

---

---

**Системы космические. Определение орбиты и оценка. Процесс описания методов**

*Space systems — Orbit determination and estimation — Process for describing techniques*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 11233:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R  
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер  
ISO/TR 11233:2014(R)

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 11233:2014

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014>



**ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

© ISO 2014

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO по адресу ниже или членом ISO в стране регистрации пребывания.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
веб-сайт [www.iso.org](http://www.iso.org)

Опубликовано в Швейцарии

## Содержание

Страница

Предисловие .....	4
Введение .....	5
<b>1 Область применения.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Символы и сокращения.....</b>	<b>1</b>
<b>3 История вопроса.....</b>	<b>1</b>
3.1 Общие положения.....	1
3.2 Начальное определение орбиты .....	2
3.3 Последующее определение орбиты.....	3
3.4 Необходимая информация для определения орбиты.....	3
3.5 Элементы орбиты.....	8
3.6 Координатные системы .....	9
3.7 Системы отсчета .....	13
3.8 Переменные состояния, средние орбиты и ковариантность .....	13
3.9 Распространение орбит.....	14
<b>4 Требования к документам.....</b>	<b>14</b>
<b>Приложение А (информативное) Широко используемое определение орбиты и инструментов для оценки.....</b>	<b>15</b>
<b>Приложение В (информативное) Репрезентативные системы отсчета .....</b>	<b>16</b>
<b>Приложение С (информативное) Репрезентативные схемы численной интеграции.....</b>	<b>17</b>
<b>Приложение D (информативное) Образец набора данных.....</b>	<b>18</b>
<b>Библиография.....</b>	<b>19</b>

## Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. ISO работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Процедуры разработки документа и дальнейшего ведения его установлены в Части 1 Директив ISO/IEC. В частности, следует отметить необходимость других критериев одобрения для различных типов документов ISO. Данный документ разработан в соответствии с правилами Части 2 Директив ISO/IEC [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives).

Следует иметь в виду, что некоторые элементы данного документа могут быть объектом патентных прав. Организация ISO не должна нести ответственность за идентификацию какого-либо одного или всех патентных прав. Детали объекта патентных прав размещаются в разделе Введение и/или на сайте ISO в разделе Патентных прав. [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)

Любое торговое имя используемое в этом документе является информацией предоставляемой для удобства пользователей и не является передаточной надписью.

За разъяснениями о значении специфических терминов и выражений ISO, относящихся к оценке соответствия, а также информации о следовании ISO принципам ВТО о технических барьерах в торговле (TBT – Technical Barriers to Trade) см. по следующему URL: Предисловие - Дополнительная информация [Foreword - Supplementary information](#)

Данный документ разработан Техническим комитетом ISO/TC 20 *Авиационные и космические аппараты*, Подкомитетом SC 14, *Космические системы и их эксплуатация*

## Введение

Данный технический отчет устанавливает порядок того, как владельцы/операторы спутников описывают методы, используемые для определения орбит из активных и пассивных наблюдений и порядок оценки эволюции орбит спутников.

Одни и те же входные данные приводят к различным предсказаниям, когда они используются в разных моделях. Спутниковые владельцы/операторы должны часто использовать описание орбиты из физической модели, которую используют другие. Различия в орбите в результате использования различных физических моделей и численных методов могут быть значительными. Безопасная совместная деятельность тех, кто эксплуатирует спутники, требует, чтобы каждый владелец/оператор спутника понимал все различия между подходами к определению орбиты и движением спутника по ней.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 11233:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014>



# Системы космические. Определение орбиты и оценка. Процесс описания методов

## 1 Область применения

Данный технический отчет устанавливает порядок описания определения орбит и методов их оценки, они должны быть описаны так, чтобы все участники процесса могли планировать свои действия с некоторыми допусками, чтобы учитывать различные индивидуальные подходы к определению орбиты и оценке ситуации. Данный технический отчет не требует обмена данными об орбите, а также не определяет способа определения параметров орбиты. Он только определяет информацию, которая должна сопровождать такие данные, чтобы сотрудничество владельцев/операторов спутников с ее помощью могло разобраться в сходствах и различиях между их независимым определением элементов орбиты.

