ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70846.16— 2024

НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Пространственная привязка. Системы координат

(ISO 19111:2019, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Публично-правовой компанией «Роскадастр» (ППК «Роскадастр»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 394 «Географическая информация/геоматика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2024 г. № 2081-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 19111:2019 «Географическая информация. Пространственная привязка. Системы координат» (ISO 19111:2019 «Geographic information — Referencing by coordinates», NEQ). Сопоставление содержания настоящего стандарта и примененного международного стандарта приведено во введении

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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 (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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 Нормативные ссылки 2
3 Термины, определения, обозначения и сокращения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Обозначения и сокращения 10
4 Классы соответствия 10
5 Соглашения 12
5.1 Унифицированный язык моделирования (UML) 12
5.2 Атрибуты и обязательность 12
6 Пространственная привязка по координатам. Обзор 12
7 Координаты 13
7.1 Координаты и СК 13
7.2 Описание СК 14
7.3 Требования к метаданным 15
7.4 Блок-схема (UML) пакета Coordinates 15
7.5 Блок-схема (UML) изменений координат 18
8 Общие классы 20
8.1 Главные атрибуты/основные свойства 20
8.2 Блок-схема (UML) общих классов 20
9 Системы координат и высот 24
9.1 Системы координат 24
9.2 Производные СК 25
9.3 Составные СК (объединение СК) 25
9.4 Блок-схема (UML) СК 26
10 Математические координаты 39
10.1 Математические координаты. Общие сведения 39
10.2 Параметрические СК с дополнительным нелинейным параметром 39
10.3 Системы времени 39
10.4 Координатные линии и оси 40
10.5 Блок-схема (UML) СК 40
11 Начало отсчета и исходные пункты реализации СК 57
11.1 Виды начала отсчета и исходных, опорных пунктов, реализующих СК 57
11.2 Реализации геодезических СК 57
11.3 Динамические (реализации) СК 58
11.4 Объединение данных пониженной точности 58
11.5 Системы счета времени 58
11.6 Блок-схема (UML) систем отсчета 58
12 Действия с координатами 70
12.1 Основные виды действий 70
12.2 Блок-схема (UML) действий с координатами 71
Приложение А (обязательное) Комплекс проверок 90
Приложение Б (справочное) Пространственная привязка с использованием координат. Сведения из геодезии 94
Приложение В (справочное) Пространственная привязка по координатам. Особенности моделирования 98
Приложение Г (справочное) Привязка во времени. Условия реализации 108
Приложение Д (справочное) Примеры 111
Библиография 162

Введение

Географическая информация содержит пространственные данные, имеющие привязку не только в пространстве, но и во времени. Пространственная привязка указывает расположение характерных точек и границ пространственных объектов в реальном мире.

В соответствии с определением в физике система отсчета включает в себя систему координат (СК), реализованную с помощью физических объектов реального мира, а также систему счета времени, шкалу времени (для измерения длительности интервалов и регистрации моментов времени). На рисунке 1 приведена схема основных элементов систем отсчета, используемых при привязке пространственных данных.

Примечание — Поскольку в системе счета времени моменты времени играют роль координат, шкалу времени также называют временной системой координат по аналогии с привычной пространственной СК.

В некоторых научных приложениях используют сложные трехмерные системы, в которых плановое положение сочетается с физической величиной или иным пространственным нелинейным параметром, который задает третью, условно вертикальную ось. Этот третий параметр монотонно изменяется с высотой (или глубиной), но связан с ними нелинейным, а иногда и неизвестным преобразованием. Такие параметры обычно представляют некоторые абсолютные измерения или сложные функции некоторой физической величины.

В стандарте описаны сведения, необходимые для определения типа СК при представлении географической информации. Требуемый набор сведений зависит от типа координат. Стандарт позволяет использовать дополнительные необязательные сведения, включающие метаданные СК. Сведения представляются в машиночитаемом формате, понятном в том числе человеку.

В дополнение к описанию СК в стандарте приведены действия с координатами в различных СК или при учете смещений земной коры. Действия с координатами позволяют привести пространственные данные из разных СК в одну СК и к одной эпохе, что облегчает объединение пространственных данных. Также предполагается ведение журнала действий с координатами.

Система положений настоящего стандарта расширяет положения ГОСТ Р 52572—2006 «Географические информационные системы. Координатная основа. Общие требования».

Основные изменения по отношению к международному стандарту ИСО 19111:2019 следующие:

- добавлены примечания и примеры из практики российской геодезии;
- в приложении В переработано содержание: изложение концепции геоида в соответствии с теорией Стокса[1)] расширено до принципиальных моментов теории высот, вытекающих из теории Молоденского[2)], в связи с этим изменен рисунок Б.1. Для иллюстрации приложения Б добавлен рисунок Б.2;
- в содержание стандарта внесены изменения по отношению к международному стандарту ИСО 19111:2019, в частности: актуализированы нормативные ссылки, дополнена библиография;
- раздел терминов и определений изменен и дополнен;
- из текста стандарта исключены справочные приложения F и G.

В тексте стандарта полужирным шрифтом выделены классы и атрибуты, соответствующие блок-схемам UML.

---

1) См. «Стокса проблема» (Большая советская энциклопедия, 3 изд., 1969—1978).

2) См. «Геодезическая гравиметрия» (Большая советская энциклопедия, 3-е изд., 1969—1978), «Геодезии математические задачи» (Математическая энциклопедия, 1977—1985).

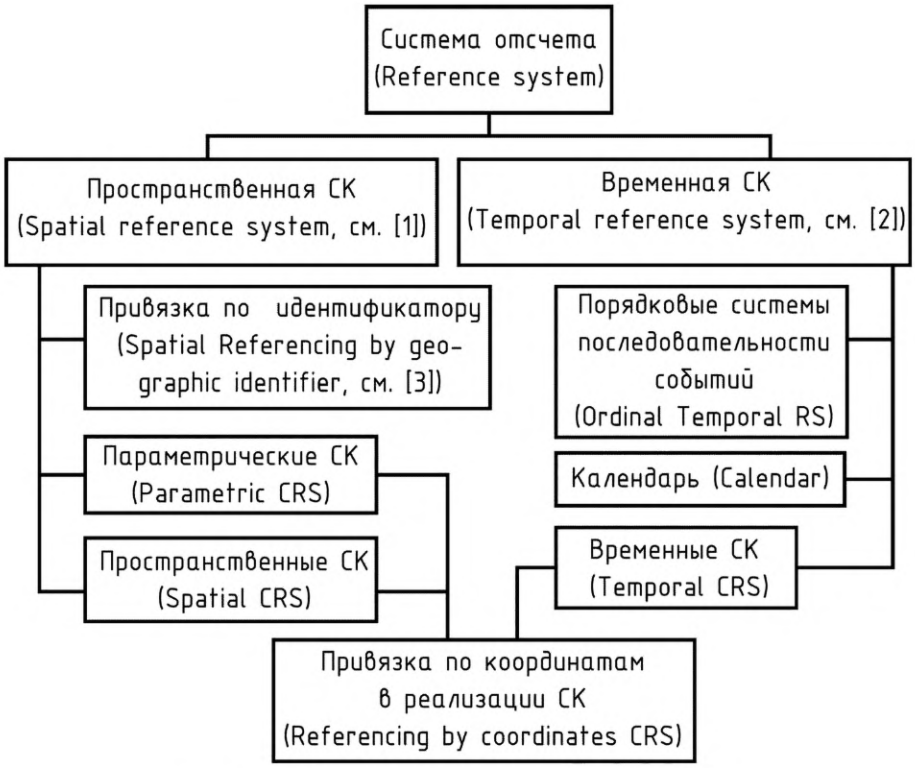

Рисунок 1 — Элементы привязки по координатам

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Пространственная привязка. Системы координат

National spatial data system. Spatial Referencing.
Reference systems and frames

Дата введения — 2025—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет порядок описания пространственных данных с помощью координат, выделяя минимальный набор описательных данных для задания следующих основных типов систем координат (СК):

а) статические СК (значения координат не меняются со временем):

- геодезическая СК (на национальном или региональном уровне),
- строительная сетка инженерного объекта,
- внутренняя СК изображения или датчика изображения,
- объектоцентрические (инструментальные) СК по [4] на подвижном основании (наземные транспортные средства, суда, летательный аппарат или космический корабль), которые могут быть связаны с земной СК через временное преобразование;

б) динамические СК, в которых значения координат точек на поверхности Земли или вблизи нее изменяются со временем из-за деформаций земной коры, при этом изменяется реальное взаимное расположение точек, приводящее к деградации всей СК;

в) параметрические СК, в которых третий нелинейный пространственный параметр изменяется с высотой или глубиной;

г) системы счета времени, использующие дату и время dateTime, систему целого исчисления времени или систему непрерывного измерения времени;

д) составные пространственные, параметрические или временные системы.

Основные принципы задания СК не связаны с системой времени, но часть определяющих ее параметров может зависеть от времени. Значения координат в динамической СК могут изменяться со временем.

Стандарт также описывает порядок задания информации для описания действий с координатами.

В дополнение к минимально необходимым данным для определения СК или действий с координатами допускается необязательная описательная информация (метаданные СК).

Стандарт разработан с учетом положений ГОСТ Р 70846.1 для использования в рамках национальной системы пространственных данных при применении федеральной государственной геоинформационной системы «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных», ориентирован на производителей и пользователей цифровых пространственных данных, разработчиков геоинформационных технологий. Стандарт также может применяться и к другим формам представления пространственных данных (карты, графики и схемы, текстовые документы).

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 7.0.64 (ИСО 8601:2004) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление дат и времени. Общие требования

ГОСТ Р 70846.1 Национальная система пространственных данных. Основные положения по стандартизации

ГОСТ Р 70846.2 Национальная система пространственных данных. Термины и определения

ГОСТ Р 57668—2017 (ИСО 19115-1:2014) Пространственные данные. Метаданные. Часть 1. Основные положения

ГОСТ Р 57773 (ИСО 19157:2013) Пространственные данные. Качество данных

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который приведена датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 70846.2, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **абсцисса плоской прямоугольной системы, «север»** (abscissa of a plane cartesian system, northing): Расстояние в плоской прямоугольной СК, отсчитываемое от изображения экватора на север (положительное) или на юг (отрицательное).

3.1.2 **аффинная система координат** (affine coordinate system): СК в евклидовом пространстве с прямыми осями, не обязательно взаимно перпендикулярными.

3.1.3 **большая (экваториальная) полуось (эллипсоида)** (semi-major axis): Радиус экватора земного эллипсоида.

3.1.4 **вектор координат** (coordinate tuple): Последовательность чисел в установленном порядке.

Примечание — Количество координат в векторе координат равно размерности пространства; порядок координат в векторе соответствует порядку осей СК.

3.1.5 **временная система координат** (temporal coordinate system): Одномерная система времени, основанная на шкале времени.

3.1.6 **высота** (в геодезии) (height): Линейная характеристика разности потенциалов силы тяжести в начале счета высот и данной точке.

Примечание — Высота ниже начала отсчета будет иметь отрицательное значение.

3.1.7 **географическая система координат** (geographic coordinate system): СК, которая имеет геодезические координаты, связанные с эллипсоидом.

3.1.8 **геодезическая высота** (geodetic height): Кратчайшее расстояние от точки до поверхности земного эллипсоида.

Примечания

1 Геодезическая высота не является высотой в физическом смысле, т. к. не характеризует направление течения жидкости.

2 Используется только как часть трехмерных геодезических координат или как часть трехмерной декартовой СК в трехмерной СК проекции, но никогда не используется сама по себе.

3.1.9 **геодезическая долгота** (geodetic longitude): Угол (двугранный), отсчитываемый от начального геодезического меридиана до плоскости геодезического меридиана точки пространства.

Примечание — Геодезическая долгота от 0° до 360° или от –180° до +180°, возрастая к востоку. На полюсе сферы или эллипсоида долгота не определена.

3.1.10 **геодезическая система координат** (geodetic coordinate frame): Связанная с Землей двух- или трехмерная СК, имеющая в своей основе трехмерные декартовы, геодезические (эллипсоидальные) либо сферические координаты.

Примечания

1 В настоящем стандарте СК, основанная на геодезических координатах, связанных с отсчетным эллипсоидом, называется географической.

2 В настоящем стандарте класс (UML) GeodeticReferenceFrame включает как современные земные геоцентрические СК (WGS 84, ITRF разных версий, ПЗ-90, ГСК-2011), так и классические геодезические СК: СК-42, СК-95.

3.1.11 **геодезическая широта** (geodetic latitude): Угол, отсчитываемый от плоскости экватора до нормали к поверхности земного эллипсоида, восстановленный из точки пространства.

Примечание — Геодезическая широта наиболее близка к астрономической широте.

3.1.12 **геодезические координаты** (geodetic coordinates): Криволинейные координаты, две из которых характеризуют направление нормали к отсчетной координатной поверхности (земного эллипсоида) в точке пространства относительно плоскостей его экватора и начального меридиана, а третья — кратчайшее расстояние до поверхности отсчетного эллипсоида.

Примечания

1 Формулы связи с декартовыми координатами:

$$x = (N + H)\cos B \cos L,$$

$$y = (N + H)\cos B \sin L,$$

$$z = [(1 - e^2)N + H]\sin B,$$

где a, b — большая и малая полуоси эллипсоида, $N = a/(1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$.

2 Геодезические широта и долгота определяют на небесной сфере направление нормали к эллипсоиду. Система геодезических координат является узкоспециальной, поскольку в ней единственная координатная поверхность отсчетного эллипсоида. При решении физических задач геодезии используют сфероидальные координаты u, v, w, связанные со сжатым эллипсоидом вращения:

$$x = c \sin u \operatorname{ch} w \cos v,$$

$$y = c \sin u \operatorname{ch} w \sin v,$$

$$z = c \cos u \operatorname{sh} w,$$

где $c = a\,e$ — половина фокусного расстояния.

3 В зарубежной литературе геодезические координаты и геодезическая высота называются эллипсоидальными, а широта и долгота отдельно — геодезическими.

3.1.13 **геоид** (geoid): Уровенная (эквипотенциальная) поверхность потенциала силы тяжести, пересекающая поверхность Мирового океана (морскую топографическую поверхность).

3.1.14 **геоцентрическая широта** (geocentric latitude, spherical latitude): Угол от экваториальной плоскости к направлению из центра эллипсоида через данную точку на север, рассматриваемый как положительный.

3.1.15 **глубина** (depth): Расстояние от выбранной земной поверхности суши или океана до точки, измеренное вертикально вниз.

Примечания

1 Направление вертикали может быть по отвесной или силовой линии гравитационного поля Земли (или по нормали к отсчетнму эллипсоиду).

2 Глубина выше отсчетной поверхности будет отрицательна.

3.1.16 **действие с координатами** (coordinate operation): Процесс, использующий математическую модель, основанную на взаимно однозначном соответствии, которая изменяет координаты точки в исходной СК на координаты в конечной СК или которая приводит координаты в исходной эпохе на координаты в конечной эпохе координат в одной СК.

Примечания

1 Данный термин обобщает понятия «преобразование координат», «трансформирование координат» и «смещения (перемещения) точки».

2 Преобразование координат сопровождается только видоизменением координат, без изменения пространственных длин отрезков между реальными точками, в отличие от трансформирования координат, когда форма сети реальных точек изменяется от одной реализации к другой.

3.1.17 **декартова система координат** (Cartesian coordinate system): СК в евклидовом пространстве, которая задает положение точек относительно *n* взаимно перпендикулярных прямых осей, имеющих одну и ту же единицу измерения.

Примечания

1 *n* = 2 или 3 для целей настоящего стандарта.

2 Декартова СК является частным случаем аффинной СК.

3.1.18 **динамическая система координат** (dynamic coordinate system): СК, в которой координаты точек изменяются во времени или определяющие параметры включают временную эволюцию.

Примечания

1 Координаты точек на земной коре или вблизи нее динамической СК могут меняться со временем, обычно из-за деформаций земной коры, таких как тектонические смещения и постледниковые поднятия.

2 Метаданные для набора данных в динамической СК должны включать информацию об эпохе координат.

3 Определяющими параметрами, изменяющимися во времени, обычно являются наборы координат.

3.1.19 **единица измерения** (unit): Определенная величина, в которой выражены параметры, имеющие размерность.

Примечание — В настоящем стандарте подтипами единиц являются единицы длины, угловые единицы, единицы шкалы, параметрические величины и единицы времени.

3.1.20 **запись** (tuple): Упорядоченный список значений.

Примечание — В запись помимо координат и высот могут входить иные характеристики. Например, список геодезических пунктов может содержать название пункта, класс пункта, тип центра и номер марки, тип и высоту наружного знака, регион.

3.1.21 **земная система координат** (terrestrial coordinate system): Набор правил и соглашений, определяющих начало отсчета, масштаб, ориентировку и изменение во времени пространственной СК, участвующей с Землей в ее суточном вращении.

Примечание — Абстрактная земная система координат реализуется через конкретную земную СК, которая обычно состоит из набора геодезических пунктов с заданными координатами и, возможно, параметрами их изменения. В настоящем стандарте земная СК включена в геодезическую СК.

3.1.22 **инженерная система координат** (engineering coordinate system): СК для инженерных изысканий на небольшой территории.

Примеры

1 СК для определения относительных положений в пределах нескольких километров от исходных пунктов: здание или строительная площадка.

2 Объектоцентрическая СК, локальная по отношению к движущемуся объекту, такому как корабль или космический корабль на орбите.

3 Внутренняя СК для изображения, имеющая непрерывные оси. Это может быть основой для координатной сетки.

3.1.23

интервал времени (time interval): Длительность между двумя моментами времени.
[ГОСТ 8.567—2014, статья 3.2.3]

3.1.24 **картографическая проекция** (cartographic projection): Геометрическое изображение поверхности эллипсоида (или шара) на плоскости.

3.1.25 **координата** (coordinate): Число из упорядоченного набора *N* чисел, описывающих положение точки в *N*-мерном пространстве.

3.1.26 **координатная сетка** (coordinate grid): Изображение меридианов и параллелей в картографической проекции.

3.1.27 **координатные линии** (coordinate lines): Кривые, получающиеся при изменении только одной координаты.

Примечание — Если координатные линии являются кривыми, такие координаты называют криволинейными.

3.1.28 **координатные оси** (coordinate axes): Координатные линии декартовых прямоугольных координат, получающиеся при изменении только одной координаты, тогда как две другие равны нулю.

3.1.29 **координатные плоскости** (coordinate planes): Координатные поверхности декартовых прямоугольных координат.

Примечания

1 Геодезические СК и системы высот являются реализациями соответствующих систем с помощью геодезических пунктов, физическим объектом является Земля.

2 В планетарных приложениях геодезические СК и системы высот могут применяться к другим небесным телам. Термины, содержащие латинские корни: планетоцентрическая, марсоцентрическая, юпитероцентрическая, луноцентрическая (также селеноцентрическая), — указывают на СК, где основная плоскость параллельна плоскости экватора Земли. Термины, содержащие греческие корни: планетографическая, ареографическая, зенографическая, селенографическая, — указывают на СК, где основной плоскостью служит плоскость экватора собственного осевого вращения тела; такие СК служат для определения положений точек и деталей поверхности соответствующих планет согласно [5].

3.1.30 **координатные поверхности** (coordinate surfaces): Поверхности, получающиеся при изменении только двух координат.

Примечание — В геодезических координатах имеется только одна основная координатная поверхность отсчетного эллипсоида.

3.1.31 **координаты** (coordinates): Числа, определяющие положение точки на плоскости, на поверхности или в пространстве.

Примечание — Математические координаты составляют основу абстрактной идеальной системы координат (англ. reference system) без конкретной реализации, привязанной к объектам (англ. reference frame).

3.1.32 **линейная система координат** (linear coordinate system): Одномерная СК, в которой линейный объект образует криволинейную ось.

Примеры

1 Расстояние вдоль трубопровода.

2 Глубина наклонного ствола нефтяной скважины.

3.1.33 **малая (полярная) полуось (эллипсоида)** (semi-minor axis): Расстояние от центра эллипсоида до любого полюса.

3.1.34 **меридиан** (meridian): Координатная линия равных долгот на координатной поверхности сферы или эллипсоида.

Примечание — Этот термин обычно используют для описания дуги между полюсами, а не полной замкнутой фигуры.

3.1.35 **местная система координат** (local coordinate system): Локальная СК, имеющая собственные исходные пункты.

Примечание — Здесь речь идет о местных системах населенных пунктов (например, Владимир, Рыбинск, Казань, Подольск), чьи сети развивались независимо от государственной геодезической сети (ГГС), задолго до появления местных систем координат Субъектов Федерации (МСК СФ). Для создания топографических планов определялись исходные даты: выбирался исходный пункт с назначенными координатами в местной системе, для ориентирования триангуляционной сети выполнялись собственные определения широты, долготы и азимута; обработка сети часто велась на средней высоте без приведения к эллипсоиду. В практике последних лет такие местные СК называются условными.

3.1.36

момент времени (time point): Положение события в выбранной шкале времени.
[ГОСТ 8.567—2014, статья 3.2.1]

3.1.37 **набор координат** (coordinate set): Несколько векторов координат, относящихся к одной и той же СК, и, если эта СК является динамической, также к одной эпохе координат.

3.1.38 **начальный меридиан** (prime meridian): Меридиан, которому приписана нулевая долгота.

Примечание — Астрономический и геодезический начальные меридианы параллельны. В Гринвиче они отстоят за счет уклонения отвеса.

3.1.39

начальный момент времени (initial time point): Условный (принятый по соглашению) момент времени, принятый за начало счета событий или условный нуль шкалы времени.

[ГОСТ 8.567—2014, статья 3.2.2]

Примечание — Объект находится во времени на Земле.

3.1.40 **общеземной эллипсоид** (mean Earth's ellipsoid): Отсчетный эллипсоид, наилучшим образом подобранный к Земле: его центр максимально совмещен с центром масс Земли, малая полуось совмещена со средней осью вращения Земли, плоскости начального геодезического и астрономического меридиана параллельны.

Примечание — Параметры общеземного эллипсоида определяются методами космической геодезии.

3.1.41 **объединение данных пониженной точности** (datum ensemble): Набор нескольких реализаций одной и той же земной СК или системы высот, которые существенно не отличаются для целей приблизительной пространственной привязки.

Примечания

1 Наборы данных, относящиеся к различным реализациям в наборе данных, могут быть объединены без преобразования координат.

2 Степень «приблизительности» определяется пользователями и обычно составляет менее 1 дм, но может достигать 2 м.

Пример — «WGS 84» как группа реализаций, включая WGS 84 (TRANSIT), WGS 84 (G730), WGS 84 (G873), WGS 84 (G1150), WGS 84 (G1674) и WGS 84 (G1762). На поверхности Земли они изменились в среднем на 0,7 м между реализациями TRANSIT и G730, еще на 0,2 м между реализациями G730 и G873, 0,06 м между G873 и G1150, 0,2 м между реализациями G1150 и G1674 и 0,02 м между G1674 и G1762.

3.1.42 **ордината плоской прямоугольной системы, «восток»** (ordinate of a plane cartesian system, easting): Расстояние в плоской прямоугольной СК, отсчитываемое от осевого меридиана на восток (положительное) или на запад (отрицательное).

3.1.43 **отсчетный эллипсоид** (reference ellipsoid): Сжатый эллипсоид, близкий по размерам к планете и используемый для решения геодезических задач.

Примечание — В реализациях систем координат XX века также используется термин «референц-эллипсоид» — отсчетный эллипсоид, отличающийся от общеземного эллипсоида. Параметры референц-эллипсоидов определялись в доспутниковую эпоху из наземных (геодезических и гравиметрических) измерений, обработанных с выделением исходного пункта, на котором были установлены исходные геодезические даты.

3.1.44 **параллель** (parallel): Координатная линия равных широт на координатной поверхности сферы или эллипсоида.

3.1.45 **параметрическая система координат** (parametric coordinate system): СК, в которой присутствует нелинейный пространственный параметр, изменяющийся с высотой или глубиной сложным или неизвестным образом (физическая величина или сложная функция), начало отсчета параметров вычисляется или определяется физическими измерениями.

Примечание — Обычно объектом, на котором измеряются и вычисляются параметры, является Земля.

3.1.46 **плоскость астрономического меридиана** (plane of astronomical meridian): Плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке параллельно (средней) оси вращения Земли.

3.1.47 **плоскость геодезического меридиана** (plane of geodetic meridian): Плоскость, проходящая через нормаль к поверхности земного эллипсоида и его малую полуось.

3.1.48 **полюс** (pole): Точки на сфере или эллипсоиде с широтой ±90°.

3.1.49 **полярные координаты** (polar coordinate system): Двухмерные координаты в евклидовом пространстве, определяющие положение точки расстоянием до начала СК и одной угловой координатой.

Примечание — В трехмерном случае см. «сферические координаты».

3.1.50 **преобразование координат** (coordinate conversion): Действие с координатами, которое изменяет координаты в исходной СК на координаты в конечной СК, при этом обе СК имеют одно начало и одни исходные пункты.

Примечание — Преобразование координат использует параметры с определенными значениями, при этом подразумевается, что не изменяются пространственные расстояния между реальными точками и углы между отрезками.

Примеры

1 Преобразование геодезических координат в плоские прямоугольные координаты с использованием картографической проекции: вычисление координат в проекции Гаусса—Крюгера.

2 Изменение единиц измерения: радианы в градусы, футы в метры.

3.1.51 **производная система координат** (derived coordinate system): СК, которая определяется путем применения определенного преобразования координат к координатам в ранее установленной СК.

Примечания

1 Ранее установленная СК называется базовой СК.

2 Производная СК наследует свое начало и исходные пункты от своей базовой СК.

3 Преобразование координат между базовой и производной СК осуществляется с использованием параметров и формул, указанных в определении преобразования координат.

Примеры

1 Вычисление плоских прямоугольных координат СК-63 в проекции Гаусса—Крюгера на основе геодезических координат СК-42.

2 Сдвиг координат пунктов астрономо-геодезической сети, совмещенных с пунктами космической и допплеровской геодезической сети, заданными в ПЗ-90, для получения координат пунктов, использованных как опорные в СК-95.

3.1.52 **пространственная привязка** (spatial reference): Описание местоположения в реальном мире.

Примечания

1 В настоящем стандарте под привязкой понимается определение и представление координат и высот характерных точек пространственных данных на заданную эпоху.

2 Такая привязка может иметь форму метки, кода или вектора координат.

3.1.53 **пространственно-временная СК** (spatio-temporal coordinate system): Составная СК, в которой одна составная СК является пространственной, а другая — временной.

3.1.54 **пространственно-параметрическая временная СК** (spatio-parametric-temporal coordinate reference system): Составная СК, состоящая из пространственных, параметрических и временных систем.

3.1.55 **пространственно-параметрическая СК** (spatio-parametric coordinate system): Составная СК, в которой одна составная СК является пространственной, а другая — параметрической.

Примечание — Как правило, пространственная составляющая является плановой, а параметрическая составляющая — высотной.

3.1.56 **реализация системы координат** (reference frame): Начало отсчета, набор исходных пунктов или параметров, которые определяют положение начала координат, масштаб и ориентацию СК.

3.1.57 **сжатие (эллипсоида)** (flattening): Отношение разности большой и малой полуоси к большой полуоси эллипсоида $\alpha = (a - b)/a$.

Примечание — Иногда дается знаменатель сжатия 1/f = a/(a – b); 1/f также известно как обратное сжатие.

3.1.58 **система высот** (vertical reference frame): Реализация физических высот на реперах нивелирной сети.

Примечания

1 В большинстве случаев система высот связана со средним уровнем моря, например Балтийская система высот 1977 года, использующая Кронштадтский футшток. Начало счета может быть выбрано для гидрографических целей, и в этом случае высоты могут быть отрицательными высотами или глубинами.

2 Геодезические высоты связаны с трехмерными геодезическими координатами на эллипсоиде, связанном с геодезической СК.

3 Следует различать следующие понятия, связанные с высотами над уровнем моря: Абсолютная высота — отметка нормальной высоты точки (высота горы над уровнем моря), относительная высота — разность абсолютных отметок близкорасположенных точек (высота вершины горы над подножием) или вертикальная длина (высота сооружения, высота обрыва, оврага), превышение — разность отсчетов по рейке.

3.1.59 **система координат** (coordinate system): Идеальные принципы и правила получения конкретной реализации системы координат.

Примечания

1 Вместо термина «система координат» в математике используют более короткий термин «координаты».

2 Земная система координат не описывает орбитальное движение Земли и положения светил на небесной сфере.

3.1.60 **система координат проекции** (projected coordinate system): СК, полученная из географической СК путем применения картографической проекции.

Примечания

1 Может быть двух- или трехмерной, причем размерность должна быть равна размерности географической СК, из которой она получена.

2 В трехмерном случае плановые координаты (геодезическая широта и геодезическая долгота) переходят в абсциссу и ординату, а геодезическая высота остается неизменной.

Пример — Местные системы координат субъектов Российской Федерации получаются применением геодезической проекции Гаусса—Крюгера к геодезическим координатам точек.

3.1.61 **смещение (перемещение) точки** (point movement): Действие с координатами, которое изменяет координаты в одной СК за счет перемещения точки.

Примечания

1 Изменение координат происходит от начальной эпохи к другой эпохе.

2 В настоящем стандарте движение точки связано с тектоническими смещениями или современными деформациями земной коры.

3.1.62 **составная система координат** (compound coordinate reference system): СК, использующая как минимум две независимые СК.

Примечание — СК независимы друг от друга, если значения координат в одной не могут быть преобразованы или преобразованы в значения координат в другой.

3.1.63 **составное действие** (concatenated operation): Действие с координатами, состоящее из последовательного применения нескольких действий с координатами.

Примечание — В СК значения координат выражаются в единицах измерения.

3.1.64 **средний уровень моря** (mean sea level): Уровень поверхности моря, осредненный за длительный период времени, исключающий периодическую часть прилива и сезонные колебания.

Примечание — Под средним уровнем моря, как правило, понимают средний уровень моря для региона, рассчитанный на основе наблюдений в одной или нескольких точках за определенный период времени. Чтобы соответствовать стандартам Международной гидрографической ассоциации, этот период должен составлять один полный лунный цикл из 19 лет (метонов цикл). Средний уровень моря в глобальном контексте отличается от глобального геоида не более чем на 2 м.

3.1.65 **статическая система координат** (static reference system/frame): СК, в которой изменения взаимного положения точек не отражаются в координатах, а определяющие параметры исключают эволюцию во времени.

Примечания

1 Координаты точек на земной коре или вблизи нее в статической СК не изменяются со временем.

2 Метаданные для набора данных в статической СК не требуют информации об эпохе координат.

3.1.66 **сферические координаты** (spherical coordinates): Двух- или трехмерные координаты в евклидовом пространстве, где положение точки определяется двумя угловыми координатами и (в трехмерном случае) расстоянием до начала отсчета (длина радиус-вектора).

Примечание — На эллипсоиде, «вырожденном» в сферу, геодезические координаты включают расстояние до поверхности отсчетной сферы, а не длину радиус-вектора.

3.1.67 **трансформирование координат** (coordinate transformation): Действие с координатами, которое приводит координаты из исходной СК в конечную СК, где исходная и конечная СК основаны на разных началах и разных исходных пунктах.

Примечания

1 Трансформирование координат использует параметры, полученные эмпирическим путем. Любая неточность в параметрах трансформирования координат войдет и в конечные координаты.

2 Трансформирование координат иногда называют «datum transformation», что подразумевает изменение самих систем координат. При этом следует иметь в виду, что трансформирование координат изменяет значения самих координат, но не изменяет исходных пунктов СК. В настоящем стандарте координаты относятся к реализации конкретной СК. Трансформирование координат возникает из-за различий не между исходными пунктами, а между реализациями, что может быть обусловлено как различным составом обрабатываемых данных, так и самими методами обработки. К примеру, различия между Балтийской системой высот 1977 года и EVRF 2000 не описываются только разностями геопотенциальных чисел в Кронштадтском и Амстердамском футштоках: необходимы высоты всех реперов, участвовавших в уравнивании. Аналогично координаты в одном исходном пункте, Пулково, неспособны описать все нелинейные различия между СК-42 и СК-95, хотя это и возможно в идеальном безошибочном случае.

3.1.68 **физические высоты (над уровнем моря)** (height system, physical heights): Правило преобразования геопотенциального числа в линейную меру.

Примечание — Здесь используют принятую теорию высот.

3.1.69 **цилиндрические координаты** (cylindrical coordinates): Трехмерные координаты в евклидовом пространстве, которые определяют положение точки двумя линейными величинами и одной угловой.

3.1.70

шкала времени (temporal coordinate system): Упорядоченная последовательность значений времени, служащая исходной основой для измерений времени.

[ГОСТ 8.567—2014, статья 3.2.4]

Примечание — Здесь имеется в виду как идеальная шкала времени (например, определяемая через единицу измерения времени: «секунда равна длительности 9 192 631 770 периодов излучения…»), так и конкретная реализация шкалы времени (шкала атомного или координированного времени, реализуемая стандартом частоты или эталоном).

3.1.71 **экватор** (equator): Точки на сфере или эллипсоиде с широтой 0°.

3.1.72 **эллипсоид** (ellipsoid): Замкнутая центральная поверхность второго порядка, имеющая в прямоугольных координатах $Oxyz$ каноническое уравнение $(x/a)^2 + (y/b)^2 + (z/c)^2 = 1$, где a, b, c — полуоси эллипсоида.

Примечания

1 Здесь начало координат $Oxyz$ в центре симметрии эллипсоида, координатные оси совпадают с осями симметрии эллипсоида, координатные плоскости — с плоскостями симметрии эллипсоида.

2 В геодезии под эллипсоидом понимается сжатый эллипсоид вращения.

3.1.73 **эпоха координат** (coordinate epoch): Дата или момент времени, к которым относятся координаты в динамической СК.

3.1.74 **эпоха параметров** (parameter reference epoch): Дата, на которую приведены значения параметров преобразования, имеющих зависимость от времени.

Примечание — Значения параметров преобразования сначала необходимо привести в эпоху координат, прежде чем применить трансформирование координат.

3.1.75 **эпоха системы координат** (frame reference epoch): Эпоха координат в списке исходных пунктов, определяющих динамическую СК.

Примечание — Эпоха статической системы координат определяет некоторую статическую геодезическую СК, которая получена как реализация динамической СК на определенную дату. Так, например, координаты пунктов в ГСК-2011 получены из обработки измерений за полные 2010—2011 годы в системе опорных пунктов ITRF2008, приведенных на эпоху 2011.0.

3.1.76 **эпоха трансформирования** (transformation epoch): Дата, в которую вычислены значения параметров преобразования координат.

Примечание — Координаты сначала должны быть приведены на эту эпоху, прежде чем будет применено трансформирование координат. Это отличается от эпохи параметров, где сами значения параметров трансформирования сначала необходимо привести на эпоху координат, прежде чем будет применено трансформирование координат.

3.1.77 **эпоха** (epoch): Момент времени или дата.

Примечание — В настоящем стандарте эпоха выражается в григорианском календаре как десятичный год.

Пример — 2017–03–25 по григорианскому календарю — это эпоха 2017,23.

3.2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

a — большая полуось эллипсоида;

B, L, H — пространственные криволинейные геодезические координаты (геодезическая широта, геодезическая долгота, геодезическая высота);

c — половина расстояния между фокусами эллипсоида;

C — геопотенциальное число;

E, N, U — топоцентрические координаты в касательной плоскости;

e — эксцентриситет эллипсоида;

g — реальная (действительная) сила тяжести;

H^{γ} — нормальная высота;

T — аномальный (возмущающий) потенциал;

U — нормальный потенциал силы тяжести;

W — реальный (действительный) потенциал силы тяжести;

X, Y, Z — пространственные декартовы координаты;

x, y — плоские прямоугольные координаты (в проекции);

α — сжатие эллипсоида;

ρ, φ, λ — пространственные криволинейные сферические координаты (длина радиус-вектора, сферическая широта, сферическая долгота).

Примечание — Если координаты относятся к Земле, они называются геоцентрическими вместо сферических;

ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система;

ИКАО — Международная организация гражданской авиации;

ИСЗ — искусственный спутник Земли;

ПО — программное обеспечение;

РСДБ — радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой;

СК — система координат;

с.к.о. — средняя квадратическая ошибка (оценка стандартного отклонения — см. [6]);

CRS (Cordinate Reference System) — координатная система отсчета;

ISA (International Standard Atmosphere) — международная стандартная атмосфера ИКАО;

ITRF (International Terrestrial Reference Frame) — международная земная система координат;

SLR (Satellite Laser Ranging) — лазерная локация спутников;

UML — унифицированный язык моделирования;

WKT (Well-Known Text) — язык текстовой разметки;

1D, 2D, 3D — одно-, двух- и трехмерный соответственно.

4 Классы соответствия

Настоящий стандарт определяет:

- два класса СК и высот по признаку изменения координат во времени;
- 26 классов СК и систем высот, видов действий с координатами согласно таблице 1. Любая реализация, заявляющая соответствие представленным классам, должна указывать класс соответствия, а также отвечать требованиям приложения А.

Таблица 1 — Классы соответствия систем

Класс соответствия	Описание класса	Пункт приложения
Соответствие координат и метаданных по признаку изменения координат		
1	Статические СК	А.2
2	Динамические СК	
Классы соответствия координат по виду координатных линий		
Геодезические СК: прямоугольные, эллипсоидальные и сферические		А.3
3	Статические СК	
4	Динамические СК	
5	Производные от геодезических СК	
Геодезические СК: географические на эллипсоиде		А.3
6	Статические	
7	Динамические	
8	Производные от географических СК	
9	**СК проекции**	
10	Производные от СК проекции	
Системы высот		
11	Статические	
12	Динамические	
13	Производные системы высот	
14	**Параметрические СК** (с физической величиной или сложной функцией)	
15	Производные от параметрических СК	
16	**Инженерные СК** (строительные сетки для инженерных изысканий, а также объектоцентрические инструментальные СК)	
17	Производные от инженерных СК	
Системы времени + шкалы времени		А.3
18	Дата и время (dateTime)	
19	Исчисление времени дискретными единицами (temporal count)	
20	Измерение времени непрерывными единицами (temporal measure)	
21	Производные системы времени	
22	**Объединение данных пониженной точности** (из нескольких СК разных лет)	
23	**Составные СК**	
Классы соответствия действий с координатами		
24	Преобразование математических координат (между математическими системами, возможно с любой заданной точностью)	А.4
25	Трансформирование координат разных реализаций (от эпохи к эпохе или между разными основами, имеет ограничения по точности)	

Окончание таблицы 1

Класс соответствия	Описание класса	Пункт приложения
26	Преобразование перемещения/движения точки	А.4
27	Составное действие (последовательность разнокачественных действий с координатами)	
28	Частичное преобразование	

Классы требований по определению СК или действий с координатами сгруппированы по пакетам блок-схем (UML). Требования объединены в классы соответствия в приложении А.

5 Соглашения

5.1 Унифицированный язык моделирования (UML)

Блок-схемы для описания СК и действий с координатами представлены на унифицированном языке моделирования (UML). Язык блок-схем представляет конкретный вариант UML, используемый в стандарте (см. [7]).

На блок-схемах (UML) серым фоном указаны классы из других стандартов.

5.2 Атрибуты и обязательность

В стандарте блок-схемы приведены в разделах 6—12 в виде таблиц, внутри которых:

- атрибутам, признакам и свойствам присваиваются требования обязательности, приведенные в таблице 2;

Таблица 2

Обозначение	Имя понятия на англ. (рус.) языке	Определение
M	mandatory (обязательный)	Элемент требуется всегда
C	conditional (условный)	Элемент требуется при выполнении определенного условия
O	optional (необязательный)	Элемент не требуется (не является обязательным)

- неотслеживаемые связи не включаются в диаграммы или таблицы UML.

При расхождении между блок-схемой (UML) и текстом преимущество имеет блок-схема (UML).

6 Пространственная привязка по координатам. Обзор

Пространственная привязка с помощью координат описывается в настоящем стандарте в виде блок-схем (UML) с дополнительным текстом. Общая блок-схема (UML) содержит шесть блоков (UML), как показано на рисунке 2. Каждый блок представляет собой пакет UML с названием. Линия со стрелкой показывает зависимость конечного пакета от исходного пакета в начале стрелки.

К набору координат должны прилагаться метаданные, полностью определяющие СК, к которой они относятся; без этого описания положение определяется неоднозначно. Блок (UML) координат и их метаданных описан в разделе 7. Сюда входят и описания действий с координатами, необходимые для изменения их значений при изменении СК.

В состав СК обычно входят математические координаты и исходные, опорные пункты (начало отсчета)[1)]. Некоторые геодезические представления, лежащие в основе пространственной привязки по координатам, приведены в приложении Б. Информация, необходимая для полного определения СК, описана в разделах 9—11 с общими для всех трех пакетов свойствами (атрибутами), описанными в разделе 8.

[1)] Иногда называемое datum.

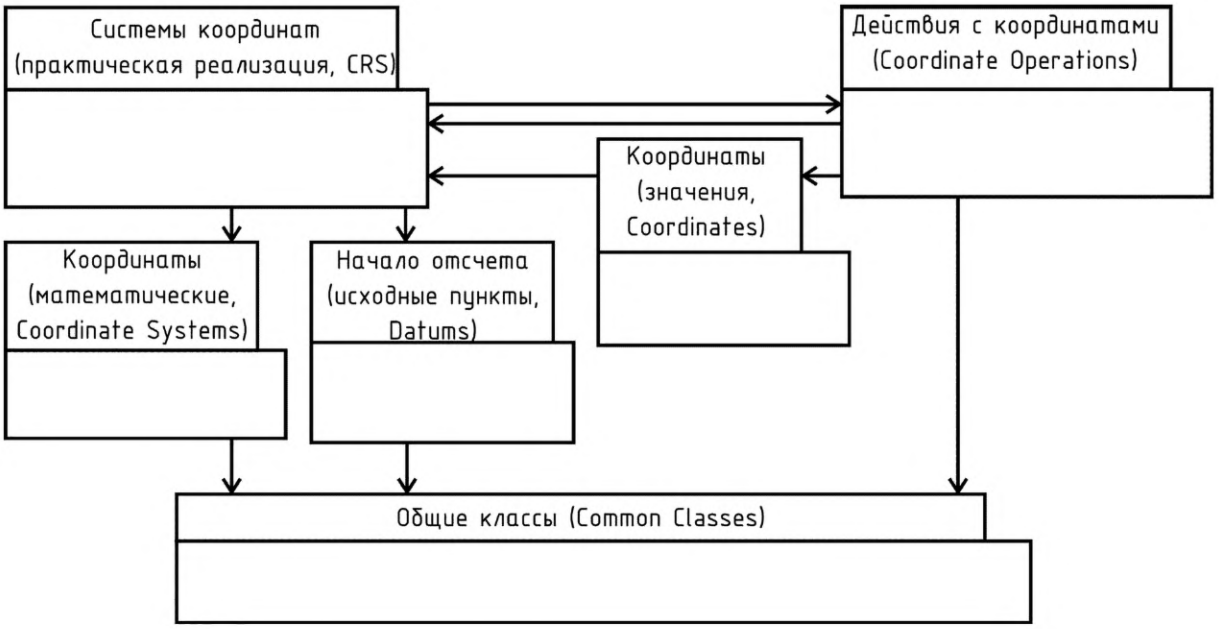

Рисунок 2 — Блок-схема (UML). Пакеты модели и структура зависимостей

Некоторые СК имеют третий компонент: параметры связи с другой предшествующей СК. В настоящем стандарте СК, допускающая такое преобразование, называется производной СК. Описание действий с координатами, включая преобразования координат, определяющие другую систему, приведено в разделе 12.

