пункта по оси  $x$ ;

$dy_i$  – значение остаточной невязки координат  $i$ -го геодезического пункта по оси  $y$ ;

$n$  – число геодезических пунктов.

5.5.9 Вычисленные погрешности параметров преобразования координат применимы только на территории, в границах которой находятся геодезические пункты, используемые для определения погрешности.

5.5.10 Преобразование координат из WGS-84 или ПЗ-90.11 в МСК при выполнении спутниковых определений выполняют с помощью пошагового преобразования в аналогичном порядке, приведенном в пункте 5.5.2. При этом используют параметры трансформирования для WGS-84 или ПЗ-90.11 (приложение А).

## 5.6 Вычисление параметров преобразования координат из ГСК-2011 в МСК

5.6.1 Если погрешность преобразования координат при переходе из ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) в МСК превышает требуемую точность (пункт 4.1), то параметры преобразования координат необходимо уточнить (вычислить).

5.6.2 Уточнение (вычисление) параметров преобразования координат из ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) в МСК выполняют на территорию выполнения геодезических и топографических работ, находящуюся в границах распространения МСК.

5.6.3 Уточнение (вычисление) параметров преобразования координат выполняют путем решения обратной задачи с использованием формул связи

исходной и конечной систем координат, а также известных координат геодезических пунктов, общих для этих систем координат.

5.6.4 Для уточнения (вычисления) параметров преобразования координат между ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и МСК используют геодезические пункты с известными координатами в ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и МСК.

**Примечание** - Для уточнения (вычисления) параметров преобразования координат между ГСК-2011 и МСК используют пункты ГГС, координаты которых в МСК известны, а в ГСК-2011 определены с помощью спутниковых методов определений относительно ближайших пунктов СГС-1, ВГС, ФАГС.

5.6.5 Количество геодезических пунктов, используемых для уточнения (вычисления) параметров преобразования, должно быть больше пяти.

5.6.6 Геодезические пункты, используемые для уточнения (вычисления) параметров преобразования, должны быть равномерно расположены на краях и внутри территории выполнения работ, для которой уточняют (вычисляют) параметры преобразования координат.

5.6.7 Уточнение (вычисление) параметров преобразования координат между ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и МСК выполняют одним из двух способов:

1) вычисление параметров элементов трансформирования между ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и СК-42 (СК-95), с предварительно заданными известными параметрами перехода (ключами) МСК;

2) вычисление параметров перехода (ключей) МСК с предварительно заданными параметрами элементов трансформирования между ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и СК-42 (СК-95).

В результате вычислений одним из вышеперечисленных способов получают набор параметров для пошагового преобразования координат между ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и МСК, включающий параметры трансформирования координат (пункт 5.1.3) из ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) в СК-42 (СК-95) и параметры перехода (ключи) в МСК. Полученный набор параметров преобразования применяют только для территории, в границах которой находились геодезические пункты, использованные для вычислений.

5.6.8 После уточнения (вычисления) параметров преобразования координат между ГСК-2011 (WGS-84, ПЗ-90.11) и МСК определяют погрешность преобразования координат (пункт 5.5.8).

5.6.9 Если после уточнения (вычисления) параметров преобразования погрешность преобразования координат не соответствует установленным требованиям (пункт 4.1), то выполняют вычисление параметров преобразования координат отдельно для ограниченных территорий, находящихся в границах территории выполнения работ (далее – локальные параметры координат).

5.6.10 Вычисление локальных параметров преобразования координат на ограниченную территорию выполняют в соответствии с пунктом 5.6.7 при соблюдении требований пунктов 5.6.5 и 5.6.6.

5.6.11 Количество геодезических пунктов, используемых для вычисления локальных параметров преобразования координат и размер ограниченной территории определяют исходя из погрешности преобразования координат с помощью вычисленных локальных параметров преобразования и установленных требований (пункт 4.1) к преобразованию координат на территории выполнения работ. При этом количество геодезических пунктов, используемых для вычисления локальных параметров преобразования координат, должно быть не менее пяти.