Все спутниковые владельцы/операторы имеют право собственного предпочтительного подхода для физических приближений, численной реализации и вычислительного определения орбиты и оценке будущего состояния своих спутников. Миссия должна определить требования к архитектуре (скорость исполнения, требуемую точность и др.). Данный технический отчет позволит участникам описать их методы единообразно понимаемым способом. Детали реализации, которые могут содержать производственные подробности или конкурентное преимущество не должны обнаруживаться.

## 2 Символы и сокращения

BDRF	Двунаправленная функция отражения
FPA	Угол полета траектории
GPS	Система глобального позиционирования
HEO	Высокая околоземная орбита
IOD	Начальное определение орбиты
LEO	Низкая околоземная орбита
LS	Метод наименьших квадратов
OD	Определение орбиты
RAAN	Прямое восхождение восходящего узла
RMS	Метод среднеквадратичных отклонений
SP	Последовательная обработка
TLE	Двухлинейные элементы
UTC	Универсальное координированное время

## 3 История вопроса

### 3.1 Общие положения

Определение элементов орбиты спутника (OD) оценивает положение и скорость орбитального объекта на основе конкретных наблюдений. Комплекс наблюдений включает в себя внешние измерения наземных или космических датчиков и измерений приборов на самом спутнике. Прокладывание (или распространение) спутниковой орбиты оценивает будущее состояние движения спутника, чьи орбиты определяется на основе прошлых наблюдений. Хотя движение спутника описывается набором идеальных уравнений движения, представляющих физические гипотезы, наблюдения, используемые в OD подвержены систематической и случайной неопределенности. Поэтому OD и построение

траекторий являются вероятностными и могут лишь приблизительно описать движение спутника. Степень приближения зависит от предполагаемого использования орбитальной информации.

Космический корабль находится под воздействием самых разных внешних сил, в том числе и гравитационного поля Земли, сопротивление атмосферы, гравитации различных космических тел, давления солнечной радиации, приливов, воздействия космических аппаратов и двигателей. Выбор сил для моделирования зависит от точности процесса OD и объема имеющихся данных. Комплекс моделирования этих сил приводит к набору сильно нелинейных динамических уравнений. Многие физические и вычислительные неопределенности ограничивают точность и надежность определения состояния космического аппарата. Аналогичным образом, наблюдательные данные, нелинейные по своей природе, по отношению к состоянию движения космического аппарата и некоторым влияниям, не включаются в модели наблюдения состояния движения.

Спутниковое OD и распространение траекторий спутников является стохастическими задачами, поскольку наблюдения всегда сопровождаются неопределенными шумами и потому, что не все явления, которые влияют на движение спутника, четко различимы. Оценка - это процесс извлечения нужного сигнала, изменяющегося во времени, из наблюдений со статистическими шумами, накопленными в течение определенного времени. Оценка содержит в себе сглаживание данных с использованием статистики из прошлых наблюдений; фильтрацию, которая основывается на прошлых наблюдениях и текущих наблюдениях и предсказания, которые используют прошлые и текущие наблюдения, чтобы сделать вывод о будущих сигналах.

Данный технический отчет ISO и соответствующие документы используют термин “данные орбиты.” Данные орбиты содержат в себе все формы данных, которые способствуют определению орбит спутников и сообщают о результатах определения орбиты для того, чтобы оценить будущие траектории спутника. Это включает в себя определение позиций спутников либо путем активного освещения с радаров, либо путем пассивного наблюдения электромагнитной энергии, излучаемый или отражаемый от спутников телескопами.

Желательно хранить стандарт каждой космической орбиты максимально простым, обрабатывать формы и содержание данных об орбите, описание метода моделирования и других соответствующих независимых аспектов индивидуально. Хочется надеяться, что это будет развивать достаточную массу стандартов постепенно, не усложняя ситуацию, для которой существует консенсус с вопросами, которые могут быть спорными.