Дополнительные разъяснения для разделов 8—12 приведены в приложениях В и Г. Примеры применения настоящего стандарта при определении СК или действий с координатами приведены в приложении Д.

7 Координаты

7.1 Координаты и СК

Координата — один из *n* скаляров в составе вектора. В единственном числе координата используется для обозначения одного значения, во множественном числе координаты используются в смысле математических идеальных координат (англ. **coordinate system**).

Вектор (англ. **coordinate tuple**) — это упорядоченная последовательность координат, определяющих положение одной точки. Координаты внутри вектора независимы друг от друга. Количество координат в векторе равно размерности пространства.

Набор (англ. **set**) координат представляет собой список векторов в одной и той же СК. Если набору координат приписана некоторая СК, то все векторы в этом наборе наследуют эту связь. Если описывается только одна точка, то связь между вектором координат и СК устанавливается по прямой аналогии.

Принципы статических и динамических СК изложены в Б.3. Если СК динамическая, операции над векторами в наборе допустимы только в том случае, если все векторы относятся к одной и той же эпохе. В настоящем стандарте предполагается, что все векторы координат в наборе относятся к одной указанной эпохе координат.

СК и эпоха относятся к метаданным координат.

Наборы координат, относящиеся к одной СК, могут быть отнесены к другой СК с помощью действий над координатами. Действие с координатами выполняется над координатами, а не над СК. Действие с координатами может быть одиночным или составным (см. раздел 12). Блок-схема высокого уровня для изменения координат показана на рисунке 3.

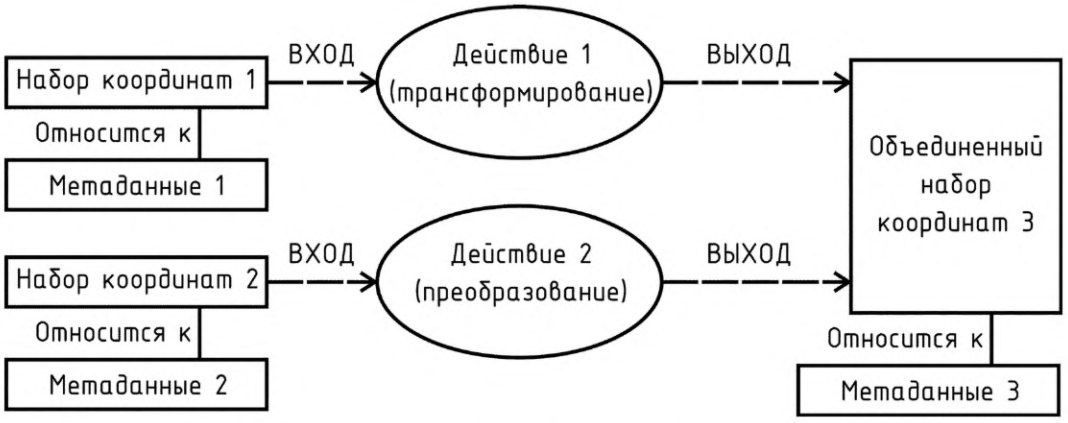

Рисунок 3 — Порядок действий с координатами для получения объединенного набора координат

Наборы координат, относящиеся к динамической СК в заданную эпоху *t*1, могут быть преобразованы в другую эпоху, *t*2, с помощью действия, движения (перемещения) точки, которая подразумевает изменение координат во времени, часто описываемое с использованием линейных скоростей, как это схематично показано на рисунке 4.

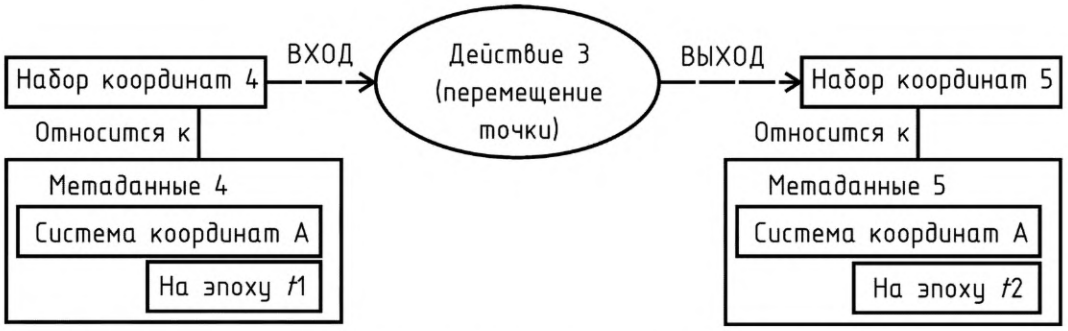

Рисунок 4 — Порядок действий с координатами при изменении эпохи координат

Также можно привести координаты из одной динамической СК, заданные на одну эпоху, в другую динамическую СК на другую эпоху, также можно изменить координаты между динамической СК и статической СК или наоборот. Дополнительная информация приведена в В.1 и В.5.

Качественные характеристики координат регулируются положениями ГОСТ Р 57773.

7.2 Описание СК

Элементы, необходимые для задания СК и действий с координатами, описаны в разделах 8—12.

Для задания СК или действия с координатами требуется:

а) полное описание, как определено в настоящем стандарте; или

б) ссылка на полное описание в реестре геодезических параметров (ссылка делается на реестр и на идентификатор описания объекта в этом реестре); или

в) полное описание и ссылка на реестр (в случае противоречия полное описание объекта должно преобладать над ссылкой на реестр).

Способы, приведенные в перечислениях а), б) являются взаимозаменяемыми для предоставления полного описания, при этом указанное в перечислении б) рекомендуется для простоты, но если СК нет в реестре, описание необходимо давать явно и полностью. В обоих методах порядок координат в каждом векторе должен соответствовать указанному в описании СК.

Если используется способ, приведенный в перечислении б) (ссылка на реестр), приложение (программа), которому требуется только подтверждение типа СК или действия с координатами, может сделать это посредством ссылки на реестр и идентификатор из этого реестра. При этом нет необходимости извлекать из реестра все элементы, составляющие полное описание, если не требуется их полностью цитировать или выполнять действие с координатами.

7.3 Требования к метаданным

7.3.1 Требования к статическим СК

Требование — все векторы в наборе координат должны относиться к одной СК.

7.3.2 Требования к динамическим СК

СК описаны в разделе 9, а начало отсчета и исходные, опорные пункты — в разделе 11. Следующие подтипы СК могут иметь динамический характер или быть связаны с моделью линейных скоростей и, следовательно, могут быть динамическими (геодезические, географические системы высот, СК проекции, а также их производные варианты).

Примечание — СК этих подтипов не обязательно являются динамическими; чтобы прояснить это, необходимо изучить их атрибуты СК и связь с **PointMotionOperation**.

Требование — если СК, к которой относится набор координат, является динамической, все векторы в наборе координат должны относиться к одной эпохе.

7.4 Блок-схема (UML) пакета Coordinates

На рисунке 5 показана блок-схема (UML) для метаданных координат. Определения классов в пакете приведены в таблицах 3—5.

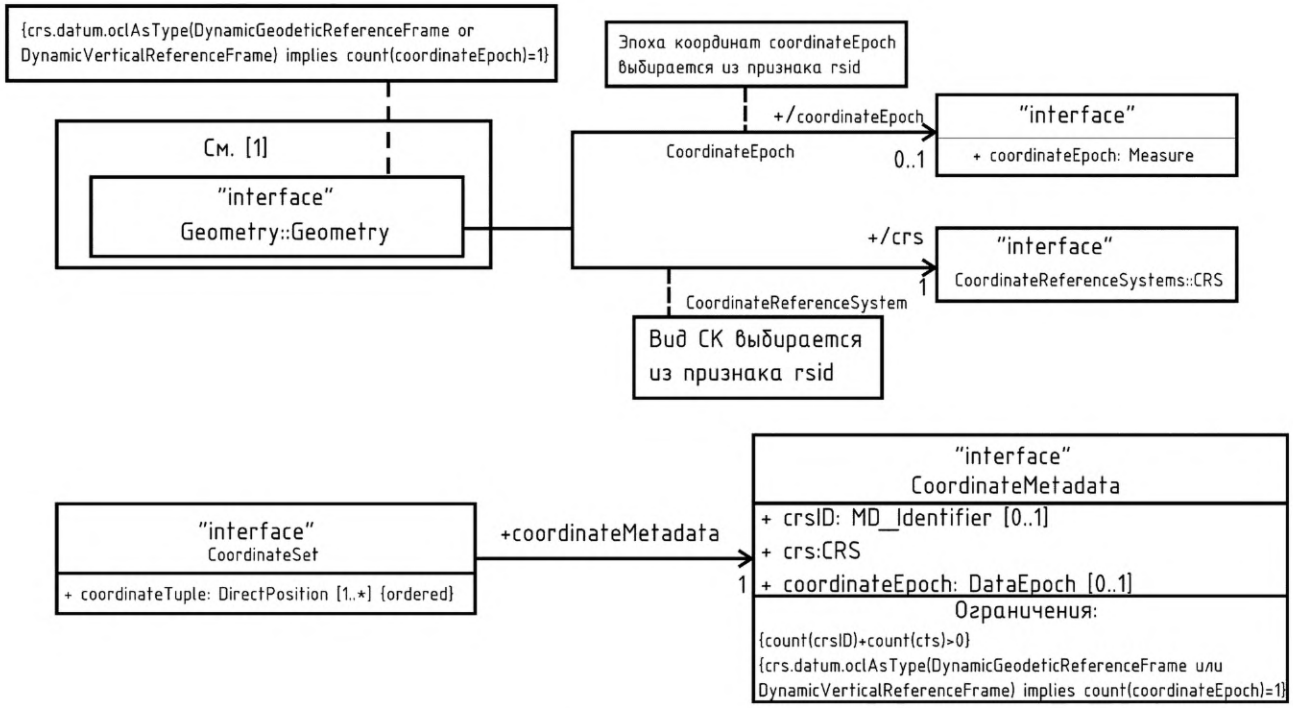

Рисунок 5 — Блок-схема (UML). Взаимосвязи между координатами и метаданными координат

Связь набора координат с СК (включая особый случай набора, содержащего только один вектор координат) является обязательной. Определяющие элементы класса СК описаны в разделе 9.

Ограничение на метаданные координат (повторяющиеся в геометрии) указывает, что если СК является динамической, то дополнительный набор координат должен быть связан с указанной эпохой координат. Это обеспечивает условность атрибута **coordinateEpoch**. Является ли СК динамической, следует из определения СК (см. раздел 11).

Таблица 3 — Определяющие элементы класса Coordinates::CoordinateMetadata

Определение (Definition): метаданные, необходимые для привязки по координатам

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): (none)

Общедоступные атрибуты (Public attributes):

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Идентификатор СК	crsID	MD_Identifier	C	1	идентификатор СК, к которой относится набор координат
Определение СК	crs	CRS	C	1	полное описание СК, к которой относится набор координат
Эпоха координат	coordinateEpoch	DataEpoch	C	1	эпоха, в которой набор координат, относящийся к динамической СК, действителен. Примечание – Требуется, если СК является динамической, в противном случае не следует указывать.

Ограничения: `{count(crsID)+count(CRS)>0}`

Примечание – См. 7.2.

{`crs.datum.oclAsType(DynamicGeodeticReferenceFrame or DynamicVerticalReferenceFrame)` подразумевает `count(coordinateEpoch)=1`}

{crs.oclAsType(GeodeticCRS VerticalCRS) & count(crs.velocityModel)>0 подразумевает count(coordinateEpoch)=1}

{если `crsID` относится к динамической СК, то `count(coordinateEpoch)=1`}

Примечание – Ограничение обеспечивает ограниченность для координатной эпохи.

Таблица 4 — Определяющие элементы класса Coordinates::CoordinateSet

Определение (Definition): описание векторов координат в наборе.

Примечание – Один вектор рассматривается как частный случай набора, содержащего только один элемент.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): (none)

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	coordinateMetadata	CoordinateMetadata	M	1	метаданные координат, на которые ссылается этот набор координат

Общедоступные атрибуты (Public attributes):

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Вектор координат	coordinateTuple	DirectPosition {ordered}	M	N	положение точки, описываемое вектором

Таблица 5 — Определяющие элементы класса Coordinates::DataEpoch

Определение (Definition): временной атрибут набора координат, который относится к динамической СК

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): (none)

Используется в (Used by): Coordinates::CoordinateMetadata

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
SourceEpoch	coordOperationFrom	Coordinate Operations:: CoordinateOperation	O	1	действие с координатами, в которое вводится эта эпоха координат
TargetEpoch	coordOperationTo	Coordinate Operations:: CoordinateOperation	O	1	действие с координатами, из которого выводится эта эпоха координат
(без имени)	directPosition	Geometry::Geometry	O	1	геометрия или геометрии, к которым относится эта эпоха координат

Примечание – К ассоциации из Geometry::Geometry: Вид coordinateEpoch выводится из атрибута rsid. (См. [1]).

Общедоступные атрибуты (Public attributes):

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Эпоха координат	coordinateEpoch	Measure	M	1	дата, когда координаты привязаны к динамической СК, выраженная в виде десятичного года в григорианском календаре ***Пример – 2017-03-25 по григорианскому календарю — это эпоха 2017,23.***

7.5 Блок-схема (UML) изменений координат

Координаты могут быть изменены при приведении в другую СК. Если СК динамическая, координаты также могут быть приведены к другой эпохе или одновременно к другой СК и другой эпохе.

В настоящем стандарте класс **CoordinateOperation** имеет две цели:

а) определить требования для описания действия с координатами;

б) применить действие с координатами для изменения координат.

Определяющие элементы для класса **CoordinateOperation** и связанных с ним классов и их использование при задании действий с координатами приведены в разделе 12. Здесь подробно рассматриваются только те атрибуты, которые относятся к изменению координат.

На рисунке 6 показана блок-схема (UML) применения действия с координатами в метаданных координат.

Действие **CoordinateOperation.transform(CoordinateSet)** изменяет координаты:

- преобразуя из одной СК в другую СК; и/или
- в случае динамической СК приводит от одной эпохи координат к другой эпохе.

Дополнительная информация о сочетаниях приведена в В.1.3.

transform(CoordinateSet) имеет четыре ограничения, которые требуют, чтобы:

- исходная СК и/или эпоха были такими же, на которые ссылается входной набор координат; и
- конечная СК и/или эпоха были такими же, как у выходного набора координат.

transform(CoordinateSet) работает с упорядоченными векторами координат, имеющими тип **DirectPosition**. Это означает, что когда **transform(CoordinateSet)** применяется к набору координат, содержащему несколько векторов координат, порядок векторов в наборе координат сохраняется.

Примечание — **transform(CoordinateSet)** работает с векторами координат и не занимается геометрической интерполяцией. Когда набор координат подвергается действию с координатами, геометрия обычно сохраняется.

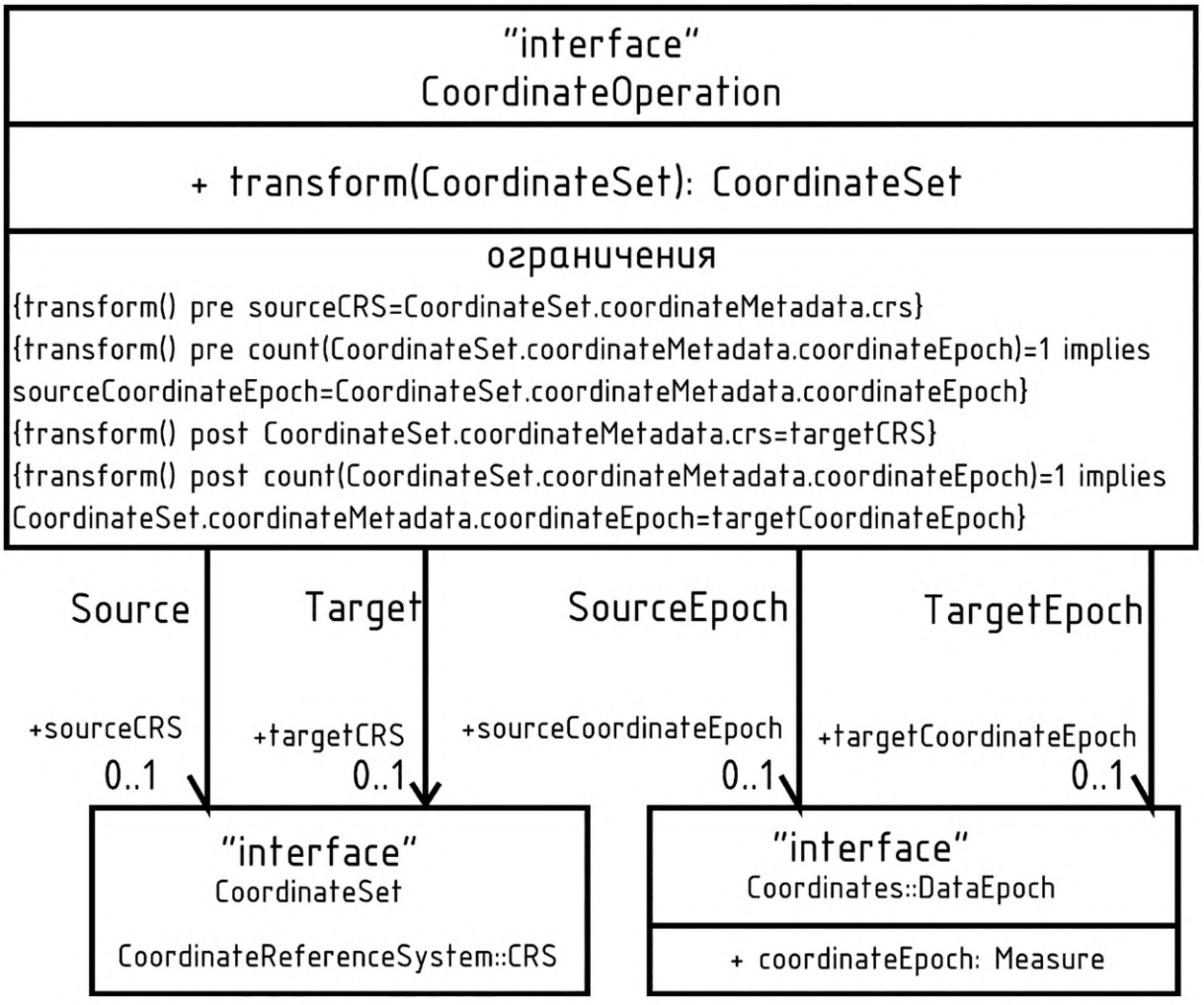

Рисунок 6 — Блок-схема (UML). Взаимосвязи действий с координатами и метаданных

8 Общие классы

8.1 Главные атрибуты/основные свойства

8.1.1 Введение

Пакет **Common Classes** содержит атрибуты и свойства, общие для нескольких объектов, используемых при привязке по координатам. Эти объекты: СК, начало отсчета и исходные, опорные пункты, математические координаты и действия с координатами, а также некоторые связанные с ними классы наследуют значения атрибутов из пакета **Common Classes**. Это облегчает модульное программирование имен, идентификаторов и псевдонимов, а также использование (цель применения и область применения).

8.1.2 Имя и псевдоним

Одним из атрибутов является основное имя объекта. Объект может иметь альтернативные имена или псевдонимы.

Пример — Название СК может быть «North American Datum of 1983», аббревиатура «NAD83».

Первичные имена объектов имеют тип данных **MD_Identifier**, определенный в ГОСТ Р 57668. Псевдонимы имеют тип данных **GenericName**, определенный в [7].

8.1.3 Идентификатор

Еще одним атрибутом является идентификатор. Это уникальный код, используемый для ссылки на объект в данном месте.

Пример — Геодезический реестр может присвоить NAD83 уникальный код «6269».

Идентификаторы имеют тип данных **MD_Identifier**.

Помимо использования идентификатора в качестве ссылки на определение в геодезическом реестре ISO Geodetic Registry (ISOGR)[1)], идентификатор также может быть включен в определение объекта, чтобы обеспечить ссылку на этот объект.

8.1.4 Цель применения и пространственно-временная протяженность

Цель применения — описание основной цели или целей, для которых применяется СК или действие с координатами.

DomainOfValidity описан в ГОСТ Р 57668.

Тип данных в этом пакете [**EX_Extent**] представляет собой совокупность элементов метаданных, описывающих пространственно-временную протяженность источников, объектов, событий или явлений. Класс **EX_Extent** содержит информацию о пространственной (**EX_GeographicExtent**), временной (**EX_TemporalExtent**) и высотной (**EX_VerticalExtent**) протяженности чего-либо. **EX_GeographicExtent** может быть подклассом **EX_BoundingPolygon**, **EX_GeographicBoundingBox** и **EX_GeographicDescription**. Объединенная пространственно-временная протяженность (**EX_SpatialTemporalExtent**) представляет собой **EX_GeographicExtent**. **EX_SpatialTemporalExtent** является подклассом **EX_TemporalExtent**. Полный пакет указан в ГОСТ Р 57668—2017 (рисунок 19).

Класс **EX_Extent** имеет три необязательные роли с именами «**geographicElement**», «**temporalElement**» и «**verticalElement**», а также роль с именем «**description**». Должна использоваться хотя бы одна из четырех ролей. Словарь данных для этой диаграммы приведен в ГОСТ Р 57668—2017 (таблица В.15).

В настоящем стандарте **Scope** и **DomainOfValidity** связаны через атрибут **ObjectUsage.domain**. Это облегчает описания использования, такие как «Цель 1 в области А, цель 2 в области В».

Scope и **DomainOfValidity** являются необязательными для сокращения описания СК с использованием WKT (см. [8]). Однако настоятельно рекомендуется, чтобы в геодезических реестрах записи для СК и действий с координатами включали по крайней мере одну пару **Scope + DomainOfValidity**. Дополнительно могут быть заданы дополнительные пары **Scope + DomainOfValidity**.

8.2 Блок-схема (UML) общих классов

На рисунке 7 показана блок-схема (UML) классов пакета **Common Classes**. Определения классов в пакете приведены в таблицах 6—8.

Типы данных **MD_Identifier** и **EX_Extent** определены в ГОСТ Р 57668. Блок-схема (UML) атрибутов этих классов, имеющих особое значение для настоящего стандарта, показана на рисунке 8.

[1)] gost.e-ecolog.ru .org/

Класс **EX_Extent** содержит информацию о географическом, вертикальном и временном масштабах. **EX_GeographicExtent** может быть подклассом **EX_BoundingPolygon**, **EX_GeographicBoundingBox** и **EX_GeographicDescription**.

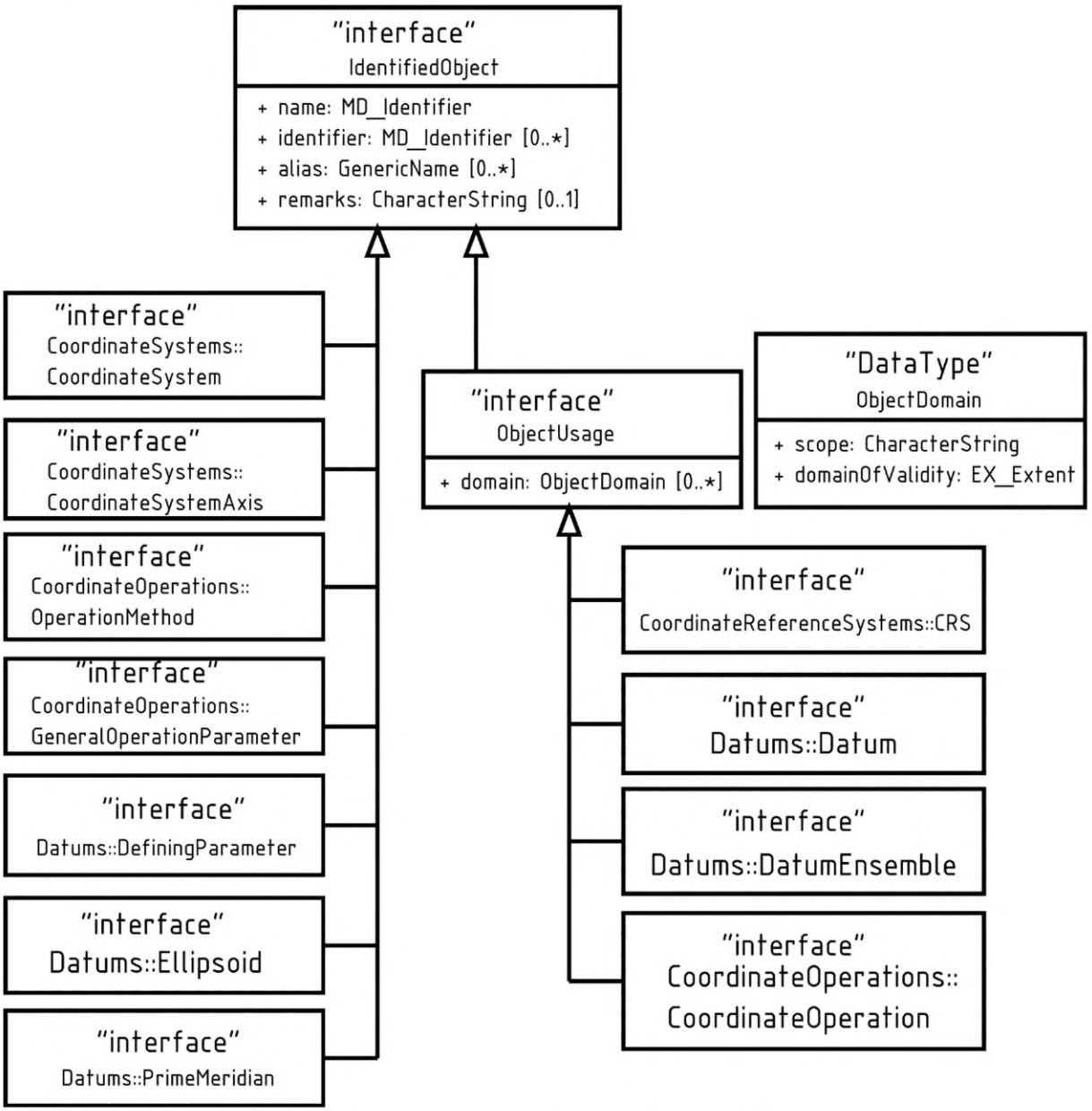

Рисунок 7 — Блок-схема (UML). Пакет **Common Classes**

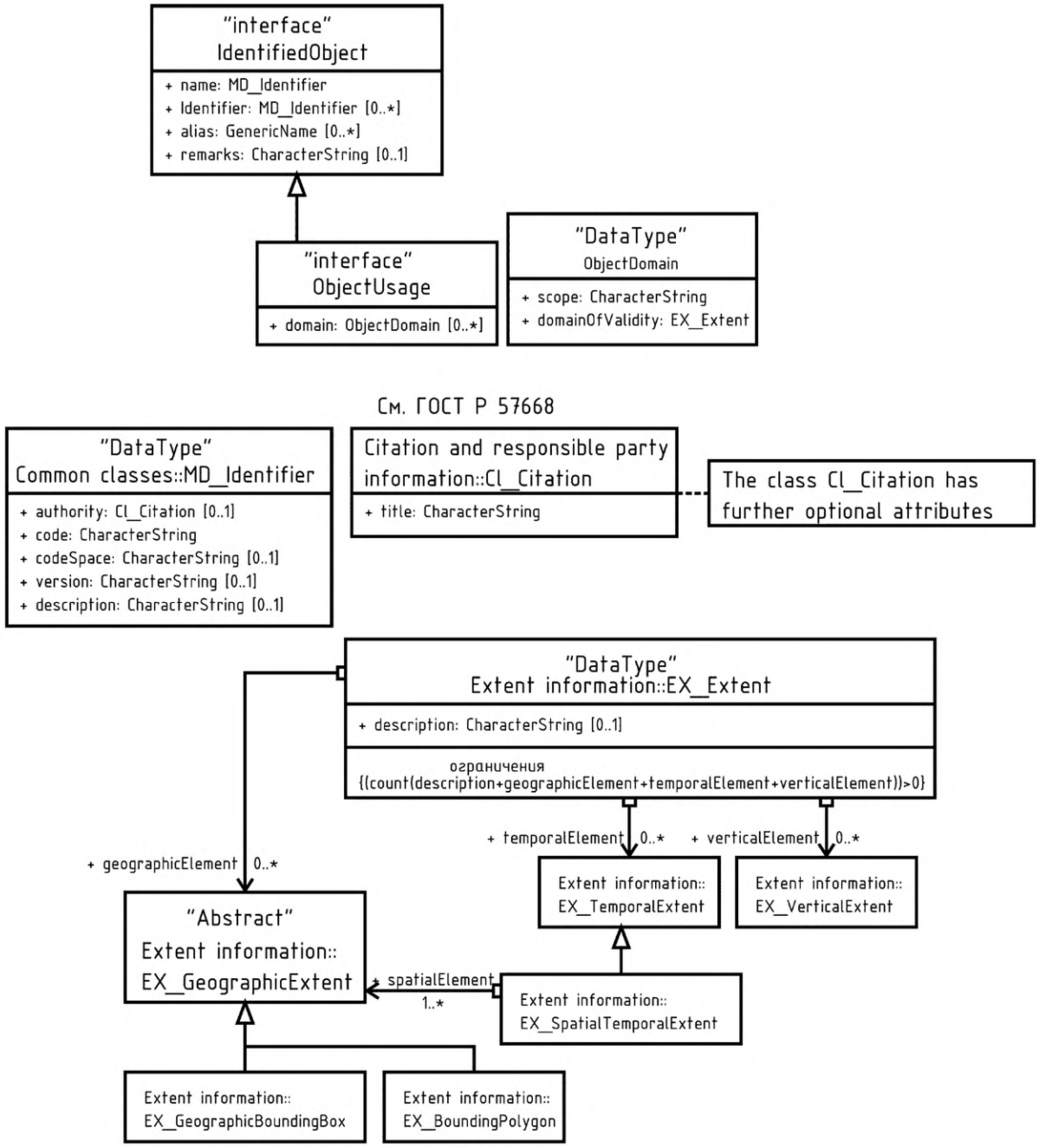

Рисунок 8 — Блок-схема (UML). Типы данных согласно ГОСТ Р 57668 (**Metadata**)

Таблица 6 — Определяющие элементы общих классов Common Classes::IdentifiedObject

Определение (Definition): идентификации объекта, связанного с СК					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Обобщает (Generalization of): ObjectUsage, Coordinate Systems::CoordinateSystem, Coordinate Systems:: CoordinateSystemAxis Datums::DefiningParameter, Datums::Ellipsoid, Datums::PrimeMeridian Coordinate Operations::GeneralOperationParameter, Coordinate Operations::OperationMethod					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Имя объекта	name	MD_Identifier	M	1	основное имя, по которому идентифицируется этот объект
Идентификатор объекта	identifier	MD_Identifier	O	N	идентификатор, который ссылается в другом месте на информацию, определяющую объект; в качестве альтернативы идентификатор, по которому можно сослаться на этот объект
Псевдоним объекта	alias	GenericName	O	N	альтернативное имя, по которому идентифицируется этот объект
Примечания к объекту	remarks	CharacterString	O	1	комментарии или информация об этом объекте, включая информацию об источнике данных

Таблица 7 — Определяющие элементы общих классов Common Classes::ObjectUsage

Определение (Definition): использование объекта, связанного с СК					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): IdentifiedObject					
Обобщает (Generalization of): Coordinate Reference Systems::CRS, Datums::Datum, Datums::DatumEnsemble, Coordinate Operations::CoordinateOperation					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, идентификатор, псевдоним и примечания), унаследованные от IdentifiedObject, также:					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Использование объекта	domain	ObjectDomain	O	N	объем и достоверность объекта, связанного с СК

Таблица 8 — Определяющие элементы общих классов Common Classes::ObjectDomain

Определение (Definition): сфера действия и достоверность объекта, связанного с СК					
Шаблон (Stereotype): DataType					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Используется в (Used by): ObjectUsage					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Сфера действия объекта	scope	Character String	M	1	описание использования (или ограничений на использование), для которых этот объект действителен Примечание — Если неизвестно, то «not known».
Достоверность объекта	domainOfValidity	EX_Extent	M	1	пространственные и временные пределы, где этот объект действителен

9 Системы координат и высот

9.1 Системы координат

9.1.1 Общие сведения

В настоящем стандарте система координат (СК) задается в общем случае двумя компонентами: математическими координатами (см. раздел 10) и началом отсчета или опорными, исходными пунктами (см. раздел 11). Производные от них СК имеют третий компонент: преобразование координат (см. раздел 12). Каждый из этих компонентов имеет набор атрибутов.

Исходные, опорные пункты реализации СК определяют отношение системы координат к объекту, тем самым обеспечивая применение абстрактного математического понятия координат к практической задаче описания положения объектов с помощью координат. Таким объектом обычно, но не обязательно, служит Земля или объект на ней, например здание. Для определенных СК объектом может быть движущаяся платформа, такая как автомобиль, корабль, самолет или космический корабль.

В настоящем стандарте предполагается, что определение одной СК принципиально не меняется со временем. Для объектоцентрических СК, связанных с движущейся платформой, преобразование СК платформы в СК, закрепленную в Земле, может включать элемент времени. В динамической СК точки на поверхности Земли или вблизи нее координаты будут изменяться (очень медленно) из-за смещения и деформаций земной коры, и тогда определение СК может включать зависимость от времени, и/или СК может иметь модель современных деформаций земной коры.

9.1.2 Основные виды СК

СК классифицируют прежде всего по началу отсчета и опорным пунктам, а также в некоторых случаях по виду координатной сетки. Различают следующие основные типы СК:

а) геодезические — двухмерные или трехмерные координаты для пространственной привязки по всей Земле или на ее обширной части.

Если отсчетной поверхностью служит отсчетный эллипсоид, геодезические координаты называют также географическими;

б) инженерные — локальные СК трех основных видов:

1) СК для пространственной привязки в небольших областях Земли без учета кривизны уровенной поверхности. Наиболее часто применяют в гражданском и промышленном строительстве.

Примечание — Указанные приложения не ограничены только использованием инженерных СК, часто используются СК проекции или геодезические СК;

2) СК для пространственной привязки на дорожном транспорте, судне, летающих аппаратах или космических аппаратах;
3) СК для пространственной привязки на изображении (снимке или карте).

Примечание — СК изображения может быть связана с земной СК через инженерную СК или СК проекции через координатное преобразование (трансформирование). В настоящем стандарте оси СК изображения предполагаются непрерывными. Координатные сетки таких СК описаны в [9];

в) системы высот — одномерные шкалы для преобразования геопотенциальных чисел в линейную меру;

г) параметрические — одномерные шкалы, которые используют в качестве координаты физическую величину или некоторую функцию;

Пример — Давление как характеристика высоты;

д) временные — одномерные шкалы (системы счета) времени.

Эти основные виды СК описаны подробнее в В.2.1.

9.2 Производные СК

9.2.1 Общие сведения

Производные (вторичные) СК задаются координатным преобразованием к другой, предшествующей СК, служащей основой. Производные СК подразумевают использование реализации или опорных пунктов исходной СК (см. раздел 11). Следовательно, большая часть производных СК имеет тот же тип, что и исходная СК. Почти все производные СК имеют математические координаты того же вида, который допускается в основных СК того же типа.

Примеры

1 Производная географическая СК будет иметь геодезические координаты по определению.

2 Производная параметрическая СК будет иметь дополнительный параметр по определению.

Примечание — Исключением служат СК, образованные от СК проекции, см. 9.2.2.

Дополнительная информация о производных СК приведена в В.2.2.2.

9.2.2 СК проекции

СК проекции представляет собой систему, полученную путем применения картографической проекции к значениям широты и долготы исходной географической или геодезической СК. СК проекции моделируются как частный случай производных СК из-за их важности в структуре географической информации. В СК проекции используются плоские прямоугольные координаты. В особом случае от базовой СК сохраняется геодезическая высота для формирования трехмерной декартовой СК.

СК проекции может рассматриваться как исходная СК при образовании производной СК проекции. Производная СК проекции может не иметь прямоугольные координаты: она может иметь другой тип координат.

Примечание — Термин «производная СК проекции» используется для сохранения внутренней целостности в блок-схемах (UML). Сама производная СК проекции не является СК проекции — более точным определением будет «полученная из СК проекции». Однако в дополнение к наследованию начала и реализации исходной СК производная СК проекции также наследует нелинейные искажения, обусловленные особенностями проекции.

9.3 Составные СК (объединение СК)

9.3.1 Общие сведения

Составная СК представляет собой неповторяющуюся последовательность двух или более СК, ни одна из которых не является составной.

Примеры

1 СК проекции, имеющая в плане абсциссу (на север) и ординату (на восток), и с физической высотой над уровнем моря в качестве высотной составляющей.

2 Географическая СК, имеющая в плане широту и долготу, а также давление в качестве высотной составляющей.

Вложение составных СК не допускается; отдельные СК объединяются вместе. Дополнительная информация о составных СК приведена в В.2.2.3.

9.3.2 Пространственные составные СК

Существует ряд ограничений для построения составных СК в пространстве. Составные СК не должны содержать повторяющихся или избыточных осей. Допустимыми комбинациями являются следующие:

а) географические координаты (двухмерные) + высота;

б) географические координаты + инженерная вертикаль (почти высота);

в) СК проекции (двухмерные) + высота;

г) СК проекции (двухмерные) + инженерная вертикаль (почти высота);

д) инженерная двухмерная плановая + высота;

е) инженерная одномерная линейная + высота;

ж) производная СК проекции (двухмерная) + инженерная вертикаль (почти высота).

9.3.3 Пространственно-временные составные СК

Любая пространственная СК или любая составная СК по 9.3.2 может быть связана с системой счета времени для формирования пространственно-временной составной СК, при этом может быть включено более одной системы счета времени, если они соответствуют разным величинам, см. пример в Д.4.4.

9.3.4 Составная пространственная параметрическая СК

Пространственная параметрическая СК представляет собой составную СК, в которой одним компонентом служит географическая (широта и долгота), двухмерная СК проекции или двухмерная инженерная СК или производная СК проекции, дополненные параметрической СК для создания трехмерной СК (см. пример в Д.3.3). Может быть включено более одной параметрической СК, если они представляют независимые параметрические величины.

9.3.5 Пространственно-временная параметрическая СК

Любая из перечисленных выше комбинаций пространственных, параметрических и временных СК может быть взята в состав пространственно-временной параметрической составной/комбинированной СК.

9.4 Блок-схема (UML) СК

На рисунке 9 показана блок-схема (UML) пакета **Coordinate Reference Systems**. Типы производных СК показаны на рисунке 10. Определения классов объектов пакета **Coordinate Reference Systems** приведены в таблицах 9—26.

На блок-схеме (UML) пакета **Coordinate Reference Systems** показана связь **CoordinateSystem** из **SingleCRS** (одиночной СК) в класс **CoordinateSystem** (координаты). Эта связь показывает, что все подклассы **SingleCRS** имеют прямую связь с **CoordinateSystem** или одним из ее подклассов, как подробно описано в разделе 10. Ограничения на связи между СК и координатами подробно описаны в разделе 10.

На блок-схеме (UML) **Coordinate Reference Systems** также показана связь **DefiningDatum** из класса **SingleCRS** (одиночной СК) в класс **Datum** (начало отсчета и исходные пункты). Эта связь указывает на то, что многие, но не все подклассы **SingleCRS** (одиночной СК) имеют прямую связь с **Datum** (начало отсчета и исходные пункты) или с одним из его подклассов. В качестве альтернативы **SingleCRS** (одиночная СК) может быть связана не с одним, а с несколькими началами отсчета или исходными пунктами. Ограничения на связи между СК и одним/несколькими началами отсчета или исходными пунктами подробно описаны в разделе 11. Производные СК не используют эту связь с началами отсчета или исходными пунктами, а наследуют их от исходной СК, из которой получены.

На блок-схеме (UML) **Coordinate Reference Systems** дополнительно показана связь с именем **Definition** из класса **DerivedCRS** в класс **Conversion**. Обычно это реализуется как преобразование координат, встроенное в определение производной СК. Преобразование координат — это тип действий с координатами. Модель UML для действий с координатами подробно описана в разделе 12. Связи между СК и действиями с координатами обобщены в блок-схеме (UML) в разделе 12, рисунок 17.

Дополнительная информация о моделировании СК приведена в В.2.