5.6.12 Смежные территории для вычисления локальных параметров преобразования должны пересекаться и иметь общие, используемые в уточнении, геодезические пункты. Эти территории выбирают на основании данных о невязках,

полученных при выполнении уточнения на всю территорию работ (выбирают территории, где невязки имеют близкие значения)

5.6.13 Погрешность преобразования координат с помощью локальных параметров преобразования определяют в соответствии с пунктом 5.5.8.

5.6.14 Вычисленные локальные параметры преобразования координат применяют только в границах территории, на которую они были вычислены.

## **6 Преобразование высот**

### **6.1 Преобразование геодезических высот в ортометрические высоты**

6.1.1 Геодезические высоты точек при спутниковых определениях получают путем перевычисления прямоугольных пространственных координат  $X, Y, Z$  в геодезические координаты  $B, L, H$  (подраздел 5.2).

6.1.2 Геодезические высоты, полученные при спутниковых определениях, преобразуют в ортометрические высоты по формуле:

$$H^g = H - \zeta^g$$

где:

$H^g$  – ортометрическая высота;

$H$  – геодезическая высота;

$\zeta^g$  – высота геоида над земным эллипсоидом.

**П р и м е ч а н и е** - Для определения высоты геоида в заданной точке используют модель геоида, например EGM2008. При преобразовании геодезических в ортометрические или нормальные высоты исходная и использованная для создания модели геоида системы координат должны совпадать (при использовании модели геоида EGM2008 геодезические высоты должны быть в системе координат WGS-84).

### **6.2 Преобразование геодезических высот в нормальные высоты**

6.2.1 Геодезические высоты при спутниковых определениях преобразуют в нормальные высоты по формуле:

$$H^y = H - \zeta^y$$

где:

$H^y$  – нормальная высота;

$H$  – геодезическая высота;

$\zeta^y$  – высота квазигеоида над земным эллипсоидом.

**П р и м е ч а н и е** - Высота квазигеоида может быть определена с помощью модели геоида и поправки высот, учитывающей разницу высот геоида и квазигеоида.

### **6.3 Преобразование геодезических высот в Балтийскую систему высот 1977 года**

6.3.1 Преобразование геодезических высот точек, полученных в результате спутниковых определений, в Балтийскую систему высот 1977 года выполняют путем последовательного (пошагового) преобразования, в следующем порядке:

- 1) преобразование геодезических высот в ортометрические высоты;
- 2) преобразование ортометрических высот в высоты в Балтийской системе высот 1977 года.

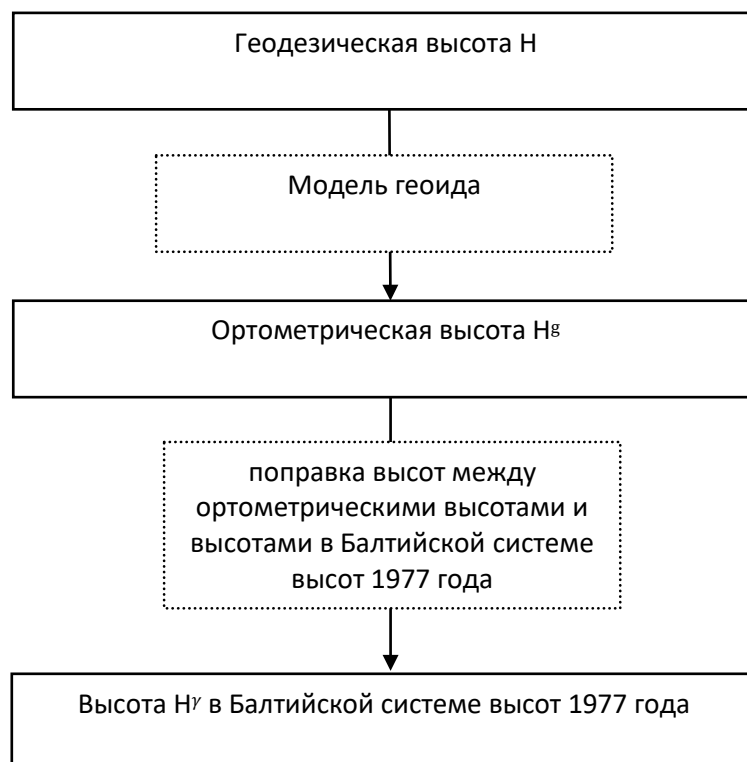


Рисунок 3 – Порядок преобразования геодезических высот в Балтийскую систему высот 1977 года при спутниковых определениях.