В большинстве организаций космического сообщества используют вариации только нескольких основных архитектур. Эти архитектуры цитируются во многих текстах и ссылках, которые не перечислены в этом документе

OD начинается с наблюдений из указанных мест и определяет положение и скорость космического аппарата с учетом количественной оценки неопределенности.

### 3.2 Начальное определение орбиты

Методы начального определения орбиты (IOD – initial orbit determination) содержат измерения с отслеживанием местоположения платформы, положением космического корабля и его скорости. Не требуется предварительной оценки орбиты. Ошибки в связанных величинах могут быть очень большими. Методы IOD могут быть нелинейными, порой бывают и тривиальными для реализации. Корректирование измерений обычно не выполняется во время расчетов IOD, потому что для этого нет достаточных наблюдений. Обычно процесс OD часто начинается, или бывает перезапущен, с IOD. Методы IOD были разработаны различными авторами, среди которых такие известные имена, как Лаплас, Пуанкаре, Гаусс, Лагранж, Ламберт, Гиббс, Геррик, Уильямс, Штамп, Ланкастер, Бланшар, Гудинг, и Смит. Методы перезапуска наиболее легко осуществить при помощи использования другой техники.

### 3.3 Последующее определение орбиты

#### 3.3.1 Дифференциальные поправки с помощью метода наименьших квадратов

Метод наименьших квадратов (LS) позволяет отслеживать измерения с отслеживанием местоположения платформы и априорной оценки орбиты. Ошибки измерения являются небольшими по сравнению с ошибками начального определения орбиты. Метод наименьших квадратов состоит из последовательности итерационных корректировок, где сходимости последовательности определяется как функция отслеживания измерения остаточного среднеквадратичного отклонения. Каждая коррекция характеризуется минимизацией суммы квадратов невязок измерений слежения. Метод наименьших квадратов был получен сначала в 1795 году Гауссом, а затем самостоятельно Лежандром.

#### 3.3.2 Последовательная обработка

Методы последовательной обработки (SP) отличаются от методов обработки наименьших квадратов тем, что пакеты данных рассматриваются последовательно, собирая набор наблюдений в течение заданного интервала времени и каждый интервал рассматривается после следующего. Последовательную обработку можно рассматривать как скользящее временное окно, содержимое которого фиксируется и обрабатывается в определенном интервале времени, вне зависимости от ранее обработанных пакетов данных. Анализ не включает в себя обработку шума на входе. Это никоим образом не эквивалентно фильтрации, в котором каждое новое наблюдение добавляется к прошлым наблюдениям, улучшая оценки строго прослеживаемым образом.

#### 3.3.3 Обработка фильтрацией

Методы фильтрации выходной информации происходят последовательно в каждый момент наблюдения. Методы фильтрации состоят из повторяющихся обновлений состояния движения. Рекурсивный шаблон содержит важную информацию об интервалах инициализации фильтра. Методы сглаживания фильтра - это последовательные рекурсивные методы, состоящие из повторяющихся элементов состояний. Во времени переходов для обоих фильтров преобладают численные расчеты орбит. Поиск для последовательной обработки был начат Винером, Калманом, Бюси и другими.

### 3.4 Необходимая информация для определения орбиты

#### 3.4.1 Наблюдения

Если данные наблюдения передаются для совместного или самостоятельного определения спутниковых орбит, необходимо определить типы информации. Несколько видов наземных, бортовых и космических датчиков наблюдения обычно используются в определении элементов орбиты. В таблице 1 описаны различные виды источников и наблюдений.

Таблица 1 — Описание продуктов космического наблюдения

Содержание	Источник
Два угла и уровень наклона	Радары
Два угла	Камеры Бейкера-Нунна, телескопы, бинокли, визуальные наблюдения
Азимут	Определители направления
Время ближайшего сближения	Радары, радиопередатчики для спутников
Масштаб, углы и уровни	Радары
Псевдодальность и фаза переносчика, а также одно, двух и трехкратное различие в этих типах измерений	GPS или инерциальный сенсор на борту
Косинусы направлений	Интерферометрические радары

#### 3.4.1.1 Информация о месте наблюдения

Когда данные передаются для совместного или самостоятельного определения спутниковых орбит, следующие сведения о месте наблюдения и измерительных приборах должны быть сообщены:

- местонахождение объекта, широта, долгота, высота, информация о них измеряется, например, в системе координат wgs-84;
- идентификация отслеживающих станций (ID);
- высота среза;
- отклонения измерений;
- задержка передачи транспондером связанной информации.