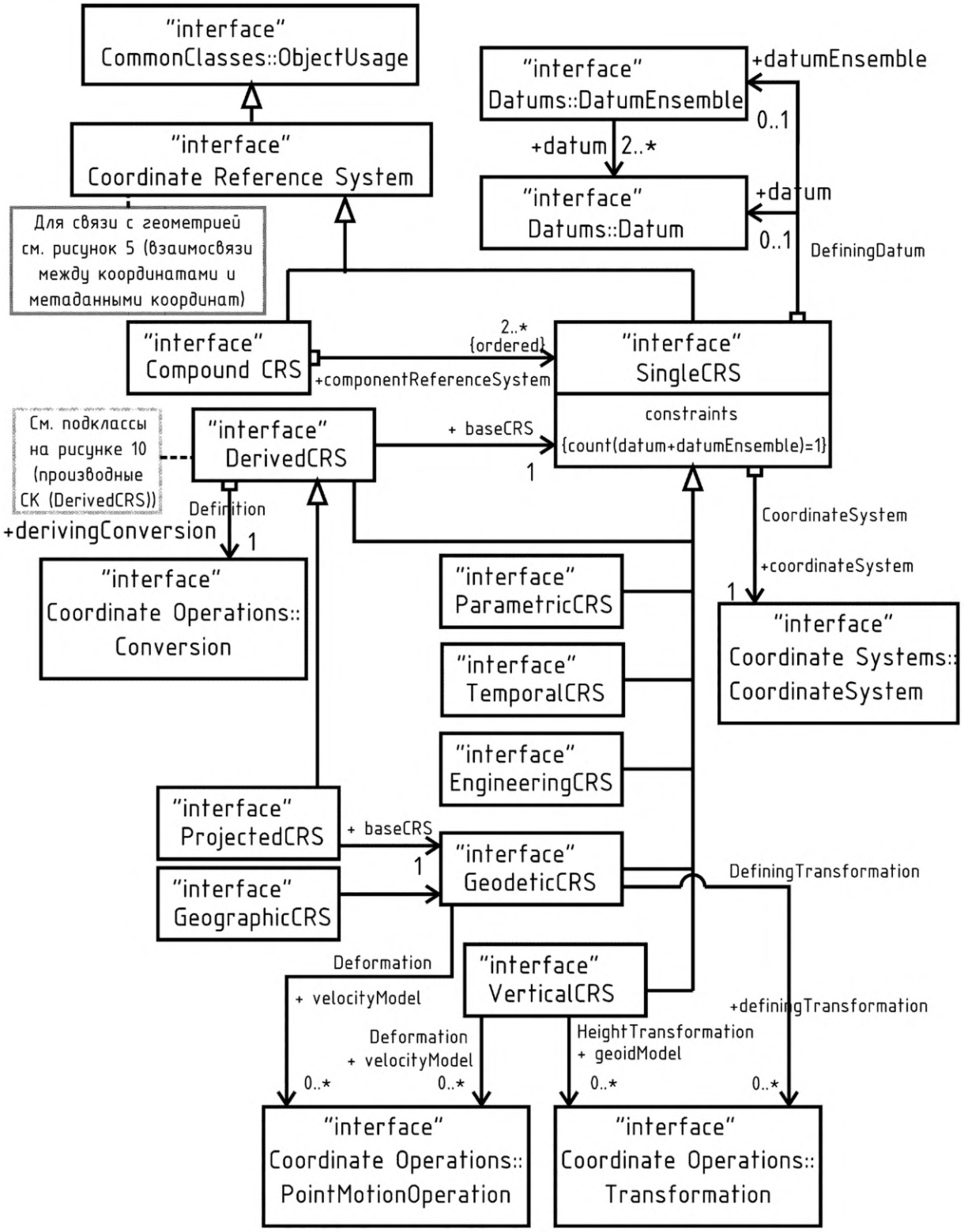

Рисунок 9 — Блок-схема (UML). Системы координат (**Coordinate Reference Systems**)

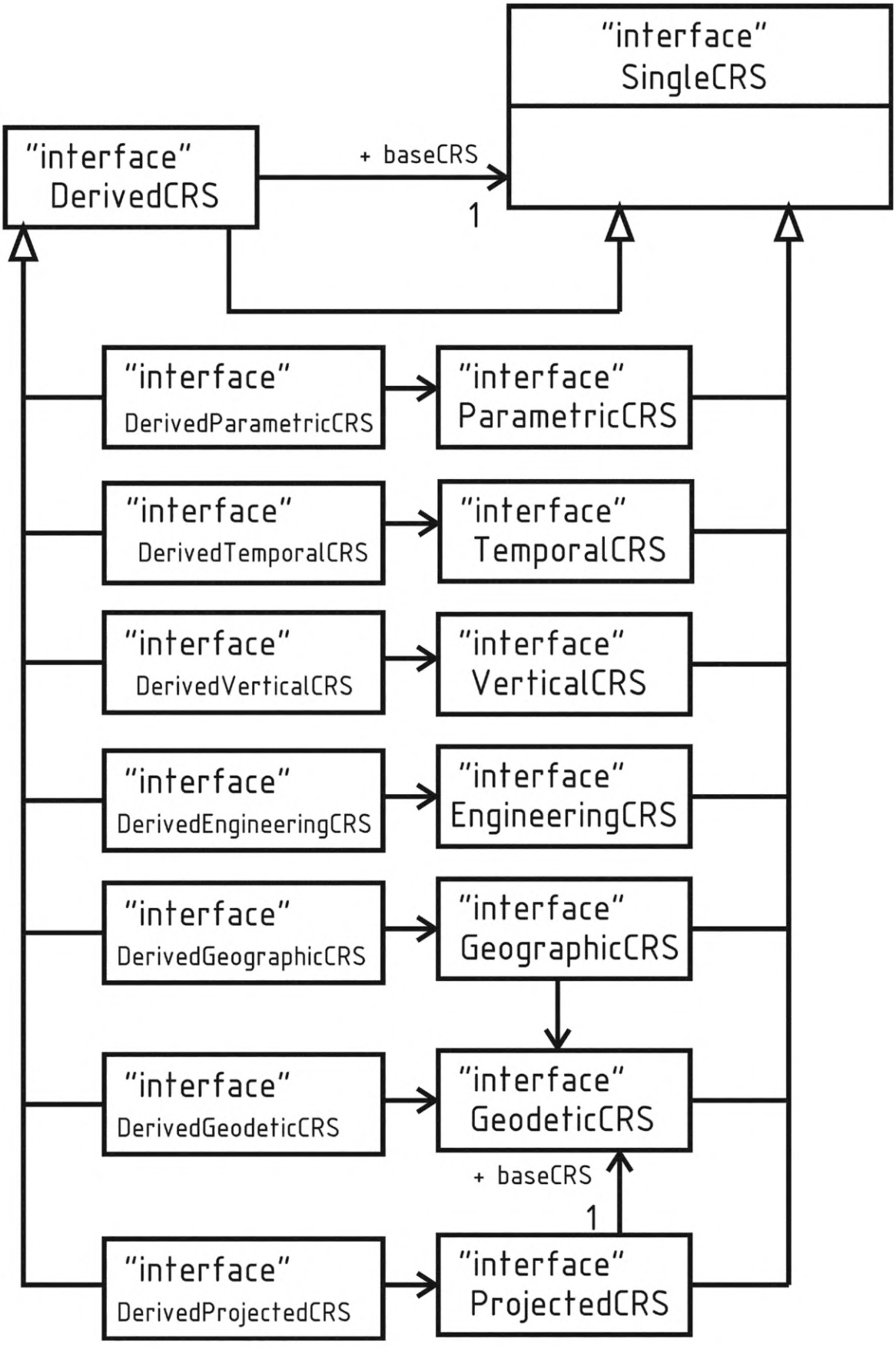

Рисунок 10 — Блок-схема (UML). Производные СК (**Derived CRS**)

Таблица 9 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems::CRS

Определение (Definition): СК, обычно отдельная, но может быть и составной

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Abstract

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::ObjectUsage

Обобщает (Generalization of): SingleCRS, CompoundCRS

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Источник	coordOperationFrom	Coordinate Operations:: CoordinateOperation	O	N	действие с координатами, в которое вводятся координаты
Цель	coordOperationTo	Coordinate Operations:: CoordinateOperation	O	N	действие с координатами, из которого выводятся координаты
Интерполяция	coordOperation	Coordinate Operations:: CoordinateOperation	O	N	действия с координатами, которые используют эту СК для интерполяции файлов данных с координатной сеткой при преобразовании координат между двумя другими СК
(без имени)	directPosition	Geometry::Geometry	M	1	геометрические связи, которые относятся к этой СК

Примечание, связанное с ассоциацией от Geometry::Geometry: Вид crs определяется атрибутом rsid. (См. [1]).

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 10 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: SingleCRS

Определение (Definition): СК, включающая однотипные координаты, а также одну СК или объединение однотипных СК

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Abstract

Наследует от (Inheritance from): CRS

Обобщает (Generalization of): GeodeticCRS, VerticalCRS, ParametricCRS, EngineeringCRS, TemporalCRS, DerivedCRS

Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CRS, также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinateSystem	CoordinateSystems::CoordinateSystem	M	1	координаты в составе этой СК
Начало отсчета	(aggregation) datum	Datums::Datum	C	1	начало отсчета в составе этой СК
(без имени)	(aggregation) datumEnsemble	Datums::DatumEnsemble	C	1	объединение нескольких СК на основе данной
(без имени)	derivedCRS	DerivedCRS	O	N	производная(ые) СК, где эта СК является базовой
(без имени)	compoundCRS	CompoundCRS	O	N	составная(ые) СК, куда входит эта СК (является компонентом)

Ограничения: `{count(datum + datumEnsemble) = 1}`

Примечание — Ограничение требует, чтобы singleCRS был связан либо с реализацией системы отсчета, либо с объединением данных одного начала отсчета.

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 11 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: GeodeticCRS

Определение (Definition): двух- или трехмерная СК, связанная с геодезической СК на эллипсоиде, пространственными декартовыми или сферическими координатами.

Примечание — Геодезическая СК может быть динамической или статической.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): SingleCRS

Обобщает (Generalization of): GeographicCRS, DerivedGeodeticCRS

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinateSystem	CoordinateSystems:: GeodeticCS	M	1	геодезические координаты, которые являются компонентом этой СК
Начало отсчета	(aggregation) datum	Datums:: Geodetic ReferenceFrame	O	1	геодезическая СК, которая является компонентом этой СК
Определяющее преобразование	definingTransformation	CoordinateOperations:: Transformation	O	N	преобразование, определяющее геодезическую СК
Деформации	velocityModel	CoordinateOperations:: PointMotionOperation	O	N	модель(и) скоростей или сетка(и) деформации, которые применяются к этой СК

Ограничения: ограничения, унаследованные от SingleCRS, также:

`{coordinateSystem.oclAsType(EllipsoidalCS)` подразумевает `count(datum.ellipsoid)=1}`

Примечание — Ограничение налагает требование, чтобы с эллипсоидом была связана только geographicCRS. Это делается через класс GeodeticCRS, т.к. GeographicCRS связан с Datum и, следовательно, с Ellipsoid только через его подтип из класса GeodeticCRS. В настоящем стандарте геодезическая СК GeodeticCRS должна быть связана с декартовыми или сферическими координатами

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 12 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: GeographicCRS

Определение (Definition): СК, связанная с геодезической СК и двух- или трехмерными геодезическими координатами.

Примечание — Если геодезическая СК является динамической, то географическая СК также является динамической, в противном случае она является статической.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): GeodeticCRS

Обобщает (Generalization of): DerivedGeographicCRS

Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от GeodeticCRS, также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinateSystem	CoordinateSystems:: EllipsoidalCS	M	1	геодезические координаты, которые являются компонентом этой СК

Ограничения: ограничения, унаследованные от GeodeticCRS

Примечание — Ограничение, что `{coordinateSystem.oclAsType(EllipsoidalCS)` подразумевает `count(datum.ellipsoid)=1}`, унаследованное от geodeticCRS, обеспечивает связь GeographicCRS с эллипсоидом. Это выполняется через класс GeodeticCRS, т.к. GeographicCRS связан с Datum и, следовательно, с Ellipsoid только через его подтип из класса GeodeticCRS.

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 13 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: VerticalCRS

Определение (Definition): система высот над уровнем моря состоит из начала счета высот и правила их вычисления из геопотенциального числа, используемая для представления высот (или глубин) в виде отметок; системы высот используют силовые линии реальной или нормальной силы тяжести для определения высоты (или глубины).

Примечания

1 Система высот может быть динамической или статической.

2 Геодезические высоты не относятся к системе высот над уровнем моря. Они существуют только как неотъемлемая часть вектора пространственных координат, определенного в географической пространственной СК.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): SingleCRS

Обобщает (Generalization of): DerivedVerticalCRS

Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleCRS, также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinate System	CoordinateSystems:: GeodeticCS	M	1	система физических высот, которая является компонентом этой СК
Начало отсчета	(aggregation) datum	Datums:: Geodetic ReferenceFrame	O	1	начало отсчета высоты, которая является компонентом этой СК
Преобразование высот	geoidModel	from DerivedCRS	O	N	модель высот (квази)геоида или модель поправок высот, связанные с этой СК
Деформации	velocityModel	CoordinateOperations:: PointMotionOperation	O	N	модель(и) скоростей или сетка(и) деформации, которые применяются к этой СК

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 14 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: ParametricCRS

Определение (Definition): СК, имеющая начало отсчета параметра, и параметрическая одномерная СК, в которой используются значения параметров или функции					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): SingleCRS					
Обобщает (Generalization of): DerivedParametricCRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleCRS, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinate System	CoordinateSystems:: ParametricCS	M	1	параметрическая СК, которая является компонентом этой СК
Начало отсчета	(aggregation) datum	Datums:: ParametricDatum	O	1	начало отсчета параметра, который является компонентом этой СК
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, действительность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и CommonClasses::ObjectUsage.					

Таблица 15 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: EngineeringCRS

Определение (Definition): буквально локальная СК, связанная с несколькими точками и применяемая либо к объектам на поверхности Земли или вблизи нее без геодезических поправок, либо на движущихся платформах, таких как дорожные транспортные средства, суда, самолеты или космические аппараты, или в качестве внутренней СК изображения					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): SingleCRS					
Обобщает (Generalization of): DerivedEngineeringCRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleCRS, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinateSystem	CoordinateSystems:: EngineeringCS	M	1	координаты в составе этой СК
Начало отсчета	(aggregation) datum	Datums:: EngineeringDatum	O	1	исходный пункт и направление в составе этой СК
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.					

Таблица 16 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: TemporalCRS

Определение (Definition): СК, связанная с системой измерения времени, и одномерная шкала времени					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): SingleCRS					
Обобщает (Generalization of): DerivedTemporalCRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleCRS, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	(aggregation) coordinate System	CoordinateSystems:: TemporalCS	M	1	шкала времени в данной СК
Начало отсчета	(aggregation) datum	Datums:: TemporalDatum	O	1	начальный момент времени, которые являются компонентом этой СК
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.					

Таблица 17 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedCRS

Определение (Definition): отдельная СК, которая определяется путем применения указанного преобразования координат к определению ранее установленной отдельной СК, называемой базовой СК.					
Примечание — Производная СК наследует свое начало отсчета (и исходные пункты) от своей базовой СК. Преобразование координат между базовой и производной СК осуществляется с использованием параметров и формул(ы), указанных в определении преобразования координат.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): SingleCRS					
Обобщает (Generalization of): ProjectedCRS, DerivedProjectedCRS, DerivedGeodeticCRS, DerivedGeographicCRS, DerivedVerticalCRS, DerivedEngineeringCRS, DerivedParametricCRS, DerivedTemporalCRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleCRS, including … (aggregation) coordinateSystem to CoordinateSystems::CoordinateSystem [10], ассоциация, названная CoordinateSystem), также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	baseCRS	SingleCRS	M	1	СК, которая является базовой (baseCRS) для данной СК
Definition	(aggregation) derivingConversion	CoordinateOperations:: Conversion	M	1	преобразование, использованное при задании данной СК
Ограничения: `{count(baseCRS.datum)=1` подразумевает `datum=baseCRS.datum}` `{count(baseCRS.datumEnsemble)=1` подразумевает `datumEnsemble=baseCRS.datum}`					
Примечание — Ограничения требуют, чтобы производная СК входила в объединение данных (в зависимости от того, что из них применимо) своей базовой СК.					
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, действительность и примечания), унаследованные от CommonClasses::IdentifiedObject и CommonClasses::ObjectUsage.					

Таблица 18 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: ProjectedCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет геодезическую (обычно географическую) СК в качестве базовой, тем самым наследуя геодезическую СК, преобразуется с использованием картографической проекции и имеет декартову СК, обычно двухмерную, но может быть и трехмерную. Примечание – В 3D геодезическая высота географической СК остается без изменений и формирует вертикальную ось декартовой СК проекции.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): DerivedCRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от DerivedCRS, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	baseCRS	GeodeticCRS	M	1	геодезическая или географическая СК, которая является базовой для этой СК
СК	(aggregation) coordinateSystem	CoordinateSystems:: CartesianCS	M	1	Декартовы координаты — компонент этой СК
(без имени)	derivedCRS	DerivedProjectedCRS	O	N	производная СК проекции, для которой эта СК является базовой
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.					

Таблица 19 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedProjectedCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет СК проекции в качестве своей базовой СК, тем самым наследуя геодезическую СК, но также наследуя искажения базовой СК проекции					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): DerivedCRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от DerivedCRS, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	baseCRS	ProjectedCRS	M	1	СК проекции, которая является базовой (baseCRS) для этой СК
СК	(aggregation) coordinate System	CoordinateSystems:: DerivedProjectedCS	M	1	координаты, которые являются компонентами этой СК
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.					

Таблица 20 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedGeodeticCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет либо геодезическую, либо географическую СК в качестве базовой СК, тем самым наследуя геодезическую СК, также связанная с трехмерной декартовой или сферической СК	
Шаблон (Stereotype): Interface	
Атрибут класса (Class attribute):	Concrete
Наследует от (Inheritance from):	GeodeticCRS, DerivedCRS
Роли в связи (Association roles):	(ассоциации, унаследованные от GeodeticCRS) (ассоциации, унаследованные от DerivedCRS)
Общедоступные атрибуты (Public attributes):	6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 21 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedGeographicCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет геодезическую или географическую СК в качестве базовой СК, тем самым наследуя геодезическую СК и эллипсоидальные координаты. Примечание — Производная географическая СК может быть основана на геодезической СК, только если это определение геодезической СК включает эллипсоид.	
Шаблон (Stereotype): Interface	
Атрибут класса (Class attribute):	Concrete
Наследует от (Inheritance from):	GeographicCRS DerivedCRS
Роли в связи (Association roles):	(ассоциации, унаследованные от GeographicCRS) (ассоциации, унаследованные от DerivedCRS)
Примечание — Ограничение, унаследованное через GeographicCRS: эллипсоид обязателен.	
Общедоступные атрибуты (Public attributes):	6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 22 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedVerticalCRS

Определение (Definition): производная система, которая имеет систему высот в качестве своей базовой системы, тем самым наследуя начало отсчета и реализацию системы высот	
Шаблон (Stereotype): Interface	
Атрибут класса (Class attribute):	Concrete
Наследует от (Inheritance from):	VerticalCRS DerivedCRS
Роли в связи (Association roles):	(ассоциации, унаследованные от VerticalCRS) (ассоциации, унаследованные от DerivedCRS)
Общедоступные атрибуты (Public attributes):	6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.

Таблица 23 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedParametricCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет параметрическую СК в качестве своей базовой СК, тем самым наследуя параметрическое начало отсчета, и параметрическую СК	
Шаблон (Stereotype): Interface	
Атрибут класса (Class attribute):	Concrete
Наследует от (Inheritance from):	ParametricCRS DerivedCRS
Роли в связи (Association roles):	(ассоциации, унаследованные от ParametricCRS) (ассоциации, унаследованные от DerivedCRS)
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.	

Таблица 24 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedEngineeringCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет инженерную СК в качестве своей базовой СК, тем самым наследуя начало отсчета инженерной СК, и связана с одним из типов координат в классе engineeringCS	
Шаблон (Stereotype): Interface	
Атрибут класса (Class attribute):	Concrete
Наследует от (Inheritance from):	EngineeringCRS DerivedCRS
Роли в связи (Association roles):	(ассоциации, унаследованные от EngineeringCRS) (ассоциации, унаследованные от DerivedCRS)
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, действительность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.	

Таблица 25 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: DerivedTemporalCRS

Определение (Definition): производная СК, которая имеет систему отсчета времени в качестве своей базовой СК, тем самым наследуя временные данные, и связана с системой измерения времени	
Шаблон (Stereotype): Interface	
Атрибут класса (Class attribute):	Concrete
Наследует от (Inheritance from):	TemporalCRS DerivedCRS
Роли в связи (Association roles):	(ассоциации, унаследованные от TemporalCRS) (ассоциации, унаследованные от DerivedCRS)
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, действительность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.	

Таблица 26 — Определяющие элементы класса Coordinate Reference Systems:: CompoundCRS

Определение (Definition): система СК, описывающая положение точек через две или более независимые отдельные СК. Примечание — Две СК независимы друг от друга, если значения координат в одной не могут быть трансформированы или преобразованы в значения координат в другой.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): CRS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CRS, также					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) componentReferenceSystem	SingleCRS (ordered)	M (minimum 2)	N	СК, которые являются компонентом этой составной СК
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, действительность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage.					

10 Математические координаты

10.1 Математические координаты. Общие сведения

В настоящем стандарте пакет **Coordinate Systems** определяет два основных элемента СК: математические координаты и координатные линии. Прямоугольные декартовы координаты задаются с помощью неповторяющейся последовательности координатных осей. Одни и те же координаты могут быть использованы несколькими реализациями СК. Размерность пространства, названия, единицы измерения, направления и последовательность координатных осей — все это входит в описание математических координат. Количество осей должно соответствовать размерности пространства. Количество координат в векторе должно быть равно количеству координатных осей. Координаты в векторе необходимо указывать в том порядке, в котором заданы координатные оси.

В настоящем стандарте виды координат разделены на подтипы по геометрическим свойствам охватываемого координатного пространства и геометрическим свойствам самих осей (прямые или криволинейные, ортогональные или нет). Некоторые подтипы координат необходимо использовать только с определенными подтипами СК, как показано в таблице 27 и на рисунках 12 и 13.

10.2 Параметрические СК с дополнительным нелинейным параметром

СК относится к параметрическому типу, если в качестве измерения используется физическое или материальное свойство или функция. Параметр может быть измерен или может быть функцией, определенной в других смыслах, но в параметрических СК он образует ось СК.

Примеры

1 Давление в метеорологических приложениях.

2 Плотность в океанографических приложениях.

10.3 Системы времени

Настоящий стандарт поддерживает три формы временной СК:

- **DateTimeTemporalCS**: значениями координат являются **dateTime** в пролептическом григорианском календаре, как описано в ГОСТ Р 7.0.64;

- **TemporalCountCS**: значения координат — целые числа, служащие единицами измерения времени;

- **TemporalMeasureCS**: значения координат — действительные числа, служащие единицами измерения времени.

Шкала времени должна быть одномерной и иметь одну ось. Дополнительная информация представлена в приложении Г.

10.4 Координатные линии и оси

Координаты состоят из неповторяющейся последовательности координатных осей. Каждая из координатных осей описывается уникальным сочетанием имени оси, аббревиатуры оси, направления и единицы измерения.

Обозначения этих атрибутов могут применяться, как описано в разделе 7.

Примеры

1 Комбинация {«Широта», φ, север, градус} приведет к одному варианту класса объектов «координатная ось»; комбинация {«Широта», φ, север, радиан} — к другому, т. к. единица измерения оси другая.

2 Комбинация {«Восток», E, восток, метр} приведет к одному экземпляру класса объектов «координатная ось»; комбинация {«Восток», X, восток, метр} в другом экземпляре, аббревиатура оси другая.

В настоящем стандарте использование названий координатных осей ограничено геодезическим использованием в зависимости от типа СК. Эти ограничения показаны в таблице 28. Эти ограничения необходимы при работе в двух направлениях использования.

Пример — Поскольку «геодезическая широта» и «геодезическая долгота» используются в качестве названий координатных осей, образующих географическую СК, эти названия не могут использоваться в другом контексте.

Псевдонимы для этих ограниченных названий разрешены.

Параметрические, временные и инженерные СК могут использовать названия, характерные для контекста или традиционные.

Координатные оси описаны в В.3.3.

10.5 Блок-схема (UML) СК

На рисунке 11 показана блок-схема (UML) классов пакета **Coordinate Systems**. Существующие ограничения на связи между типами СК и типами координат показаны на блок-схеме классов (UML) на рисунке 12. Определения классов объектов пакета математических координат приведены в таблицах 29—50.

Таблица 27 — Типы координат и ограничения на их использование в составе СК

Тип координат	Описание	Классы СК, где используются координаты	Значение
Аффинные	Двух- или трехмерные координаты в евклидовом пространстве с прямыми осями (не обязательно ортогональными)	engineering derivedEngineering derivedProjected	Инженерные и производные, производные СК проекции
Декартовы	Двух- или трехмерные координаты в евклидовом пространстве, задающие положение точек относительно прямых ортогональных координатных осей. Все оси должны иметь одну и ту же единицу измерения	geodetic projected engineering derivedGeodetic derivedProjected derivedEngineering	Геодезические, проекции, инженерные и их производные
Цилиндрические	Трехмерные координаты в евклидовом пространстве, состоящие из полярных координат, дополненные прямой координатной осью, перпендикулярной к плоскости полярных координат	engineering derivedEngineering derivedProjected	Инженерные и производные, производные СК проекции
Геодезические	Двух- или трехмерные координаты, в которых положение определяется геодезической широтой, геодезической долготой и (в трехмерном случае) геодезической высотой	geographic derivedGeographic	Географические и производные
Линейные	Одномерные координаты, состоящие из точек на одной кривой или прямой. ***Пример — точки и метки вдоль линейного объекта — трубопровода.***	engineering derivedEngineering	Инженерные и производные

Окончание таблицы 27

Тип координат	Описание	Классы СК, где используются координаты	Значение
	Настоящий стандарт допускается использовать только для простых (непрерывных) линейных объектов. Более подробное рассмотрение вопроса, особенно применительно к транспортной отрасли, — см. [11]		
Порядковые целочисленные	*n*-мерные координаты с использованием целочисленной индексации; целочисленная порядковая оцифровка осей (для пикселей изображения или камеры)	engineering derivedEngineering derivedProjected	Инженерные и производные, производные СК проекции
Параметрические	Одномерные координаты, в которой единицы измерения являются значениями параметров, которые по своей сути не являются пространственными	parametric derivedParametric	Параметрические и производные
Полярные	Двухмерные координаты в евклидовом пространстве, положение в которых определяется расстоянием от начала координат и углом между направлением на точку и начальным направлением	Engineering derivedEngineering derivedProjected	Инженерные и производные, производные СК проекции
Сферические	Координаты в евклидовом пространстве, включающие две угловые координаты (в двухмерном случае), а также расстояние до начала координат (в трехмерном случае). Примечание — Не следует путать с географической СК, у которой эллипсоид «вырожден» в сферу.	Geodetic engineering derivedGeodetic derivedEngineering derivedProjected	Геодезические инженерные и их производные, производные проекции
Временные	Одномерные координаты, где осью является время	temporal derivedTemporal	Временные и производные
Вертикальные	Одномерные координаты для записи высот (или глубин) точек, зависящих от гравитационного поля Земли. Примечание — Точное определение намеренно не дается, поскольку сложность вопроса выходит за рамки настоящего стандарта.	Vertical derivedVertical	Системы высот и их производные

Таблица 28 — Ограничения в названиях координатных осей

Тип координат	Использование в СК	Допустимое название координатной оси
Декартовы	(Геодезические)	Геоцентрическая абсцисса *X*, геоцентрическая ордината *Y*, геоцентрическая аппликата *Z*
Декартовы	СК проекции	Север N (или юг S), восток E (или запад W) — в двухмерном случае, а также геодезическая высота *H* — в трехмерном случае
Геодезические	Географические	Геодезическая широта *B*, геодезическая долгота *L* — в двухмерном случае, а также геодезическая высота *H* — в трехмерном случае
Сферические	(Геодезические)	Сферическая широта, сферическая долгота, геоцентрич. Радиус-вектор или геоцентрическая широта, геоцентрическая долгота, геоцентрический радиус-вектор. Примечание — Вместо широты может быть использовано ее дополнение до 90° (ко-широта).
Высоты	Высоты	Глубина или физическая высота над уровнем моря

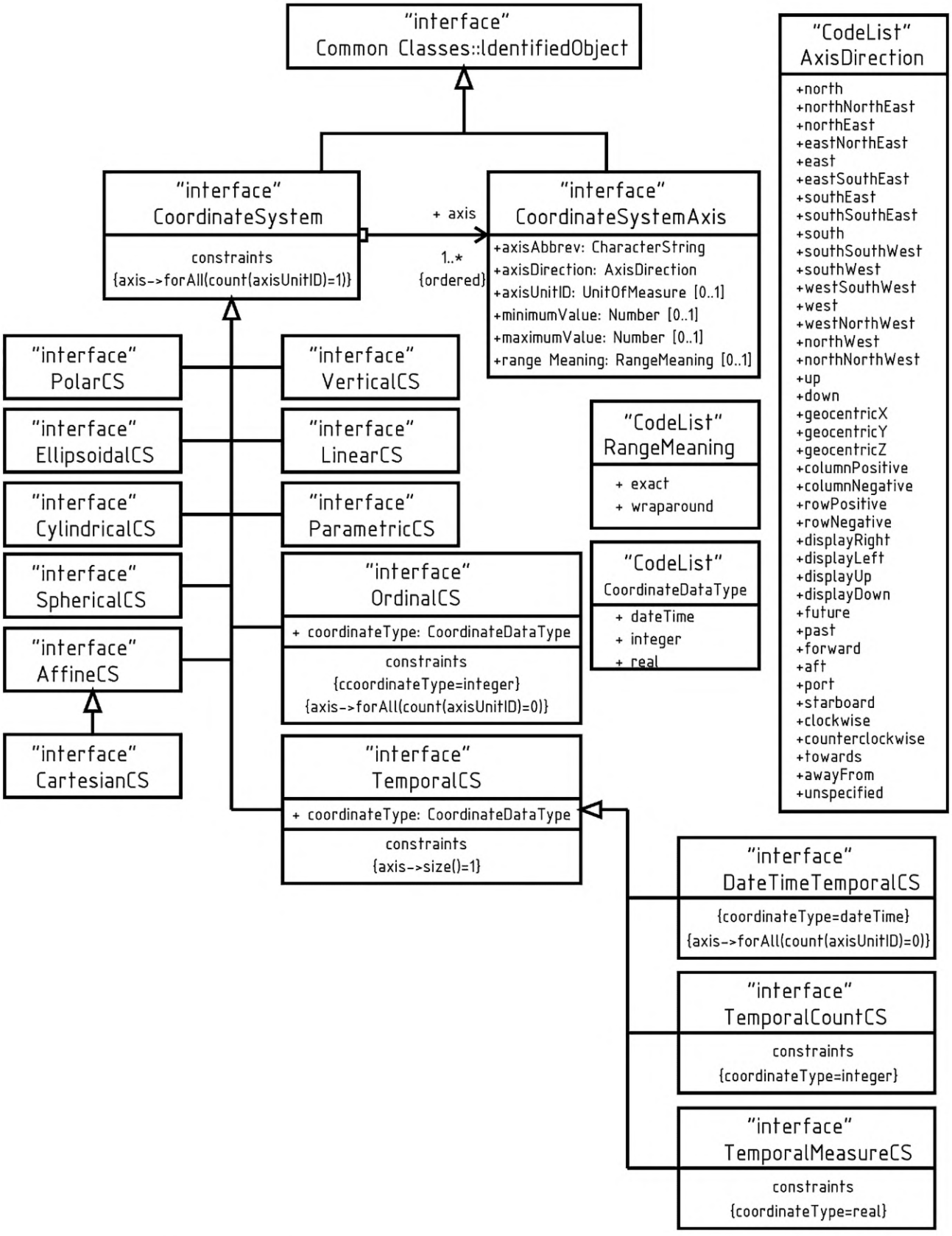

Рисунок 11 — Блок-схема (UML). Математические координаты (**Coordinate System**)

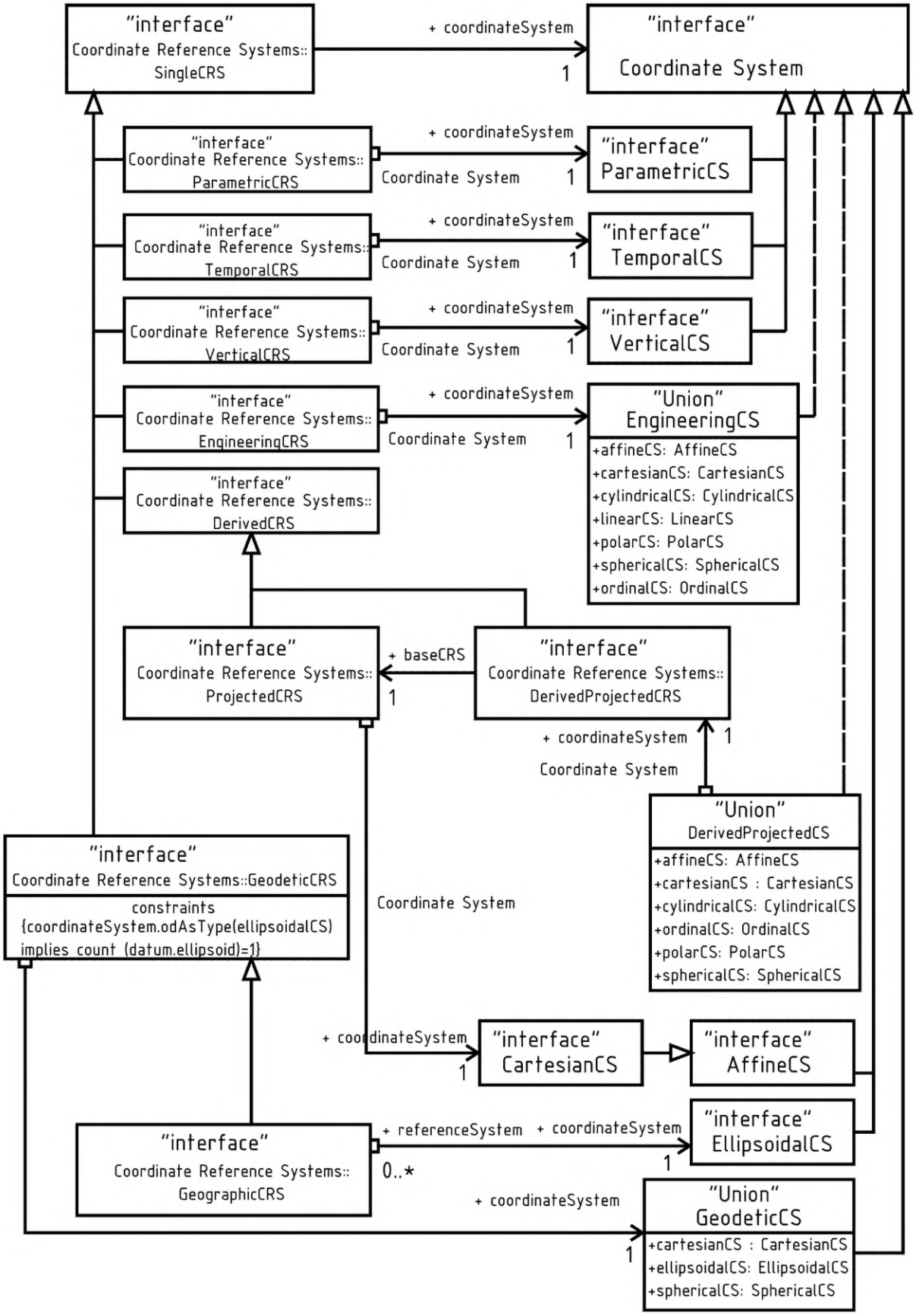

Рисунок 12 — Блок-схема (UML). Связи математических координат в составе СК

Таблица 29 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::CoordinateSystem

Определение (Definition): неповторяющаяся последовательность координатных осей, охватывающая заданное пространство. Примечание — Координаты преобразуются посредством математических связей. Значения координат в векторе координат должны быть записаны в том порядке, в котором записываются ассоциации осей СК.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject					
Обобщает (Generalization of): AffineCS, CylindricalCS, EllipsoidalCS, LinearCS, OrdinalCS, ParametricCS, PolarCS, SphericalCS, TemporalCS, VerticalCS, DerivedProjectedCS, EngineeringCS, GeodeticCS					
Роли в связи (Association roles):					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) axis	SingleCRS (ordered)	M	N	координатная ось, которая является компонентом этих координат
СК	reference system	CoordinateReferenceSystems::SingleCRS	O	N	СК, компонентом которых являются эти координаты
Ограничение: `{axis->forAll(count(axis.axisUnitID)=1)}` Примечание — Это ограничение требует, чтобы все оси включали информацию о единицах измерения. Ограничение изменяется классами ordinalCS и dtateTimeTemporalCS.					
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.					

Таблица 30 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::AffineCS

Определение (Definition): двух- или трехмерные координаты в евклидовом пространстве с прямоугольными осями. Примечание — Все оси должны иметь одинаковую единицу измерения. Декартовы координаты должны иметь две или три оси; количество ассоциаций соответствует размерности СК.
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem
Обобщает (Generalization of): Cartesian CS
Используется в (Used by): DerivedProjectedCS EngineeringCS
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.

Таблица 31 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::CartesianCS

Определение (Definition): двух- или трехмерные координаты в евклидовом пространстве с прямоугольными осями. Примечание — Все оси должны иметь одинаковую единицу измерения длины. Декартовы координаты должны иметь две или три ассоциации осей; количество ассоциаций должно равняться размерности СК.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): AffineCS					
Используется в (Used by): DerivedProjectedCS EngineeringCS GeodeticCS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	reference system	CoordinateReferenceSystems::ProjectedCRS	O	N	СК проекции, которая использует эти же координаты
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.					

Таблица 32 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::CylindricalCS

Определение (Definition): трехмерные координаты в евклидовом пространстве, состоящие из полярных координат, дополненные прямой координатной осью, перпендикулярной к плоскости полярных координат. Примечание — CylindricalCS должен иметь три ассоциации осей.
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem
Используется в (Used by): DerivedProjectedCS EngineeringCS
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.

Таблица 33 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::EllipsoidalCS

Определение (Definition): двух- или трехмерные координаты, где положение определяется геодезической широтой, геодезической долготой и (в трехмерном случае) геодезической высотой. Примечание – EllipsoidalCS должен иметь две или три ассоциации; количество ассоциаций должно равняться размерности СК.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem					
Используется в (Used by): GeodeticCS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	reference system	CoordinateReferenceSystems::GeographicCRS	O	N	географическая СК, использующая эти же координаты
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.					

Таблица 34 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::LinearCS

Определение (Definition): одномерные координаты, состоящие из точек, лежащих на одной описываемой оси. Примечание – Связанная координата — это расстояние (со смещением или без него) от исходной точки, указанной в определении начала отсчета, до точки вдоль оси. ***Пример – Использование линейного объекта, представляющего трубопровод, для описания точек на этом трубопроводе или вдоль него. LinearCS должен иметь одну ассоциацию осей.***
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem
Используется в (Used by): EngineeringCS
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.

Таблица 35 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::OrdinalCS

Определение (Definition): *n*-мерные координаты, в которой каждая ось использует целые числа. Количество ассоциаций должно быть равно размерности СК

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem

Используется в (Used by): EngineeringCS
DerivedProjectedCS

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Тип данных координат	coordinateType	CoordinateDataType	M	1	тип данных значений координат

Ограничение:
```
{coordinateType=integer}
{axis->forAll(count(axis.axisUnitID)=0)}
```

Примечание — Координаты в OrdinalCS являются последовательными. Ограничения требуют, чтобы координаты, относящиеся к порядковым координатам, имели значения координат с dataType, равным целому числу. Единицы не требуются.

Таблица 36 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::ParametricCS

Определение (Definition): одномерные координаты, в которой используются значения параметров или функции, которые могут монотонно изменяться с высотой.

Примечание — ParametricCS должен иметь одну ассоциацию осей.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem

Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem, также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	reference system	CoordinateReference Systems:: ParametricCRS	O	N	реализация параметрической СК, использующая этот параметр

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.

Таблица 37 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::PolarCS

Определение (Definition): двухмерные координаты в евклидовом пространстве, где положение точки определяется расстоянием от начала координат и углом между направлением из начала координат в точку и опорным направлением. Примечание – PolarCS должен иметь две ассоциации осей.
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem
Используется в (Used by): DerivedProjectedCS EngineeringCS
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.

Таблица 38 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::SphericalCS

Определение (Definition): двух- или трехмерные координаты в евклидовом пространстве, где положение точки определяется двумя угловыми координатами и (в трехмерном случае) расстоянием до начала отсчета (длина радиус-вектора). Не следует путать с эллипсоидальными координатами на эллипсоиде, «вырожденном» в сферу. SphericalCS должна иметь три связи с осями
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem
Используется в (Used by): DerivedProjectedCS EngineeringCS GeodeticCS
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.

Таблица 39 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::TemporalCS

Определение (Definition): система измерения времени, одномерная координата, используемая для записи времени. Примечание — TemporalCS должен иметь одну ассоциацию оси.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem					
Обобщает (Generalization of): DateTimeTemporalCS TemporalCountCS TemporalMeasureCS					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
СК	reference system	CoordinateReference Systems:: TemporalCRS	O	N	система измерения времени, куда входит эта шкала времени
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от CommonClasses::IdentifiedObject, также.					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Тип координат	coordinateType	CoordinateData Type	M	1	тип данных значений координат
Ограничение: `{axis -> size()=1}` Примечание — Ограничение применяет ограничение CoordinateSystem к подтипам TemporalCS (но это переопределяется в случае DateTimeTemporalCS).					

Таблица 40 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems:: DateTimeTemporalCS

Определение (Definition): система измерений времени, одномерная координата, используемая для записи времени в представлении dateTime, как определено в ГОСТ Р 7.0.64. Примечание — DateTimeTemporalCS должен иметь одну ассоциацию оси. Он не использует axisUnitID; временные величины определяются через представление ГОСТ Р 7.0.64.
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): TemporalCS
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от TemporalCS (aggregation) axis в DateTimeCoordinateSystemAxis – см. [10]
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 5 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания и coordinateType), унаследованные от CommonClasses::IdentifiedObject и TemporalCS, один из которых ограничен условиями.
Ограничение: `{coordinateType=dateTime}`

Таблица 41 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::TemporalCountCS

Определение (Definition): система измерений времени, одномерная координата, используемая для записи времени в виде целого числа. Примечание — TemporalCountCS должен иметь одну ассоциацию оси.
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): TemporalCS
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от TemporalCS
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 5 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания и coordinateType), унаследованные от CommonClasses::IdentifiedObject и TemporalCS, один из которых ограничен условиями.
Ограничение: `{coordinateType=integer}`

Таблица 42 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::TemporalMeasureCS

Определение (Definition): система измерения времени, одномерная координата, используемая для записи времени в виде действительного числа. TemporalMeasureCS должен иметь одну связь с осью
Шаблон (Stereotype): Interface
Атрибут класса (Class attribute): Concrete
Наследует от (Inheritance from): TemporalCS
Роли в связи (Association roles): (ассоциации, унаследованные от TemporalCS)
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 5 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания и coordinateType), унаследованные от CommonClasses::IdentifiedObject и TemporalCS, один из которых ограничен условиями.
Ограничение: `{coordinateType=real}`

Таблица 43 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::VerticalCS

Определение (Definition): система высот, одномерная координата, используемая для записи высоты или глубины точек, обычно зависящая от гравитационного поля Земли. Примечание — Точное определение не приводится намеренно, поскольку сложность предмета выходит за рамки настоящего стандарта. Вертикальная CS должна иметь одну ассоциацию оси.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): CoordinateSystem					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
CK	reference system	CoordinateReference Systems:: VerticalCRS	O	N	реализация система высот, в которой используется теория высот
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.					

Таблица 44 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::DerivedProjectedCS

Определение (Definition): координаты в составе DerivedProjected CRS: аффинные, декартовы, цилиндрические, порядковые, полярные или сферические координаты.
Шаблон (Stereotype): Union
Realization of: CoordinateSystem должен реализовать все унаследованные операции и ассоциации. Кроме того, он должен поддерживать все унаследованные атрибуты, по крайней мере, «только для чтения».
Роли в связи (Association roles): (ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem) (aggregation) affineCS в AffineCS (см. [10]) (aggregation) cartesianCS в CartesianCS (см. [10]) (aggregation) cylindricalCS в CylindricalCS (см. [10]) (aggregation) ordinalCS в OrdinalCS (см. [10]) (aggregation) polarCS в PolarCS (см. [10]) (aggregation) sphericalCS в SphericalCS (см. [10]) объединение (одно из) ограничений на ассоциации affineCS, декартовой CS, цилиндрической CS, порядковой CS, полярной CS и сферической CS (aggregation) referenceSystem из CoordinateReferenceSystem::DerivedProjectedCRS [0..*], ассоциация с именем CoordinateSystem. Определение: производная СК проекции, где применяются эти координаты
Общедоступные атрибуты (Public attributes): (none)

Таблица 45 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::EngineeringCS

Определение (Definition): координаты в составе инженерной СК: одни из аффинных, декартовых, цилиндрических, линейных, порядковых (ordinal), полярных или сферических координат
Шаблон (Stereotype): Union
Realization of: CoordinateSystem. Таким образом, он должен реализовать все унаследованные операции и ассоциации. Кроме того, он должен поддерживать все унаследованные атрибуты, по крайней мере «только для чтения».
Роли в связи (Association roles): (ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem) (aggregation) affineCS в AffineCS (см. [10]) (aggregation) cartesianCS в CartesianCS (см. [10]) (aggregation) cylindricalCS в CylindricalCS (см. [10]) (aggregation) linearCS в LinearCS (см. [10]) (aggregation) ordinalCS в OrdinalCS (см. [10]) (aggregation) polarCS в PolarCS (см. [10]) (aggregation) sphericalCS в SphericalCS (см. [10]) объединение (одно из) ограничений на связи affineCS, cartesianCS, cylindricalCS, linearCS, ordinalCS, polarCS и sphericalCS (aggregation) referenceSystem из CoordinateReferenceSystem::DerivedProjectedCRS [0..*], ассоциация с именем CoordinateSystem. Определение: инженерная(ые) СК, в которую входят данные координаты.
Общедоступные атрибуты (Public attributes): (none)

Таблица 46 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::GeodeticCS

Определение (Definition): декартовы или сферические координаты, используемые в геодезической СК
Шаблон (Stereotype): Union
Realization of: CoordinateSystem. Таким образом, он должен реализовать все унаследованные операции и ассоциации. Кроме того, он должен поддерживать все унаследованные атрибуты, по крайней мере, «только для чтения».
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateSystem, также: (aggregation) cartesianCS в CartesianCS (см. [10]) (aggregation) ellipsoidalCS в EllipsoidalCS (см. [10] и примечания) (aggregation) sphericalCS в SphericalCS (см. [10]) объединение (одно из) условий на связи affineCS, cartesianCS, cylindricalCS, linearCS, ordinalCS, polarCS и sphericalCS
Общедоступные атрибуты (Public attributes): (none)
Примечание – EllipsoidalCS включен в класс GeodeticCS, чтобы его можно было использовать как подтип Geodetic CRS — GeographicCRS. Геодезические СК должны использовать только декартовы или сферические координаты. (aggregation) referenceSystem из CoordinateReferenceSystem::DerivedProjectedCRS [0..*], ассоциация с именем CoordinateSystem. Определение: геодезическая СК, где используются эти координаты.