6.3.2 Преобразование геодезических высот в ортометрические высоты выполняют в соответствии с пунктом 6.1.2.

6.3.3 Преобразование ортометрических высот в высоты в Балтийской системе высот 1977 года выполняют по формуле:

$$H_B^y = H^g - \Delta H$$

где:

$H_B^y$  – высота в Балтийской системе высот 1977 года;

$H^g$  – ортометрическая высота;

$\Delta H$  – поправка высот между ортометрическими высотами и высотами в Балтийской системе высот 1977 года, учитывающая разницу высот геоида и квазигеоида.

6.3.4 Вычисление поправки высот между ортометрическими высотами и высотами в Балтийской системе высот 1977 года (далее – поправка высот) выполняют по известным значениям высот геодезических пунктов ГНС и ГГС, высоты которых определены геометрическим нивелированием в Балтийской системе высот 1977 года, и значениям их ортометрических высот. Значения высот геодезических пунктов ГНС и ГГС в Балтийской системе высот 1977 года берут из выписок из каталогов высот геодезических пунктов ГНС и ГГС, полученных из официальных источников. Ортометрические высоты геодезических пунктов вычисляют по значениям геодезических высот, полученных в результате спутниковых определений на этих пунктах, с использованием модели геоида в соответствии с пунктом 6.1.2.



6.3.5 Поправку высот вычисляют по формуле:

$$\Delta H = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i^g - H_i^y)}{n}$$

где:

$\Delta H$  – поправка высот между ортометрическими высотами и высотами в Балтийской системе высот 1977 года (поправка высот);

$H_i^g$  – ортометрическая высота  $i$ -го геодезического пункта;

$H_i^y$  – высота  $i$ -го геодезического пункта в Балтийской системе высот 1977 года;

$n$  – число геодезических пунктов.

6.3.6 Количество геодезических пунктов, используемых для вычисления поправки высот, должно быть не менее пяти.

6.3.7 Геодезические пункты, используемые для вычисления поправки высот должны быть равномерно расположены на территории, для которой определяют поправку высот.

6.3.8 Точность преобразования высот точек в Балтийскую систему высот 1977 при спутниковых определениях зависит от погрешности спутниковых определений геодезических высот, погрешности используемой модели геоида и погрешности высот геодезических пунктов, используемых для вычисления поправки высот (пункт 6.3.4).

6.3.9 Погрешность преобразования высот характеризуется средней величиной остаточных невязок высот известных геодезических пунктов в Балтийской системе высот 1977 и полученных после их преобразования из геодезических высот.

6.3.10 Вычисление средней величины остаточных невязок высот при преобразовании высот выполняют в следующем порядке:

1) высоты геодезических пунктов, полученных в результате спутниковых определений, преобразуют в Балтийскую систему высот 1977 с применением пошагового преобразования высот (пункт 6.3.1);

2) вычисляют разницу значений высот (остаточные невязки высот) между вычисленным и известными высотами геодезических пунктов в Балтийской системе высот 1977;

3) по значениям остаточных невязок высот вычисляют среднюю величину остаточных невязок высот по формуле:

$$m_H = \frac{\sum_{i=1}^n dH_i}{n}$$

где:

$m_H$  – средняя величина значений невязок высот;

$dH_i$  – значение остаточной невязки высоты  $i$ -го геодезического пункта;

$n$  – число геодезических пунктов.

6.3.11 Полученные погрешности преобразования высот применяются только на территории, в границах которой находятся геодезические пункты, используемые для определения погрешности.

6.3.12 В случае, если средняя величина остаточных невязок высот не соответствует установленным требованиям (пункт 4.1), то выполняют вычисление

поправок высот отдельно для ограниченных территорий, находящихся в границах территории выполнения работ (далее - локальные поправки высот).

6.3.13 Вычисление локальной поправки высот выполняют в соответствии с пунктом 6.3.5 при соблюдении требований пунктов 6.3.6 и 6.3.7.