#### 3.4.1.2 Информация о спутнике

Когда данные передаются для совместного или самостоятельного определения спутниковых орбит, следующие сведения о месте наблюдения и измерительных приборах должны быть сообщены:

- оценка первоначального состояния;
- отслеживание данных ID;
- параметры силовой модели;
- ковариантная матрица;
- общие ускорения;
- задержка транспондера.

iteh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 11233:2014](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/392fe808-8ce6-4df5-8c95-9739fbc8920/iso-tr-11233-2014>

#### 3.4.1.3 Параметры оценки и управления

Когда данные передаются для совместного или самостоятельного определения спутниковых орбит, следующие сведения о месте наблюдения и измерительных приборах должны быть сообщены:

- параметры оценки;
- управление моделью глобальных сил;
- управление интеграцией;
- управление базами данных;
- неопределенности наблюдения.

#### 3.4.2 Отбор данных траекторий и их редактирование

Когда данные передаются для совместного или самостоятельного определения спутниковых орбит, провайдер должен указать, были ли данные отредактированы и каковы критерии для отслеживания выбора данных

### 3.4.3 Широко используемые схемы OD (определения орбиты)

Когда используются проверенные и задокументированные схемы, требования настоящего технического отчета могут быть удовлетворены со ссылкой на то, что документация и конкретный параметр устанавливаются в рамках этой схемы, которые изменяются в зависимости от схемы и версии. Некоторые широко используемые OD схемы, которые приемлемы приведены в приложении А. Этот перечень не является исчерпывающим.

### 3.4.4 Необходимая информация для предсказания орбиты и ее распространения

Следующие подпункты перечисляют и описывают подходы стандартных альтернатив для информации, приемлемой в рамках данного технического отчета.

#### 3.4.4.1 Силовые модели

На космический аппарат оказывают влияние несколько различных консервативных и неконсервативных сил. Неконсервативные феномены рассеивают энергию космического аппарата, например, выполняя работу на отопление.

##### 3.4.4.1.1 Гравитация

Описания орбиты или схема ее предсказание должна содержать полную информацию о гравитационном поле участвующих объектов. Это описание должно основываться на следующих формализмах.

##### 3.4.4.1.2 Земная гравитация

Гравитационное поле Земли должно быть описано в терминах расширения полиномов Якоби конечного порядка и степени. Полиномы Якоби являются полным, ортонормированным набором по единичной сфере. Есть две угловые степени свободы, эквивалентные широте и долготе. Любая аналитическая функция этого пространства может быть представлена взвешенным двойным бесконечным рядом полиномов Якоби.

##### 3.4.4.1.2.1 Движение двух тел

Движение двух тел по Кеплеру учитывает только силу притяжения Земли. Корабль и Земля считаются точечными массами, все массы сосредоточены в их центрах масс. Это самый низкий уровень зонального гармонического приближения.

##### 3.4.4.1.3 Зональные гармоники

###### 3.4.4.1.3.1 J<sub>2</sub>

Долгосрочные возмущения J<sub>2</sub> (первого порядка, постоянного уровня с течением времени) в элементах орбит из-за сжатия Земли обусловлены, в основном, узловыми прецессиями и вращением большой полуоси орбиты, которые в другом случае относятся к невозмущенным Ньютоновским орбитам. J<sub>2</sub> – это зональный гармонический коэффициент многочлена Якоби в бесконечной серии представления гравитационного поля Земли. Он представляет собой доминирующее влияние сплюснутости Земли. Четные зональные гармонические коэффициенты гравитационного поля являются единственными коэффициентами, которые приводят к постоянным изменениям в спутниковых орбитальных элементах. J<sub>2</sub>-пропагатор включает только доминирующие постоянные эффекты первого порядка.