Таблица 47 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::CoordinateDataType

Определение (Definition): datatype of coordinate values					
Шаблон (Stereotype): CodeList					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Используется в (Used by): OrdinalCoordinateSystem TemporalCoordinateSystem					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Целое	integer	integer	C	1	величина, выраженная как отсчет оси временной или порядковой СК
Действительное	real	measure	C	1	величина, выраженная как мера, используемая для оси временной СК
Дата-время	dateTime	dateTime	C	1	составная величина, представленная в виде строки символов, соответствующей ГОСТ Р 7.0.64, используемой для оси временной СК.
Условие: Должен быть указан один и только один из перечисленных атрибутов.					

Таблица 48 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems:: CoordinateSystemAxis

Определение (Definition): определение оси СК

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject

Роли в связи (Association roles): (aggregation) axis from CoordinateSystem [1..*] {ordered}

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	coordinateSystem	CoordinateSystems	O	N	система(ы) координат, компонентом которой является эта ось

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Обозначение оси СК	axisAbbrev	CharacterString	M	1	сокращение, используемое для оси СК; эта аббревиатура также используется для обозначения координат в векторе. ***Пример — B, L, H.*** Примечание — Если стандартным символом является греческий символ (см. 3.2), аббревиатура может отличаться от символа (например, чтобы ограничить используемые таблицы символов).
Направление оси СК	axisDirection	AxisDirection	M	1	направление оси СК (или, в случае декартовых координат в проекции, локальное направление оси СК) ***Примеры – Север/юг, восток/запад, вверх/вниз — в любом наборе осей СК можно использовать только один член из каждой указанной пары.*** Для СК, привязанных к Земле, это направление часто является приблизительным и предназначено для придания оси значения, понятного человеку. Таким образом, когда используется геодезическая СК, точные направления осей могут незначительно отличаться от этого приблизительного направления. Следует обратить внимание, что в EngineeringCRS часто требуются конкретные описания направлений осей СК.

Окончание таблицы 48

Единица оси СК	axisUnitID	UnitOfMeasure	C	0..1	пространственная единица или временной интервал, используемая для этой оси СК Примечание – Значение координаты в векторе должно быть записано с использованием этой единицы. Этот элемент должен быть опущен, если ось является частью DateTimeTemporalCS или OrdinalCS, но должен быть предоставлен во всех других случаях.
Мин. Значение оси СК	minimumValue	Number	O	1	минимальное значение, обычно допустимое для этой оси, в единицах измерения по оси
Макс. Значение оси СК	maximumValue	Number	O	1	максимальное значение, обычно допустимое для этой оси, в единицах измерения по оси
Диапазон значений оси СК	rangeMeaning	RangeMeaning	C	1	диапазон значений оси, заданного MinimumValue и MaximumValue Замечание: этот элемент должен быть опущен, если отсутствуют MinimumValue и MaximumValue. Оно может быть включено, когда включены минимальное значение и/или максимальное значение. Если этот элемент опущен при наличии минимального или максимального значения, значение не указывается.

Таблица 49 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::AxisDirection

Определение (Definition): положительное направление координатной оси					
Шаблон (Stereotype): CodeList					
Derived from: (none)					
Используется в (Used by): CoordinateSystemAxis					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
С	north	CharacterString	C	1	азимут 0 градусов
С-С-В	northNorthEast	CharacterString	C	1	азимут 22,5 градуса
С-В	northEast	CharacterString	C	1	азимут 45 градусов
В-С-В	eastNorthEast	CharacterString	C	1	азимут 67,5 градуса
В	east	CharacterString	C	1	азимут 90 градусов
В-Ю-В	eastSouthEast	CharacterString	C	1	азимут 112,5 градуса
Ю-В	southEast	CharacterString	C	1	азимут 135 градусов
Ю-Ю-В	southSouthEast	CharacterString	C	1	азимут 157,5 градуса
Ю	south	CharacterString	C	1	азимут 180 градусов
Ю-Ю-З	southSouthWest	CharacterString	C	1	азимут 202,5 градуса
Ю-З	southWest	CharacterString	C	1	азимут 225 градусов
З-Ю-З	westSouthWest	CharacterString	C	1	азимут 247,5 градуса
З	west	CharacterString	C	1	азимут 270 градусов
З-С-З	westNorthWest	CharacterString	C	1	азимут 292,5 градуса
С-З	northWest	CharacterString	C	1	азимут 315 градусов
С-С-З	northNorthWest	CharacterString	C	1	азимут 337,5 градуса
вверх	up	CharacterString	C	1	вверх по отвесной линии
вниз	down	CharacterString	C	1	вниз по отвесной линии
геоцентр. *X*	geocentric*X*	CharacterString	C	1	положительное направление оси в точку пересечения экватора с нулевым меридианом
геоцентр.*Y*	geocentric*Y*	CharacterString	C	1	положительное направление оси в точку пересечения экватора с меридианом 90 градусов
геоцентр. *Z*	geocentric*Z*	CharacterString	C	1	положительное направление оси параллельно средней оси вращения Земли в направление северного полюса

Окончание таблицы 49

по столбцам	columnPositive	CharacterString	C	1	положительное направление оси в направлении столбца с большим номером пикселя
обратно столбцам	columnNegative	CharacterString	C	1	положительное направление оси в направлении столбца с меньшим номером пикселя
по строкам	rowPositive	CharacterString	C	1	положительное направление оси в направлении строки с большим номером пикселя
обратно строкам	rowNegative	CharacterString	C	1	положительное направление оси в направлении строки с меньшим номером пикселя
экран-вправо	displayRight	CharacterString	C	1	положительное направление оси в правую часть экрана
экран-влево	displayLeft	CharacterString	C	1	положительное направление оси в левую часть экрана
экран-вверх	displayUp	CharacterString	C	1	положительное направление оси в верхнюю часть экрана
экран-вниз	displayDown	CharacterString	C	1	положительное направление оси в нижнюю часть экрана
вперед	forward	CharacterString	C	1	положительное направление оси вперед Замечание: вперед по движению,
Назад	aft	CharacterString	C	1	положительное направление оси назад Замечание: назад по движению,
Влево	port	CharacterString	C	1	положительное направление оси влево Замечание: влево по движению,
Вправо	starboard	CharacterString	C	1	положительное направление оси вправо Замечание: вправо по движению,
По часовой стрелке	clockwise	CharacterString	C	1	по часовой стрелке от выбранного направления
против часовой стрелки	counterClockwise	CharacterString	C	1	против часовой стрелки от выбранного направления
к объекту	towards	CharacterString	C	1	положительное направление оси к объекту
от объекта	awayFrom	CharacterString	C	1	положительное направление оси от объекта
в будущее	future	CharacterString	C	1	положительное направление оси времени направлено в будущее
в прошлое	past	CharacterString	C	1	положительное направление оси времени направлено в прошлое
не определено	unspecified	CharacterString	C	1	положительное направление оси не определено

Условие – Должен быть указан один и только один из перечисленных атрибутов.

Примечание – В геодезической, географической СК или СК проекции «север» определяется через геодезическую СК. В инженерной СК «север» может быть определен относительно инженерного объекта, а не географического направления. С – север, В – восток, З – запад, Ю – юг.

Таблица 50 — Определяющие элементы класса CoordinateSystems::RangeMeaning

Определение (Definition): диапазон значений оси, заданного через MinimumValue и MaximumValue					
Шаблон (Stereotype): CodeList					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Используется в (Used by): CoordinateSystemAxis					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Attribute description
Точно (Exact)	exact	CharacterString	C	1	допустимо любое значение между minimumValue и maximumValue, включая их
Периодически (Wraparound)	wraparound	CharacterString	C	1	ось непрерывна со значениями, внутри минимального и максимального значения Примечание – Отсчеты с одинаковым значением повторяются с периодом, равным разнице максимального и минимального значения.
Условие: Должен быть указан один и только один из перечисленных атрибутов.					

11 Начало отсчета и исходные пункты реализации СК

11.1 Виды начала отсчета и исходных, опорных пунктов, реализующих СК

Начало отсчета и опорные пункты (**Datum**), которые в геодезии обычно относят к реализации СК, связывают математические координаты с реальными объектами. Для геодезических СК и систем высот имеется в виду связь координат с Землей или другим массивным телом Солнечной системы. В других реализациях СК координаты могут быть связаны с другим физическим или виртуальным объектом.

В инженерной СК координаты могут быть связаны как с объектом на Земле (здание), так и с исходной точкой на изображении. В других случаях инженерных СК таким объектом может быть платформа, движущаяся относительно Земли. В этих приложениях само определение СК не зависит от времени, но любые преобразования связанных с ними координат в земную или другую СК должны содержать параметры, зависящие от времени. В параметрических СК объектом может быть измерение физической величины (например, атмосферное давление).

В настоящем стандарте различаются несколько подтипов класса **Datum**. Каждый подтип может быть связан только с определенными подтипами СК. Ограничения на **Datum** подробно описаны ниже.

11.2 Реализации геодезических СК

11.2.1 Начальный меридиан

Если подтипом **Datum** является геодезическая СК, то описание начала счета долгот — нулевого меридиана — является обязательным. Значения по умолчанию для имени нулевого меридиана и его долготы по Гринвичу — «**Greenwich**» и 0 соответственно. Если название нулевого меридиана «**Greenwich**», то значение его долготы по Гринвичу должно быть равно 0 градусов. Если рассматривается геодезическая СК, а нулевой меридиан не указан, предполагается, что по умолчанию используется гринвичский меридиан.

Если подтип **Datum** не является геодезической СК, запрещается давать какое-либо описание нулевого меридиана.

Начальный меридиан описан в В.4.2.2.

11.2.2 Эллипсоид

Если подтипом **Datum** является геодезическая СК и указаны географические координаты на эллипсоиде, обязательно задание одного отсчетного эллипсоида. Если подтипом **Datum** является геодезическая СК, а координаты указаны декартовы или сферические, указание отсчетного эллипсоида

не обязательно; однако, если в составе СК имеется отсчетный эллипсоид, рекомендуется включить его описание — см. В.4.2.3.

Если подтип **Datum** не является геодезической СК, запрещается давать какое-либо описание отсчетного эллипсоида.

11.3 Динамические (реализации) СК

Если подтипом **Datum** указана геодезическая СК (для геодезии) или система высот, параметры, определяющие реализацию СК, могут включать временную составляющую для описания смещения опорных точек, используемых при установлении реализации СК. В этом случае геодезическая СК или система высот является динамической и включение стандартной эпохи является обязательным атрибутом. Дополнительная информация представлена в Б.4.

11.4 Объединение данных пониженной точности

Объединение данных пониженной точности **(DatumEnsemble)** — это прием, облегчающий слияние реализаций одной и той же земной СК или системы высот для пространственных действий более низкой точности. В настоящем стандарте **Datum Ensemble** представляет собой совокупность двух или более СК, которые являются реализациями одной земной СК или системы высот и которые для всех, кроме самых высоких требований к точности, могут считаться незначительно отличающимися друг от друга. В таком случае наборы данных, относящиеся к различным реализациям, могут быть объединены без дополнительного изменения координат.

Примечание — При строгих требованиях к пространственному положению реализации СК должны рассматриваться отдельно — см. В.4.7.

При задании реализаций СК объединение данных в одн СК пониженной точности **Datum Ensemble** может заменять одиночную реализацию СК. Одиночные СК должны сопровождаться указанием начала отсчета (или реализации СК) либо набором **Datum Ensemble**.

11.5 Системы счета времени

Система счета времени состоит из начального момента времени и календаря.

В настоящем стандарте подразумевается только использование пролептического григорианского календаря со значением по умолчанию «prolepticGregorian».

Примечание — Пролептический григорианский календарь образован путем продолжения григорианского календаря в обратном направлении до дат, предшествующих его официальному введению в 1582 году.

Если календарь явно не указан, предполагается использование пролептического григорианского календаря по умолчанию.

11.6 Блок-схема (UML) систем отсчета

На рисунке 13 показана блок-схема (UML) для пакета **Datums**. Существуют ограничения на связи между типами СК и типами начал отсчета, которые показаны на блок-схеме (UML) на рисунке 14.

Определение классов объектов этого пакета представлено в таблицах 51—65.

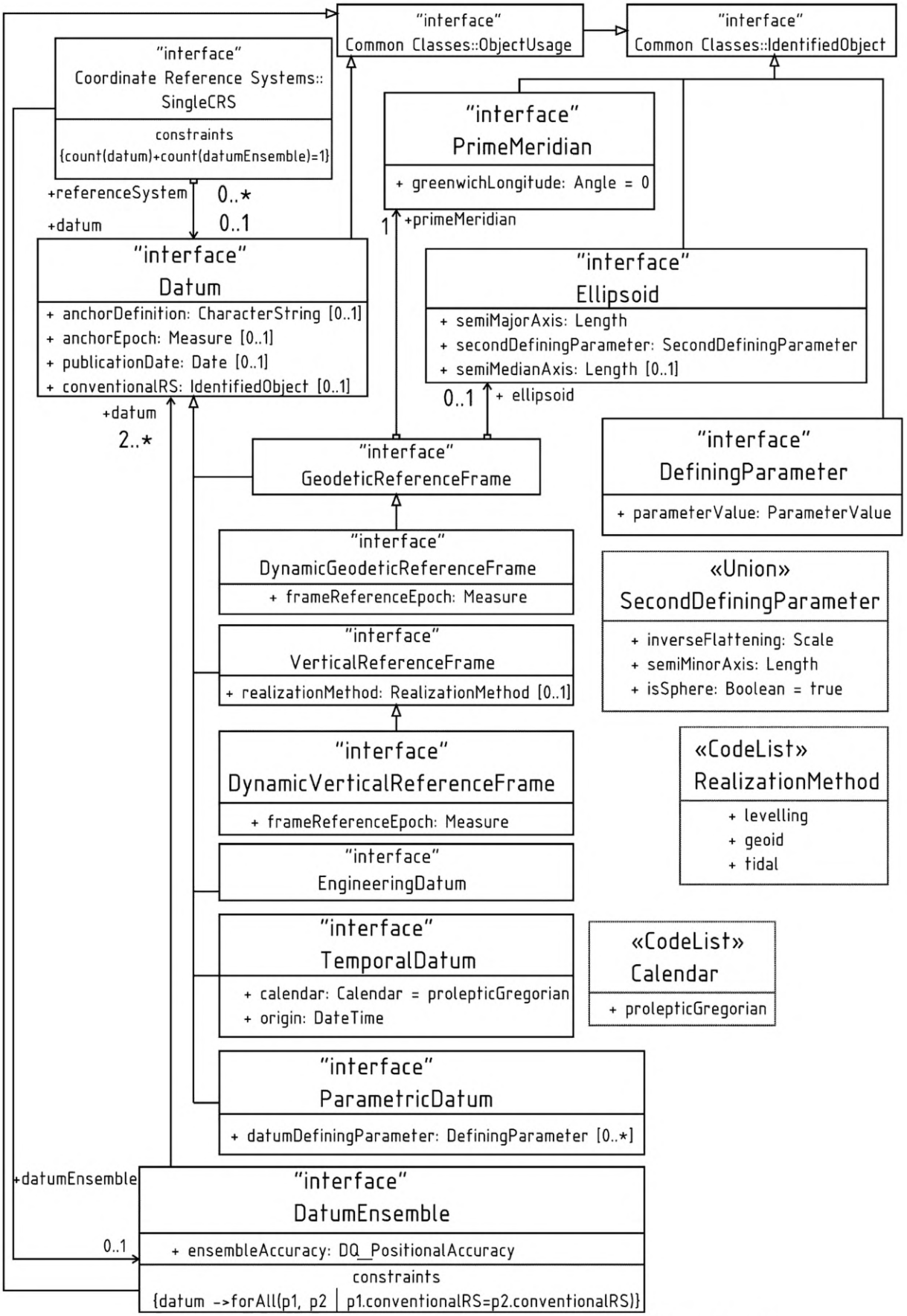

Рисунок 13 — Блок-схема (UML). Начало отсчета и исходные пункты (datum)

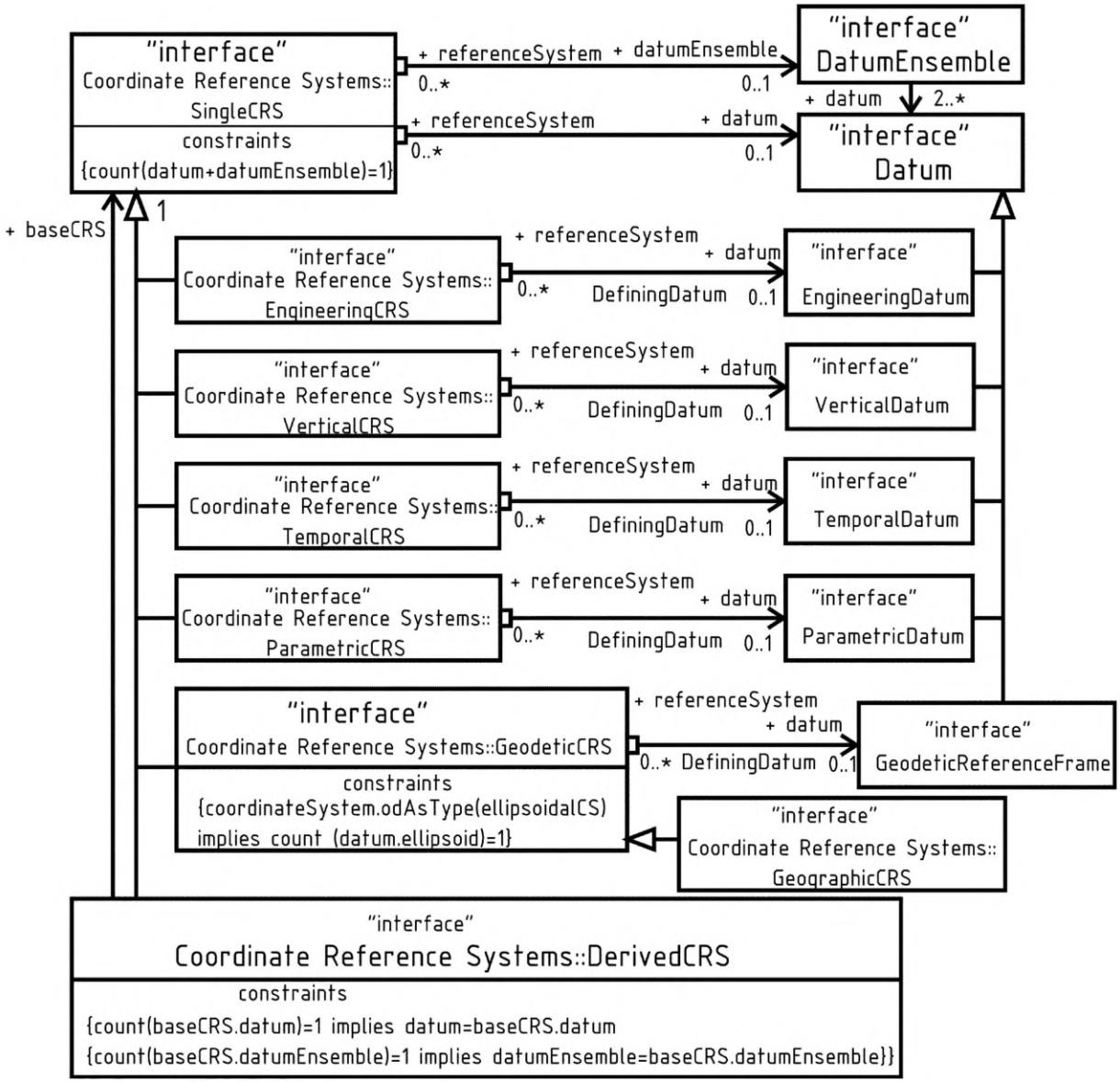

Рисунок 14 — Блок-схема (UML). Связи начала отсчета и исходных пунктов (datum) с типом СК

Таблица 51 — Определяющие элементы класса Datums::Datum

Определение (Definition): описание связи координат с объектом, создающее реализацию СК.

Примечание — Для геодезических СК и систем высот подразумевается связь с Землей. В других типах СК может быть связь координат с другим физическим или виртуальным объектом. Реализация СК включает параметр или набор параметров, которые определяют положение начала СК или высот. Каждый вариант связи координат с объектом может быть связан только с определенным вариантом реализации СК.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Abstract

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::ObjectUsage

Обобщает (Generalization of): EngineeringDatum
GeodeticReferenceFrame
ParametricDatum
TemporalDatum
VerticalReferenceFrame

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage, а также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Условная СК	conventionalRS	CommonClasses::IdentifiedObject	O	1	имя, идентификатор, псевдоним и примечания для реализуемой земной СК или системы высот ***Примеры – «ITRS» от ITRF88 до ITRF2008 и ITRF2014 или «EVRS» для EVRF2000 и EVRF2007.***

Примечание — Ограничение класса SingleCRS `{count(datum + datumEnsemble) = 1}` требует, чтобы одна СК имела либо начало отсчета, либо входила в объединение данных пониженной точности от одной реализации.

Ограничение класса DatumEnsemble `{datum → forAll(p1, p2 | p1.conventionalRS = p2.conventionalRS)}` требует, чтобы все СК, являющиеся членами указанного объединения данных, имели одну и ту же систему координат или высот.

Таблица 52 — Определяющие элементы класса Datums::GeodeticReferenceFrame

Определение (Definition): определение положения, масштаба и ориентировки геоцентрической декартовой трехмерной СК относительно Земли.

Примечание — Он может также идентифицировать определенный эллипсоид или сферу, которые близки Земле и центрированы и ориентированы по этой геоцентрической СК. Прежние геодезические начала отсчета («исходные пункты») определяют положение и ориентировку референц-эллипсоида (или сферы), которые соответствует Земле очень приблизительно.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Datum

Обобщает (Generalization of): DynamicGeodeticReferenceFrame

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) ellipsoid	Ellipsoid	O	1	эллипсоид, который является компонентом этой геодезической СК (реализации наземной СК)
(без имени)	(aggregation) primeMeridian	PrimeMeridian	M	1	нулевой меридиан, который является компонентом этой геодезической СК (реализации наземной СК)
Реализация СК	(aggregation) datum	CoordinateReference Systems:: GeodeticCRS	O	1	геодезические или географические СК, использующие то же начало или исходные пункты

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 9 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, область действия, достоверность, определение привязки, дата публикации и conventionalRS), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и Datum.

Примечание — Ограничение для GeodeticCRS, что `{coordinateSystem.oclAsType(EllipsoidalCS)` подразумевает `count(datum.ellipsoid)=1}` и требует, чтобы, если СК, использующая геодезическую СК, включала эллипсоидальные координаты, то связь с эллипсоидом обязательна. Это ограничение GeodeticCRS наследуется в GeographicCRS.

Таблица 53 — Определяющие элементы класса Datums::DynamicGeodetic-ReferenceFrame

Определение (Definition): геодезическая СК, в которой некоторые параметры описывают изменения координат опорных пунктов во времени

Пример – Координаты опорных пунктов с линейными скоростями для учета деформаций земной коры.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): GeodeticReferenceFrame

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 9 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, область действия, действительность, определение привязки, дата публикации и conventionalRS), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и Datum, также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Эпоха СК	frameReferenceEpoch	Measure	M	1	эпоха, к которой относятся координаты пунктов, задающих динамическую геодезическую СК, обычно указывается в виде десятичного года, например 2016,47.

Таблица 54 — Определяющие элементы класса Datums::PrimeMeridian

Определение (Definition): нулевой меридиан, от которого отсчитываются долготы

Замечание – По умолчанию нулевой меридиан гринвичский . Если применяется значение по умолчанию, значение **greenwichLongitude** должно быть равно 0 (градусы).

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	datum	GeodeticReferenceFrame	O	N	геодезическая СК (исходные пункты или начало отсчета), где используется этот нулевой меридиан

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Гринвичская долгота нулевого меридиана	greenwichLongitude	Angle	M	1	долгота нулевого меридиана от международно-признанного начального меридиана ("Greenwich meridian"), положительная к востоку Примечания 1 Значение по умолчанию: 0 градусов. 2 Если значение имени нулевого меридиана "Greenwich", то значение **greenwichLongitude** должно быть равно 0 градусов.

Таблица 55 — Определяющие элементы класса Datums::Ellipsoid

Определение (Definition): геометрическая поверхность в трехмерном евклидовом пространстве, образованная вращением эллипса вокруг оси симметрии.

Примечание – Для Земли эллипсоид является двухосным с вращением вокруг полярной (малой) полуоси. В результате получается сжатый эллипсоид с геометрическим центром, расположенным (почти) в центре масс Земли.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	datum	GeodeticReferenceFrame	O	N	геодезическая СК (начало отсчта или набор исходных пунктов), где используется этот эллипсоид

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Длина большой полуоси	semiMajorAxis	Length	M	1	длина большой полуоси
Второй определяющий параметр	secondDefining Parameter	SecondDefining Parameter	M	1	определение второго параметра, описывающего форму эллипсоида
Длина средней полуоси	semiMedianAxis	Length	O	1	длина средней полуоси трехосного эллипсоида Примечание – Этот параметр не требуется для двухосного эллипсоида.

Примечание – Ограничение на GeodeticCRS, что `{coordinateSystem.oclAsType(EllipsoidalCS)` подразумевает `count(datum.ellipsoid)=1}`, требует, чтобы, если СК, использующая геодезическую СК, включает эллипсоидальные координаты, то связь с эллипсоидом обязательна. Это ограничение GeodeticCRS наследуется в GeographicCRS.

Таблица 56 — Определяющие элементы класса Datums::SecondDefiningParameter

Определение (Definition): определение второго параметра, определяющего форму двухосного эллипсоида, или третьего параметра, определяющего трехосный эллипсоид.

Примечание – Двухосный эллипсоид требует двух определяющих параметров: большая полуось и сжатие или большая полуось и малая полуось. Когда эталонным телом является сфера, а не эллипсоид, требуется только один определяющий параметр, а именно радиус сферы; в этом случае большая полуось «вырождается» в радиус сферы.

Шаблон (Stereotype): Union

Наследует от (Inheritance from): (none)

Используется в (Used by): Ellipsoid

Роли в связи (Association roles): (none)

Общедоступные атрибуты (Public attributes):

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Обратное сжатие	Inverse Flattening	Scale	C	1	обратное значение сжатия эллипсоида
Большая полуось	semiMinor Axis	Length	C	1	длина малой полуоси эллипсоида
Признак «Эллипсоид = Сфера»	Sphere	Boolean	C	1	эллипсоид вырожден и на самом деле является сферой Примечание – Сфера полностью определяется большой полуосью, которая является радиусом сферы. Этот атрибут имеет значение «истина», если фигура является сферой.

Условие: ограничение объединения (одно из) для атрибутов inverseFlattening, semiMinorAxis и Sphere. Должен поставляться один и только один из этих трех элементов.

Примечание – В случае трехосного эллипсоида (когда предоставляется атрибут средней полуоси) предоставленный элемент SecondDefiningParameter должен быть semiMinorAxis.

Таблица 57 — Определяющие элементы класса Datums::VerticalReferenceFrame

Определение (Definition): текстовое описание и/или набор параметров, определяющих конкретное начало отсчета высот, используемое в качестве начала отсчета высот (или нуля глубин), включая их положение относительно Земли					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): Datum					
Обобщает (Generalization of): DynamicVerticalReferenceFrame					
Роли в связи (Association roles):					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Реализация системы высот	reference system	CoordinateReferenceSystems:: VerticalCRS	O	N	система(ы) высот, где используется это начало отсчета высот
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 9 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, область действия, достоверность, определение привязки, дата публикации и conventionalRS), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и Datum, а также:					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Метод реализации	Realization Method	Realization Method	O	1	метод, с помощью которого реализуется эта система высот

Таблица 58 — Определяющие элементы класса Datums:: RealizationMethod

Определение (Definition): спецификация метода, с помощью которого реализуется система высот					
Шаблон (Stereotype): CodeList					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Используется в (Used by): VerticalReferenceFrame					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Нивелирная сеть	levelling	CharacterString	C	1	реализация осуществляется путем уравнивания нивелирной сети, закрепленной на одном или нескольких исходных пунктах.
Модель высот (квази)геоида	geoid	CharacterString	C	1	реализация осуществляется через модель высот (квази)геоида или модель поправок в высоты. Примечание – Применяется к указанной геодезической СК.
Приливная	tidal	CharacterString	C	1	реализация осуществляется с помощью приливной модели или прогнозов приливов
Условие: Должен быть предоставлен только один из перечисленных атрибутов.					

Таблица 59 — Определяющие элементы класса Datums::DynamicVerticalReferenceFrame

Определение (Definition): система высот, в которой некоторые определяющие параметры зависят от времени.

Пример – При определении высоты пункта используется скорость ее изменения для учета послеледникового изостатического поднятия.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): VerticalReferenceFrame

Роли в связи (Association roles): (ассоциации, унаследованные от VerticalReferenceFrame)

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 10 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, область действия, достоверность, привязка, дата публикации, conventionalRS и метод реализации системы высот), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage, Datum и VerticalReferenceFrame плюс:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Эпоха СК	frameReferenceEpoch	Measure	M	1	эпоха, к которой относятся координаты станций, определяющих динамическую вертикальную систему отсчета, обычно указывается в виде десятичного года ***Пример – 2016,47.***

Таблица 60 — Определяющие элементы класса Datums::ParametricDatum

Определение (Definition): текстовое описание и/или набор параметров, определяющих начало отсчета (или поверхность), используемые в качестве нуля параметрической СК, включая связь с Землей

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Datum

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Defining Datum	reference system	CoordinateReference Systems:: ParametricCRS	O	N	параметрическая СК, где используется это начало счета параметра

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 9 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, область действия, достоверность, привязка, дата публикации и conventionalRS), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и Datum, а также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Параметр, определяющий начало отсчета	datumDefiningParameter	DefiningParamt	O	N	используется для определения начала отсчета параметра

Таблица 61 — Определяющие элементы класса Datums::DefiningParameter

Определение (Definition): значение параметра, упорядоченная последовательность значений или ссылка на файл значений параметров					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject					
Используется в (Used by): ParametricDatum					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также:					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Значение параметра	parameterValue	CoordinateOperations::ParameterValue	M	1	определение начала отсчета параметра

Таблица 62 — Определяющие элементы класса Datums::EngineeringDatum

Определение (Definition): определение начала и ориентировки инженерной СК. Начало координат может быть зафиксировано относительно Земли (например, определенная точка на строительной площадке), это может быть определенная точка на движущемся транспортном средстве (например, на корабле или спутнике) или определенная точка на изображении					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): Datum					
Роли в связи (Association roles):					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Определение начала отсчета	reference system	CoordinateReferenceSystems::EngineeringCRS	O	N	инженерная СК, где используется это начало отсчета
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 9 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, достоверность, область действия, привязка, дата публикации и conventionalRS), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и Datum.					

Таблица 63 — Определяющие элементы класса Datums::TemporalDatum

Определение (Definition): определение связи системы времени с объектом. Примечание – Обычно объект рассматривается на Земле.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): Datum					
Роли в связи (Association roles):					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Defining Datum	reference system	CoordinateReferenceSystems::TemporalCRS	O	N	система времени, где используется этот начальный момент времени
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 9 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, примечания, область действия, достоверность, привязка, дата публикации и conventionalRS), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и Datum, также:					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Начальный момент времени	origin	dateTime	M	1	дата и время, к которым относятся временные координаты, выраженные в соответствии с ГОСТ Р 7.0.64
Календарь	calendar	Calendar	M	1	календарь и начало отсчета времени Примечание – Значение по умолчанию — пролептический григорианский.

Таблица 64 — Определяющие элементы класса Datums::Calendar

Определение (Definition): спецификация календаря с началом отсчета времени					
Шаблон (Stereotype): CodeList					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Используется в (Used by): TemporalDatum					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Григорианский пролептический календарь	prolepticGregorian	CharacterString	C	1	пролептический григорианский календарь, как определено в ГОСТ Р 7.0.64 Примечание – Это значение по умолчанию.
Условие: Должен быть предоставлен только один атрибут.					

Таблица 65 — Определяющие элементы класса Datums::DatumEnsemble

Определение (Definition): две или более геодезических СК или систем высот (или объединение двух или более исходных данных), которые при всех требованиях к точности, кроме самых высоких, могут считаться незначительно отличающимися друг от друга.

Примечание — Каждая СК в объединении данных пониженной точности должна быть реализацией одной и той же СК.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::ObjectUsage

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	datum	Datum	M (minimum 2)	N	СК, которая является членом этого объединения данных
(без имени)	referenceSystem	CoordinateReference Systems:: SingleCRS	O	N	СК, которая объединяет эти данные

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage, а также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Точность объединения	ensembleAccuracy	DQ_Positional Accuracy	M	1	неточность, вызванная использованием этого набора СК или начала отсчета. Примечание — Это указание на различия в значениях координат во всех точках между различными реализациями, которые были сгруппированы в этот объединение.

Ограничение: {datum ⟶ forAll(p1, p2 | p1.conventionalRS = p2.conventionalRS)}

Примечание — Ограничение требует, чтобы СК, являющиеся членами одного и того же объединения данных, имели один и тот же conventionalRS.

Замечание: Ограничение класса SingleCRS `{count(datum + datumEnsemble) = 1}` требует, чтобы одна СК имела либо начало отсчета, либо объединение данных пониженной точности.

12 Действия с координатами

12.1 Основные виды действий

В настоящем стандарте используют следующие виды действий с координатами:

а) простейшее действие с координатами. У такого действия есть определенный метод: используется математическая формула вместе с параметрами, используемыми в формуле. При различных действиях с координатами значения параметров зависят от каждого конкретного случая. Конкретно это будет осуществляться через преобразование координат, трансформирование координат или перемещение точки:

1) преобразование координат приводит координаты из одной СК в другую СК на основе того же начала отсчета (одна реализация СК);
2) трансформирование координат приводит координаты из одной СК в другую СК, которая основана на другом начале отсчета (разные реализации СК);
3) перемещение точки изменяет координаты внутри одной СК для учета изменения координат точки со временем за определенный период;

б) составное действие с координатами представляет неповторяющуюся последовательность единичных простейших действий с координатами.

Пример — Изменение координат от СК А к СК В посредством трансформирования координат из СК А в СК С с последующим трансформированием из СК С в СК В.

Последовательность действий с координатами ограничена требованием, чтобы исходная СК на каждом следующем шаге (n + 1) совпадала с конечной СК на предыдущем шаге (n). Исходная СК первого шага и конечная СК последнего шага являются исходной и конечной СК для всего составного действия с координатами. Для последовательности действий из n действий с координатами:

1) исходная СК **sourceCRS** (составное действие с координатами) = исходная СК **sourceCRS** (действие с координатами, шаг 1);
2) конечная СК **targetCRS** (действие с координатами, шаг i) = исходная СК **sourceCRS** (действие с координатами, шаг i + 1); i = 1 … (n – 1);
3) конечная СК **targetCRS** (составное действие с координатами) = конечная СК **targetCRS** (действие с координатами, шаг n).

На одном или нескольких шагах вместо упомянутых выше прямых действий с координатами может быть использовано обратное действие с координатами, но только в том случае, если обратное действие с координатами однозначно определено как некоторое прямое действие с координатами;

в) частичное действие выполняется только с несколькими координатами из вектора, остальные координаты вектора остаются неизменными.

Пример — Вычисление координат в проекции на основе пространственной геодезической СК на эллипсоиде, когда геодезическая широта и геодезическая долгота преобразуются в плоские прямоугольные координаты в проекции, при этом геодезическая высота не изменяется.

Действия с координатами описаны в В.5.

12.2 Блок-схема (UML) действий с координатами

На рисунках 15 и 16 приведены две части блок-схемы (UML) классов для пакета Coordinate Operations. Как указано в примечании на рисунке 15, на рисунке 16 изобржены дополнительные классы и связи из класса единичных простейших действий SingleOperation, показанного на рисунке 15. Определение классов объектов пакета Coordinate Operations представлено в таблицах 66—83.

В настоящем стандарте класс CoordinateOperation имеет две цели:

а) описать действие с координатами;

б) применить изменение координат.

Действие **CoordinateOperation.transform(CoordinateSet)** применяет действие к координатам в наборе. Оно и его ограничения показаны на рисунке 6 и приведены в разделе 7. Только те атрибуты, которые относятся к описанию действий с координатами, показаны на рисунках 15 и 16 и в следующих таблицах.

На блок-схеме (UML) классов пакета **Coordinate Operations** показаны два признака с именами **Source** и **Target** из класса **CoordinateOperation** в класс реализаций СК **CRS**. Они указывают СК, из которой берутся координаты, и СК, в которую приводятся координаты соответственно; они составляют часть определения действия с координатами. Их не следует путать с преобразованием в классе **CoordinateOperation**, которое воздействует на координаты, как описано в разделе 7. Признаки **Source** и **Target** являются обязательными для всех действий с координатами, кроме преобразования координат. Преобразования координат, которые являются частью определения производной СК, не используют эти ассоциации; исходная и конечная СК для такого определяющего преобразования координат идентифицируются посредством признака **DerivedCRS** с **SingleCRS**, при этом базовая СК служит исходной СК для преобразования координат.

На блок-схеме (UML) классов пакета **Coordinate Operations** также показан дополнительный признак класса **CoordinateOperation** к классу СК под названием **Interpolation**. В некоторых простейших действиях используются методы, включающие интерполяцию внутри сетки для получения конкретных значений параметров преобразования (например, временного). СК, используемая для интерполяции, может отличаться от исходной или конечной СК. Признак **Interpolation** определяет СК, которая будет использоваться для интерполяции.

Пример — Вертикальные разности между двумя реализациями систем высот, интерполированные с сетки. Имеются исходная и конечная системы высот, при этом для интерполяции используется географическая СК, в которой заданы узлы сетки.

Пример приведен в В.5.1.

Связи между действиями с координатами и СК обобщены на блок-схеме (UML) на рисунке 17.