6.3.14 Смежные территории для вычисления локальных поправок высот должны пересекаться и иметь общие, используемые в уточнении, геодезические пункты. Эти территории выбирают на основании данных о невязках, полученных при выполнении уточнения на всю территорию работ (выбирают территории, где невязки имеют близкие значения).

6.3.15 Погрешность преобразования высот с помощью локальной поправки высот определяют в соответствии с пунктом 6.3.10.

6.3.16 Вычисленную локальную поправку высот применяют только в границах территории, на которую она была определена.

**Приложение А  
(справочное)**

**Формулы 7-ми параметрического трансформирования пространственных  
прямоугольных координат**

Формула 7-ми параметрического линейного трансформирования пространственных прямоугольных координат имеет вид [8]:

$$\begin{pmatrix} X_K \\ Y_K \\ Z_K \end{pmatrix} = (1 + m) \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{И} \\ Y_{И} \\ Z_{И} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

где:

$X_{И}, Y_{И}, Z_{И}$  – координаты в исходной системе координат;

$X_K, Y_K, Z_K$  – координаты в конечной системе координат;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  – составляющие сдвига начала конечной системы координат относительно начала исходной (линейные параметры элементов трансформирования);

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – углы вращения осей координат (угловые параметры элементов трансформирования);

$a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{31}, a_{32}, a_{33}$  – элементы матрицы поворота, являющиеся нелинейными функциями углов  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  вращения соответствующих осей координат;

$m$  – масштабный параметр трансформирования.

Элементы матрицы поворота определяются по следующим формулам:

$$a_{11} = \cos\omega_z \cos\omega_y - \sin\omega_z \sin\omega_x \sin\omega_y$$

$$a_{12} = \sin\omega_z \cos\omega_y + \cos\omega_z \sin\omega_x \sin\omega_y$$

$$a_{13} = -\cos\omega_x \sin\omega_y$$

$$a_{21} = -\sin\omega_z \cos\omega_x$$

$$a_{22} = \cos\omega_z \cos\omega_x$$

$$a_{23} = \sin\omega_x$$

$$a_{31} = \cos\omega_z \sin\omega_y + \sin\omega_z \sin\omega_x \cos\omega_y$$

$$a_{32} = \sin\omega_z \sin\omega_y - \cos\omega_z \sin\omega_x \cos\omega_y$$

$$a_{33} = \cos\omega_x \cos\omega_y$$

Приведенная выше формула 7-ми параметрического трансформирования является обобщенной. При трансформировании прямоугольных пространственных координат при значениях линейных параметров трансформирования не более 600 м и угловых параметров трансформирования не более 3" допускается использование формулы 7-ми параметрического ортогонального трансформирования пространственных прямоугольных координат, которая имеет вид (по ГОСТ 32453):

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

где:

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  – линейные параметры элементов трансформирования при переходе из системы А в систему Б;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – угловые параметры элементов трансформирования при переходе из системы А в систему Б;

$m$  – масштабный параметр трансформирования при переходе из системы А в систему Б.

Обратное преобразование прямоугольных пространственных координат с использованием 7-ми параметрического ортогонального трансформирования осуществляется по формуле:

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

**Приложение Б**  
**(справочное)**

**Параметры элементов трансформирования между пространственными прямоугольными системами координат**

Т а б л и ц а Б.1 – Значения элементов трансформирования между пространственными прямоугольными системами координат