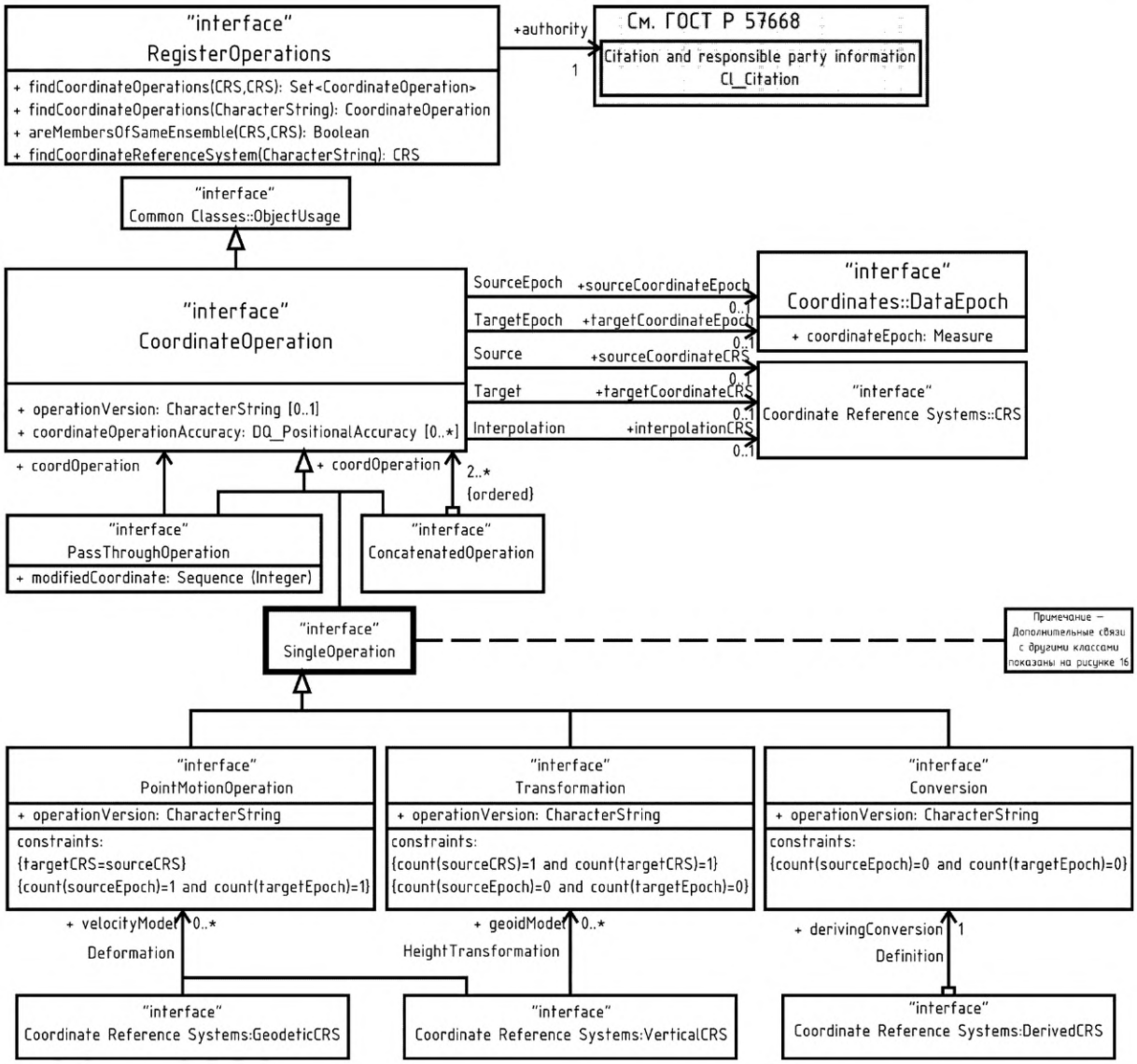

Рисунок 15 — Блок-схема (UML). Пакет действий с координатами Coordinate Operations, ч. 1

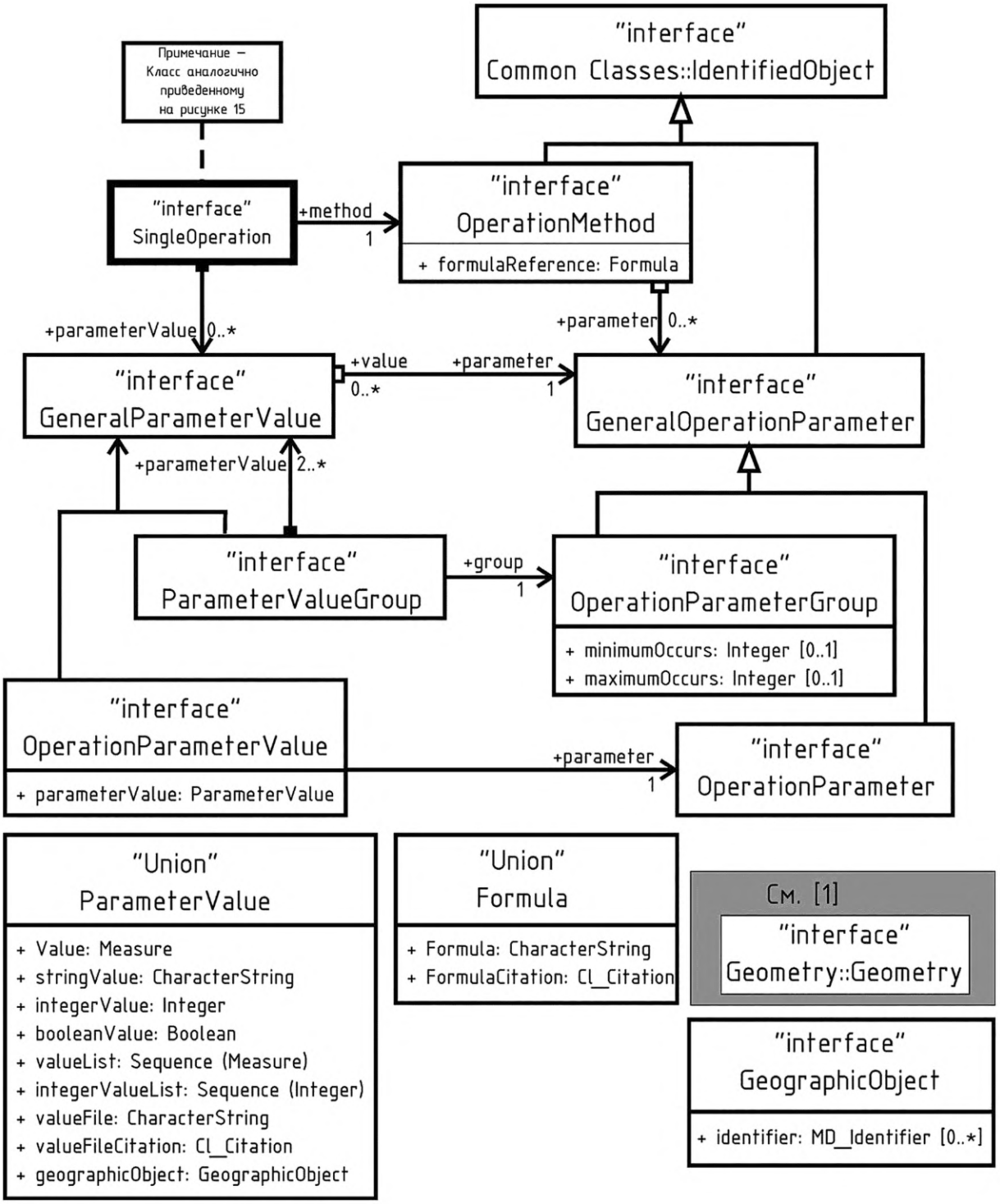

Рисунок 16 — Блок-схема (UML). Пакет действий с координатами Coordinate Operations, ч. 2

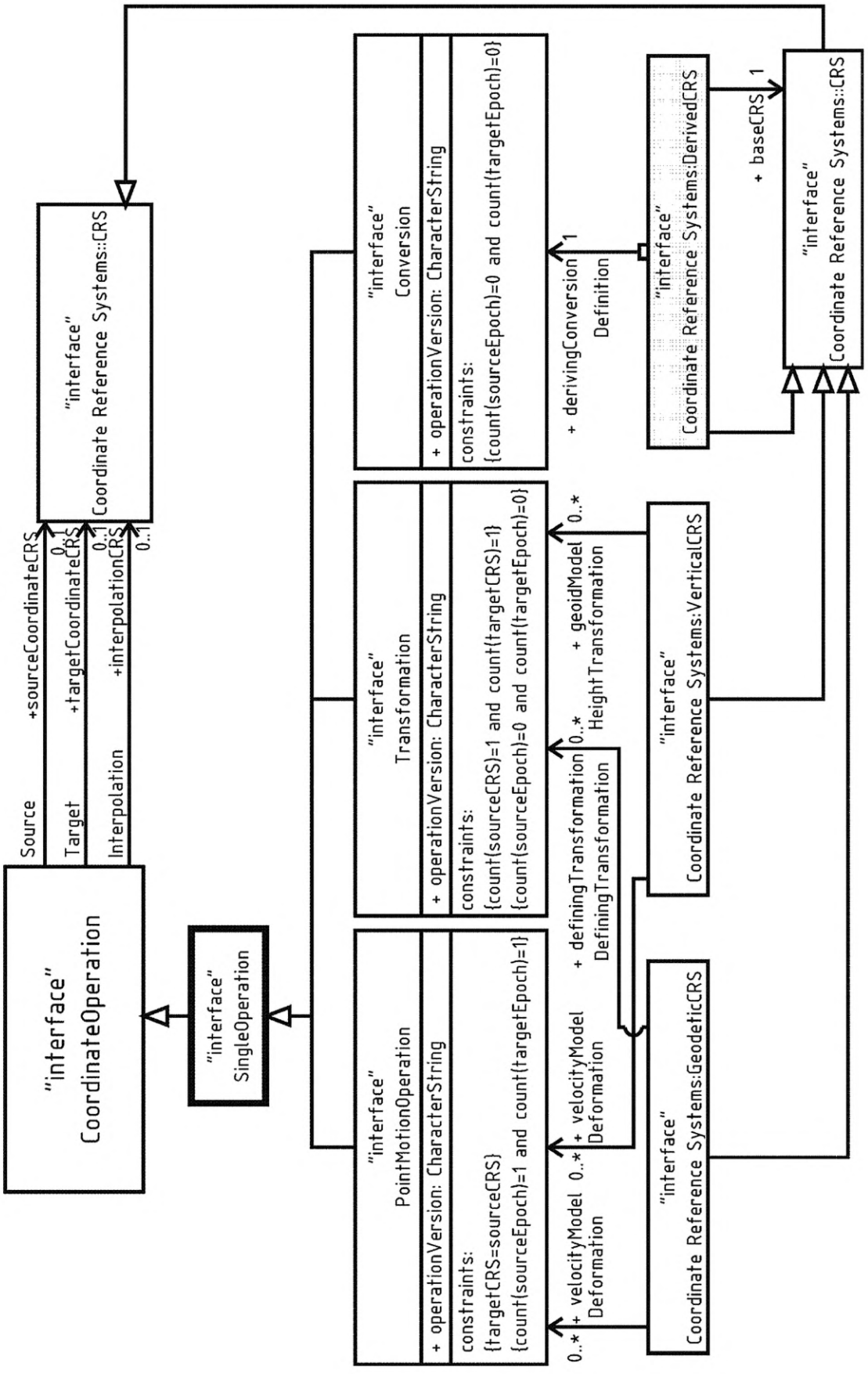

Рисунок 17 — Блок-схема (UML). Связи СК (CRS) с действиями с координатами Coordinate Operations

Таблица 66 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Coordinate Operation

Определение (Definition): математическое действие с координатами, которое трансформирует или преобразует их из одной СК в другую СК, или которое описывает изменение значений координат в одной СК из-за изменения координат точки между одной эпохой СК и другой СК.

Примечание — Многие, но не все действия с координатами (из СК А в СК В) также однозначно определяют обратное действие с координатами (из СК В в СК А). В некоторых случаях алгоритм действия с координатами для обратного действия с координатами такой же, как и для прямого алгоритма, но знаки некоторых значений параметров действия с координатами должны быть изменены на противоположные. В других случаях для прямого и обратного действия с координатами требуются разные алгоритмы, но используются одни и те же значения параметров действия с координатами. Если требуются (некоторые) совершенно другие значения параметров, должно быть определено другое действие с координатами.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Abstract

Наследует от (Inheritance from): IdentifiedObject::ObjectUsage

Обобщает (Generalization of): ConcatenatedOperation
PassThroughOperation
SingleOperation

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Источник	sourceCRS	CoordinateReference Systems:: CRS	O	1	СК, к которой относится ввод набора координат в это действие с координатами
Цель	targetCRS	CoordinateReference Systems:: CRS	O	1	СК, на которую ссылается набор координат, выходящий из этого действия с координатами
Интерполяция	interpolationCRS	CoordinateReference Systems:: CRS	O	1	СК, на которую ссылаются файлы данных с координатной сеткой, которую это действие с координатами использует для преобразования координат между двумя другими СК
Исходная эпоха	sourceCoordinate Epoch	Coordinates::Data Epoch	O	1	координатная эпоха ввода набора координат в это действие с координатами
Целевая эпоха	target Coordinate Epoch	Coordinates::Data Epoch	O	1	координатная эпоха набора координат, выводимого из этого действия с координатами
(без имени)	*concatOperation*	*Concatenated Operation*	*O*	*N*	*Составное действие, членом которого является это действие с координатами*
(без имени)	*passThruOperation*	*PassThrough Operation*	*O*	*N*	*Составное действие, членом которого является это действие с координатами*

Окончание таблицы 66

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 6 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject и Common Classes::ObjectUsage, а также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Версия действия с координатами	operationVersion	CharacterString	C	1	версия преобразования координат (т.е. конкретизация из-за стохастического характера параметров) Условие: обязательно при описании преобразования координат или перемещения точки и не должно указываться для преобразования координат.
Точность действия с координатами	coordinateOperationAccuracy	DQ_PositionalAccuracy	O	N	оценка(и) влияния этого действия с координатами на точность точки Примечание – Дает оценку ошибки положения для целевых координат этого действия с координатами, предполагая отсутствие ошибок в исходных координатах.

Имя действия	Идентификатор UML	Аргументы	Вывод	Описание действия
Преобразование набора координат	transform(CoordinateSet) {constraints}	CoordinateSet	CoordinateSet	действие, которое изменяет значения координат всех векторов в наборе, преобразуя их из одной СК в другую СК и/или приводя их от одной эпохи координат к другой эпохе координат

Ограничение: `{transform() pre sourceCRS=CoordinateSet.coordinateMetadata.crs}`
`{transform() pre count(CoordinateSet.coordinateMetadata.coordinateEpoch)=1` подразумевает `sourceCoordinateEpoch=CoordinateSet.coordinateMetadata.coordinateEpoch}`
`{transform() post CoordinateSet.coordinateMetadata.crs =targetCRS}`
`{transform() post count(CoordinateSet.coordinateMetadata.coordinateEpoch)=1` подразумевает `CoordinateSet.coordinateMetadata.coordinateEpoch=sourceCoordinateEpoch}`

Примечание – Применение transform(CoordinateSet) и ограничения класса Coordinate Operation описаны в разделе 7.

Таблица 67 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::PassThrough Operation

Определение (Definition): описание нескольких координат в векторе, которые участвуют в действии с координатами					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): CoordinateOperation					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateOperation, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) coordOperation	Coordinate Operation	M	1	действия с координатами, которая используется этим сквозным действием
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 8 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность, примечания, версия и точность), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и CoordinateOperation, также:					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Измененные координаты	modifiedCoordinate	Sequence<Integer>	M	1	упорядоченная последовательность положительных целых чисел, определяющая позиции координат в исходном векторе, участвующих в действии

Таблица 68 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Concatenated Operation

Определение (Definition): упорядоченная последовательность двух или более действий с координатами. Примечание — Последовательность действий с координатами ограничена требованием, чтобы исходная СК шага (n + 1) была такой же, как целевая СК шага (n). Исходная СК первого шага и целевая СК последнего шага являются исходной и целевой СК, связанными с последовательностью действий с координатами. Для последовательности действий с координатами из n единичных действий с координатами: исходная СК (последовательность действий с координатами) = исходная СК (действие с координатами, шаг 1) целевая СК (действие с координатами, шаг i) = исходная СК (действие с координатами, i + 1); i = 1 . . . (n −1) целевая СК (последовательность действий с координатами) = целевая СК (действие с координатами, шаг n) Вместо прямого действия с координатами может использоваться обратное действие с координатами для одного или нескольких шагов действия с координатами, упомянутых выше, если обратное действие с координатами однозначно определено методом прямого действия с координатами.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): CoordinateOperation					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateOperation, а также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) coordOperation	Coordinate Operation {ordered}	M (minimum 2)	N	действие с координатами, которое является шагом в цепочке действий с координатами
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 8 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность, примечания, версия и точность), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и CoordinateOperation.					

Таблица 69 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::SingleOperation

Определение (Definition): единичное (не последовательное) действие с координатами					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): CoordinateOperation					
Обобщает (Generalization of): Conversion Transformation PointMotionOperation					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от CoordinateOperation, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	method	OperationMethod	M	1	метод (алгоритм или процедура), используемый преобразованием координат, перемещением точки или трансформированием координат
(без имени)	(composition) parameterValue	GeneralParameterValue	O	N	значение параметра или группа значений параметров для данного преобразования координат, перемещения точки или трансформирования координат
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 8 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность, примечания, версия и точность), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и CoordinateOperation.					

Таблица 70 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Transformation

Определение (Definition): математическое действие с координатами, где параметры выводятся эмпирическим путем из данных, содержащих координаты ряда точек в обеих СК.

Примечание — Этот вычислительный процесс обычно «переопределен», что позволяет получить оценки погрешности (или точности) трансформирования координат. Кроме того, стохастический характер параметров может привести к множеству (разным) версиям одного и того же трансформирования координат между одними и теми же исходными и целевыми СК. Любое единичное действие с координатами, в котором входные и выходные координаты отнесены к разным исходным пунктам (СК), будет трансформированием координат.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): SingleOpereration

Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleOperation *{constraints}*, также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Height Transformation	*geoidModel*	*CoordinateReference Systems:: VerticalCRS*	*O*	*N*	*система отсчета вертикальных координат, связанная с этой моделью геоида или моделью коррекции высоты*

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 8 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность, примечания, версия и точность), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и CoordinateOperation, один из которых изменен:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Версия действия с координатами	Operation Version	Character String	M	1	версия трансформирования координат (т.е. конкретизация из-за стохастического характера параметров)

Ограничение:
```
{count(sourceCRS)=1 & count(targetCRS)=1}
{count(sourceEpoch)=0 & count(targetEpoch)=0}
```

Примечание — Ограничения требуют, чтобы для трансформирования ассоциации «sourceCRS» и «targetCRS» были обязательными, ассоциации «sourceEpoch» и «targetEpoch» не применяемы.

Таблица 71 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Conversion

Определение (Definition): математическое действие с координатами, в которой значения параметров определяются, а не выводятся эмпирически; применение преобразования координат не вносит ошибки в выходные координаты.

Примечание — Самый известный пример преобразования координат — картографическая проекция. При преобразовании координат выходные координаты относятся к той же СК, что и входные координаты.

Преобразования координат, формирующие компонент производной СК, имеют исходную СК и целевую СК, которые указываются не через связи источника и цели, а через ассоциации из DerivedCRS в SingleCRS.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): SingleOperation

Роли в связи (Association roles): Ассоциации, унаследованные от SingleOperation, а также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Определение	Reference System	CoordinateReference Systems:: DerivedCRS	O	N	производная СК, где применяется это преобразование

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 8 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность, примечания, версия и точность), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и CoordinateOperation, один из которых изменен:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Coordinate operation version	operationVersion	CharacterString	O	0	(не применимо) Примечание — Этот атрибут не используется при преобразовании координат.

Ограничение: `{count(sourceEpoch)=0 & count(targetEpoch)=0}`

Примечание — Преобразование наследует ассоциации SourceEpoch и TargetEpoch из класса CoordinateOperation. Это ограничение гарантирует, что эти ассоциации не применимы к преобразованию.

Примечание — Ассоциации «sourceCRS» и «targetCRS» являются обязательными для описания преобразований координат, которые не являются частью определения производной СК. Однако преобразования координат, определяющие производную СК, имеют исходную СК и целевую СК, которые указаны не через эти ассоциации, а через ассоциации из DerivedCRS в SingleCRS. См. В.5.1.

Таблица 72 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::PointMotion Operation

Определение (Definition): математическое действие, описывающее изменение значений координат в одной СК из-за движения точки между одной эпохой координат и другой эпохой координат.

Примечание — В настоящем стандарте движение связано со смещением или деформацией тектонических плит.

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): SingleOpereration

Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от SingleOperation, также:

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
Деформация	Reference System	CoordinateReference Systems:: GeodeticCRS	O	N	геодезическая или географическая СК, связанная с этой сеткой скоростей или моделью деформации
Деформация	Reference System	CoordinateReference Systems:: VerticalCRS	O	N	система высот, связанная с этой сеткой скоростей или моделью деформации

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 8 атрибутов (имя, псевдоним, идентификатор, область действия, достоверность, примечания, версия и точность), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, Common Classes::ObjectUsage и CoordinateOperation, один из которых изменен:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Версия действия с координатами	Operation Version	Character String	M	1	версия действия движения/ перемещения точки (т. е. конкретизация из-за стохастического характера параметров). Примечание — Этот атрибут является обязательным для движения/ перемещения точки.

Ограничения: `{targetCRS = sourceCRS}`
`{count(sourceEpoch)=1 & count(targetEpoch)=1}`

Примечание — Ограничения требуют, чтобы для PointMotionOperation связи «sourceEpoch» и «targetEpoch» были обязательными. PointMotionOperation работает внутри СК, поэтому связи исходной СК и целевой СК должны быть одинаковыми.

Таблица 73 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::OperationMethod

Определение (Definition): метод (алгоритм или процедура), используемый для выполнения действия с координатами

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) parameter	GeneralOperationParameter	O	N	параметр или группа параметров, используемая этим методом
(без имени)	Coord Operation	SingleOperation	O	N	трансформирование(я) координат, действие движения точки или преобразование(я) координат, которые используют этот метод

Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (название, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также:

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Ссылка на формулу метода действия с координатами	Formula Reference	CC_Formula	M	1	формула(ы) или процедура, используемые в методе действия с координатами Примечание – Это может быть ссылка на публикацию. Следует обратить внимание, что метод действия может не быть аналитическим, и в этом случае этот атрибут ссылается или содержит процедуру, а не аналитическую формулу.

Таблица 74 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Formula

Определение (Definition): уточнение формулы в методе действия с координатами

Шаблон (Stereotype): Union

Наследует от (Inheritance from): (none)

Используется в (Used by): OperationMethod

Общедоступные атрибуты (Public attributes):

Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Формула метода действия с координатами	formula	CharacterString	C	1	формула(ы) или процедура, используемые в методе действия с координатами
Ссылка на формулы метода действия с координатами	formulaCitation	CI_Citation	C	1	ссылка на публикацию, в которой приводятся формула(ы) или процедура, используемые в методе действия с координатами

Условие: объединение (одно из) ограничений для атрибутов формулы и FormulaCitation. Должен быть предоставлен один и только один из перечисленных атрибутов.

Таблица 75 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::GeneralOperation Parameter

Определение (Definition): определение параметра или группы параметров, используемых в действии с координатами					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): Common Classes::IdentifiedObject					
Обобщает (Generalization of): OperationParameter OperationParameterGroup					
Роли в связи (Association roles):					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	method	OperationMethod	O	N	метод, в котором используется этот параметр или группа параметров
(без имени)	value	OperationParameterGroup	O	N	значения или группы значений, связанные с этим параметром или группой параметров
(без имени)	group	GeneralParameterValue	O	N	группы параметров, в которых этот параметр является членом
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.					

Таблица 76 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Operation ParameterGroup

Определение (Definition): определение группы связанных параметров, используемых в методе действия с координатами					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): GeneralOperationParameter					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от GeneralOperationParameter, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	parameter	GeneralOperationParameter	M (minimum 2)	N	параметр, который является членом этой группы параметров
(без имени)	value	ParameterValueGroup	O	N	группа(ы) значений для этой группы параметров
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject, также:					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Minimum occurrences	minimumOccurs	Integer	O	1	минимальное количество раз, когда требуются значения для этой группы параметров или параметра Примечание – Если этот атрибут опущен, минимальное количество равно единице.
Maximum occurrences	maximumOccurs	Integer	O	1	максимальное количество раз, в которое могут быть включены значения для этой группы параметров или параметра. Примечание – Если этот атрибут опущен, максимальное число равно единице.

Таблица 77 — Определяющие элементы класса CoordinateOperations::Operation Parameter

Определение (Definition): определение параметра, используемого в методе действия с координатами. Примечание — Большинство значений параметров являются числовыми, но возможны и другие типы значений параметров.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): GeneralOperationParameter					
Роли в связи (Association roles): параметры из OperationParameterValue (см. [10]) (ассоциации, унаследованные от GeneralOperationParameter), также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	value	OperationParameterValue	O	N	значение(я) для этого параметра
Общедоступные атрибуты (Public attributes): 4 атрибута (имя, псевдоним, идентификатор и примечания), унаследованные от Common Classes::IdentifiedObject.					

Таблица 78 — Определяющие элементы класса CoordinateOperations::GeneralParameter Value

Определение (Definition): значение параметра или группа значений параметра					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Abstract					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Обобщает (Generalization of): OperationParameterValue ParameterValueGroup					
Роли в связи (Association roles):					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(aggregation) parameter	GeneralOperation Parameter	M	1	параметр или группа параметров, которая имеет это значение или группу значений
(без имени)	coordOperation	SingleOperation	O	N	преобразование(я) координат, действие движения точки и преобразование(я) координат, которые имеют это значение параметра или группу значений
(без имени)	group	ParameterValue Group	M	1	группа(ы) значений, которые имеют это значение
Общедоступные атрибуты (Public attributes): (none)					

Таблица 79 — Определяющие элементы класса CoordinateOperations::ParameterValue Group

Определение (Definition): группа связанных значений параметров.					
Примечание — Одна и та же группа может повторяться более одного раза в действии с координатами или на более высоком уровне. ParameterValueGroup, если эти экземпляры содержат разные значения одного или нескольких ParameterValues, которые должным образом различают эти группы.					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): GeneralParameterValue					
Роли в связи (Association roles): ассоциации, унаследованные от GeneralParameterValue, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	(composition) parameterValue	GeneralParameter Value	M (minimum 2)	N	значение в этой группе значений
(без имени)	group	OperationParameter Group	M	1	группа параметров, связанная с этой группой значений
Общедоступные атрибуты (Public attributes): (none)					

Таблица 80 — Определяющие элементы класса CoordinateOperations::Operation ParameterValue

Определение (Definition): значение параметра, упорядоченная последовательность значений или ссылка на файл значений параметров					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Наследует от (Inheritance from): GeneralParameterValue					
Роли в связи (Association roles): связи, унаследованные от GeneralParameterValue, также:					
Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	parameter	(aggregation) OperationParameter	M	1	параметр, имеющий это значение
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Значение параметра	Parameter Value	CoordinateOperations:: ParameterValue	M	1	значение параметра действий с координатами

Таблица 81 — Определяющие элементы класса CoordinateOperations::ParameterValue

Определение (Definition): значение параметров для действия с координатами					
Шаблон (Stereotype): Union					
Наследует от (Inheritance from): (none)					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Используется в (Used by): OperationParameterValue					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Числовое значение параметра действия	value	Measure	C	1	числовое значение параметра действия с координатами с соответствующей единицей измерения
Строковое значение параметра действия	stringValue	Character String	C	1	строковое значение параметра действия с координатами. Примечание – Строковое значение не имеет связанной единицы измерения.
Целочисленное значение параметра	integerValue	Integer	C	1	положительное целочисленное значение параметра действий с координатами, обычно используемое для подсчета. Примечание – Целочисленное значение не имеет связанной единицы измерения.
Логическое значение параметра	booleanValue	Boolean	C	1	логическое значение параметра действий с координатами. Примечание – Логическое значение не имеет связанной единицы измерения.

Окончание таблицы 81

Список значений рабочих параметров	valueList	Sequence <Measure>	C	1	упорядоченный набор, т. е. последовательность двух или более числовых значений списка параметров действий с координатами, где каждое значение имеет одну и ту же связанную единицу измерения
Список целочисленных значений параметров действий	integerValue List	Sequence <Integer>	C	1	упорядоченный набор, т. е. последовательность двух или более целочисленных значений списка параметров действий с координатами, обычно используемый для подсчетов. Примечание – Эти целочисленные значения не связаны с единицами измерения.
Ссылка на файл с параметрами	valueFile	Character String	C	1	ссылка на файл или часть файла, содержащую одно или несколько значений параметров. Примечание – При ссылке на часть файла этот файл должен содержать несколько идентифицированных частей, например документ в формате XML. Кроме того, указанный файл или часть файла может ссылаться на другую часть того же или другого файла, что разрешено в документах XML.
Цитата файла с параметрами	valueFile Citation	CI_Citation	C	1	цитата для ссылки на файл или часть файла, содержащую одно или несколько значений параметров. Примечание – При ссылке на часть файла этот файл должен содержать несколько идентифицированных частей, например документ в формате XML. Кроме того, указанный файл или часть файла может ссылаться на другую часть того же или другого файла, что разрешено в документах XML.
Географический объект	Geographic Object	Geographic Object	C	1	идентификатор географического объекта, координаты которого используются в качестве параметров
Условие: объединение (одно из) ограничений на эти атрибуты. Должен быть указан только один из перечисленных атрибутов.					

Таблица 82 — Определяющие элементы класса CoordinateOperations::GeographicObject

Определение (Definition): идентификация объекта, используемого в качестве параметра в трансформировании координат, движении точки или преобразовании координат					
Шаблон (Stereotype): Interface					
Атрибут класса (Class attribute): Concrete					
Реализует (Realization of): Geometry::Geometry (см. [1]). Так он должен реализовать все унаследованные действия и связи. Кроме того, он должен поддерживать все унаследованные атрибуты по крайней мере только для чтения «read only».					
Роли в связи (Association roles): (none)					
Общедоступные атрибуты (Public attributes):					
Имя атрибута	Идентификатор UML	Тип данных	Обязательность	Максимум вхождений	Описание атрибута
Идентификатор географического объекта	identifier	MD_Identifier	O	N	Идентификатор географического объекта

Таблица 83 — Определяющие элементы класса Coordinate Operations::Register Operations

Определение (Definition): действия, поддерживаемые в пакете **Coordinate Operations**

Шаблон (Stereotype): Interface

Атрибут класса (Class attribute): Concrete

Наследует от (Inheritance from): (none)

Роли в связи (Association roles):

Имя связи	Идентификатор UML	Связь с	Обязательность	Максимум вхождений	Описание связи
(без имени)	authority	Citation and responsible party information::CI_Citation	M	1	ссылка, используемая этой операцией с реестром

Общедоступные атрибуты (Public attributes):

Имя действия	Идентификатор UML	Аргументы	Вывод	Описание действия
Найти действие с координатами	findCoordinateOperations	(CRS, CRS)	Set<Coordinate Operation>	операция для поиска любых действий с координатами, для которых данные СК являются исходными и целевыми в указанном порядке. Примечание – Это направление обратно для связи *Source* и *Target* из CoordinateOperation в Coordinate Reference Systems::CRS.
Найти действие с координатами	findCoordinateOperation	(Character String)	CoordinateOperation	операция по извлечению реквизитов Coordinate Operation из реестра
Найти СК	findCoordinateReference System	(Character String)	CRS	операция по извлечению сведений СК из реестра
Входят в одну СК одного происхождения	areMembersOfSame Ensemble	(CRS, CRS)	Boolean	операция для определения, являются ли две СК однородными. Примечание – Если возвращает true, то для целей низкой точности наборы координат, относящиеся к этим СК, могут быть объединены без преобразования координат. Атрибут DatumEnsemble.ensembleAccuracy дает некоторую оценку неточности, вызванной таким слиянием.

Приложение А
(обязательное)

Комплекс проверок

А.1 Требования соответствия. Общие положения

Чтобы проверить соответствие СК или действий с координатами настоящему стандарту, следует проверить, удовлетворяют ли они требованиям своего класса соответствия, приведенным в А.2—А.4. Соответствие должно быть протестировано в отношении обязательных и условных элементов (если условие истинно), описанных в разделах 7—12.

Категории соответствия показаны в таблице А.1.

Таблица А.1 — Критерии соответствия

Критерий	Требования
Метаданные координат	А.2
Определение СК	А.3
Определение действия с координатами	А.4

К каждому из приведенных далее классов предъявляются следующие требования:

а) цель проверки: определить, все ли соответствующие объекты и элементы, которые определены как обязательные или обязательные при указанных условиях, были предоставлены в определении;

б) идентификатор тестового примера: проверка полноты;

в) тип проверки: на возможность;

г) метод проверки: проверяют описание объекта, чтобы убедиться, что оно включает, как минимум, все элементы, указанные как обязательные для этого типа системы, и что оно использует соответствующие типы данных для этих элементов и вхождения этих элементов.

А.2 Требования к метаданным координат

Требования к описанию ссылки на СК приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 — Соответствие описания набора координат некоторой СК

Класс соответствия	Описание	Требования
1	Привязка набора координат в статическую СК со статическим началом и исходными пунктами	7.3.1, требование 1
2	Привязка набора координат в динамическую СК с динамическим началом и исходными пунктами	7.3.1, требование 1, 7.3.2, требование 2

А.3 Требования к определению СК

Требования к определению СК приведены в таблице А.3. Основное требование приведено в графе 4, при этом наследуются дополнительные требования для ассоциаций, атрибутов и/или ограничений из таблиц, приведенных в графе 5. Соответствие требует соблюдения требований во всех таблицах, перечисленных для этого класса соответствия.

Таблица А.3 — Требования к определению СК

Класс соответствия	Описание	Требования		
		Приведенные в		связи и зависимости, приведенные в таблицах
		разделе	таблице	
3	Задание статической (прямоугольной или сферической) СК для геодезии	8	—	6, 7, 8
		9	11	10
		10	46	29, 31, 48, 49, 50. См. также таблицу 37, если используется сферическая СК.
		11	52	51, 54. См. также таблицы 55 и 56, если используется эллипсоид.

Продолжение таблицы А.3

Класс соответствия	Описание	Требования		
		Приведенные в		связи и зависимости, приведенные в таблицах
		разделе	таблице	
4	Задание динамической (прямоугольной или сферической) СК для геодезии	8	—	6, 7, 8
		9	11	10
		10	46	29, 31, 48, 49, 50. См. также таблицу 37, если используется сферическая СК.
		11	53	51, 54. См. также таблицы 55 и 56, если используется эллипсоид.
5	Задание производной (прямоугольной или сферической) СК для геодезии	8	—	6, 7, 8
		9	20	10, 11, 17
		10	46	29, 31, 48, 49, 50. См. также таблицу 37, если используется сферическая СК.
		11	52	51, 54. См. также таблицы 55 и 56, если используется эллипсоид.
		12	71	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
6	Задание статической географической геодезической СК (на эллипсоиде)	8	—	6, 7, 8
		9	12	10, 11
		10	33	29, 48, 49, 50
		11	52	51, 54, 55, 56
7	Задание динамической географической СК (на эллипсоиде)	8	—	6, 7, 8
		9	12	10, 11
		10	33	29, 48, 49, 50
		11	53	51, 52, 54, 55, 56
8	Задание производной географической геодезической СК (на эллипсоиде)	8	—	6, 7, 8
		9	21	10, 11, 12, 17
		10	33	29, 48, 49, 50
		11	52	51, 54, 55, 56
		12	71	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
9	Задание СК проекции	8	—	6, 7, 8
		9	18	10, 11, 17
		10	31	29, 48, 49, 50
		11	52	51, 54, 55, 56
		12	71	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
10	Задание производной СК проекции	8	—	6, 7, 8
		9	19	10, 11, 17, 18
		10	44	29, 48, 49, 50 и как минимум одна из 30, 31, 32, 35, 37, 38. Если 35, то см. также 47.
		11	52	51, 54, 55, 56
		12	71	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
11	Задание статической системы высот	8	—	6, 7, 8
		9	13	10
		10	43	29, 48, 49, 50
		11	57	51, 58
12	Задание динамической системы высот	8	—	6, 7, 8
		9	13	10
		10	43	29, 48, 49, 50
		11	59	51, 57, 58

Продолжение таблицы А.3

Класс соответствия	Описание	Требования		
		Приведенные в		связи и зависимости, приведенные в таблицах
		разделе	таблице	
13	Задание производной системы высот	8	—	6, 7, 8
		9	22	10, 13, 17
		10	43	29, 48, 49, 50
		11	57	51, 57, 58
		12	71	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
14	Задание параметрической СК	8	—	6, 7, 8
		9	14	10
		10	36	29, 48, 49, 50
		11	60	10, 61
15	Задание производной параметрической СК	8	—	6, 7, 8
		9	23	10, 14, 17
		10	36	29, 48, 49, 50
		11	60	51, 61
		12	70	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
16	Задание инженерной СК	8	—	6, 7, 8
		9	15	10
		10	45	29, 48, 49, 50 и как минимум одна из 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38. Если 35, то см. также 46.
		11	62	51
17	Задание производной инженерной СК	8	—	6, 7, 8
		9	24	10, 15, 17
		10	45	29, 48, 49, 50 и как минимум одна из 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38. Если 35, то см. также 46.
			—	
		11	62	51
		12	71	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81
18	Задание даты-времени **dateTime**	8	—	6, 7, 8
		9	16	10
		10	40	29, 39, 48, 49, 50
		11	63	51, 65
19	Задание системы дискретного исчисления времени **temporal count**	8	—	6, 7, 8
		9	16	10
		10	41	29, 39, 48, 49, 50
		11	63	51, 64
20	Задание системы непрерывного измерения времени **temporal measure**	8	—	6, 7, 8
		9	16	10
		10	42	29, 39, 48, 49, 50
		11	63	51, 64
21	Задание производной шкалы времени	8	—	6, 7, 8
		9	25	10
		10	41/42	29, 39, 48, 49, 50
		11	63	51, 64
		12	71	66, 69, 73, 74, 79, 80, 81

Окончание таблицы А.3

Класс соответствия	Описание	Требования		
		Приведенные в		связи и зависимости, приведенные в таблицах
		разделе	таблице	
22	Задание СК общего вида (сниженной точности)	11	67	Также требования выше для соответствующих классов 4—22
23	Задание составной СК	8 9	— 26	6, 7, 8 9, 10

А.4 Требования к описанию действий с координатами

Требования соответствия определения действия с координатами приведены в таблице А.4. Основное требование показано в таблицах, приведенных в графе 4, но она наследует дополнительные требования для ассоциаций, атрибутов и/или ограничений из таблиц, приведенных в графе 5. Соответствие требует соблюдения требований во всех этих таблицах. Класс соответствия 24 относится к преобразованиям координат между двумя независимыми СК: преобразования, используемые в производных определениях СК, включены в А.3.

Таблица А.4 — Требования к определению действий с координатами

Класс соответствия	Описание	Требования		
		приведенные в		связи и зависимости, приведенные в таблицах
		разделе	таблице	
24	Задание преобразования координат (исключая преобразования, поддерживающие производную СК, требования к которой приведены в таблице А.3)	12 8 9	71 — —	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81 6, 7, 8 9
25	Задание трансформирования координат	12 8 9	70 — —	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81 6, 7, 8 9
26	Задание движения/перемещения точки	12 8 9	72 — —	66, 69, 73, 74, 77, 80, 81 6, 7, 8 9
27	Задание составного действия с координатами координат	12 8 9	70 — —	66 6, 7, 8 9
28	Задание частичного преобразования	12 8 9	69 — —	66 6, 7, 8 9

Приложение Б
(справочное)

Пространственная привязка с использованием координат. Сведения из геодезии

Б.1 Некоторые справочные понятия

Объектом настоящего стандарта являются координаты, определяющие положение точки. Создание и поддержание упорядоченных СК в геодезии обеспечивает непротиворечивую стабильную основу для определения местоположения и навигации.

Геодезия занимается определением фигуры Земли, ее вращением и внешним гравитационным полем, их изменениями во времени, а также картографированием ее поверхности. Определение фигуры Земли включает в себя изучение физической и уровенной поверхности Земли, их изменений и деформаций в результате земных приливов и деформаций земной коры. Знание вращения Земли и его неравномерностей обеспечивает связь небесной и земной СК. Гравитационное поле Земли связано с изменениями плотности распределения масс как Земли, так и атмосферы; его пространственные и временные вариации проявляются в смещении центра масс Земли — геоцентра.

Пространственно-временные системы отсчета являются основными поддерживаемыми элементами космической геодезии и астрометрии, в которых можно измерять изменения пространственных положений. В геодезии они называются системами координат, для Земли — земной системой координат (reference system). Принципы идеальной СК (reference system) воплощаются через конкретную реализацию СК (reference frame). В геодезической науке для универсального определения положения точек на Земле применяется Международная земная СК ITRS. Она существует в виде нескольких реализаций, называемых ITRF.

В терминологии настоящего стандарта под СК понимается практическая геодезическая реализация, привязанная к конкретным объектам.

Б.2 Поверхности в геодезии

Физическая поверхность Земли с ее рельефом крайне нерегулярна и непригодна в качестве координатной поверхности. Более гладкой является уровенная поверхность, с которой удалена вся топография. Такая уровенная поверхность, которая лучше всего приближается к уровню моря, называется геоидом. Это уровенная поверхность, которую могли бы принимать океаны в идеальных условиях: при отсутствии течений, колебаний атмосферного давления, колебаний температуры, солености, химического состава и т. д.

Начало счета высот исторически определялось как средний уровень моря в одном или нескольких местах, осредненный за определенный длительный период времени. Далее система высот распространялась на суше с помощью геометрического нивелирования и измерений силы тяжести, которые в сумме дают приращения потенциала. В ближайшее время может быть принято единое значение потенциала силы тяжести для отсчета геопотенциальных чисел, а также связанных с ними высот (и глубин). В настоящем стандарте такие высоты называются физическими высотами над уровнем моря (H). Геодезия различает несколько типов физических высот над уровнем моря: динамические H^d, ортометрические H^g, нормальные H^γ, нормально-ортометрические H^{no} (а также приближенные H^*) — их точное определение и методы вычисления выходят за рамки настоящего стандарта. На рисунке Б.1 схематически показаны отрезки, численно соответствующие ортометрической и нормальной высотам точки земной поверхности W.

Форму геоида определяют неравномерности распределения масс внутри Земли. Его неровности, а также невозможность точного определения делают геоид непригодным для его использования в качестве координатной поверхности для решения геометрических задач.

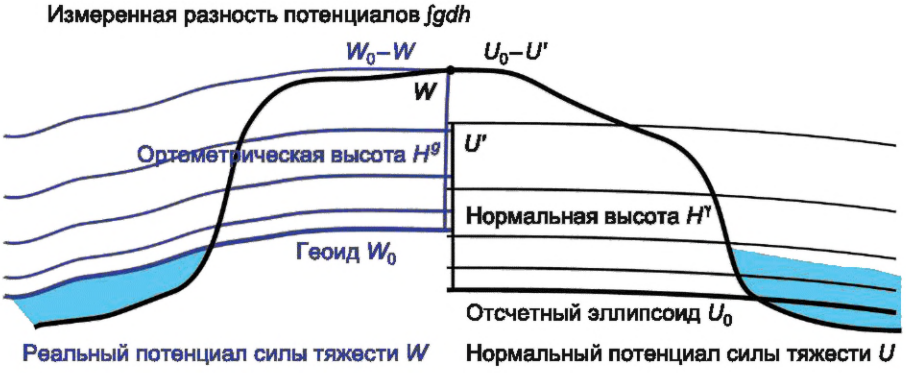

Рисунок Б.1 — Высоты над уровнем моря и эллипсоид

Для геометрических задач (обработка сетей и картографирование) используется отсчетная поверхность сжатого эллипсоида вращения, который также является уровенным в физических задачах теории фигуры Земли. Расстояние от точек геоида до отсчетного эллипсоида, высоты геоида, не превосходят 110 м.

Существует множество эллипсоидов. Размер, форма, положение и ориентировка эллипсоида в теле Земли подбираются из различных исходных данных и различных накладываемых условий (каждый вариант выбора иногда называют **datum**, что по сути отражается в исходных геодезических датах — наборе координат исходных пунктов). На ограниченной территории эллипсоид подбирался максимально близким к уровенной поверхности геоида, так что в доспутниковую эпоху реализации СК не могли получиться геоцентрическими из-за местных уклонений отвесной линии. Как выяснилось позже, начала отсчета СК отстояли от геоцентра на сотни метров. Таковы региональные геодезические СК:

- ED50 (Европейская система отсчета 1950 г.);
- NAD27 (Североамериканская система отсчета 1927 г.);
- СК-42 (Система координат 1942 г.),

которые получены из обработки и уравнивания сетей на референц-эллипсоидах, являющихся наиболее подходящими к геоиду в пределах сети.

Изменение размера, формы, положения или ориентировки эллипсоида приводит к изменению геодезических координат точки на Земле. Следовательно, геодезические координаты — широта и долгота — существенно зависят от СК.

В геодезической СК пространственное положение точки выражается с помощью геодезической широты *B*, геодезической долготы *L* и геодезической высоты *H*. При этом удобно объединять плановые координаты *B*, *L* и физическую высоту над уровнем моря. Такое объединение является примером составной СК (см. В.2.2.3).

Совсем недавно использование геодезических координат для геометрических задач было заменено использованием трехмерной геоцентрической декартовой СК (*X, Y, Z*). С появлением систем спутникового позиционирования такие СК являются практически геоцентрическими: ось *Z* совмещена со средней осью вращения Земли, ось *X* направлена на пересечение плоскости экватора и начального меридиана (параллельно плоскости астрономического меридиана Гринвичской обсерватории, см. В.4.2.2), ось *Y* дополняет СК до правой.

Б.3 Статические и динамические СК

Исторически национальные и региональные геодезические СК реализовывались через координаты геодезических пунктов на поверхности Земли. Эти точки движутся вместе с тектонической плитой, и для наблюдателя на тектонической плите координаты кажутся неизменными во времени. Такая СК без учета изменения взаимного положения удаленных точек называется статической (например, ETRF89 в Европе и GDA2020 в Австралии).

В современной геодезии подразумевается, что поверхность Земли деформируется, и взаимное положение точек меняется, что должно отражаться в координатах точек. Изменение координат во времени может быть включено в определение геодезической СК или же в виде модели деформации земной коры. СК, в которой координаты меняются во времени, называется динамической.

Когда СК описывает положение геодезических пунктов на Земле глобально в среднем, учет взаимного перемещения отдельных тектонических плит (хотя и медленно, несколько сантиметров в год) приводит к медленному изменению координат точек и внутри одной плиты. Примеры включают реализации ITRF системы ITRS, используемые в ГНСС, таким как WGS 84 в GPS, ПЗ-90 в ГЛОНАСС и т. д.

Тектонические плиты могут подвергаться локальной деформации, вызванной землетрясениями или послеледниковым поднятием (Скандинавия). Эти деформации могут быть смоделированы, как правило, в виде скоростей в узлах сетки. СК, имеющая дополнительную модель деформации, является динамической независимо от того, закреплена ли она только пунктами на плите или по всей земле.

Для практического применения на ограниченной территории динамическая СК не всегда удобна. Пользователи предпочитают, чтобы координаты точек на обширных стабильных участках тектонических плит были практически постоянными. Региональные и национальные СК могут быть определены как привязанные к местной тектонической плите, при этом их определение задается версией ITRF на выбранную эпоху СК, когда они совпадают. Из-за смещения тектонической плиты, к которой привязана фиксированная плита, связь между глобальной СК и региональной/национальной СК (на текущей плите) будет медленно меняться со временем. Преобразование между глобальной и такой СК содержит зависимость от времени.

Б.4 Эпоха

Б.4.1 Введение

В настоящем стандарте «Эпоха» — это момент времени. В григорианском календаре год указывается в виде десятичной дроби, где уууу,00 означает полночь в начале 1 января года «уууу». Если требуется преобразовать эпоху в дату по григорианскому календарю или из нее, принимая любой из 365, 365,25 или 366 дней в качестве длины года, этого вполне достаточно для работы с линейным смещением тектонических плит.

Пример — 2017-03-25 по григорианскому календарю есть эпоха 2017,23.

В динамических СК выделяют основные эпохи:

а) эпоха СК;

б) эпоха координат;

в) эпоха трансформирования, которая имеет две формы:

1) эпоха трансформирования для трансформирования, выполненного в СК на определенную эпоху;

2) эпоха параметров для параметров трансформирования, зависящего от времени.

Подробное описание приведено далее, на рисунке Б.2 изображена примерная схема моментов эпох на временной шкале.

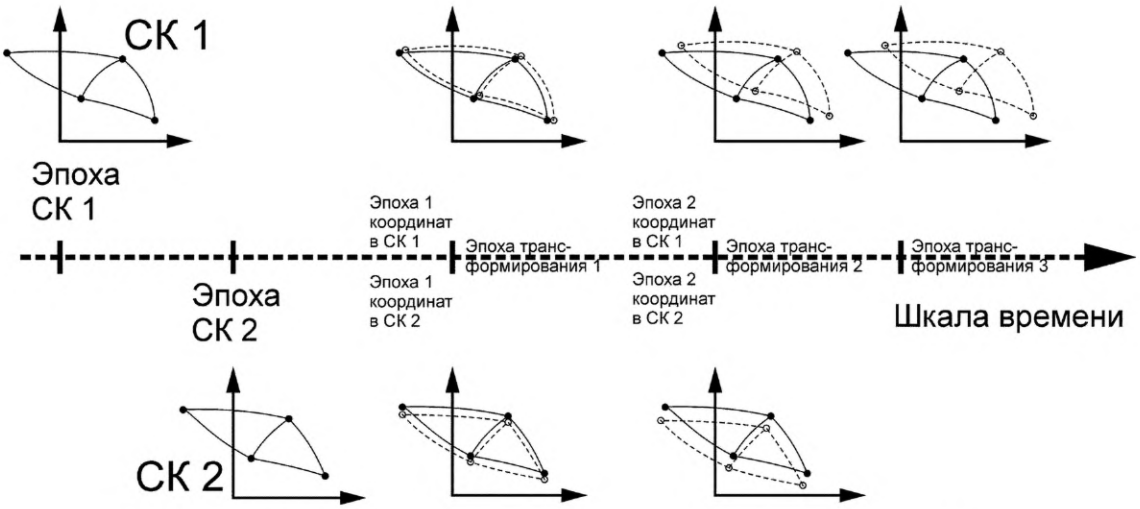

Рисунок Б.2 — Эпохи: СК, координат, трансформирования и параметров.

Б.4.2 Эпоха СК

Одним из атрибутов динамической СК является стандартная опорная эпоха, в которой определяются координаты и скорости опорных пунктов СК. Стандартная опорная эпоха СК выбирается при обработке данных во время вывода СК. Это не обязательно та же эпоха, что и год в названии реализации, который может быть последним годом, в котором были собраны измерения, или может быть датой публикации. Дата в названии реализации указывает на порядковый номер реализации, но, кроме этого, не имеет существенного значения (это просто имя).

Б.4.3 Эпоха координат

В динамической СК координаты точки на поверхности Земли могут меняться со временем. Чтобы быть однозначными, координаты всегда должны сопровождаться указанием эпохи, к которой они отнесены. Часто это выражается в виде, представленном в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Форма	Пример
<название СК> на эпоху Т	ITRF2008 на эпоху 2017,53
<название СК> эпоха Т	ITRF2008 эпоха 2017,53
<название СК>@Т	WGS 84 (G1762) @ 2017,53

Важно понимать, что во всех этих примерах суффикс «2017,53» относится к координатам. Он не принадлежит СК и, следовательно, никоим образом не изменяет определение ITRF2008 (которая имеет эпоху СК 2005,0) или WGS 84 (G1762).

Координаты набора данных могут быть приведены на любую другую эпоху. Для этого часто используются модели смещения плит или другие модели деформации земной коры, когда оценки скоростей изменений координат недоступны. Такие модели упрощают приведение координат, например, с ITRF2008 в эпоху 2017,53 к ITRF2008 в эпоху 2005,0.

Б.4.4 Эпоха трансформирования

В случае пространственных координат трансформирование координат между двумя СК часто задается преобразованием подобия (Гельмерта). На плоскости преобразование Гельмерта имеет четыре параметра; в трехмерном пространстве он имеет семь параметров, состоящих из перемещения, вращения и масштабирования.

Для трансформирования координат между динамическими СК и между динамическими и статическими СК стандартное 7-параметрическое преобразование подобия (Гельмерта) для трехмерного пространства дополняется одним из следующих моментов:

а) трансформирование действительно только на определенную эпоху — эпоха трансформирования. Это иногда называют преобразованием с восемью параметрами: семь параметров Гельмерта и эпоха трансформирования. Требуются дополнительные способы учета смещений земной коры в реперную эпоху трансформации;

б) сами параметры зависят от времени, эпоха параметров определяет дату, на которую действительны указанные значения семи параметров Гельмерта. Но каждый из семи параметров имеет линейную скорость изменения и должен быть скорректирован с учетом разницы между эпохой координат и эпохой параметров перед применением трансформирования. Это часто называют 14-параметрическим (семь параметров и семь скоростей) или, что более уместно, 15-параметрическим преобразованием (семь параметров, семь скоростей и эпоха параметров).

Примечание — Для вычисления скоростей изменения параметров трансформирования практически требуются хотя бы два набора параметров, каждый из которых вычислен на свою эпоху трансформирования по координатам, приведенным на одну эпоху координат по методике своей СК. Получив скорости изменения параметров, их можно привести на любую эпоху параметров для трансформирования наборов координат в разных СК, но приведенных на свою эпоху координат. При преобразовании координат геометрические параметры редуцировать на эпоху не следует, т. к. они не вычисляются эмпирическим путем. Если хотя бы одна из СК статическая, эпоха трансформирования определяется последней эпохой координат.

Б.5 Картографические проекции

Вычисления пространственных элементов на поверхности эллипсоида непросты. Работать в плоских прямоугольных координатах значительно проще. Такие координаты могут быть получены из геодезических координат с использованием картографической проекции. Поскольку невозможно изобразить выпуклую поверхность эллипсоида на плоской поверхности карты без деформации, наиболее часто ставится условие конформного изображения, заключающегося в сохранении углов и соотношении длин, бесконечно малые квадраты изображаются как квадраты. Примером конформной картографической проекции является поперечная проекция Меркатора. В конформной проекции другие параметры, например масштаб, содержат искажения, и СК проекции может использоваться без учета этих искажений только там, где эти ошибки пренебрегаемы. Другие проекции (равноплощадные, равнопромежуточные) вводятся под другими условиями.

Прямоугольные координаты x, y в плоскости проекции не имеют общего стандарта для направления осей: в некоторых сообществах ось x направлена восток, в других x — на север, в третьих x — на юг.

Во всех случаях направлением на север, используемым для ориентирования, является север карты, а не местный геодезический север. Разница между ними называется сближением меридианов.

Приложение В
(справочное)

Пространственная привязка по координатам. Особенности моделирования

В.1 Метаданные координат

В.1.1 Координаты

Геометрия пространственных объектов может быть выражена в терминах инвариантных геометрических величин, таких как форма и взаимное положение/ориентация (объективно, только отношения расстояний и углы являются инвариантными величинами). Однако было бы непрактично выполнение вычислений по таким пространственным данным — это потребовало бы больших усилий. Выражение положения точки с помощью координат привносит простоту с точки зрения наглядности и вычислений. Однако это более трудоемко. Для описания простой формы, такой как треугольник на плоскости, вместо одного отношения расстояний и одного угла требуется шесть координат. Присущие степени свободы (четыре на двухмерной поверхности, семь в трехмерном пространстве) должны быть удовлетворены путем выбора начала отсчета координат, задания единиц измерения и установления ориентации осей. Этот выбор подчеркивает тот факт, что координаты — это величины, определяемые человеком (существующие в его воображении), а не наблюдаемые непосредственно явления природы. Хотя это может показаться само собой разумеющимся, это часто упускают из виду, и это имеет последствия для интерпретации координат и их характеристик ошибок.

СК фиксирует значения параметров, определяющих степени свободы в пространстве. Тот факт, что такой выбор должен быть сделан, приводит к тому, что во всем мире используется большое количество СК. Это также является причиной того интересного факта, что широта и долгота точки не уникальны. Без полного описания СК координаты в лучшем случае неоднозначны, а в худшем — бессмысленны. Однако для некоторых целей обмена достаточно подтвердить идентичность системы, не обязательно имея полное определение системы.

В.1.2 Координаты в динамической СК

Традиционно координаты, описывающие объекты на поверхности Земли, были статическими, т. е. не менялись со временем. Современные СК могут быть статическими, но некоторые (в том числе используемые в ГНСС) являются динамическими, т. е. координаты точек могут изменяться во времени. Статические и динамические СК описаны в Б.3. В динамической СК полного описания задания СК недостаточно для устранения неоднозначности в координатах: требуется также эпоха координат. Эпоха координат является атрибутом самих координат, а не частью описания СК.

Геометрические расчеты (см. [1]) с использованием координат, привязанных к динамической СК, могут быть выполнены только в том случае, если координаты сначала приведены к одной эпохе координат. В настоящем стандарте координаты в наборе должны быть приведены к одной СК и к одной эпохе координат. Настоящий стандарт не позволяет объединять отдельные векторы координат с разными эпохами координат в одном наборе. Перед объединением в набор координаты должны быть сначала приведены к одной выбранной эпохе координат.

В.1.3 Изменение эпохи координат

Изменение координат из СК 1 в эпоху координат 1 к СК 2 в эпоху координат 2 может быть достигнуто тремя путями:

а) два действия с координатами: сначала изменение эпохи координат, затем преобразование координат из СК 1 в СК 2;

б) два действия с координатами: сначала преобразование координат из СК 1 в СК 2, затем изменение эпохи координат;

в) непосредственно через одно действие с координатами, объединяющее предыдущие два действия.

Теоретически, эти три подхода равноценны, практически — не всегда, т. к. действия с координатами обычно сопровождаются потерей точности, да и значения параметров для каждого из возможных пяти действий с координатами могут быть вычислены отдельно. Кроме того, на практике данные могут быть недоступны для всех способов, также может потребоваться изменение эпохи координат на какое-то время, отличное от эпохи координат 1 или 2, что вводит дополнительные шаги в цепочку преобразований.

В.1.4 Задание СК

Разработчиков предупреждают о том, что в любом реестре ошибки в данных могут быть исправлены по правилам этого реестра, как это определено ответственным органом. ПО, ссылающееся на реестр, должно иметь алгоритмы выявления ошибочных данных, чтобы иметь возможность вычислять требуемые данные (как правило, самая актуальная информация поступает из регистра, но иногда встречаются параметры прошлых лет, которые до сих пор ошибочно используются).

В.2 Определение СК

В.2.1 Основные виды СК

Виды СК определены в разделе 9.

В настоящем стандарте применена следующая классификация:

а) геодезическая пространственная СК, связанная с двухмерными или трехмерными геодезическими координатами. В настоящем стандарте геодезические координаты на отсчетном эллипсоиде названы географическими, следовательно, географическая СК должна быть связана с отсчетным эллипсоидом. СК с декартовыми или сферическими координатами обычно, но не обязательно, связана с отсчетным эллипсоидом. Географическая СК с использованием трехмерных геодезических координат [геодезическая широта, геодезическая долгота и геодезическая высота] используется для точек на, над или под отсчетным эллипсоидом. В географических двухмерных координатах отбрасывают геодезическую высоту. Геодезические высоты не могут существовать независимо, а только как неотъемлемая часть пространственного вектора координат, определенного в пространственных географических координатах. СК с использованием трехмерных декартовых координат используется при описании положений относительно начала координат в центре масс Земли и средней оси вращения Земли. СК может быть статической или динамической — см. Б.3;

б) система высот определяет физические высоты над уровнем моря. Универсальной мерой различия точек по высоте является геопотенциальное число, определяемое направлением течения жидкости.

Примечание — Глубина иногда измеряется вдоль линии, которая локально не следует направлению отвеса. Примером может служить глубина нефтяной или газовой скважины, где она обычно измеряется вдоль траектории ствола скважины. Этот путь может отличаться от местной вертикали. Тем не менее, расстояние по траектории ствола скважины также называется глубиной.

Метод распространения системы высот является ее необязательным атрибутом. Некоторые системы высот распространяются через модель высот (квази)геоида — см. В.4.3. В настоящем стандарте модель высот (квази)геоида описывается как преобразование координат. При этом методом реализации системы высот будет «(квази)геоид». Затем система высот должна быть связана с преобразованием координат модели геоида через **HeightTransformation** блок-схемы (UML). Геодезическая СК, в которой задана модель высот (квази)геоида, является опорной СК для преобразования. Высоты (квази)геоида могут быть привязаны более чем к одной геодезической СК, и в этом случае будет более одного **HeightTransformation**. Система высот может быть статической или динамической — см. Б.3;

в) инженерные. Инженерные СК, которые используются только в локальном смысле. Этот тип используется для следующих локальных СК:

1) строительные сетки, применяемые для инженерных изысканий на поверхности Земли или вблизи нее строго на ограниченной территории;
2) объектоцентрические координаты на движущихся платформах; транспортные средства, суда, самолеты или космические корабли;
3) внутренние координаты на изображениях или в датчиках изображений.

Для инженерных СК на поверхности Земли или вблизи нее термин «локальный» означает «пространственно локальный». Эти инженерные СК обычно основаны на плоской отсчетной поверхности: в вычислениях используют простую плоскую геометрию без учета поправок на кривизну Земли. Другие местные работы не обязательно связаны с этой инженерной СК — многие из них будут привязаны к геодезической, географической или СК проекции. Инженерную СК используют только те, которые не имеют указаний на другие СК.

Объектоцентрические СК на движущихся платформах обычно представляют собой промежуточные СК, которые требуются для вычисления координат, привязанных к геодезическим или СК проекции из других инструментальных СК в датчиках, установленных на платформе. Эти инженерные СК подвержены всем перемещениям платформы, с которой они связаны. В этом случае «локальный» означает, что связанные координаты имеют смысл только относительно движущейся платформы. В пространственном смысле их применимость может простираться от непосредственной близости от платформы (например, движущегося корабля) до всей Земли (например, в космических приложениях). Определяющим фактором является математическая модель, используемая в вычислениях. Преобразование координат из таких инженерных СК на движущихся платформах в земные СК включает зависящие от времени параметры.

Для инженерных СК, используемых при описании внутреннего положения на изображениях, «локальный» означает внутреннюю СК изображения или датчика изображения. В настоящем стандарте СК имеет оси с непрерывной нумерацией и шагом. Целочисленная дискретная нумерация осей может использоваться, когда координаты отражают регулярно расположенные последовательные индексы. Пример приведен в Д.2.8. Сетки в целом и, в частности, нерегулярные сетки описаны в [9]. Внутренняя СК может быть географически привязана к геодезической, географической или СК проекции посредством преобразования координат, либо прямо, либо косвенно через инженерную СК или локальную объектоцентрическую СК сенсорной платформы.

г) параметрические СК. Научные сообщества, особенно те, которые занимаются науками об окружающей среде, часто частично выражают пространственное положение в значениях параметра — некоторой физической величины. Этот параметр или функция рассматривается как третья координата. Его связь с пространственным приращением обычно нелинейна. Примеры широко известны: часто встречаются широта, долгота и давление; давление используется в качестве показателя высоты, но его связь с высотой сложна. Примеры параметрических СК приведены в Д.3;

д) временные СК. В настоящем стандарте система времени определяется так же, как и другие основные подтипы: система исчисления и начало, привязывающие систему к объекту — времени на Земле. Настоящий стандарт поддерживает системы времени, достаточные для пространственно-временной привязки. В настоящем стандарте единственным используемым календарем является пролептический григорианский календарь, как определено в ГОСТ Р 7.0.64. Другие календари и их преобразования в григорианский календарь ГОСТ Р 7.0.64 не поддерживаются. Системы времени описаны в приложении Г. Примеры систем времени приведены в Д.4.

В.2.2 Дополнительные типы СК

В.2.2.1 Введение

Помимо основных классов, описанных выше, для описания некоторых данных и ограничений выделяют дополнительные классы:

а) производные системы;

б) производная СК проекции, но выделяется исключительно из-за ее важности в описании географической информации;

в) составные СК.

В.2.2.2 Производные СК

Некоторые СК определяются путем преобразования координат в другую ранее существовавшую СК. Например, СК, в которой была изменена единица измерения по осям. Такая система СК называется производной, а СК, из которой она была получена, называется базовой (исходной) СК. Все разновидности координат одной СК могут быть либо базовой, либо производной СК. Однако производная СК наследует начало отсчета и исходные пункты от базовой СК. Поскольку тип СК обычно соответствует типу данных, это наследование означает, что большинство производных СК относятся к тому же типу, что и их базовая СК. Например, если базовая СК имеет в составе нелинейный параметр, производная СК наследует это, и поэтому ее тип «производная параметрическая СК».

СК проекции получается из геодезической СК путем применения преобразования координат, известного как картографическая проекция. СК проекции (**ProjectedCRS**) моделируется как класс объектов под собственным именем, а не как производная СК (**DerivedCRS**) типа «проекция», в соответствии с общепринятой практикой, согласно которой СК проекции являются одним из наиболее часто встречающихся координат, используемых в географической информации. Хотя теоретически базовой СК для СК проекции может быть любая геодезическая СК, и блок-схема (UML) на это указывает, на практике базовой СК для СК проекции обычно служит географическая СК. Картографическая проекция применяется к значениям геодезических широты и долготы.

СК проекции может выступать в качестве базовой СК для другой производной СК проекции, например сетки сейсмических поправок. Производная СК проекции наследует все искажения базовой СК проекции в дополнение к ошибкам реализации самой СК.

Тип производной СК обычно должен соответствовать базовой СК. Например, производная от инженерной СК должна также быть инженерной. Исключениями являются СК, применяемые в геодезии:

а) СК с декартовыми или сферическими координатами может выступать в качестве базовой СК для другой подобной СК или, если определение СК включает эллипсоид, для географической СК, имеющей геодезические координаты;

б) географическая СК (на эллипсоиде) может выступать в качестве базовой СК либо для другой географической СК, либо для СК с декартовыми или сферическими координатами;

в) либо СК для геодезии, либо (чаще всего) географическая СК может выступать в качестве основы для СК проекции: СК проекции должна иметь декартовы координаты;

г) СК проекции может выступать как базовая СК для производной СК проекции.

Если производная СК проекции двухмерная, она может иметь либо аффинные, либо декартовы, либо полярные координаты, либо целочисленную порядковую оцифровку осей (как для пикселей изображения или камеры). Если СК проекции трехмерная, допускаются цилиндрические или сферические координаты.

Тип СК, которая может быть связана с производной СК, ограничивается типом, показанным на рисунке 10 (производная СК) в разделе 9 в сочетании с рисунком 12 (ассоциации координаты — СК) в разделе 10.

Если новая СК не наследует начало и исходные пункты, посредством которой она определена, то она не является производной СК. Например:

- национальная СК для геодезии может быть определена относительно одной из международных земных СК и может совпадать с ITRF в некоторую определенную эпоху СК. Поскольку национальная СК имеет свою собственную СК и не наследует ITRF, она задается как основная базовая СК, а не производная СК. Национальная СК может быть связана с ITRF через преобразование координат;

- система высот на основе модели высот (квази)геоида, заданной в узлах географической СК, не является производной системой, поскольку такая система высот не наследует геодезическую СК базовой географической СК, а имеет свои собственные исходные пункты. В настоящем стандарте модель высот (квази)геоида описывается как преобразование координат. Система высот связана с преобразованием координат через преобразование высоты, посредством которой исходная географическая СК может быть обнаружена. См. пример в Д.2.10 с описанием системы высот на основе модели высот (квази)геоида и пример в Д.5.2 для описания связанной модели высот (квази)геоида.

В.2.2.3 Составная СК

Удобное разделение плана и высоты привело к СК, которые являются плановыми (2D) и высотными (1D) по своей природе, в отличие от действительно трехмерных координат. Такое объединение плановых координат точки с высотой (или глубиной) из системы высот является установившейся практикой.

СК, к которой относятся эти двухмерные + одномерные координаты, представляет собой набор различных плановых и высотных систем, к которым может быть добавлена система измерения времени, — такая система называется составной СК. Она состоит из последовательности двух или более разнородных СК, ни одна из которых сама по себе не может быть составной и которые не зависят друг от друга[1)]. СК независимы друг от друга, если координаты одной не могут быть преобразованы или трансформированы в координаты другой. Как правило, составная СК может содержать любое количество независимых СК.

Порядок координат в векторе, который относится к составной СК, во-первых, соответствует порядку СК в составе системы, во-вторых, внутри каждой из них координаты следуют порядку осей каждой СК. Не существует предписанного порядка для последовательности отдельных СК, но рекомендуется, чтобы плановая часть предшествовала высотной, а пространственная — временной.

Когда более двух СК объединяются при формировании составной СК, вложение составных СК не допускается; вместе объединяются отдельные элементарные системы. В таблице В.1 приведены примеры составных СК.

Если требуется составить сводку координат, которые не являются независимыми друг от друга, их не следует описывать как составную СК, а вместо этого следует рассматривать как несколько независимых СК. Например, чтобы свести в таблице четыре координаты: широту, долготу, восток и север, то двухмерные географические + двухмерные проекции не допускается использовать в качестве составной СК, т. к. координаты в СК проекции не являются независимыми от географических координат: они могут быть преобразованы или трансформированы между системами. Должна быть сделана двойная таблица широты и долготы в географической СК, и востока и севера в СК проекции, даже если СК проекции имеет географическую СК в качестве базовой.

Таблица В.1 — Составные СК

Тип составной СК	Типы составляющих СК
Пространственная	Двухмерная географическая + система высот Двухмерная географическая + одномерная инженерная (высота вычисляется по местной вертикали) Двухмерная СК проекции + система высот Двухмерная СК проекции + одномерная инженерная (высота вычисляется по местной вертикали) Двухмерная инженерная (плановая) + система высот Одномерная инженерная (линейная) + система высот
Пространственно-временная	Двухмерная плановая + временная ***Пример — Двухмерная географическая + временная*** ***Включение нескольких независимых систем измерения времени также допустимо***
Пространственно-параметрическая	Двухмерная плановая + параметрическая ***Пример — Двухмерная СК проекции + параметрическая*** ***Включение нескольких независимых параметров допустимо***
Пространственно-параметрическая и временная	Любые пространственно-параметрические плюс временные ***Пример — Двухмерная географическая + параметрическая + временная***

В.3 Математические координаты

В.3.1 Общие сведения

Математические координаты описаны в разделе 10.

Координаты точек относятся к определенной СК и часто определяются набором координатных линий (осей) СК в пространстве. Это также подразумевает набор математических правил, определяющих, как координаты связаны с инвариантными величинами, такими как углы и расстояния. Другими словами, СК подразумевает, как координаты вычисляются из геометрических элементов, таких как расстояния и углы и наоборот. Вычисления при получении углов и расстояний из координат точек на плоскости изображения и наоборот представляют собой простую евклидову двухмерную геометрию. Чтобы сделать то же самое на поверхности эллипсоида (искривленном

[1)] При обработке сетей почти всегда требуется привлечение других данных, которые при этом рассматриваются как безошибочные.

двухмерном многообразии), требуется более сложная сфероидическая геодезия. Ее методы не могут быть даны в замкнутом виде, но вытекают из геометрических свойств эллипсоида.

Примечание — Расстояния не являются инвариантными величинами, так как они могут быть выражены в несистемных единицах. Отношения расстояний инвариантны.

В.3.2 Декартовы координаты

Декартовы координаты — частный случай аффинных координат (см. рисунок 11). Блок-схема (UML) связи координат с СК на рисунке 12 показывает как аффинные координаты (**affineCS**), так и декартовы координаты (**CartesianCS**) в объединенных классах инженерные СК (**EngineeringCS**) и производных СК проекции (**DerivedProjectedCS**). Это совершенно необязательно, т. к. указание аффинных координат подразумевает декартовы. Декартовы координаты (**CartesianCS**) включены в классы инженерных СК (**EngineeringCS**) и производных СК проекции (**DerivedProjectedCS**), чтобы подчеркнуть, что инженерные СК и производные СК проекции могут иметь декартовы координаты (**CartesianCS**).

В.3.3 Координатные линии и оси

Координатные линии и оси описаны в 10.5.

Понятие координатных линий и осей требует некоторого пояснения. Рассмотрим произвольную СК x, y, z. Ось x может быть определена как геометрическое место точек с $y = z = 0$. Это достаточно легко понять, если СК x, y, z является декартовой, а пространство, которое она описывает, является евклидовым. Немного сложнее для понимания при сильно искривленной поверхности эллипсоида, где положение точки описывается в геодезической СК (двухмерной или трехмерной). Координатная линия — линия, образуемая при изменении одной координаты, тогда как две других фиксированы.

Примеры

1 Геодезическая широта определяется как «угол от плоскости экватора до нормали, восстановленной к эллипсоиду из данной точки», в северном полушарии считается положительной. Единичный вектор координатной линии широты, касательный к меридиану, указывает направление «на север». В двух разных точках эллипсоида направление «на север» будет различным в пространстве.

Заданное направление координатных осей часто является приблизительным. Это может привести к небольшому взаимному развороту двух вариантов СК.

2 Две СК, использующие одни и те же геодезические координаты, обычно связаны с Землей через две разные реализации геодезических СК с разным началом и разной ориентировкой.

3 Декартовы координаты могут быть применены к любому из двух зданий, в каждом случае ориентированных вдоль одной стороны здания. Если два здания повернуты относительно друг друга, то же самое будет и в двух связанных с ними СК.

Класс **AxisUnit** содержит четыре атрибута. Одна из величин **temporalCount**, **temporalMeasure** или **temporalString** используется для временной оси. **AxisUnitID** используется для осей СК, не связанной с временем.

В.4 Начало отсчета и реализация СК на исходных пунктах

В.4.1 Общие сведения

Начало отсчета и исходные, опорные пункты СК, ранее за рубежом именуемые **datum**, определены в разделе 11. В настоящее время за рубежом современным термином является **reference frame**, реализация СК, что легко представить в виде некоторого пространственного каркаса. В доспутниковую эпоху при формировании СК для ориентирования отсчетного эллипсоида в теле Земли использовали прием выделения исходного пункта геодезической сети, которому назначали исходные даты (геодезические координаты, высоту геоида и составляющие уклонения отвесной линии). Термин «исходные пункты» сейчас используется в качестве опорных пунктов. В настоящем стандарте термин datum используется в общем смысле как для исходных пунктов в устаревшем понимании, так и для современных спутниковых реализаций СК.

Начало отсчета и исходные, опорные пункты СК определяют связь математических координат с объектом, таким образом реализуя СК. Исходные, опорные пункты неявно (или явно) содержат значения координат, выбранные в соответствии с количеством степеней свободы СК, как описано в В.1.1. Таким образом, реализация СК подразумевает фиксирование начала отсчета и ориентировку (и масштаб) СК.

В.4.2 СК в геодезии

В.4.2.1 Общие сведения

СК в геодезии реализуется трехмерными или двухмерными (плановыми) координатами и используется для описания протяженных участков земной поверхности, включая всю Землю. Для этого требуется определение начального меридиана, а при использовании географической СК — задание эллипсоида. В общем случае, при указании СК для геодезии задание эллипсоида необязательно, но рекомендуется — см. В.4.2.3.

В.4.2.2 Нулевой (начальный) меридиан

Нулевой (начальный) меридиан определяет начало счета долгот. В большинстве современных геодезических СК в качестве нулевого меридиана используется начальный меридиан Международного бюро времени (BIH), который иногда называют «нулевым» меридианом IERS (International Reference Meridian). Это реализация гринвич-

ского меридиана в 1980-х годах, которая заменила более ранние определения. В настоящем стандарте эта концепция, в основном, используется для описания разности долгот, определенной между прежним международным стандартом и другими национальными стандартами, например смещения долготы между гринвичским меридианом и парижским меридианом. В настоящем стандарте термин «Гринвичский меридиан» является синонимом действующего на тот момент международного меридиана.

В настоящем стандарте, если используется геодезическая СК, должен быть задан начальный меридиан. Это должно быть указано явно, если использован немеждународный меридиан, например для Ferro или Batavia (Джакарта). Нулевой меридиан не следует указывать явно, если он является международным; в этом случае предполагается, что это международный меридиан, т. е. гринвичский.

В.4.2.3 Отсчетный эллипсоид

Отсчетный эллипсоид определяется так, что он близок к поверхности мирового океана (в идеале — геоида) или геометрически или в смысле потенциала силы тяжести. На территории, для которой подобран референц-эллипсоид (обычной регионально, но с появлением ИСЗ уже и глобально) эллипсоид обычно связывается с геодезическими географическими СК и косвенно с СК проекции.

Если геодезическая СК содержит геодезические координаты и, следовательно, является географической СК, требуется указывать эллипсоид. Эллипсоид необязателен для геодезических СК с другими типами координат: декартовой, сферической. Однако его задание настоятельно рекомендуется, потому что, хотя определение геодезической СК с использованием геоцентрических декартовых координат, по-видимому, устраняет необходимость в эллипсоиде, эллипсоид может играть роль в определении ориентировки производной СК в касательной плоскости (топоцентрической).

Отсчетный эллипсоид может быть задан либо большой полуосью и сжатием, либо большой и малой полуосями. Второй параметр может быть получен из других параметров. Для некоторых приложений, например мелкомасштабного картографирования в атласах, используется сферическая аппроксимация земной поверхности, требующая указания только радиуса сферы (например, в виде среднего радиуса кривизны).

В блок-схеме (UML) эти параметры моделируются обязательным атрибутом большая полуось **semiMajorAxis** в классе эллипсоид **Ellipsoid** и вторым определяющим параметром **secondDefiningParameter**. Этот атрибут использует класс **SecondDefiningParameter** с признаком «**Union**», что означает, что используется только один из его атрибутов. Этот класс позволяет указать малую полуось **semiMinorAxis** или знаменатель сжатия **inverseFlattening** в качестве второго определяющего параметра эллипсоида; можно указать, что используется сферическая модель. Для сферы атрибут большая полуось **semiMajorAxis** класса **Ellipsoid** интерпретируется как радиус сферы.

Настоящий стандарт также позволяет описывать трехосный отсчетный эллипсоид с использованием дополнительного атрибута третьей (средней) полуоси. Этот атрибут предназначен для планетарных приложений и не используется при описании сжатого земного эллипсоида вращения. Для трехосного отсчетного эллипсоида обычно вторым определяющим параметром является малая полуось эллипсоида.

Отсчетный эллипсоид не должен быть задан, если подтип **Datum** не является статической или динамической СК для геодезии. Его задание обязательно, если координаты в СК являются эллипсоидальными, для других применяемых типов СК указание отсчетного эллипсоида является необязательным, но рекомендуется.

В.4.3 Системы высот

Система высот задается одним или несколькими исходными пунктами, от которых высоты распространяются с помощью геометрического нивелирования. Различные типы физических высот могут быть отсчитаны от одного и того же исходного пункта. Различия между динамическими высотами, ортометрическими высотами, нормальными высотами и нормально-ортометрическими высотами в настоящем стандарте не рассматриваются: все они объединены в физические высоты (над уровнем моря).

Можно выделить следующие способы практической реализации системы высот:

а) нивелирование. Нулевая отметка системы высот определяется на одном или нескольких футштоках (мареографах), отслеживающих уровень моря в течение длительного периода времени, затем она распространяется через нивелирную сеть;

б) модель высот (квази)геоида. Нулевая отметка системы высот выбирается на некотором условном среднем уровне моря, обычно по соглашению. Система высот моделируется в виде модели высот (квази)геоида в одной или нескольких геодезических СК. В настоящем стандарте модель высот (квази)геоида рассматривается как действие с координатами, а исходная СК действия с координатами — как геодезическая СК, к которой присвязана модель. Реализация системы высот связаны с высотами (квази)геоида посредством преобразования **HeightTransformation** между геодезической СК и действия с координатами — см. В.2.1 б);

в) прилив. Начало счета высот выбирается для единого изображения рельефа на топографической карте. Для гидрографических карт используется нуль глубин — условный осредненный минимальный уровень моря (без волн или других воздействий ветра и течений), который возникает во время отлива. Примерами являются квадратурный лунно-солнечный прилив (LAT) и минимальный уровень воды в источниках (LLWS). Другим примером является наклонная и волнистая поверхность реки, определяемая как условная поверхность речной воды, используемая для количественной оценки речного стока.

В.4.4 Динамические СК

Геодезические СК и системы высот могут быть статическими и динамическими. Эти термины введены с точки зрения наблюдателя на тектонической плите на поверхности Земли. Дополнительная информация приведена в Б.3. Как геодезические СК, так и системы высот моделируются как динамические, которые имеют обязательный атрибут — эпоху СК (реализации системы). Подразумевается, что если геодезическая СК или система высот не являются динамическими, то они являются статическими. Чтобы быть однозначными, координаты, относящиеся к динамической СК, также сопровождаются эпохой координат.

В.4.5 Отсчет параметров

Если такой параметр, как атмосферное давление, является основой для определения начала счета, то тип СК является параметрическим.

В.4.6 Инженерные СК

Инженерные СК используются только локально. Они описывают начало и расположение осей инженерной строительной сетки. Следует отметить, что инженерные СК не обязательно описывают связь с Землей, а только относительно с других точек в небольшой окрестности, будь то движущаяся платформа, здание или участок местности на или вблизи поверхности Земли или изображение. Связь инженерной СК с любой геодезической или СК проекции может быть описана только действием с координатами.

В.4.7 Объединение данных пониженной точности

Современные геодезические СК могут время от времени обновляться. Различия между последовательными реализациями могут быть на уровне долей дециметра. Для некоторых географических информационных приложений это несущественно, а работа с несколькими реализациями СК, незначительно отличающимися друг от друга, представляет собой нежелательные затраты, которые в таких приложениях не имеют никаких преимуществ. Чтобы решить эту проблему, в настоящем стандарте описываются искусственные объединения СК пониженной точности. Процедуры, которые объединяют наборы координат, могут оценивать элементы связи разных реализаций СК и не выполнять преобразования координат между СК в этом наборе данных.

Объединение данных в СК пониженной точности представляет собой группу тесно связанных реализаций. Они должны быть реализациями одной и той же земной СК или одной и той же системы высот. В блок-схеме (UML) имя атрибута «**conventionalRS**» используется для разрешения группировки любой реализации СК.

Пример —	*№ СК*	*Идентификатор СК*	*Атрибут ConventionalRS*
	1	*WGS 84 (G1674)*	*WGS 84*
	2	*NAD83(CSRS)v3*	*NAD83(CSRS)*
	3	*NAD83(2007)*	*NAD83(NSRS)*
	4	*NAD83(CSRS)v6*	*NAD83(CSRS)*
	5	*WGS 84 (G1762)*	*WGS 84*
	6	*NAD27*	*—*
	7	*NAD83(CSRS)v7*	*NAD83(CSRS)*

СК 1 и 5 имеют тот же conventionalRS и, следовательно, могут быть объединены в один набор данных.

СК 2, 4 и 7 имеют тот же conventionalRS и, следовательно, могут быть объединены в один или более набор данных; возможны следующие перестановки: (2 и 4), (2 и 7), (4 и 7), (2, 4 и 7).

СК 1 и 2 имеют разные conventionalRS и, следовательно, не могут быть оба включены в один и тот же набор данных.

СК 3 и 6 не могут быть включены в общий набор данных, т. к. другие реализации [в этом примере] не имеют общих conventionalRS (СК 6 не имеет связанного conventionalRS, поэтому ее значение не заполнено).

Объединение данных действует как «суррогатная» СК в том смысле, что она может быть связана с координатами для задания СК.

Объединение СК состоит из многих реализаций СК. Все они будут иметь одинаковые параметры эллипсоида и начальный меридиан. Реализация, дающая описание объединения СК, не должна повторять все эти атрибуты, а должна выбирать их из любой СК: см. пример Д.2.5.

Следует иметь в виду, что данные, отнесенные к объединяющей их СК, приблизительны и имеют точность **ensembleAccuracy**. Если данные отнесены к объединяющей их СК, то в итоге невозможно определить, какой из наборов данных имеет большую точность. В геодезии или других высокоточных приложениях не следует использовать объединение данных; требуется задавать отдельные СК.

В.5 Действия с координатами

В.5.1 Основные свойства действий с координатами

Действия с координатами определены в разделе 12.

Если связь между любыми двумя СК известна, векторы координат можно преобразовать или трансформировать из одной в другую СК. Таким образом, блок-схема (UML) определяет исходную и конечную СК для таких действий с координатами.

Часто считают, что действие с координатами преобразует СК А в СК В. Хотя эта формулировка удобна в разговорной речи, следует понимать, что действия с координатами работают не с СК, а именно с координатами. Это важно для разработки алгоритмов реализации, поскольку подразумевается, что СК не может быть просто создана из другой СК с помощью действия с координатами. Также действия с координатами не изменяют определение и принципы СК, например путем преобразования единиц измерения. Во всех этих случаях исходная и конечная СК должны существовать до того, как определено действие с координатами.

Блок-схема (UML) также определяет интерполяционную СК (**Interpolation CRS**). Этот идентификатор СК, которая лежит в основе интерполяционной сетки для действий с координатами, в которых она не относится ни к исходной, ни к конечной системе. Примером может служить преобразование, включающее вертикальные смещения, интерполированные на сетке. Исходная и конечная СК обе будут системами высот (например, NGVD29 и NAVD88 в США), интерполяционная СК будет географической (например, NAD83). Когда сетка привязана к исходной СК, как в случае модели высот (квази)геоида или поправки в высоту, Interpolation CRS не используется, исходная СК берет на себя эту роль.

В настоящем стандарте выделяются три простейших действий с координатами:

а) **преобразование координат** — математические действия с координатами, в которых отсутствуют параметры или в которых значения параметров определяются математическими константами, а не выводятся эмпирически. Применение преобразования координат не вносит ошибки в конечные координаты и может быть выполнено с любой точностью. Применение преобразования координат не влечет за собой изменение СК. Преобразования координат чаще всего встречаются как часть определения производной СК. Наиболее часто встречающийся тип преобразования координат — картографическая проекция;

б) **трансформирование координат** — математическое действие с координатами, в которых значения параметров выводятся эмпирически. Это означает, что они содержат ошибки измерений, и когда трансформирование координат применяется к входному набору координат, который считается свободным от ошибок, выходной набор координат больше не будет свободным от ошибок. Величина ошибки указывается в параметре **coordinateOperationAccuracy**. Стохастический характер параметров может привести к нескольким различным вариантам одного и того же трансформирования координат. Таким образом, могут существовать несколько вариантов трансформирования координат для пары СК, отличающихся методом, значениями параметров и характеристиками точности;

в) **перемещение точки** — математическое действие в рамках одной СК для учета изменения положения точки в пространстве. Этот подтип классифицируется как действие с координатами для удобства моделирования. Оно имеет естественное ограничение, чтобы конечная СК была такой же, как и исходная СК. Значения параметров для перемещения точки обычно выводятся эмпирическим путем моделирования. Это означает, что они содержат ошибки измерений.

Различие между преобразованием координат и трансформированием координат обычно проявляется в их описании. Описание трансформирования координат имеет структуру:

- ID исходной СК;
- ID конечной СК;
- простейшее действие и его параметры.

Преобразование координат обычно является частью описания производной СК и имеет структуру:

- начало отсчета и реализация базовой СК;
- простейшее действие и его параметры;
- компонент производной СК.

В этой структуре подразумевается исходная и конечная СК преобразования координат: базовая СК выступает в качестве исходной СК для преобразования координат, а производная СК берет на себя роль конечной СК. Наиболее известным примером этой связи, полученной из источника, является СК проекции, которая всегда связана с базовой геодезической СК. Связанная картографическая проекция однозначно определяет СК проекции из геодезической СК. Эта модель представляет объединение производной СК и преобразования координат.

Как только значения параметров получены, преобразование координат, трансформирование координат и перемещение точки используют схожие математические алгоритмы. Во всех трех случаях метод и параметры действий с координатами описаны на блок-схемах (UML) действий с координатами, часть 2.

В.5.2 Методы и параметры действий с координатами

Алгоритм, используемый для выполнения действий с координатами, определяется соответствующим методом. Каждый метод внутри действия с координатами использует ряд параметров (хотя некоторые преобразования координат не используют ни одного), и каждое действие с координатами присваивает значение этим параметрам.

Очень важно, чтобы параметры и их значения соответствовали формулам метода. Несколько внешне похожих методов в деталях могут различаться и могут потребоваться другие значения параметров.

Хотя значения параметров обычно представляют собой числа, для некоторых методов работы с координатами, в частности для тех, которые реализуют алгоритм интерполяции на сетке, значение параметра может быть именем файла и местоположением (например, ссылкой URL). Примером может служить трансформирование координат NADCON из NAD27 в NAD83 (США), в котором используется один набор из серии наборов файлов сетки.

ВНИМАНИЕ! Рекомендуется широко использовать идентификаторы, по возможности ссылаясь на общеизвестные реестры. Пока еще не существует стандартного способа написания или даже наименования различных методов работы с координатами. Программное обеспечение пользователя, запрашивающее действие с координатами, которое должно быть выполнено программой трансформирования координат, может запросить метод внутри действия с координатами, который эта программа не распознает, хотя может быть доступен вполне допустимый метод, использующий лишь другое имя. То же самое относится к параметрам, используемым любым методом действий с координатами.

Для облегчения распознавания и проверки рекомендуется, чтобы формулы метода действия с координатами были включены или указаны в подходящем объекте, если возможно, с рабочим примером.

Примечание — Составные и частичные действия с координатами перечисляют простейшие действия с координатами и сами по себе не требуют указания метода внутри действий с координатами

B.5.3 Массивы параметров

Некоторые методы внутри действий с координатами требуют, чтобы параметры действий с координатами повторялись как массивы. Кроме того, некоторые методы внутри действий с координатами могут использовать большое количество параметров. В таких случаях полезно сгруппировать связанные параметры. Каждый массив параметров действия с координатами состоит из набора параметров или вложенных массивов параметров. Затем два или более массива параметров связываются с конкретным методом действия с координатами.

Этот способ моделирования не является обязательным. Все параметры могут быть назначены непосредственно конкретному методу действия с координатами.

B.5.4 Составное действие с координатами

Составное действие с координатами представляет собой неповторяющуюся последовательность действий с координатами. Эта последовательность действий с координатами ограничена требованием, чтобы конечная СК каждого шага совпадала с исходной СК следующего шага. Исходная СК первого шага и конечная СК последнего шага являются исходной и конечной СК, заданными для составного действия с координатами.