№ п/п	Исходная система	Конечная система	$\Delta X$ , м	$\Delta Y$ , м	$\Delta Z$ , м	$\omega_x$ , угл. сек.	$\omega_y$ , угл. сек.	$\omega_z$ , угл. сек.	м x 10 <sup>6</sup>
1	СК-42	ГСК-2011	+23,557 ±2,00	-140,858 ±2,00	- 79,770 ±3,00	-0,0017 ±10	-0,3464 ±10	-0,7943 ±10	-0,2274 ±0,25
2	СК-42	WGS-84 (G1150)	+23,570	-140,950	-79,800	0,0000	-0,3500	-0,7900	-0,2200
3	СК-95	ГСК-2011	+24,457 ±0,43	-130,798 ±0,37	-81,530 ±0,54	-0,0017 ±10	+0,0036 ±10	+0,1343 ±10	-0,2274 ±0,2
4	СК-95	WGS-84 (G1150)	+24,470	-130,890	-81,560	0,0000	0,0000	-0,1300	-0,2200
5	WGS-84 (G1150)	ГСК-2011	-0,013	+0,092	+0,030	-0,0017	+0,0036	-0,0043	-0,0074
6	WGS-84 (G1150)	ПЗ-90.11	-0,013	+0,106	+0,022	-0,0023	+0,0035	-0,0042	-0,0080
7	ITRF-2008	ГСК-2011	+0,002 ±0,01	-0,003 ±0,02	-0,003 ±0,01	+0,000053 ±0,7	+0,000093 ±0,26	-0,000012 ±0,23	+0,0008 ±0,001
8	ITRF-2008	ПЗ-90.11	0,003	0,001	-0,000	-0,000019	+0,000042	-0,000002	-0,0000
9	ПЗ-90.11	ГСК-2011	+0,000 ±0,01	-0,014 ±0,02	+0,008 ±0,01	+0,000562 ±0,7	+0,000019 ±0,26	-0,000053 ±0,23	+0,0006 ±0,001

Примечание - Реализация WGS-84 (G1150) относится к эпохе 2011 года. Элементы трансформирования приведены в соответствии с Приказом Минэкономразвития Российской Федерации № П/0134 [5] и ГОСТ 32453-2017.

**Приложение В**  
**(справочное)**  
**Формулы связи прямоугольных пространственных координат и**  
**геодезических координат**

Формулы преобразования геодезических (эллипсоидальных) координат в прямоугольные пространственные координаты имеют вид (по ГОСТ32453):

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

где:

X, Y, Z – прямоугольные пространственные координаты;  
 B, L – геодезические широта и долгота точки соответственно;  
 H – геодезическая высота точки;  
 N – радиус кривизны первого вертикала;  
 e – эксцентриситет эллипсоида.

Значение радиуса кривизны первого вертикала вычисляются по формуле:

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

Значение квадрата эксцентриситета эллипсоида вычисляются по формуле:

$$e^2 = 2\alpha - \alpha^2$$

a – большая полуось эллипсоида.

$\alpha$  - сжатие эллипсоида.

Преобразование прямоугольных пространственных координат в геодезические выполняют с проведением итераций при вычислении геодезической широты. Для этого используют следующий алгоритм (по ГОСТ32453):

1) вычисляют вспомогательную величину D по формуле

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

2) анализируют значение D:

а) если  $D = 0$ , то

$$B = \frac{\pi Z}{2|Z|}$$

$$L = 0$$

$$H = Z \sin B - a\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$$

б) если  $D \neq 0$ , то при

$$\left. \begin{array}{ll} Y < 0, X > 0, & \text{то } L = 2\pi - L_a; \\ Y < 0, X < 0, & \text{то } L = \pi + L_a; \\ Y > 0, X < 0, & \text{то } L = \pi - L_a; \\ Y > 0, X > 0, & \text{то } L = L_a; \\ Y = 0, X > 0, & \text{то } L = 0; \\ Y = 0, X < 0, & \text{то } L = \pi, \end{array} \right\}$$

где:

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

3) анализируют значение  $Z$ :

а) если  $Z = 0$ , то

$$B = 0; \quad H = D - a$$

б) во всех других случаях вычисления выполняют следующим образом:

- находят вспомогательные величины  $r$ ,  $c$ ,  $p$  по формулам:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

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

$$p = \frac{e^2 a}{2r}$$

- реализуют итеративный процесс, используя вспомогательные величины  $s_1$

и  $s_2$ :

$$s_1 = 0$$

$$b = c + s_1$$

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

$$d = |s_2 - s_1|$$

если значение  $d$  меньше установленного значения допуска, то

$$B = b$$

$$H = D \cos B + Z \sin B - a\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$$

если значение  $d$  равно или более установленного значения допуска, то

$$s_1 = s_2$$

и вычисления повторяют, начиная с вычисления величины  $b$ .

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



**Приложение Г**  
**(справочное)**  
**Параметры земных эллипсоидов**

Т а б л и ц а Г.1 – Значения параметров земных эллипсоидов

№ п\п	Название	а (большая полуось), м	1/f (сжатие)
1	Красовского	6 378 245,0	298,3
2	ГСК-2011	6 378 136,5	298,2564451
3	ПЗ-90.11	6 378 136,0	298,25784
4	WGS-84	6 378 137,0	298,257223563
5	ITRF-2008/2014	6 378 136,6	298,25642

**Приложение Д  
(справочное)**

**Формулы преобразования геодезических координат в плоские  
прямоугольные координаты**

Формулы преобразования геодезических координат в плоские прямоугольные координаты в картографической проекции Гаусса-Крюгера имеют вид [9]:

$$x=X + \frac{1}{4}N l^2 \sin 2B \left\{ 1 - \frac{1}{12}l^2 [1 - \cos^2 B (6 + 9 \eta^2 + 4 \eta^4)] + \frac{1}{360}l^4 (1 - 60 \cos^2 B + 120 \cos^4 B - 330 \eta^2 \cos^2 B + 600 \eta^2 \cos B) \right\}$$

$$y=N l \cos B \left\{ 1 - \frac{1}{6}l^2 [1 - (2 + \eta^2) \cos^2 B] + \frac{1}{120}l^4 [1 - (20 - 24 \cos^2 B + 58 \eta^2 - 72 \eta^2 \cos^2 B) \cos^2 B] \right\}$$

где:

$x, y$  – плоские прямоугольные координаты;

$B, L$  – геодезические координаты;

$$l=L-L_0;$$

$L_0$  – долгота осевого меридиана;

$l$  – разность долгот между осевым меридианом и меридианом данной точки;

$X$  – длина дуги осевого меридиана от экватора до точки с широтой  $B$ ;

$$\begin{aligned} X = a(1 - e^2) & \left[ \left( 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 + \frac{43659}{65536}e^{10} \right) B - \right. \\ & - \frac{3}{8}e^2 \left( 1 + \frac{5}{4}e^2 + \frac{175}{128}e^4 + \frac{735}{512}e^6 + \frac{24255}{16384}e^8 \right) \sin 2B + \\ & + \frac{15}{256}e^4 \left( 1 + \frac{7}{4}e^2 + \frac{147}{64}e^4 + \frac{693}{256}e^6 \right) \sin 4B - \\ & - \frac{35}{1024}e^6 \left( \frac{1}{3} + \frac{3}{4}e^2 + \frac{297}{256}e^4 \right) \sin 6B + \\ & \left. + \frac{315}{131072}e^8 \left( 1 + \frac{11}{4}e^2 \right) \sin 8B \right] \end{aligned}$$

$N$  – радиус кривизны первого вертикала;

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

$$\eta^2 = e'^2 \cos 2B$$

$e'^2$  – квадрат второго эксцентриситета эллипсоида;

$$e'^2 = \frac{a^2 + b^2}{b^2}$$

$a$  – большая полуось эллипсоида;

$b$  – малая полуось эллипсоида.

Преобразование плоских прямоугольных координат в картографической проекции Гаусса-Крюгера в геодезические координаты осуществляются по формулам [10]:

$$B = B_x - \rho \frac{y^2 (1 + \eta_x^2) \tan B_x}{2N_x^2} \left\{ 1 - \frac{y^2}{12N_x^2} (5 + 3 \tan^2 B_x + \eta_x^2 - 9\eta_x^2 \tan^2 B_x) + \frac{y^4}{360N_x^4} (61 + 90 \tan^2 B_x + 45 \tan^4 B_x) \right\}$$

$$L = L_0 + \frac{\rho y}{N_x \cos B_x} \left\{ 1 - \frac{y^2}{6N_x^2} (1 + 2 \tan^2 B_x + \eta_x^2) + \frac{y^4}{120N_x^4} (5 + 28 \tan^2 B_x + 24 \tan^4 B_x + 6\eta_x^2 + 8\eta_x^2 \tan^2 B_x) \right\}$$

где:

$\rho$  – коэффициент для перехода из радианной в градусную меру;

Ошибка вычислений по приведенным выше формулам, при  $l$  менее  $3.5^\circ$ , не более  $0.0001''$ .

**Приложение Е**  
**(справочное)**

**Формулы аффинных преобразований плоских прямоугольных координат**

Формулы ортогонального 4-х параметрического аффинного преобразования имеют вид [6]:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta \\ \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

где:

$x_i, y_i$  – плоские прямоугольные координаты в исходной системе;

$x_k, y_k$  – плоские прямоугольные координаты в конечной системе;

$\delta$  – угол разворота осей координат;

$\Delta x, \Delta y$  – параметра сдвига вдоль осей  $x$  и  $y$ ;

$m$  – масштабный множитель.

**Приложение Ж  
(справочное)  
Пример преобразования координат**

Т а б л и ц а Ж.1 – Набор значений преобразованных координат геодезического пункта, предназначенный для проверки функции преобразования координат СПО.

№ п\п	Система координат	Прямоугольные пространственные координаты X, Y, Z (м)	Геодезические координаты B, L, H (м)	Плоские прямоугольные координаты x, y (м)	
1	WGS-84 (G1150)	2 550 716,394 2 466 143,068 5 282 690,714	56° 17' 30,494" N 44° 02' 03,154" E 178,58	6 238 976,47 440 221,47	Проекция UTM38N
2	ГСК-2011	2 550 716,220 2 466 143,150 5 282 690,770	56° 17' 30,498" N 44° 02' 03,164" E 179,12	6 241 472,64 8 440 197,74	Проекция Гаусса- Крюгера
3	ПЗ-90.11	2 550 716,238 2 466 143,165 5 282 690,803	56° 17' 30,495" N 44° 02' 03,164" E 179,59	-	-
4	СК-95	2 550 693,534 2 466 272,405 5 282 772,391	56° 17' 29,903" N 44° 02' 09,483" E 177,42	6 241 562,57 8 440 305,17	Проекция Гаусса- Крюгера
5	СК-42	2 550 693,362 2 466 274,303 5 282 774,958	56° 17' 29,917" N 44° 02' 09,569" E 180,22	6 241 562,98 8 440 306,66	Проекция Гаусса- Крюгера
Примечание - Реализация WGS-84 (G1150) относится к эпохе 2011 года. Координаты вычислены с помощью СПО Leica Infinity 3.0 и Trimble Business Center 5.1					

## Библиография

- [1] Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
- [2] Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2016 № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы»
- [3] Приказ Минэкономразвития Российской Федерации от 6 июня 2017 года № 271 «Об утверждении требований к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам, включая требования к составу сведений, отображаемых на них, к условным обозначениям указанных сведений, требования к точности государственных топографических карт и государственных топографических планов, к формату их представления в электронной форме, требований к содержанию топографических карт, в том числе рельефных карт
- [4] Приказ Минэкономразвития Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 383 «Об утверждении Порядка установления местных систем координат»
- [5] Приказ Минэкономразвития Российской Федерации от 23 марта 2016 г. № П/0134 «Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров государственной геодезической системы координат 2011 года»
- [6] «Объяснения к геодезической системе координат 2011 года», Федеральное государственное бюджетное учреждение Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, Москва, 2016 год
- [7] Приказ Федерального агентства кадастра объектов недвижимости от 18 июня 2007 г № П/0137 об утверждении Положения о местных системах координат Роснедвижимости на субъекты Российской Федерации
- [8] Безменов В.М. «Теоретические основы определения параметров преобразования пространственных геоцентрических систем координат», Казанский государственный университет, Казань, 2007 год, УДК 528.72
- [9] Огородова Л.В., Половнев О.В. «Высшая геодезия и основы координатно-временных систем». Учебное пособие. Издательство МИИГАиК, Москва, 2016 год, ISBN975-5-91188-000-0
- [10] Телеганов Н.А., Елагин А.В. «Высшая геодезия и основы координатно-временных систем». Учебное пособие. СГГА, Новосибирск, 2004 год, УДК 528.2/.3+530.12

ОКС 07.040

Ключевые слова: геодезия, ГСК-2011, ГНСС, координаты, МСК, спутниковые определения, преобразования координат, трансформирование координат, системы высот, системы координат

---