Класс составных действий с координатами, в первую очередь, предназначен для обеспечения прикладному программному обеспечению возможности использовать наиболее удобный путь изменения координат от исходной до конечной СК, когда прямое преобразование между ними отсутствует.

B.5.5 Частичное преобразование

Действия с координатами требуют исходных векторов координат определенных размеров и производят выходные векторы координат определенной длины. Размерность исходной СК не обязательно должна быть такой же, как у конечной СК.

Частичное действие с координатами указывает, какие элементы вектора координат подлежат запрошенному действию с координатами. Оно имеет вид ссылки на другое действие с координатами и указания позиции в векторе координат, затрагиваемых этим действием.

Примечание — Возможность определять составные СК, объединяющие две и более других СК, создает трудности. Например, может потребоваться трансформировать только плановые или только высотные элементы составной СК, что нарушит правила действий с координатами, указанными только для горизонтальных или вертикальных координат. Для пользователя это тривиальная проблема, но не для программного обеспечения по трансформированию координат, которое должно быть приспособлено к автоматической работе без вмешательства человека. Программное обеспечение, ожидающее на вход двухмерную СК, может столкнуться с проблемой применения действия к (2 + 1) = трехмерному вектору координат.

B.5.6 Работа с реестром

Две функции

findCoordinateReferenceSystem(CharacterSequence) : CoordinateReferenceSystem

и

findCoordinateOperation(CharacterSequence) : CoordinateOperation

предназначены для получения определения СК или действия с координатами из геодезического реестра. Реестр идентифицируется через авторизованную связь с **CI_Citation**.

Аргументы CharacterSequence являются кодами в пространстве имен этого реестра. Если эти коды являются числовыми, реализации должны анализировать последовательности символов как числа, прежде чем использовать их в качестве первичного ключа для поиска в реестре.

Примеры

1 При обращении к EPSG пример вызова функции следующий:

CoordinateReferenceSystem crs = findCoordinateReferenceSystem(«4326»).

2 При обращении к OGC пример вызова функции следующий:

CoordinateReferenceSystem crs = findCoordinateReferenceSystem(«CRS84»).

В.5.7 Условия применения

Приведенное объяснение действий с координатами не будет полным без рассмотрения их реализации. Сервисы трансформирования координат должны иметь возможность автоматически выводить действия с координатами, которые явно не хранятся в каком-либо постоянном хранилище данных, другими словами, определять свои собственные составные и обратные действия. Причина в том, что практически невозможно сохранить все возможные параметры связи пар СК в явно заданных действиях с координатами. Ключом к успешной реализации программного обеспечения является возможность применять к этому процессу обдуманные ограничения и проверки. Например, можно математически вывести составное действие с координатами, которое преобразует координаты в Североамериканской системе 1927 года в Австралийские координаты 1966 года, но в практическом смысле эта операция была бы ненужной. Ключевой проверкой, которая пометит такое действие с координатами как недействительное, будет сравнение двух зон действия с выводом об отсутствии перекрытия между ними.

Сервисы трансформирования координат также должны иметь возможность получать или делать выводы о прямом (из «А» в «В»), обратном (или дополнительном) характере действия с координатами (из «В» в «А»). Большинство постоянных хранилищ параметров трансформирования координат будут записывать только одно из этих двух действий с координатами. Логика получения обратного действия с координатами должна быть встроена в прикладное программное обеспечение, которое выполняет действие с координатами, будь то сервер или клиент.

В некоторых случаях обратный алгоритм действия с координатами такой же, как и прямой алгоритм, чтобы обратное действие было полностью определено, необходимо только поменять местами знаки параметров. Примером может служить преобразование Гельмерта с семью параметрами.

Некоторые полиномиальные методы действий с координатами требуют изменения знака большинства, но не всех значений параметров. Другие методы действий с координатами подразумевают два алгоритма: один для прямого и один для обратного действия с координатами. В этом случае параметры и их значения, как правило, одинаковы. Последняя ситуация обычно применяется к картографическим проекциям.

Наконец, тот же алгоритм допускается использовать для обратного действия с координатами с совершенно другими значениями параметров. Это относится к некоторым полиномиальным и аффинным методам действий с координатами. В этих случаях обратное действие с координатами не может быть выведено из прямого действия с координатами, но должно быть явно определено.

Приложение Г
(справочное)

Привязка во времени. Условия реализации

Г.1 Общие сведения

В [2] описаны три вида систем исчисления времени:
- календарь;
- порядковые системы последовательности событий;
- системы измерения времени.

Календари имеют множество сложных внутренних структур, определяемых набором правил для составления даты и времени календаря. Порядковые системы последовательности событий обеспечивают основу для измерения только относительного положения моментов времени, например геологических эпох. Календари и порядковые системы последовательности событий выходят за рамки настоящего стандарта.

Примечание — Настоящий стандарт (см. также [2]) использует термин «система измерения времени» для описания различных понятий. Система измерения времени, приведенная в [2], сопоставляется с временной СК настоящего стандарта.

В настоящем стандарте временная СК связана с Землей через систему измерения времени. Начало временной СК определено относительно календаря. В настоящем стандарте применяется только пролептический григорианский календарь, как определено в ГОСТ Р 7.0.64, однако список кодов класса Calendar позволяет расширить его до не поддерживаемых в настоящем стандарте, например сформировать календарь для Марса.

В настоящем стандарте описываются три варианта временных СК:

а) **dateTime**:
   1) значение, выраженное как **dateTime** в соответствии с ГОСТ Р 7.0.64.

б) исчисление времени:
   1) дискретная единица времени, выраженная целым числом. Задана единица измерения;
   2) ось времени относится к календарю и определена началом временной СК;

с) измерение времени:
   1) непрерывная единица времени, выраженная в виде рационального числа. Задана единица измерения;
   2) ось времени относится к календарю и определена началом временной СК.

Настоящий стандарт различает как исчисление времени, так и измерение времени, потому что для исчисления времени однозначное преобразование в **dateTime** обычно возможно (но не всегда), тогда как для измерения времени однозначное преобразование в **dateTime** в общем случае невозможно (см. Г.4.3). Знание этого различия может быть полезным в реализациях.

См. Д.4 для примеров временных СК (**TemporalCRS**).

Г.2 Единицы измерения времени

Единица измерения времени использует тип данных **UnitOfMeasure,** как определено в [7]. Класс имеет замечание «преобразование **TolSOstandardUnit** имеет смысл, только если представляет собой простое масштабирование». Во многих случаях единица измерения не является простой шкалой, поскольку длительность месяца, дня или часа различается на разных участках календаря из-за поправочных коэффициентов и изменений, таких как дополнительные секунды, високосные годы и сезонные (летние и декретные) изменения часового пояса. Таким образом, преобразование единицы измерения времени в основную единицу СИ для времени, секунду, может быть или не быть неоднозначным по сравнению с календарным определением этой величины. Следовательно, величины **UnitOfMeasure** для исчисления и измерения времени могут быть определены безотносительно к секунде.

Примечание — В ГОСТ Р 7.0.64 приведены термины «календарный день», «календарный месяц» и «календарный год» с примечанием: часто упоминаются как «день», «месяц» и «год» соответственно.

Только в случае **DateTimeTemporalCS** единица времени запрещена. Синтаксис **dateTime** имеет структуру строки, включающей несколько единиц, которые определены в ГОСТ Р 7.0.64. Это требование-запрет моделируется в классе **DateTimeCoordinateSystemAxis**.

В программном обеспечении обычно используется время POSIX. Оно измеряется в секундах, но игнорируются (не вводятся) дополнительные секунды (см. [12]). Единица измерения секунда может быть использована, но требуется, чтобы она была определена независимо от секунды SI, а не как конкретное количество секунд SI. Такую секунду можно рассматривать как календарную секунду.

Г.3 Пониженная точность

В [13] определен синтаксис для записей **dateTime** с пониженной точностью. Начало счета времени может иметь пониженную точность при определении **TemporalOrigin**. Например, начало счета времени, используемое во

временной СК для десятичных лет в нашей эре, можно выбрать как 0000, т. е. представление с точностью до целых лет. Отдельные значения записей **dateTime** также могут использовать пониженную точность.

Г.4 Вычисления в календаре

Г.4.1 Общие сведения

Вычисления в календаре — это процесс добавления или вычитания временной величины, интервала времени, из **dateTime**, для получения нового **dateTime** с учетом всех поправок календаря.

Календари определяют время с помощью периодических и квазипериодических величин вместе с поправками к конкретным значениям этих величин в определенных местах календаря. Дополнительные секунды, високосные годы и сезонные поясные корректировки времени — все это примеры поправок.

Определение вычислений в календаре и стандартизация результатов не являются предметом настоящего стандарта. При реализации этого стандарта в результате могут быть доступны и вычисления в календаре, чтобы обеспечить преобразование интервалов времени в **dateTime**, но результаты в различных случаях могут отличаться (примеры в Г.4.3).

Преобразования между **dateTime** и непрерывными единицами измерения времени сложны, поскольку обычно требуются вычисления, зависимые от текущего контекста, а также округление десятичных остатков. Настоящий стандарт не поддерживает преобразование координат с использованием других единиц измерения времени или преобразование единиц времени в строку **dateTime** по ГОСТ Р 7.0.64.

Преобразования между **dateTime** и целочисленными единицами исчисления времени могут использовать целочисленную арифметику, что значительно понижает сложность. В общем случае, целочисленные вычисления в календаре дают согласованные результаты, и результаты ожидаются согласованными. Однако есть ситуации, где некоторые вычисления неоднозначны или определены нечетко, и требуется осторожность. В таких случаях результаты могут быть нулевыми или формально неверными.

Некоторые примеры целых вычислений в календаре приведены в Г.4.2. Примеры неоднозначных вычислений с целыми и вещественными значениями приведены в Г.4.3. Эти примеры приведены для иллюстрации, другие вычисления в неоднозначных случаях могут быть правдоподобными.

Г.4.2 Однозначные вычисления в календаре

Примеры однозначных вычислений в календаре:

а) интервал времени **dateTime** на 25 месяцев отстоит от момента 2012-01.

Ответ: 2014-02;

б) интервал времени **dateTime** на 25 дней отстоит от момента 2000-12-01T00:00Z.

Ответ: 2000-12-25T00:00Z;

в) интервал времени **dateTime** на 31536000 часов отстоит от момента 1900-01-01T00Z.

Ответ: 2006-04-01T00Z;

г) интервал времени **dateTime** на 1483228815 секунд SI отстоит от момента 1970-01-01T00:00:00Z.

Ответ: 2016-12-31T23:59:48Z;

д) интервал времени **dateTime** на 1483228815 календарных секунд отстоит от момента 1970-01-01T00:00:00Z.

Ответ: 2017-01-01T00:00:15Z [получено из выражения POSIX (см. [12])];

е) интервал времени **dateTime** на 5351236450450 микросекунд SI отстоит от момента 2016-12-01T00:00:00.000000Z.

Ответ: 2017-01-31T22:27:15.450450Z;

ж) интервал времени **dateTime** на 5351236450450 календарных секунд отстоит от момента 2016-12-01T00:00:00.000000Z.

Ответ: 2017-01-31T22:27:16.450450Z (получено из формулы POSIX (см. [12]).

Следует сравнить последние две пары примеров.

Г.4.3 Неоднозначные вычисления в календаре

Примеры неоднозначных вычислений в календаре:

а) интервал времени **dateTime** на 1 месяц отстоит от момента 2016-01-30.

Начало счета задано с точностью до дня, а единица интервала времени — месяц, номер дня непервый. Неясно, как интерпретировать 1 месяц с 30 января в любом году, и еще одна сложность заключается в том, что год может быть високосным. Возможные интерпретации:

2016-02-29 (максимально допустимое значение, но все же менее, чем 30);

2016-02-28 (максимально допустимое значение –1, предпоследний день месяца);

б) интервал времени **dateTime** на 25.1 месяцев отстоит от момента 2012-01-01.

Долю 0,1 месяца в календаре можно свободно интерпретировать и как точность, с которой следует давать результат. Возможные интерпретации:

2014-02-02 (25 мес + округление в меньшую сторону 0,1 доли 28-дневного месяца в дни);

2014-02-03 (25 мес + округление в большую сторону 0,1 доли 28-дневного месяца в дни);

2014-02-02T19:12 (25 мес + оценка момента времени на основе остатка);

в) интервал времени 31536000, 146 ч отстоит от момента 1900-01-01T00:00:0Z.

Долю 0,146 часа в календаре можно свободно интерпретировать и как количество знаков, с которым следует давать результат. Возможные интерпретации:

2006-04-01T00:08:45.6 (все часы одинаковой длительности, округление до десятых долей секунды);

2006-04-01T00:08:45 (все часы одинаковой длительности, округление до целых секунд в меньшую сторону);

2006-04-01T00:08:46 (все часы одинаковой длительности, округление до целых секунд в большую сторону);

2006-04-01T00:09:45.6 (сезонная корректировка поясного времени на 1 ч вперед);

г) интервал времени в часах от 0 до 24 ч от момента 2017-11-05T12:00:00.

Часовой пояс не указан, поэтому в ГОСТ Р 7.0.64 предполагается, что это местное время, но и языковой стандарт не указан. В Нью-Йорке (США) состоялся сезонный перевод часов на час вперед, поэтому интервал времени формально составляет 25 ч. В Веллингтоне (Новая Зеландия) также был сезонный перевод часов на час назад, поэтому интервал времени формально составляет 23 ч. В Лондоне (Великобритания) в этот день не было сезонного перевода часов, поэтому прошедшее время составляет 24 ч;

д) интервал времени от 2011.163 лет до 2012.163 лет, от момента 0000-01-01T00:00 для выражения в виде **dateTime.**

Долю 0,163 года в календаре можно свободно интерпретировать. Возможные интерпретации:

(2011-02-28T12:00, 2012-02-28T12:00);

(2011-03-01T00:00, 2012-02-29T00:00);

е) 367 дней [**nameStandardUnit**=second, **scaleToStandardUnit**=86400.0] от момента 2016-01-01T00:00:00Z, в виде **dateTime.**

Неясно, следует ли использовать целые дни для вычислений или следует преобразовать дни в секунды в соответствии с определением единицы измерения и использовать их. 2016 год был високосным, в начале 2017 года была дополнительная секунда, поэтому использование дней в качестве единиц приведет к тому, что дни будут отличаться от дней, преобразованных в секунды, т. к. не будут учитывать дополнительную секунду.

Приложение Д
(справочное)

Примеры

В данном приложении приведены несколько примеров, иллюстрирующих, как допускается применять настоящий стандарт при определении СК или преобразования координат (см. также таблицы Д.1—Д.33). В примерах указаны как идентификатор блок-схемы (UML), так и имя атрибута. Для обработки цифровых данных следует использовать идентификатор блок-схемы (UML). При представлении метаданных СК пользователям должно быть указано имя атрибута. Приведены следующие примеры:

Примеры задания СК

Д.1.1 Задание СК через единый идентификатор ресурса (URI)
Д.1.2 Задание СК со всеми требуемыми значениями атрибутов, на которые идет ссылка

Примеры определения пространственной СК

Д.2.1 Динамическая СК для геодезии (**Dynamic CRS**)
Д.2.2 Статическая СК для геодезии (**Static CRS**)
Д.2.3 Производная географическая СК в пространстве
Д.2.4 Географическая СК на эллипсоиде
Д.2.5 Географическая СК пониженной точности с объединением данных (и несколькими входными записями)
Д.2.6 СК проекции (на поверхности)
Д.2.7 СК проекции (в пространстве)
Д.2.8 Производная СК проекции
Д.2.9 Система высот
Д.2.10 Система высот на основе модели высот (квази)геоида
Д.2.11 Составная СК (проекция + высота)
Д.2.12 Инженерная СК в виде строительной сетки
Д.2.13 СК движущегося объекта (объектоцентрическая)
Д.2.14 Инженерная СК изображения

Примеры определения параметрической СК

Д.3.1 Параметрическая СК с физическим параметром (давление)
Д.3.2 Параметрическая СК с функциональным параметром (потенциальная завихренность)
Д.3.3 Пространственно-параметрическая составная СК

Примеры задания временной СК

Д.4.1 Временная СК, в которой используется строка **dateTime**
Д.4.2 Временная СК, в которой используется единица исчисления времени
Д.4.3 Временная СК, в которой используется единица измерения времени
Д.4.4 Составные системы из двух временных СК
Д.4.5 Составные системы из двух временных СК (dateTime и непрерывное измерение времени)

Примеры задания действий с координатами

Д.5.1 Трансформирование координат
Д.5.2 Модель высот (квази)геоида
Д.5.3 Составное действие

Примеры описания изменения координат через преобразование движения

Д.6.1 Изменения координат с использованием линейных скоростей точек
Д.6.2 Изменения координат с использованием модели линейных скоростей

Примечание — Ниже приведено описание данных примеров.

Д.1 Задание СК

Эти примеры описывают, как набор координат может быть косвенно связан с определением СК посредством ссылки на полное описание, хранящееся в геодезическом реестре. Два примера подробно определены в примере Д.2.6.

Пример Д.1.1. Справочная система СК со всеми требуемыми значениями атрибутов, идентифицированными посредством ссылки на веб-адрес геодезического реестра (URI или URN).

СК может быть задана через ссылку URI: gost.e-ecolog.ru , представленную с использованием языка текстовой разметки GML [14]:

```
<gml:ProjectedCRS xmlns:xlink=»gost.e-ecolog.ru                    xmlns:epsg=»urn:x-
       ogp:spec:schema-xsd:EPSG:2.3:dataset» xmlns:gml=»gost.e-ecolog.ru
       gml/3.2» gml:id=»epsg-crs-26734»>
<gml:metaDataProperty>
<epsg:CommonMetaData>
<epsg:type>projected</epsg:type>
<epsg:revisionDate>1995-06-02</epsg:revisionDate>
<epsg:changes/>
<epsg:show>true</epsg:show>
<epsg:isDeprecated>false</epsg:isDeprecated>
<epsg:Usage>
<epsg:extent xlink:href="gost.e-ecolog.ru                                                    >
<gml:scope>Engineering survey, topographic mapping.</gml:scope>
</epsg:Usage>
</epsg:CommonMetaData>
</gml:metaDataProperty>
<gml:identifier codeSpace="EPSG">26734</gml:identifier>
<gml:name>NAD27/Alaska zone 4</gml:name>
<gml:scope/>
<gml:conversion xlink:href="gost.e-ecolog.ru
export?format=gml"/>
<gml:baseGeodeticCRS xlink:href="gost.e-ecolog.ru
export?format=gml"/>
<gml:cartesianCS xlink:href="gost.e-ecolog.ru
export?format=gml"/>
</gml:ProjectedCRS>
```

Пример Д.1.2. СК со всеми требуемыми значениями атрибутов задается по ссылке на геодезический реестр, который определяет всю СК, начало отсчета, математические координаты и информацию о преобразовании координат для СК проекции. Ссылки описаны в ГОСТ Р 57668.

Таблица Д.1

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CRS		
	CI_Citation		Ссылка задокументирована по ГОСТ Р 57668
Citation title:	title:	EPSG v6.6	
Citation date type:	dateType:	003	Дата пересмотра
Citation date:	date:	20041023	
Citation identifier:	identifier:	26734	Уникальный идентификатор (код) СК, указанный в ссылке
Online resource linkage:	Online resource linkage:	gost.e-ecolog.ru	

Д.2 Задание пространственной СК

Пример Д.2.1. Динамическая СК для геодезии (Dynamic CRS)

Таблица Д.2

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	GeodeticCRS		
Geodetic CRS name:	name:	ITRF2008—XYZ	
CRS scope:	scope:	Spatial referencing	
CRS validity:	domainOfValidity:	World	

Продолжение таблицы Д.2

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
CRS remarks:	remarks:	Заменила реализацию ITRF2005, заменена на ITRF2014	
	CartesianCS		
Cartesian coordinate system name:	name:	ECEF right-handed	
	CoordinateSystemAxis		Порядок следования осей важен
Coordinate system axis name:	name:	Geocentric X	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	X	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	В экваториальной плоскости от центра масс Земли к пересечению экватора с нулевым меридианом	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Geocentric Y	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Y	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	В экваториальной плоскости от центра масс Земли к пересечению экватора и меридиана $\pi/2$ рад на восток от нулевого меридиана	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Geocentric Z	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Z	
5Coordinate system axis direction:	axisDirection:	От центра масс Земли параллельно оси ее вращения и к ее северному полюсу	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	DynamicGeodetic ReferenceFrame		
Dynamic geodetic reference frame name:	name:	International Terrestrial Reference Frame 2008	
Terrestrial reference system:	conventionalRS:	ITRS	

Окончание таблицы Д.2

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Dynamic geodetic reference frame anchor definition:	anchorDefinition:	Начало определяется так, что оно имеет нулевые перемещения и скорости перемещения по отношению к среднему центру масс Земли, усредненные по временным рядам положений станций SLR. Масштаб определяется путем обнуления масштабного коэффициента и его скорости по отношению к среднему значению долгосрочных решений РСДБ и SLR, полученных путем суммирования их соответствующих временных рядов. Ориентировка (на эпоху 2005.0) и ее скорость приведены в соответствие с ITRF2005 с использованием 179 станций высокого качества геодезических измерений. Реализация СК определяется набором трехмерных декартовых координат станций и скоростей	
Frame reference epoch:	referenceEpoch:	2005.0	
Dynamic geodetic reference frame publication date:	publicationDate:	2010-05-31	

Это определяет динамическую СК. Однако это неполное описание метаданных координат, необходимых для набора координат в динамической СК. Также необходимо указывать эпоху координат, на которую ссылаются координаты в наборе. Пример дан в таблице Д.3.

Таблица Д.3

Пункт	*X*, м	*Y*, м	*Z*, м
10001S006 Paris	4202777.214	171368.223	4778660.334
10002M006 Grasse	4581690.734	556115.067	4389360.944
10003M004 Toulouse	4627845.886	119629.575	4372999.970
Метаданные координат: СК: ITRF2008 Эпоха СК: 2017.56			

Пример Д.2.2. Статическая СК для геодезии (Static CRS)

Таблица Д.4

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	GeodeticCRS		
Geodetic CRS name:	name:	GDA2020 — XYZ	
CRS scope:	scope:	Spatial referencing	Этот атрибут является необязательным, но рекомендуется
CRS validity:	domainOfValidity:	Australia	Этот атрибут является необязательным, но рекомендуется. В этом примере показана строка символов: см. ГОСТ Р 57668

Продолжение таблицы Д.4

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
CRS remarks:	remarks:	Supersedes GDA94	Этот атрибут является необязательным
	CartesianCS		Декартова СК может быть двух- или трехмерной. Описание осей будет дано два или три раза, в зависимости от размерности. В этом примере система является трехмерной
Cartesian coordinate system name:	name	ECEF right-handed	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Geocentric X	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	X	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	В плоскости экватора от центра масс Земли к пересечению экватора с нулевым меридианом	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Geocentric Y	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Y	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	В экваториальной плоскости от центра масс Земли к пересечению экватора и меридиана $\pi/2$ радиана на восток от нулевого меридиана	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Geocentric Z	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Z	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	От центра масс Земли параллельно оси ее вращения и к ее северному полюсу	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	

Окончание таблицы Д.4

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	GeodeticReferenceFrame		Поскольку тип СК — **GeodeticReferenceFrame**, СК не является динамической, а следовательно, статической. Поскольку класс **PrimeMeridian** отсутствует, атрибуты **name** и долгота по Гринвичу принимают значения по умолчанию «Greenwich» и «0 градусов»
Geodetic reference frame name:	name:	Geocentric Datum of Australia 2020	
Dynamic geodetic reference frame anchor definition:	anchorDefinition:	ITRF2014 на эпоху 2020.0	Это необязательный атрибут. GDA2020 совпадает с ITRF2014 только в эпоху 2020.0
	Ellipsoid		Для геодезической СК этот атрибут необязателен, но рекомендуется
Ellipsoid name:	name:	GRS 1980	
Length of semimajor axis:	semiMajorAxis:	6378137.0 м	
Inverse flattening:	inverseFlattening:	298.257222101	

Пример Д.2.3. Производная географическая СК в пространстве

Эта географическая СК в пространстве является производной от геодезической СК. Это возможно только потому, что геодезическое описание СК включало эллипсоид. В этом примере в качестве базовой СК используется СК из Д.2.2.

Примечание — Эта конкретная СК также может быть определена как основная СК, это не относится ко всем производным СК.

Таблица Д.5

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	DerivedGeographicCRS		
Derived Geographic CRS name:	name:	GDA2020 — LatLonEht	
CRS scope:	scope:	Spatial referencing	
CRS validity:	domainOfValidity:	Australia	
	baseCRS		
Base CRS name:	name:	GDA2020 — XYZ	Пример Д.2.2
	GeodeticReference-Frame		Это унаследовано от базовой СК

Продолжение таблицы Д.5

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Geodetic reference frame name:	name:	Geocentric Datum of Australia 2020	
	Ellipsoid		
Ellipsoid name:	name:	GRS 1980	
Length of semi-major axis:	semiMajorAxis:	6378137.0 m	
Inverse flattening:	inverseFlattening:	298.257222101	
	Conversion		Подразумеваются исходная и конечная СК, поскольку это часть производной СК
Conversion name:	name:	geocentric to geographic3D	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Geocentric-Geographic conversions	
Coordinate operation method formula:	formula:	[Здесь должны быть приведены ссылка (**CI_Citation**) на формулу или сама формула, но не описаны подробно в этом примере]	Аргументы, используемые в этом методе преобразования, являются параметрами эллипсоида. Это считается преобразованием без параметров, и с этим методом не связаны никакие параметры действий с координатами
	EllipsoidalCS		Географическая СК может быть двух- или трехмерной. Описание осей будет дано два или три раза, в зависимости от обстоятельств. В этом примере система является трехмерной
Ellipsoidal coordinate system name:	name:	Геодезические координаты: широта, долгота, высота. Ориентировка: север, восток, вверх. Единицы: градус, градус, метр	
	CoordinateSystemAxis		Это атрибуты для первой оси, используемые первой координатой в векторе координат
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая широта	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	φ	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Север	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Градус	
	CoordinateSystemAxis		Это атрибуты второй оси, используемые второй координатой в векторе координат

Окончание таблицы Д.5

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая долгота	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	λ	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Восток	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Градус	
	CoordinateSystemAxis		Это атрибуты третьей оси, используемые третьей координатой в векторе координат
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая высота	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	h	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Вверх	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Метр	

Пример Д.2.4. Географическая СК на эллипсоиде

Таблица Д.6

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	GeodeticCRS		
Geodetic CRS name:	name:	NAD83(CSRS) v6 — LatLon	
CRS validity:	domainOfValidity:	EX_GeographicBoundingBox westBL: –120 eastBL: –57.1 southBL: 43.46 northBL: 62.56	Этот атрибут является необязательным, но рекомендуется. В этом примере показаны координаты рамки географической трапеции: см. ГОСТ Р 57668
CRS scope:	scope:	Пространственная привязка	
	EllipsoidalCS		Географическая СК может быть двух- или трехмерной. Описание осей будет дано два или три раза, в зависимости от обстоятельств. В этом примере, несмотря на то, что СК является трехмерной, предполагается, что вектор координат содержит только широту и долготу, и, следовательно, описание третьей оси СК не требуется
Ellipsoidal coordinate system name:	name:	Широта и долгота в градусах	Поиск подходящей записи для обязательного имени СК часто является проблемой, поскольку не существует установленной практики именования СК

Продолжение таблицы Д.6

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая широта	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	φ	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Север	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Градус	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая долгота	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	λ	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Восток	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Градус	
	GeodeticReferenceFrame		
Geodetic reference frame name:	name:	North American Datum 1983 (CSRS) версия 6	
Geodetic reference frame remarks:	remarks:	Утверждена федеральным правительством Канады, а также правительствами Альберты, Британской Колумбии, Манитобы, Ньюфаундленда и Лабрадора, Новой Шотландии, Онтарио, острова Принца Эдуарда. Заменила NAD83(CSRS) v5. Заменена NAD83(CSRS) v7	Необязательная запись
Geodetic reference frame anchor definition:	anchorDefinition:	Реализация NAD83 для Канадской пространственной СК, связанной с CSRS98 или CSRS. СК определяется зависящим от времени семипараметрическим преобразованием трехмерных геоцентрических декартовых координат ITRF2008 и скоростей	Необязательная запись

Окончание таблицы Д.6

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
		их изменения для территорий Канады, а также граничащих с США и Гренландией на стандартную эпоху 2010.0. СК верна на территории Северной Америки и на другие эпохи с применением трех пространственных скоростей вращения, представляющих движение тектонических плит Северной Америки по модели NNR-NUVEL-1A. Начало координат, масштаб и ориентация СК номинально определены как для наземной системы BIH 1984 (BTS84)	
Geodetic reference frame publication date:	publicationDate:	2010-01-01	Необязательная запись
	PrimeMeridian		Поскольку тип СК — **GeodeticReference Frame**, если бы этот класс **PrimeMeridian** отсутствовал, атрибуты «Prime meridian name» и «Prime meridian Greenwich longitude» приняли бы значения по умолчанию
Prime meridian name:	name:	Greenwich	Поскольку значением этого атрибута является «Greenwich», предоставлять информацию об этом атрибуте не обязательно
Prime meridian Greenwich longitude	GreenwichLongitude:	0 градусов	Поскольку значением имени нулевого меридиана является «Greenwich», нет необходимости предоставлять информацию о долготе гринвичского нулевого меридиана
	Ellipsoid		
Ellipsoid name:	name:	GRS 1980	
Length of semi-major axis:	semiMajorAxis:	6378137.0 м	
Inverse flattening:	inverseFlattening:	298.2572221	

Пример Д.2.5. Географическая СК пониженной точности с объединением данных (и несколькими входными записями)

Таблица Д.7

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	GeographicCRS		
CRS name:	name:	WGS 84 ensemble	
CRS alias:	alias:	WGS 84	
CRS domain:	domain:		Сфера и область использования могут повторяться
CRS scope:	scope:	GIS	
CRS validity:	domainOfValidity:	**EX_GeographicBoundingBox** westBL: –180 eastBL: 180 southBL: –90 northBL: 90	В этом примере показаны элементы географической ограничивающей рамки: см. ГОСТ Р 57668
CRS scope:	scope:	Приложения низкой и средней точности	
CRS validity:	domainOfValidity:	Весь мир	В этом примере показан пример географического описания: см. ГОСТ Р 57668
CRS remarks:	remarks:	WGS 84 используется для обозначения либо исходной (на основе Transit) реализации, либо соответствующего объединения данных. Для приложений с высокой точностью используют одну из конкретных реализаций	Этот атрибут необязателен
	EllipsoidalCS		
Ellipsoidal coordinate system name	name	Широта и долгота в градусах	Поиск подходящей записи для обязательного имени СК часто является проблемой, поскольку не существует установленной практики именования СК
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая широта	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	φ	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Север	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Градус	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая долгота	

Окончание таблицы Д.7

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	λ	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Восток	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Градус	
	DatumEnsemble		Пример объединения данных использует аббревиатуру для каждого компонента в качестве идентификатора компонента
Datum ensemble name	name:	WGS 84 объединение данных	
Conventional reference system:	conventionalRS:	WGS 84	
Geodetic reference frame ID:	datumID:	WGS 84 (Transit)	
Geodetic reference frame ID:	datumID:	WGS 84 (G730)	
Geodetic reference frame ID:	datumID:	WGS 84 (G873)	
Geodetic reference frame ID:	datumID:	WGS 84 (G1150)	
Geodetic reference frame ID:	datumID:	WGS 84 (G1674)	
Geodetic reference frame ID:	datumID:	WGS 84 (G1762)	
	Ellipsoid		Примечание — Эта информация об эллипсоиде повторяется для каждого идентификатора СК. Поскольку все члены объединения данных должны использовать один и тот же эллипсоид, для отчета информацию необходимо предоставить только один раз. Здесь он отображается после последней записи данных
Ellipsoid name:	name:	WGS 1984	
Length of semi-major axis:	semiMajorAxis:	6378137.0 м	
Inverse flattening:	inverseFlattening:	298.257223563	
Ensemble accuracy:	ensembleAccuracy:	1 м	
DatumEnsemble remarks:	remarks:	Реализации различаются на 0,7 м между Transit и G730, 0,2 м между G730 и G873, 0,06 м между G873 и G1150, 0,2 м между G1150 и G1674, 0,02 м между G1674 и G1762	Необязательный атрибут

Пример Д.2.6. СК проекции (на поверхности)

В этом примере показано полное определение СК, указанной в примере Д.1.

Таблица Д.8

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ProjectedCRS		
Projected CRS name:	name:	NAD27/Аляска, зона 4	
CRS scope:	scope:	Топографические съемки	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется
CRS validity:	domainOfValidity:	Аляска между 148 и 152 градусами западной долготы	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется
	baseCRS		
Base CRS name:	name:	NAD27	
	GeodeticReference-Frame		Это унаследовано от базовой СК. Поскольку тип СК — **GeodeticReferenceFrame**, а класс **PrimeMeridian** отсутствует, атрибуты: имя нулевого меридиана и долгота по Гринвичу принимают значения по умолчанию «Greenwich» и «0 degrees» соответственно
Geodetic reference frame name	name:	North American Datum of 1927	
Geodetic reference frame alias	alias:	NAD27	Необязательный атрибут
	Ellipsoid		В этом примере в качестве второго определяющего параметра используется малая полуось
Ellipsoid name:	Name:	Clarke 1866	
Length of semi-major axis:	semiMajorAxis:	6378206.4 м	
Length of semi-minor axis:	semiMinorAxis:	6356583.8 м	
Ellipsoid remarks:	remarks:	Обратное сжатие 294.9786982 получено из большой и малой полуосей. Большая полуось составляет 20925832.164 североамериканских футов (ftUS)	remarks — необязательный атрибут
	CartesianCS		Декартова СК может быть двух- или трехмерной. Описание осей будет дано 2 или 3 раза, в зависимости от обстоятельств. В этом примере система двухмерная
Cartesian coordinate system name:	name	Государственная плановая система координат (ftUS)	

Продолжение таблицы Д.8

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Cartesian coordinate system remarks:	remarks:	1 фут US = 12/39.37 м	
	CoordinateSystem-Axis		Это атрибуты для первой оси, используемые первой координатой в векторе
Coordinate system axis name:	name:	Восток	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	X	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Восток	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Фут US	
	CoordinateSystem-Axis		Это атрибуты для второй оси, используемые второй координатой в векторе
Coordinate system axis name:	name:	Север	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Y	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Север	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	Фут US	
	DerivingConversion		
Coordinate operation name:	name:	Аляска SPCS27 зона 4	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Поперечная проекция Меркатора на эллипсоиде	
Coordinate operation method formula citation:	formula citation:	John P. Snyder. Map Projections. A Working Manual. US Geological Survey Professional Paper 1395 (см. [15])	**CI_Citation** описано в ГОСТ Р 57668
	OperationParameter		Количество параметров (*n*) определено формулой метода действия. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут заданы *n* раз в зависимости от ситуации
Operation parameter name:	name:	Широта начала	

Окончание таблицы Д.8

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	54 градуса	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Долгота начала	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	–150 градусов	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Масштаб	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	0,9999	Безразмерное отношение
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Смещение на восток	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	500 000 футов US	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Смещение на север	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 футов US	

Пример Д.2.7. СК проекции (в пространстве)

Таблица Д.9

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ProjectedCRS		
Projected CRS name:	name:	WGS 84 (G1762)/зона UTM 31N 3D	
CRS scope:	scope:	3D пространственная привязка изображения	
CRS validity:	domainOfValidity:	Между 0° и 6° восточной долготы, между экватором и 84° северной широты, на суше и в море	
	baseCRS		
Base CRS name:	name:	WGS 84 (G1762) — LatLonEht	
	GeodeticReference-Frame		Реализация СК наследуется от базовой СК
Geodetic reference frame name:	name:	Общеземная система координат 1984 г. (G1762)	
	Ellipsoid		
Ellipsoid name:	name:	WGS 1984	
Length of semi-major axis:	semiMajorAxis:	6378137.0 м	
Inverse flattening:	inverse flatenning:	298.257223563	
	CartesianCS		
Cartesian coordinate system name:	name:	Пространственные декартовы координаты. Оси: восток, север, геодезическая высота (E, N, h). Ориентировка: восток, север, вверх. Единицы: метры	
	CoordinateSystem-Axis		
Coordinate system axis name:	name:	Восток	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	X	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Восток	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	м	
	CoordinateSystem-Axis		
Coordinate system axis name:	name:	Север	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Y	

Продолжение таблицы Д.9

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Север	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	м	
	CoordinateSystem-Axis		
Coordinate system axis name:	name:	Геодезическая высота	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	h	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Вверх	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	м	
	DerivingConversion		
Coordinate operation name:	name:	Зона UTM 31N	
Coordinate operation scope:	scope:	Топографические съемки	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	Между 0° и 6° восточной долготы, между экватором и 84° северной широты, на суше и в море	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Поперечная проекция Меркатора	
Coordinate operation method remarks:	remarks:	Двухмерная проекция. Геодезическая высота базовой СК везде проходит как третья пространственная ось декартовой системы	
Coordinate operation method formula:	formula:	(CI_Citation)	[Ссылка (CI_Citation) на формулу или сама формула должны быть приведены здесь, но не описаны подробно в этом примере]
	OperationParameter		Количество параметров (*n*) определено формулой. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут заданы *n* раз в зависимости от ситуации
Operation parameter name:	name:	Широта начала	

Окончание таблицы Д.9

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 градусов	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Долгота начала	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	3 градуса	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Масштаб	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0,9996	Безразмерное отношение
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Смещение на восток	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	500 000 м	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Смещение на север	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 м	

Пример Д.2.8. Производная СК проекции

Таблица Д.10

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	DerivedProjectedCRS		
Derived Projected CRS name:	name:	NAD27/Gulf of Mexico speculative seismic survey bin grid	
CRS scope:	scope:	Geophysical exploration	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется

Продолжение таблицы Д.10

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
CRS validity:	domainOfValidity:	US — Gulf of Mexico	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется
	baseCRS		
Base CRS name:	name:	NAD27/Texas South Central	
	GeodeticReference-Frame		Унаследовано от базовой СК. Поскольку тип СК — **Geodetic-ReferenceFrame**, а класс **Prime-Meridian** отсутствует, атрибуты имя нулевого меридиана и долгота по Гринвичу принимают значения по умолчанию «Greenwich» и «0 degrees» соответственно
Geodetic reference frame name:	name	North American Datum of 1927	
Datum alias:	alias	NAD27	Необязательный атрибут
	Ellipsoid		
Ellipsoid name:	name:	Clarke 1866	
Length of semi-major axis:	semiMajorAxis:	6378206.4 m	
Length of semi-minor axis:	semiMinorAxis:	6356583.8 m	
Ellipsoid remarks:	remarks:	Inverse flattening derived from semi-major and semi-minor axes is 294.9786982	remarks — необязательный атрибут
	DerivingConversion		Определение картографической проекции базовой СК проекции
Coordinate operation name:	name:	Texas South Central SPCS27	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Lambert Conic Conformal (2SP) ellipsoidal formula	
Coordinate operation method formula citation:	formula citation:	John P. Snyder. Map Projections — A Working Manual. US Geological Survey Professional Paper 1395. См. [15]	**CI_Citation** — см. ГОСТ Р 57668
	OperationParameter		Количество параметров (n) определено формулой. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут даны n раз, в зависимости от ситуации
Operation parameter name:	name:	latitude of origin	

Продолжение таблицы Д.10

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	27.83333333333 degrees	27°50'N
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	longitude of origin	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–99 degrees	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Latitude of 1st standard parallel	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	28.383333333333 degrees	28°23'N
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Latitude of 2nd standard parallel	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	30.283333333333 degrees	30°17'N
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	false easting	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	2000000 US survey foot	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	false northing	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 US survey foot	
	DerivingConversion		Определение производного преобразоваия для производной СК
Coordinate operation name:	name:	Gulf of Mexico speculative survey bin grid	

Продолжение таблицы Д.10

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	P6 (I = J–90°) seismic bin grid transformation	
Coordinate operation method formula citation:	formula citation:	EPSG Guidance note 7-2 «Coordinate Conversions and Transformations including Formulas» IOGP Geomatics Publication 373-7-2	**CI_Citation** — см. ГОСТ Р 57668
	OperationParameter		Количество параметров (*n*) определено формулой. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут даны *n* раз, в зависимости от ситуации
Operation parameter name:	name:	Bin grid origin I	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	5000 I-bin	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin grid origin J	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 J-bin	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin grid origin easting	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	871200 ftUS	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin grid origin Northing	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	10280160 ftUS	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Scale factor of bin grid	

Продолжение таблицы Д.10

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	1.0	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin width on I-axis	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	82.5 ftUS	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin width on J-axis	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	41.25 ftUS	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Map grid bearing of bin grid J-axis	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	340°	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin node increment on I-axis	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	1.0	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Bin node increment on J-axis	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	1.0	

Окончание таблицы Д.10

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	OrdinalCS		Аффинная СК может быть двух- или трехмерной. Описание осей будет дано два или три раза, в зависимости от обстоятельств. В этом примере система двухмерная
Ordinal coordinate system name:	name:	Gulf of Mexico speculative seismic survey bin grid	
	CoordinateSystem-Axis		Это атрибуты для первой оси, используемые первой координатой в векторе
Coordinate system axis name:	name:	Bin grid I	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	I	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	northNorthWest	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	1	
	CoordinateSystem-Axis		Это атрибуты для второй оси, используемые второй координатой в векторе
Coordinate system axis name:	name:	Bin grid J	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	J	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	westSouthWest	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	1	

Пример Д.2.9. Система высот

Таблица Д.11

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	VerticalCRS		
Vertical CRS name:	name:	NGVD29 height	
CRS scope:	scope:	National height system	
CRS validity:	domainOfValidity:	Conterminous US (lower 48 states)	
CRS remarks:	remarks:	Superseded by NAVD88	
	VerticalCS		
Vertical coordinate system name:	name:	Gravity-related height	
Vertical coordinate system remarks:	remarks:	1 US survey foot = 12/39.37 meter	

Окончание таблицы Д.11

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	height	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	H	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	up	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	US survey foot	
	VerticalReference-Frame		
Vertical reference frame name:	name:	National Geodetic Vertical Datum of 1929	
Vertical reference frame alias:	alias:	NGVD29	Необязательный атрибут
Vertical reference frame anchor definition:	anchorDefinition:	26 tide gauges in the US and Canada	Необязательный атрибут
Vertical reference frame realization method:	realization:	levelling	Необязательный атрибут, показанный здесь только в качестве примера

Пример Д.2.10. Система высот на основе модели высот (квази)геоида

Система высот на основе модели высот (квази)геоида реализуется путем применения модели высот (квази) геоида к геодезической СК. Однако это не производная СК, поскольку система высот не наследует начало и исходные пункты геодезической СК, а имеет свои собственные исходные пункты и реализацию. Модель высот (квази) геоида описывается как преобразование координат. Одна и та же система высот на основе высот (квази)геоида также может быть реализована из другой геодезической СК (в данном случае ITRF2008) посредством применения второй модели высот (квази)геоида. Каждая из моделей высот (квази)геоида применяется к определенной СК. Модель высот (квази)геоида и система высот связаны друг с другом посредством ассоциации **HeightTransfomation**. См. пример Д.5.2 для описания модели высоты (квази)геоида.

Таблица Д.12

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	VerticalCRS		
Vertical CRS name:	name:	CGVD2013 — OHt	
CRS scope:	scope:	Spatial referencing	
CRS validity:	domainOfValidity:	Canada — onshore and offshore: Alberta; British Columbia; Manitoba; New Brunswick; Newfoundland and Labrador; Northwest Territories; Nova Scotia; Nunavut; Ontario; Prince Edward Island; Quebec; Saskatchewan; Yukon	
CRS remarks:	remarks:	Источник: M. Veronneau and J. Huang. The Canadian Geodetic Vertical Datum of 2013 (CGVD2013). Geomatica, Vol. 70, No. 1, 2016, pp. 9—19. Заменяет CGVD28	

Продолжение таблицы Д.12

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	VerticalCS		
Vertical coordinate system name:	name:	Gravity-related height	
	CoordinateSystem-Axis		
Coordinate system axis name:	name:	height	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	H	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	up	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	VerticalReference-Frame		
Vertical reference frame name:	name:	Canadian Geodetic Vertical Datum of 2013	
Vertical reference frame alias:	alias:	CGVD2013	Необязательный атрибут
Vertical reference frame anchor definition:	anchorDefinition:	CGVD2013 — система высот, основанная на гравиметрических высотах геоида 2013 г. (CGG2013) в координатах NAD83(CSRS) v6. Высоты отсчитываются от уровенной поверхности с потенциалом W_0 = 62 636 856.0 м^2/с^2, принятой за средний уровень моря у побережья Северной Америки. Это определение и значение W_0 приняты по соглашению между Канадой и США. Канадский гравиметрический геоид 2013 г. (CGG2013) — первая реализация такой системы высот. Система высот CGG2013 определена как статическая на эпоху 2011.0. Доступна в системах NAD83(CSRS) и ITRF2008 на эллипсоиде GRS80, может применяться вместе с ГНСС. Ортометрические высоты в CGVD2013 могут быть получены из геодезических высот в системах NAD83(CSRS) v6 или ITRF2008 вычитанием высоты геоида CGG2013 в СК NAD83(CSRS) v6 или ITRF2008, соответственно	Необязательный атрибут
Vertical reference frame publication date:	publicationDate:	2013-11-28	
Vertical reference frame realization method:	realization:	Геоид	

Окончание таблицы Д.12

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Geoid model:	heightTransformation:	CGG2013	Это ссылка на модель геоида, посредством которой определяется эта система высот. Это описано в примере Д.5.2, посредством которого можно установить, что исходной геодезической СК является NAD83(CSRS) v6

Пример Д.2.11. Составная СК (проекция + высота)

В этом примере показана составная пространственная СК, образованная из СК проекции и системы высот.

Таблица Д.13

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CompoundCRS		Этот пример задает запись: восток E, север N, высота над уровнем моря
Compound CRS name:	name:	British National Grid + ODN	
Compound CRS scope:	scope:	National mapping including heighting related to mean sea level	
Compound CRS validity:	domainOfValidity:	Great Britain mainland	
			Далее описаны отдельные системы, образующие составную СК. Последовательность важна, так как подразумевает порядок координат в записи
	ProjectedCRS		Затем двухмерная СК проекции описывается способом, аналогичным описанному в примере Д.2.6
Projected CRS name:	name:	British National Grid	
Projected CRS scope:	scope:	Large, medium and small-scale topographic mapping, engineering survey and GIS	
Projected CRS validity:	domainOfValidity:	England, Wales, Scotland, Isle of Man	
	CartesianCS		
Cartesian coordinate system name:	name:	National grid	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	easting	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	E	

Продолжение таблицы Д.13

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	east	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	northing	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	N	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	north	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	GeodeticReference-Frame		
Geodetic reference frame name	name:	Ordnance Survey of Great Britain 1936	
	Ellipsoid		
Ellipsoid name	name:	Airy 1830	
Length of semi-major axis	semiMajorAxis:	6377563.396 m	
Inverse flattening	inverseFlattening:	299.3249646	
	Conversion		
Coordinate operation name:	name:	British National Grid	
Coordinate operation scope:	scope:	Topographic mapping	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Transverse Mercator	
Coordinate operation method formula:	formula:	[Citation (CI_Citation) describing the formula or the formula itself should be given here and is not detailed in this example]	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	latitude of origin	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	49 degrees	

Продолжение таблицы Д.13

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	longitude of origin	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–2 degrees	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	scale factor	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0.9996012717	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	false easting	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	400000 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	false northing	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–100000 m	
	VerticalCRS		Затем система высот описывается так же, как в примере Д.2.9 или Д.2.10
Vertical CRS name:	name:	ODN	
Vertical CRS validity:	domainOfValidity:	British mainland	
Vertical CRS scope:	scope:	National height system	
	VerticalCS		
Vertical coordinate system name:	name:	ODN heights	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	height	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	H	

Окончание таблицы Д.13

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	up	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	VerticalReference-Frame		
Vertical reference frame name:	name:	Ordnance Datum Newlyn	Порядок координат в записи, относящейся к составной СК, подразумевается как E, N, H

Пример Д.2.12. Инженерная СК в виде строительной сетки

Таблица Д.14

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	EngineeringCRS		
Engineering CRS name:	name:	Best building CRS	
CRS scope:	scope:	Building construction and maintenance	
CRS validity:	domainOfValidity:	The Best building, Gondwanaland	
CRS remarks:	remarks:	Источник: M. Veronneau and J. Huang. The Canadian Geodetic Vertical Datum of 2013 (CGVD2013). Geomatica, Vol. 70, No. 1, 2016, pp. 9—19. Заменяет CGVD28	
	CartesianCS		Поскольку есть три оси СК, это трехмерная система
Cartesian coordinate system name:	name:	Right-handed 3D CS	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	site east	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	E	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	northeast	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	site north	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	N	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	northwest	

Окончание таблицы Д.14

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	height	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	H	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	up	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	Engineering Datum		
Engineering datum name:	name:	Best building site	
Engineering datum anchor definition:	anchorDefinition:	Точка A в ю-з углу участка. Направление на точку B в с-з углу участка задает север сетки. Плановые координаты точки A равны [0; 0]. Плановые координаты точки B: [0, 273,46]. Высота точки A принята +50,0 м	

Пример Д.2.13. СК движущегося объекта (объектоцентрическая)

Таблица Д.15

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	EngineeringCRS		
Engineering CRS name:	name:	Cessna K-1234 CRS	
CRS scope:	scope:	Aerial survey project ABC-123	
CRS validity:	domainOfValidity:	Cessna K-1234	
CRS remarks:	remarks:	Project ABC-123	
	CartesianCS		Поскольку есть три оси СК, это трехмерная система
Cartesian coordinate system name:	name:	Right-handed 3D CS	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	forward	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	X	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	forward	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	

Окончание таблицы Д.15

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	starboard	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Y	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	starboard	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	down	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	Z	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	down	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	metre	
	Engineering Datum		
Engineering datum name:	name:	Cessna K-1234	
Engineering datum anchor definition:	anchorDefinition:	Aircraft centre of gravity/inertial reference system reference point	

Пример Д.2.14. Инженерная СК изображения

Таблица Д.16

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	EngineeringCRS		
Engineering CRS name:	name:	Photo 123456	
CRS scope:	scope:	Building construction and maintenance	
CRS validity:	domainOfValidity:	The Best building, Gondwanaland	
	OrdinalCS		Поскольку есть две оси СК, это двухмерная система
Cartesian coordinate system name:	name:		
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	row	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	R	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	rowPositive	

Окончание таблицы Д.16

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	micrometre	
	CoordinateSystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	column	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev:	C	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	columnPositive	
Coordinate system axis unit identifier:	axisUnitID:	micrometre	
	Engineering Datum		
Engineering datum name:	name:	Photo 123456	
Engineering datum anchor definition:	anchorDefinition:	Top left corner	

Д.3 Задание параметрических СК

Пример Д.3.1. Параметрическая СК с физическим параметром (давление)

Атмосферное давление является основной мерой высоты, используемой в авиации и метеорологии, но точный перевод в высоту зависит от местных атмосферных условий. В 1951 году Международная организация гражданской авиации (ИКАО) включила ISA в международное право[1]. С тех пор было несколько дополнений до высоты 80 км. С публикацией [15] в 1975 году была установлена стандартная атмосфера в диапазоне от 2000 до 5000 м[2] — см. [15]—[17].

Положение в атмосфере измеряется атмосферным давлением, монотонно уменьшающимся с высотой. Хотя ISA задана как в футах, так и в метрах, модель определяет не геометрическую высоту, а приблизительную геопотенциальную величину. Это связано с тем, что стандарт игнорирует изменения температуры и давления в нижней части атмосферы. Высоты называются эшелонами полета (например, FL320 номинально составляет 32 000 футов). Даже если в самолете доступны измерения реальной высоты до земной поверхности, например с помощью радара или GPS (ГНСС), показания должны быть преобразованы в эшелоны полета ISA, если только пилот не летает по правилам визуального полета (VFR) у земли.

Исходное значение установлено при среднем давлении на уровне моря в стандартной атмосфере 1013,25 гектопаскаля (гПа), также выражено в миллибарах (мб), не в СИ[3].

Примечание — Если воздушное судно летит на малой высоте над топографией, диспетчер устанавливает переходный эшелон полета или высоту, ниже которой ISA не применяется, но где выполняется привязка к атмосфере. Это включает в себя сброс исходной точки пилотом, чтобы убедиться, что самолет находится над земной поверхностью. Новые точки (известные как QNH) передаются по радио от диспетчера и представляют собой прогноз наименьшего давления (приведенного к среднему уровню моря) на следующие 3 ч в зоне низких полетов или текущее давление на аэродроме (QFE), если самолет собирается приземлиться.

Таблица Д.17

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
ParametricCRS			
name:	Parametric CRS name:	Международная стандартная атмосфера ИКАО (ISA)	
alias:	CRS alias:	Стандартная атмосфера WMO	Необязательный атрибут
scope:	CRS scope:	Авиация, метеорология	

[1] Конвенция о международной гражданской авиации (Чикагская конвенция 1947 г.), приложение 8.

[2] Стандартные атмосферы США, ИКАО и ВМО (Всемирная метеорологическая организация) совпадают со стандартной атмосферой ISO для высот до 32 км.

[3] Для авиации в Северной Америке на практике и по закону исходное значение установлено в 29,92 дюйма ртутного столба.

Окончание таблицы Д.17

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
domainOfValidity:	CRS validity:	От 2 до 80 км в свободной атмосфере (над землей)	
remarks:	CRS remarks:	От 2 до 32 км совпадает с приведенным в [16]	Необязательный атрибут
ParametricCS			
name:	Parametric coordinate system name:	Эшелон полета самолета	
remarks:	Parametric CS remarks:	Высота полета FL320 равна 32000 футов (геопотенциальная высота)	Необязательный атрибут
CoordinateSystemAxis			
name:	Coordinate system axis name:	Эшелон полета	
axisAbbrev:	Coordinate system axis abbreviation:	FL	
axisDirection:	Coordinate system axis direction:	Вверх	
axisUnitID:	Coordinate system axis unit identifier:	Геопотенциальные метры	
minimumValue:	Coordinate system axis minimum value:	2000	Необязательный атрибут
maximumValue:	Coordinate system axis maximum value:	80000	Необязательный атрибут
rangeMeaning:	Coordinate system axis range meaning:	Точно	Условный атрибут
remarks:	CS axis remarks:	Используется только выше допустимой переходной высоты в регионах с рельефом	Необязательный атрибут
ParametricDatum			
name:	Parametric datum name:	Стандартное атмосферное давление	
alias:	Parametric datum alias:	Среднее давление на уровне моря (MSLP)	Необязательный атрибут
scope:	Parametric datum scope:	Авиация, метеорология	
anchorDefinition:	Parametric datum anchor definition:	Средний уровень моря	Необязательный атрибут
remarks:	Parametric datum remarks:	1013.25 hPa	Необязательный атрибут

Пример Д.3.2. Параметрическая СК с функциональным параметром (потенциальная завихренность)

Потенциальная завихренность (PV) — это функция, которая сильно зависит от высоты. Одним из распространенных применений уровней PV является отображение значений полей на одном уровне из 2 единиц PV, 1 единица PV = 10^{-6} K/(м$^{-2}$ кг · с), поскольку это значение PV часто используется для обозначения тропопаузы средних широт.

PV — это абсолютная циркуляция воздушной массы, заключенной между двумя изоэнтропическими поверхностями. В следующем уравнении PV является произведением абсолютной завихренности на изоэнтропической

поверхности и статической устойчивости. Таким образом, PV состоит из двух факторов: динамического и термодинамического элементов:

$$PV = -g\,(\zeta_\Theta + f)\,\partial\Theta/\partial p, \qquad (Д.1)$$

где f — кориолисов параметр;

g — сила тяжести;

p — давление;

Θ — потенциальная температура;

ζ_Θ — относительная изоэнтропическая завихренность.

В пределах тропосферы значения PV, как правило, невелики. Однако потенциальная завихренность быстро возрастает от тропосферы к стратосфере из-за значительного изменения статической устойчивости. Типичные изменения потенциальной завихренности в районе тропопаузы составляют от 1 (тропосферный воздух) до 4 (стратосферный воздух) единиц PV. Как правило, аномалия в 2 единицы PV, которая отделяет тропосферный воздух от стратосферного, называется динамической тропопаузой. Традиционным способом описания тропопаузы является использование потенциальной температуры или статической стабильности. Это всего лишь термодинамический способ характеристики тропопаузы. Преимущество использования PV заключается в том, что тропопаузу можно понять, как с термодинамической, так и с динамической точек зрения. Резкое свертывание или опускание динамической тропопаузы также можно назвать верхней аномалией PV. Когда это происходит, стратосферный воздух проникает в тропосферу, что приводит к высоким значениям PV по отношению к окружающей среде, создавая положительную аномалию PV. В нижних слоях тропосферы часто встречаются сильные бароклинные зоны, которые можно рассматривать как низкоуровневые аномалии PV. Благодаря сохранению PV можно идентифицировать важные особенности, связанные с синоптическими погодными системами, и отслеживать их как в пространстве, так и во времени.

Таблица Д.18

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
ParametricCRS			
name:	Parametric CRS name:	Potential vorticity functional CRS	
scope:	CRS scope:	Meteorology	
domainOfValidity:	CRS validity:	The whole atmosphere	
ParametricCS			
name:	Parametric coordinate system name:	Potential vorticity functional CS	
CoordinateSystemAxis			
name:	Parametric system axis name:	Potential vorticity	
axisAbbrev:	Coordinate system axis abbreviation:	PV	
axisDirection:	Coordinate system axis direction:	Upward	
axisUnitID:	Coordinate system axis unit identifier:	PVU	
remarks:	CS axis remarks:	Единица потенциальной завихренности масштабирует к значениям порядка 10^{-6} K/(кг · м^{2}с)	Необязательный атрибут
ParametricDatum			
name:	Parametric datum name:	Ноль вычисленной функции PV	

Пример Д.3.3. Пространственно-параметрическая СК

Здесь представлено задание пространственно-параметрической СК на основе примера Д.1.6 для плановых координат и океанографического примера, где параметром является плотность, указываемая по вертикали.

Модель изопикнических координат Майами (MICOM) (см. [18]) представляет собой океанографическую модель численного интегрирования, которая имеет плановые координаты (широта/долгота) и третью координату,

которая имеет временной вид, основанную на потенциальной плотности. Одна версия модели MICOM подобрана для Атлантического океана с разрешением 1/12 градуса и обеспечивает поле температуры и солености для области MICOM за период в пределах 20-летнего интегрирования MICOM.

Сетка MICOM в глубоководных слоях океана построена с шагом потенциальной плотности (плотность скорректирована с учетом сжимаемости), а не глубины. Плотность воды зависит от солености и температуры, а также от глубины, и изопикнические поверхности (постоянная потенциальная плотность) являются неуровенными под действием ветра и течений. Численные модели прогнозирования океана или погоды требуют сложных сеток по вертикали (а часто и по горизонтали) для корректного представления задействованных физических процессов. Использование естественных физических величин облегчает интерпретацию и, что наиболее важно, сохраняет численную стабильность модели. Вычисление сетки по координатам плотности значительно снижает численно индуцированную диабатическую дисперсию свойств массы воды и сохраняет законы сохранения, особенно при длительных прогонах модели.

Различные океанографические модели могут иметь сетки, которые сильно различаются в деталях. Многие из них имеют гибридные координаты, которые можно указать в зависимости от местоположения. Например, сетка может быть изменена на дне океана, в мелководных морях и в нестратифицированной воде, чтобы обеспечить лучшее представление конкретных физических процессов, происходящих там. Для этого примера вся такая сложность игнорируется.

Когда в качестве исходной точки используется морская поверхность, модель океана подвергается суточному нагреву. Для некоторых моделей океана за исходную точку принимается 10 м, чтобы исключить эти быстрые изменения; в противном случае используется соответствующий средний уровень моря.

Таблица Д.19

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
CompoundCRS			
name:	Compound CRS name:	WGS 84(G1762) + MICOM grid	
scope:	Compound CRS scope:	Oceanography	
domainOfValidity:	Compound CRS validity:	Surface to ocean bottom, worldwide	
GeodeticCRS			Далее описаны отдельные СК, образующие составную СК. Последовательность имеет значение, подразумевая порядок, в котором даны координаты. В данном примере это широта, долгота, потенциальная плотность
name:	Geodetic CRS name:	WGS 84(G1762)	
scope:	Geodetic CRS scope:	Navigation	
domainOfValidity:	Geodetic CRS validity:	World	
EllipsoidalCS			
name:	Ellipsoidal coordinate system name:	Latitude/longitude in degrees	
CoordinateSystemAxis			
name:	Coordinate system axis name:	Geodetic latitude	
axisAbbrev:	Coordinate system axis abbreviation:	φ	
axisDirection:	Coordinate system axis direction:	North	
axisUnitID:	Coordinate system axis unit identifier:	Degree	

Окончание таблицы Д.19

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
CoordinateSystemAxis			
name:	Coordinate system axis name:	Geodetic longitude	
axisAbbrev:	Coordinate system axis abbreviation:	λ	
axisDirection:	Coordinate system axis direction:	East	
axisUnitID:	Coordinate system axis unit identifier:	Degree	
GeodeticReferenceFrame			
name:	Geodetic reference frame name:	World Geodetic System of 1984(G1762)	
Ellipsoid			
name:	Ellipsoid name:	WGS 84	
semiMajorAxis:	Length of semi-major axis:	6 378 137.0 m	
secondDefiningParameter:	Second defining parameter:	inverseFlattening	
inverseFlattening:	Inverse flattening:	298.257 223 563	
ParametricCRS			Затем описывается второй компонент СК
name:	Parametric CRS name	MICOM potential density CRS	
scope:	CRS scope	Oceanography	
domainOfValidity:	CRS validity	Global, oceans and seas	
ParametricCS			
name:	Parametric coordinate system name	Potential density in kg m^{-3}	
CoordinateSystemAxis			
name:	Coordinate system axis name:	Potential density	
axisAbbrev:	Coordinate system axis abbreviation:	PD	
axisDirection:	Coordinate system axis direction	Down	
axisUnitID:	Coordinate system axis unit identifier:	kg m^{-3}	
ParametricDatum			
name:	Parametric datum name	Sea surface	
alias:	Datum alias	Mean sea level	Необязательный атрибут
anchorDefinition:	Datum anchor	Mean sea level	Необязательный атрибут

Д.4 Задание временных СК

Пример Д.4.1. Временная СК, в которой используется строка dateTime

Здесь представлена **временная СК**, определенная относительно григорианского календаря ИСО со значениями моментов, использующими представление **dateTime** в соответствии с ГОСТ Р 7.0.64.

Таблица Д.20

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	TemporalCRS		
Temporal CRS name:	name:	DateTime in Gregorian calendar	Часовой пояс задается или подразумевается в значении координат, как определено в ГОСТ Р 7.0.64
Temporal CRS scope:	scope:	Date/time as defined in [13]	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется
Temporal CRS temporal validity:	domainOfValidity:	1582-10-15	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется. В этом примере показана запись строки символов: см. ГОСТ Р 57668 и ГОСТ Р 7.0.64
	DateTimeTemporalCS		
DateTime temporal coordinate system name:	name:	DateTime	
Coordinate data type:	coordinateDataType:	dateTime	Как определено в ГОСТ Р 7.0.64
	TemporalCoordinateSystemAxis		Для **DateTimeTemporalCS axisUnitID** и его **UnitOfMeasure** не требуются
Coordinate system axis name:	axisName:	dateTime	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev	T	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	Future	
	TemporalDatum		
Temporal datum name:	name:	Gregorian calendar	
Calendar:	calendar:	prolepticGregorian	Это значение по умолчанию. Атрибут может быть опущен, и в этом случае его значение должно быть принято по умолчанию
Temporal datum origin:	origin:	1875-05-20	
Temporal datum remarks:	remarks:	The origin is by convention the calendar day that the “Convention du Mètre” was signed in Paris	Необязательный атрибут

Пример Д.4.2. Временная СК, в которой используется единица исчисления времени

Здесь представлена временная СК, определенная относительно момента времени в григорианском календаре ИСО. Моменты, определенные относительно этой временной СК, должны иметь целые значения, интерпретируемые как календарные часы.

Если два момента времени, определенные относительно в этой временной СК, имеют значения 36 и 96, тогда соответствующие строки **dateTime** для этих координат будут иметь вид 1979-12-30T12:00Z и 1980-01-02T00:00Z соответственно.

Между 1979-12-29T00:00:00.0Z и 1980-01-02T00:00:00.0Z есть дополнительная секунда в 96 календарных часах. Результат учитывает эту дополнительную секунду, вычисления ведутся с целым числом часов в календаре. Одна из этих «часовых» величин в календаре на 1 секунду длиннее других. Это указывает, что вычисления ведутся по календарю.

Таблица Д.21

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	TemporalCRS		
Temporal CRS name	name:	Calendar hours from 1979-12-29	
	TemporalCountCS		
Temporal count coordinate system name:	name:	calendar hours	
Coordinate data type:	coordinateDataType:	integer	
	Temporal Coordinate-SystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	Hour	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev	*T*	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	future	
Coordinate system axis temporal quantity:	axisUnitID:	hour	Для временных СК можно использовать метку «единица времени» вместо «идентификатор единицы оси». Эта единица измерения «час» определяется изолированно. Она явно не определена через количество секунд
	TemporalDatum		
Temporal datum name:	name:	1979-12-29	
Temporal datum origin:	origin:	1979-12-29T00:00:00.0Z	Это начало счета времени, выраженное в григорианском календаре в соответствии с синтаксисом ГОСТ Р 7.0.64
Calendar:	calendar:	prolepticGregorian	

Пример Д.4.3. Временная СК, в которой используется единица измерения времени

Здесь представлена временная СК, определенная относительно момента времени в пролептическом григорианском календаре ИСО. Моменты времени, определенные в этой временной СК, должны иметь действительные значения (с плавающей точкой), интерпретируемые как годы в непрерывной годовой шкале.

Таблица Д.22

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	TemporalCRS		
Temporal CRS name:	name:	Decimal Years CE	

Окончание таблицы Д.22

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	TemporalMeasureCS		
Temporal coordinate system name:	name:	Decimal years	
Coordinate data type:	coordinateDataType:	real	
	Temporal Coordinate-SystemAxis		
Coordinate system axis name:	name:	year	
Coordinate system axis abbreviation:	axisAbbrev	a	
Coordinate system axis direction:	axisDirection:	future	
Coordinate system axis temporal quantity:	axisUnitID:	year	
	TemporalDatum		
Temporal datum name:	name:	Common Era	
Temporal datum alias:	alias:	CE	
Temporal datum origin:	origin:	0000	Это начало отсчета времени, выраженное в пролептическом григорианском календаре для даты 0000-01-01 с использованием пониженной точности (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.64)
Calendar:	calendar:	prolepticGregorian	

Пример Д.4.4. Составные системы из двух временных СК (dateTime и целочисленное исчисление времени)

Здесь представлена составная временная система, содержащая две независимых **TemporalCRS**, одна из которых использует **dateTime**, а другая — целочисленную единицу исчисления времени. Каждая запись значений содержит две разных величины, представляющих две разные части информации. Первое значение в записи — это исходная дата и время (время инициализации запуска) для запуска модели метеорологического прогнозирования; второе значение в записи — это прогнозное время (время, за которое прогнозируется предсказываемая величина), закодированное как количество, целочисленный интервал. Такие представления данных используются в прогнозировании погоды для обеспечения анализа тенденций в нескольких прогонах прогноза:

2017-12-06T00:00:00Z, 24,
2017-12-06T00:00:00Z, 48,
2017-12-06T12:00:00Z, 24,
2017-12-06T12:00:00Z, 48

Такой набор **CoordinateSet** относится к составной системе **CompoundCRS**, определенной ниже.

Таблица Д.23

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CompoundCRS		
Compound CRS name:	name:	Meteorological run E44 calendar	
Compound CRS scope:	scope:	Weather forecasting	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется

Окончание таблицы Д.23

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Compound CRS validity:	domainOfValidity:	1875-05-20	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется. В этом примере показана запись строки символов: см. ГОСТ Р 57668 и ГОСТ Р 7.0.64
			Далее описаны отдельные системы, образующие составную. Последовательность важна, так как она определяет порядок координат в записи
	TemporalCRS 1		См. пример Д.4.1 выше
Temporal CRS name:	name:	DateTime in Gregorian calendar	
:	:	:	
[…здесь требуется полное определение для **TemporalCRS** 1, как в Д.4.1 выше, но пропущено в этом примере для краткости…]:			
:	**TemporalCRS 2**		См. пример Д.4.2 выше
	name:	Calendar hours from 1979-12-29	
Temporal CRS name:			
[…здесь также требуется полное определение для **TemporalCRS** 1, как в Д.4.2 выше, но пропущено в этом примере для краткости…]			

Пример Д.4.5. Составные системы из двух временных СК (dateTime и непрерывное измерение времени)

Здесь представлена составная система, содержащая две независимых **TemporalCRS**, одна из которых использует **dateTime**, а другая — непрерывную единицу измерения времени.

Приложение Г настоящего стандарта предполагает, что преобразование **dateTime** в непрерывную единицу измерения времени, в момент времени, удаленный от начального момента времени, может не давать однозначных результатов; т. к. конкретные реализации могут отличаться. Если для объекта требуется точное знание интервала или момента времени в непрерывных единицах измерения времени, а также даты и времени **dateTime** (поскольку одно невозможно надежно вывести из другого), тогда может быть предоставлена запись координат даты и времени **dateTime** и интервала или момента времени в непрерывных единицах измерения времени. Например:

2016-02-28T12:00:00Z, 2016.1626,
2016-02-29T12:00:00Z, 2016.1653,
2017-02-28T12:00:00Z, 2017.1630,
2017-03-01T12:00:00Z, 2017.1658.

Такой набор **CoordinateSet** относится к составной системе **CompoundCRS**, определенной ниже.

Таблица Д.24

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	CompoundCRS		
Compound CRS name:	name:	Meteorological run E45 calendar	
Compound CRS scope:	scope:	Weather forecasting for June 2017	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется
Compound CRS validity:	domainOfValidity:	1875-05-20	Этот атрибут необязателен, но рекомендуется. В этом примере показана запись символьной строки согласно ГОСТ Р 57668 и ГОСТ Р 7.0.64

Окончание таблицы Д.24

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	TemporalCRS 1		Здесь приведенный выше пример Д.4.1
Temporal CRS name:	name:	DateTime in Gregorian calendar	
:	:	:	
[…здесь требуется полное определение для **TemporalCRS 1**, как в Д.4.1 выше, но пропущено в этом примере для краткости …]			
:	**TemporalCRS 2**		Это пример Д.4.3, приведенный выше
	name:	Decimal Years CE	
Temporal CRS name:			
[…здесь также требуется полное определение для **TemporalCRS 2**, как в Д.4.3 выше, но пропущено в этом примере для краткости …]			

Д.5 Определение действий с координатами

Пример Д.5.1. Трансформирование координат

В этом примере показано трансформирование координат из WGS 84 в ED50.

Таблица Д.25

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	Transformation		
Coordinate operation name:	name:	WGS 84 to ED50 NIMA 1993 mean Europe	
Coordinate operation version:	operationVersion:	NIMA mean for Europe	
Coordinate operation scope:	scope:	Military operations	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	Austria; Belgium; Denmark; Finland; France; Germany (west); Gibraltar; Greece; Italy; Luxembourg; Netherlands; Norway; Portugal; Spain; Sweden; Switzerland	
Coordinate operation remarks:	remarks:	Для гражданского применения следует уточнить в EuroGeographics или национальных картографических органах	Это поле необязательно
Coordinate operation accuracy:	coordinateOperation-Accuracy:	3 м, 8 м и 5 м и по осям X, Y и Z	Это поле необязательно, но рекомендуется при трансформировании
Source CRS:	**sourceCRS:**	WGS 84	(Дополнительные данные, определяющие исходную СК, должны быть приведены здесь, но не описаны подробно в этом примере)

Окончание таблицы Д.25

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Target CRS:	**targetCRS**:	ED50	(Дополнительные данные, определяющие конечную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
	OperationMethod:		
Coordinate operation method name:	name:	geocentric translations	
Coordinate operation method formula:	formula	$X_t = X_s + dX$ $Y_t = Y_s + dY$ $Z_t = Z_s + dZ$ где dX, dY и dZ — смещения по осям X, Y и Z соответственно. (Индексы t и s указывают на цель и источник соответственно)	
	OperationParameter		Количество параметров (*n*) определяется формулой метода действия. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут заданы *n* раз. В этом примере *n* = 3
Operation parameter name:	name:	X-axis translation	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	87 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Y-axis translation	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	98 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Z-axis translation	
	ParameterValue:		
Числовое значение параметра действия:	value:	121 m	

Пример Д.5.2. Модель высот (квази)геоида

В этом примере описывается модель, которая преобразует геодезические высоты над эллипсоидом в NAD83 (CSRS) в физические высоты над уровнем моря. По соглашению она реализует CGVD2013, систему высот на основе высот геоида, описанную в примере Д.1.11.

Таблица Д.26

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	Transformation		
Coordinate operation name:	name:	Canadian Gravimetric Geoid 2013	
Coordinate operation alias:	alias:	CGG2013	
Source CRS:	**sourceCRS:**	NAD83(CSRS)v6 LatLonEht	(Дополнительные данные, определяющие исходную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Target CRS:	**targetCRS:**	CGVD2013-OHt	(Дополнительные данные, определяющие конечную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Coordinate operation version:	operationVersion:	v1	
Coordinate operation scope:	scope:	Вывод ортометрических высот из геодезических высот, определенных с помощью GNSS	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	Canada	
Coordinate operation remarks:	remarks:	Источник: M. Veronneau and J. Huang. The Canadian Geodetic Vertical Datum of 2013 (CGVD2013). Geomatica, Vol. 70, No. 1, 2016, pp. 9—19	Этот атрибут необязателен
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	CGG geoid height model	
Coordinate operation method formula:	formula:	$h_{CSRS} = H_{CGVD} + N_{CGG}$	
Coordinate operation method remarks:	remarks:	Этот метод требует билинейной интерполяции высоты геоида (N) в рамках модели высоты геоида, с использованием компонентов широты и долготы исходных CRS в качестве аргументов для интерполяции	Этот атрибут необязателен
	OperationParameter		Количество параметров (*n*) определяется в формуле метода действия. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут заданы *n* раз в зависимости от ситуации. В этом примере *n* является значением каждого узла сетки в модели высот геоида и слишком велико, чтобы его было удобно описать напрямую.

Окончание таблицы Д.26

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
			Поэтому он дается косвенно через ссылку на файл. Формат файла будет определяться методом работы
Operation parameter name:	name:	Имя файла модели высоты геоида	
	ParameterValue		
Ссылка на файл с параметрами:	valueFile:	CGG2013n83.byn	Имя файла может быть URI
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:		
	ParameterValue		
Interpolation CRS:	stringValue:	NAD83(CSRS) v6 LatLonEht	Эта СК, используемая для интерполяции набора данных с привязкой к координатной сетке. В этом примере это исходная СК подразумевается в методе работы, но для других методов (таких как поправка в высоту, например от CGVD1928 до CGVD2013) ее необходимо указать

Пример Д.5.3. Составное действие

В этом примере показана последовательность трансформирования между Egypt 1907 и WGS 72, затем между WGS 72 и WGS 84 для формирования составного действия по приведению координат от Egypt 1907 к WGS 84.

Таблица Д.27

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ConcatenatedOperation		
Concatenated coordinate operation name:	name	ED50 to WGS 84 Egypt	
Source CRS:	**sourceCRS:**	ED50	Это исходная СК для составного действия с координатами. (Дополнительные данные, определяющие исходную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Target CRS:	**targetCRS:**	WGS 84	Это конечная СК для составного действия с координатами. (Дополнительные данные, определяющие целевую СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Coordinate operation version:	operationVersion:	MCE and DMA concatenation	
Coordinate operation scope:	scope:	Oil exploration	

Продолжение таблицы Д.27

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	Egypt — Western Desert	
			Затем по очереди задаются все простейшие действия с координатами, образующие составное действие. Указан порядок выполнения действий. В этом примере показаны только выбранные атрибуты — см. пример Д.5.1 для полного примера единичного действия с координатами
	Transformation		Ниже описан первый шаг составного преобразования
Coordinate operation name:	name:	ED50 to WGS 72 Egypt	
Source CRS:	**sourceCRS:**	ED50	Это исходная СК для первого шага составного действия, в данном примере ED50
Target CRS:	**targetCRS:**	WGS 72	Это конечная СК для первого шага составного дейтвия, в данном примере WGS 84
Coordinate operation version:	operationVersion:	MCE 1974	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	Egypt	
Coordinate operation scope:	scope:	Geodetic survey	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name	name:	geocentric translations	
Coordinate operation method formula	formula:	$X_t = X_s + dX$ $Y_t = Y_s + dY$ $Z_t = Z_s + dZ$ где dX, dY и dZ — смещения по осям X, Y и Z соответственно. (Индексы t и s указывают на цель и источник соответственно)	
	OperationParameter		Количество параметров (n) определено формулой метода. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут даны n раз, в зависимости от ситуации. В этом примере на первом шаге $n = 3$
Operation parameter name:	name:	X-axis translation	

Продолжение таблицы Д.27

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–121.8 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Y-axis translation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	98.1 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Z-axis translation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–15.2 m	
			Описывается следующий шаг составного действия
	Transformation		
Coordinate operation name:	name:	WGS 72 to WGS 84 DMA	
Source CRS:	**sourceCRS:**	WGS 72	Это исходная СК для второго шага составного действия, в данном примере WGS 72
Target CRS:	**targetCRS:**	WGS 84	Это конечная СК для второго шага составного действия, в данном примере WGS 84
Coordinate operation version:	operationVersion:	DMA 1987	
Coordinate operation scope:	scope:	Geodetic survey	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	World	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Преобразование подобия по Гельмерту (вращение вектора положения)	
Coordinate operation method formula:	formula:	(Формула метода или ссылка на нее должны быть здесь, но не приведены в этом примере)	

Продолжение таблицы Д.27

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	OperationParameter		Количество параметров (*n*) определено формулой метода. Имена параметров, значения (при необходимости, необязательные атрибуты) будут даны *n* раз, в зависимости от ситуации. На втором шаге этого примера *n* = 7
Operation parameter name:	name:	X-axis translation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Y-axis translation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Z-axis translation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	4.5 m	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	X-axis rotation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 s	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Y-axis rotation	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0 s	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Z-axis rotation	

Окончание таблицы Д.27

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0.554 s	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	Scale difference	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0.2263 parts per million	

Д.6 Изменение эпохи координат в динамической СК

Эпоха координат — это атрибут данных; изменение эпохи координат не изменяет определение динамической СК. Контрольный журнал транзакций с координатами должен включать описание СК и, если СК является динамической, эпохи исходных и конечных координат.

Пример Д.6.1. Изменения координат с использованием линейных скоростей точек

Координаты вектора приведены в таблице Д.28.

Таблица Д.28

Пункт	*X* (m)	*Y* (m)	*Z* (m)
Alice Springs ITRF station ALIC	–4052052.148	4212836.068	–2545105.400
Метаданные координат: СК: ITRF2008 Эпоха координат: 2005.0			

Задача: Найти координаты пункта на эпоху 2017.56 (конечная эпоха). Действие движения точки, которое будет использоваться:

Таблица Д.29

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	PointMotionOperation		
Coordinate operation name:	name:	Change of coordinate epoch	
Source CRS:	**sourceCRS:**	ITRF2008—XYZ	(Дополнительные данные, определяющие исходную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Target CRS:	**targetCRS:**	ITRF2008—XYZ	(Дополнительные данные, определяющие конечную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Coordinate operation version:	operationVersion:	v1	

Окончание таблицы Д.29

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
Coordinate operation scope:	scope:	Change of coordinate epoch	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	World	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	Change of coordinate epoch using station velocities	
Coordinate operation method formula:	formula	$X_{t2} = X_{t1} + V_X \cdot (t_2 - t_1)$ $Y_{t2} = Y_{t1} + V_Y \cdot (t_2 - t_1)$ $Z_{t2} = Z_{t1} + V_Z \cdot (t_2 - t_1)$	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	V_X	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–0.0396 m/yr	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	V_Y	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	–0.0050 m/yr	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	nam:	V_Z	
	ParameterValue		
Числовое значение параметра действия:	value:	0.0541 m/yr	

После применения действия движения точки координаты вектора приведены в таблице Д.30.

Таблица Д.30

Пункт	*X* (m)	*Y* (m)	*Z* (m)
Alice Springs ITRF station ALIC	–4052052.645	4212836.005	–2545104.721
Метаданные координат: СК: ITRF2008 Эпоха координат: 2017.56			

Следует обратить внимание, что СК не изменилась, но эпоха координат изменилась (как и значения координат).

Пример Д.6.2. Изменения координат с использованием модели линейных скоростей

Координаты вектора приведены в таблице Д.31.

Таблица Д.31

Пункт	*B*	*L*	*H*
Centennial Monument NCC100 (Canadian Geodetic Survey station number 6530100)	45°25'45.714920"N	75°42'05.960075"W	39.524 m
Метаданные координат: СК: NAD83(CSRS) v6 Эпоха координат: 2010.0			

Задача: Найти координаты пункта в эпоху координат 2002.00 (конечная эпоха). Действие смещения точки, которое будет использоваться, приведено в таблице Д.32.

Таблица Д.32

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
	PointMotionOperation		
Coordinate operation name:	name:	Canadian Velocity Grid v6.0	
Coordinate operation alias:	alias:	CVG v6.0	
Source CRS:	**sourceCRS:**	NAD83(CSRS) v6 — LatLonEht	(Дополнительные данные, определяющие исходную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Target CRS:	**targetCRS:**	NAD83(CSRS) v6 — LatLonEht	(Дополнительные данные, определяющие конечную СК, должны быть приведены здесь, но не подробно описаны в этом примере)
Coordinate operation version:	operationVersion:	v6.0	
Coordinate operation scope:	scope:	Change of coordinate epoch for a coordinate set referenced to a NAD83(CSRS) v6	
Coordinate operation validity:	domainOfValidity:	Canada	
Coordinate operation accuracy:	coordinateOperation-Accuracy:	0,02m	
Coordinate operation remarks:	remarks:	Accuracy ... in horizontal, ... in vertical.	
	OperationMethod		
Coordinate operation method name:	name:	NTv2_Vel	
Coordinate operation method formula:	formula:	Этот метод требует сначала билинейной интерполяции скоростей в пределах сетки скоростей с использованием компонентов широты и долготы исходной CRS в качестве аргументов для интерполяции	M = радиус кривизны меридиана N = радиус кривизны первого вертикала

Окончание таблицы Д.32

Атрибут	Индентификатор UML	Содержание	Комментарий
		Тогда: $V_B = V_N/(M + H)$ $V_L = V_E/[(N + H) \cos B]$ $B_{t2} = B_{t1} + VB \cdot (t_2 - t_1)$ $L_{t2} = L_{t1} + VL \cdot (t_2 - t_1)$ $H_{t2} = H_{t1} + VH \cdot (t_2 - t_1)$	
	OperationParameter		
Operation parameter name:	name:	velocity model	
	ParameterValue		
Ссылка на файл с параметрами:	valueFile:	cvg60.cvb	Имя файла может быть URI

Интерполяция сетки скоростей для скоростей станций на Centennial Monument дает:

V_N = северная скорость = –0,00156 м/год;

V_E = восточная скорость = 0,00177 м/год;

V_H = вертикальная скорость = 0,00202 м/год;

из которых можно вычислить:

V_B = скорость изменения широты = –5,05E-5 угловых секунд/год;

V_L = скорости изменения долготы = 8,14E-5 угловых секунд/год.

После применения перемещения точки за $t_2 - t_1$ = –8,0 лет координаты вектора приведены в таблице Д.33.

Таблица Д.33

Пункт	*B*	*L*	*H* , m
Centennial Monument NCC100 (Canadian Geodetic Survey station number 6530100)	45°25’45.715324"N	75°42’05.960726"W	39.508
Метаданные координат: СК: NAD83(CSRS) v6 Эпоха координат: 2002.0			

Следует обратить внимание, что СК не изменилась, но эпоха координат изменилась (как и значения координат).

Библиография

[1] ИСО 19107:2019 Географическая информация. Пространственная схема

[2] ИСО 19108:2003 Географическая информация. Временная схема

[3] ИСО 19112:2019 Географическая информация. Пространственная привязка по географическим идентификаторам

[4] Дубошин Г.Н. (ред.), Абалакин В.К., Аксенов Е.П., Гребенников Е.А. и др. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. 1976, 889 с.

[5] Блажко С.Н., Курс сферической астрономии, изд. 2-е, Гостехиздат, 1954.

[6] Хаимов З.С. О среднеквадратической ошибке измерений. Геодезия и аэрофотосъемка, 1990, № 6, 3—11

[7] ИСО 19103:2015 Географическая информация. Язык концептуальной схемы

[8] ИСО 19162:2019 Географическая информация. Легко понимаемое текстовое описание систем координат

[9] ИСО 19123:2005 Географическая информация. Схема для геометрии и функций покрытий

[10] Hooijberg M. (1997). Spatial Coordinate Calculations. In: Practical Geodesy. Springer, Berlin, Heidelberg. gost.e-ecolog.ru org/10.1007/978-3-642-60584-0_9

[11] ИСО 19148:2021 Географическая информация. Линейная привязка

[12] ISO/IEC/IEEE 9945:2009, Information technology — Portable Operating System Interface (POSIX®) Base Specifications, Issue 7. The POSIX formula is in 4.16, Seconds Since the Epoch.

[13] ИСО 8601 Представление дат и времени

[14] ИСО 19136-1:2020 Географическая информация. Географический язык разметки (GML). Часть 1. Основные положения

[15] Snyder J. P. Map projections: A working manual. Professional Paper 1395. Report: ix, 385 p. gost.e-ecolog.ru pp1395

[16] ИСО 2533:1975 Стандартная атмосфера ИСО 2533:1975/Add 1:1985

[17] Doc 7488, Manual of the ICAO Standard Atmosphere: extended to 80 kilometres (262 500 feet). International Civil Aviation Organisation (ICAO), Third Edition, 1993

[18] The Miami Isopycnal Coordinate Model, 2000, available at gost.e-ecolog.ru

УДК 622.1:528:002:006.354 ОКС 35.240.70

Ключевые слова: координаты, системы координат, системы высот, высоты, системы времени, пространственная привязка, эпоха, преобразование координат, трансформирование координат

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 28.01.2025. Подписано в печать 13.02.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 19,53. Уч.-изд. л. 15,62.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru