

Doc 9674
AN/946



Руководство по Всемирной геодезической системе — 1984 (WGS-84)

Утверждено Генеральным секретарем
и опубликовано с его санкции

Издание второе — 2002

Международная организация гражданской авиации

Doc 9674
AN/946



Руководство по Всемирной геодезической системе — 1984 (WGS-84)

Утверждено Генеральным секретарем
и опубликовано с его санкции

Второе издание — 2002

Международная организация гражданской авиации

ПРЕДИСЛОВИЕ

3 марта 1989 года на 13-м заседании своей 126-й сессии Совет Международной организации гражданской авиации утвердил рекомендацию 3.2/1 четвертого совещания Специального комитета по будущим аэронавигационным системам (FANS/4), касающуюся принятия Всемирной геодезической системы – 1984 (WGS-84) в качестве стандартной геодезической системы отсчета для целей будущей аэронавигации в рамках международной гражданской авиации. Рекомендация 3.2/1 FANS/4 сформулирована следующим образом:

"Рекомендация. Принятие WGS-84

ИКАО рекомендуется принять в качестве стандартной геодезическую систему отсчета WGS-84 и разработать соответствующий материал, в частности относящийся к Приложениям 4 и 15, для обеспечения быстрого и повсеместного внедрения геодезической системы отсчета WGS-84."

28 февраля 1994 года на 9-м заседании своей 141-й сессии Совет принял поправку 28 к Приложению 15, в которой вводятся новые положения, касающиеся распространения связанных с WGS-84 географических координат. Вытекающие из нее поправки к Приложениям 4 и 11, а также к томам I и II Приложения 14 были приняты Советом соответственно 1 марта 1995 года, 18 марта 1994 года и 13 марта 1995 года. 20 марта 1997 года Совет на 17-м заседании 150-й сессии принял поправку 29 к Приложению 15, предусматривающую публикацию вертикального компонента геодезической системы отсчета WGS-84. Вытекающие из нее поправки к Приложению 4 и томам I и II Приложения 14 были приняты Советом соответственно 20 марта 1998 года и 21 марта 1997 года. Стандарты и Рекомендуемая практика (SARPS), содержащиеся в Приложении 11 и томах I и II Приложения 14, регламентируют определение (точность полевой съемки) и сообщение географических координат, основанных на геодезической системе отсчета WGS-84. Содержащиеся в Приложениях 4 и 15 SARPS регламентируют публикацию в текстовой и графической форме географических координат (разрешающая способность) и вертикального компонента. Управление службы аэронавигационной информации государств обеспечит публикацию в своих

сборниках аэронавигационной информации (AIP) и на картах, а также, в соответствующих случаях, хранение в электронных базах данных значений географических координат и вертикального компонента в системе WGS-84, предоставляемых другими аэронавигационными службами государств, такими как полномочные органы обслуживания воздушного движения и аэродромов/вертодромов.

Цель настоящего руководства заключается в обеспечении инструктивных указаний по определению значений географических координат и вертикального компонента, привязанных к геодезической основе WGS-84, с тем чтобы оказать содействие государствам в единообразном внедрении SARPS, касающихся системы WGS-84 и содержащихся в следующих документах:

Приложение 4. *Аэронавигационные карты;*

Приложение 11. *Обслуживание воздушного движения;*

Приложение 14. *Аэродромы.*

Том I. *Проектирование и эксплуатация аэродромов.*
Том II. *Вертодромы;*

Приложение 15. *Службы аэронавигационной информации.*

Настоящее руководство подготовлено при консультации и по согласованию с Европейской организацией по обеспечению безопасности воздушной навигации (ЕВРО-КОНТРОЛЬ), и в него будут периодически вноситься изменения. Пользователям предлагается направлять в ИКАО свои предложения по внесению в этот документ усовершенствований или добавлений, основанных на своем практическом опыте использования настоящего руководства. О замеченных в данном руководстве ошибках или несоответствиях следует сообщать:

Генеральному секретарю
Международной организации гражданской авиации
999 University Street
Montreal, Quebec, Canada
H3C 5H7.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>		<i>Стр.</i>
Глава 1. Введение	1-1	Глава 5. Инструктивные указания по проведению съемки	5-1
1.1 Последствия использования в авиации несовпадающих систем отсчета координат	1-1	5.1 Введение.....	5-1
1.2 Масштаб проблемы.....	1-2	5.2 Общие требования	5-1
1.3 Последствия для аэронавигации.....	1-2	5.3 Требования к съемке координат навигационных элементов, связанных с аэродромом/вертодромом	5-5
1.4 Решение проблемы.....	1-3	5.4 Требования к отчету о результатах съемки аэродрома/вертодрома	5-7
Рисунки к главе 1	1-4	5.5 Требования к съемке координат навигационных средств.....	5-7
Глава 2. Точность, разрешение и целостность аэронавигационных данных	2-1	5.6 Требования к отчету о результатах съемки на маршруте	5-8
2.1 Общие положения	2-1	5.7 Использование программного обеспечения ...	5-8
2.2 Тип и классификация данных о местоположении	2-1	5.8 Цифровой формат для представления данных съемки	5-8
2.3 Источник необработанных аэронавигационных данных.....	2-2	Дополнение А к главе 5. Установка геодезических знаков.....	5-9
2.4 Требования к точности	2-2	1. Общие положения	5-9
2.5 Требования к разрешающей способности.....	2-3	2. Система нумерации геодезических знаков	5-9
2.6 Требования к целостности.....	2-3	Рисунки к дополнению А	5-10
Таблицы к главе 2	2-5	Дополнение В к главе 5. Описание географического местоположения	5-13
Глава 3. Глобальная система координат WGS-84 ...	3-1	Рисунки к дополнению В	5-14
3.1 Определение системы координат WGS-84	3-1	Дополнение С к главе 5. Отчеты о результатах съемки.....	5-33
3.2 Реализация системы координат WGS-84	3-1	1. Геодезическая привязка	5-33
3.3 Степень точности координат WGS-84	3-2	2. Съемка аэродрома/вертодрома	5-33
Рисунки к главе 3	3-3	3. Съемка на маршруте	5-33
Глава 4. Инструкции по расчету координат WGS-84	4-1	Дополнение D к главе 5. Расчет координат порогов.....	5-35
4.1 Общие положения.....	4-1	Глава 6. Обеспечение качества.....	6-1
4.2 Сценарий 1: имеются координаты, заданные в местной опорной системе.....	4-1	6.1 Определения, касающиеся качества	6-1
4.3 Сценарий 2: координаты требуемой точности отсутствуют	4-3	6.2 Гарантия качества (QA)	6-2
4.4 Сценарий 3: имеются координаты в цифровой форме, рассчитанные на основе карт	4-4	Рисунки к главе 6	6-6
Рисунки к главе 4	4-6		

	<i>Стр.</i>		<i>Стр.</i>
Глава 7. Официальные отчеты.....	7-1	Добавление С. Международная земная система отсчета (ITRS).....	C-1
7.1 Требования к отчетности о съемках.....	7-1	Добавление D. Формулы преобразования геодезической основы.....	D-1
7.2 Базовая структура отчетов.....	7-1	Рисунки к добавлению D.....	D-5
7.3 Форматы, стандартные алгоритмы и рабочая практика.....	7-2	Добавление E. Съемка и фотограмметрические методы.....	E-1
Рисунки к главе 7.....	7-7	Рисунки к добавлению E.....	E-4
Добавление А. Глобальная система определения местоположения (GPS).....	A-1	Добавление F. Картографические проекции.....	F-1
Рисунки к добавлению А.....	A-7	Добавление G. Образец вопросника.....	G-1
Добавление В. Основы геодезии.....	B-1	Справочный материал	
Рисунки к добавлению В.....	B-8		

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ

1.1 ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АВИАЦИИ НЕСОВПАДАЮЩИХ СИСТЕМ ОТСЧЕТА КООРДИНАТ

1.1.1 Проблемы в области аэронавигации, связанные с использованием различных геодезических основ, впервые возникли в Европе в начале 1970-х годов при разработке многорадарных систем слежения для Маастрихтского центра верхнего воздушного пространства (УАС) ЕВРОКОНТРОЛЯ, в которых данные о местонахождении воздушных судов с радиолокаторов, расположенных в Бельгии, Германии и Нидерландах, подвергались обработке для получения единого отображения линий пути воздушных судов на дисплеях диспетчеров УВД. При этом было установлено, что расхождения в определяемых с помощью радиолокаторов линиях пути являются результатом использования несовместимых координат.

1.1.2 В середине 1970-х годов в ходе траектографических экспериментов с французской системой SAVVAN (Système Automatique de Vérification en Vol des Aides à la Navigation – автоматизированная система проверки навигационных средств в полете) были отмечены "скачки" в местоположении при переключении с одних приемопередатчиков дальномерного оборудования (DME) на другие, расположенные в различных государствах. И вновь указанные погрешности можно было отнести только на счет несовместимости координат наземных средств.

1.1.3 Если координаты наземного радиолокационного навигационного средства определяются с использованием двух или более различных опорных геодезических основ, то при установлении горизонтального местоположения воздушного судна будут получены два или более различных совокупностей значений широты и долготы. Расхождение в местоположении воздушного судна может составить в метрических единицах несколько сот метров при одновременном определении его местоположения и отслеживании линии пути двумя радиолокаторами: радиолокатором 1 и радиолокатором 2, привязанными к двум различным геодезическим основам (см. рис. 1-1). Это может привести к ситуации, когда воздушное судно, находящееся недалеко от границы между двумя государствами, использующими различные опорные геодезические основы, на экранах радиолокаторов двух государств будет иметь различное местоположение, что может

привести к неправильной интерпретации интервала эшелонирования между воздушными судами и расстояния от зоны ограничения полетов.

1.1.4 Таким образом, основным источником систематических ошибок является неиспользование единой опорной геодезической основы при определении местоположения с помощью радиолокаторов; решение данной проблемы заключается в получении радиолокационных данных о местоположении с применением единой геодезической системы отсчета.

1.1.5 В мире существует много опорных геодезических основ, используемых для привязки при составлении карт конкретных районов. Каждая геодезическая основа была получена путем подгонки конкретной математической модели Земли (эллипсоид) под истинную форму Земли (геоид) таким образом, чтобы свести до минимума расхождение между указанным эллипсоидом и геоидом в заданном районе. Большинство используемых в настоящее время эллипсоидов были рассчитаны в 1800-х годах и, как правило, привязаны к местной обсерватории. При использовании различных геодезических основ и эллипсоидов получаются и различные координатные сетки широты и долготы и, следовательно, различные совокупности географических координат. Государства разрабатывают свои собственные геодезические основы, обычно отличающиеся от тех, которые приняты в соседних государствах. В тех областях, где речь шла о расстояниях, перекрывающих государственные границы, к геодезическим основам необходимо было предъявлять новые требования, по крайней мере в масштабах континента.

1.1.6 Учитывая существующую ситуацию, необходимо признать, что при полетах по маршруту использование наземных навигационных средств, привязанных к различным опорным системам, не имеет серьезных последствий, поскольку главным средством навигации остается использование сигналов VOR или NDB для определения радиальных линий пути в направлении или от радиомаяка с точками разворота либо в месте расположения маяка, либо на некотором расстоянии от него, определяемом с помощью DME. В этих случаях опубликованные координаты данного навигационного средства не оказывают влияния на линию пути, по которому следует воздушное судно. Ситуация коренным

образом изменится на этапе захода на посадку и посадки или на тех участках полета, где используются сокращенные интервалы бокового эшелонирования воздушных судов, то есть применяются системы зональной навигации (RNAV) и требуемые навигационные характеристики (RNP) с более высокими требованиями к точности и целостности данных. Поэтому указанные расхождения станут неприемлемыми и потребуются введение для международной гражданской авиации единой геодезической опорной системы.

1.1.7 Министерство обороны Соединенных Штатов Америки (Комитет по всемирной геодезической системе) определило и разработало ряд геоцентрических систем отсчета, к которым могут быть привязаны другие геодезические сети. В результате последующих разработок с использованием все более доступной спутниковой информации была создана Всемирная геодезическая система – 1960 (WGS-60), – 1966 (WGS-66), – 1972 (WGS-72) и ее настоящий вариант – 1984 (WGS-84).

1.2 МАСШТАБ ПРОБЛЕМЫ

1.2.1 Расхождения между одной геодезической опорной системой и другой зависят от:

- a) порядка величины трех сдвигов начала отсчета;
- b) величины поворота трех осей;
- c) значения масштабного множителя;
- d) формы референц-эллипсоида (при работе с географическими координатами).

Примечание. Большинство государств уже имеют национальную опорную систему с конкретным набором параметров геодезической основы. Расхождения в этих геодезических основах составляют от нескольких метров до нескольких километров.

1.2.2 На рис. 1-2 показаны расхождения в координатах точек, определяемых с использованием различных геодезических основ, применяемых в Европе. На рисунке указана разница в значениях широты и долготы (в дуговых секундах), определенных с использованием национальных геодезических основ и WGS-72, для пяти государств. WGS-72 использована в данном случае потому, что были известны соответствующие параметры преобразования национальных геодезических основ в систему координат WGS-72. Из рис. 1-2 можно сделать вывод о том, что расхождение в местоположении точек, определяемом с использованием различных национальных геодезических основ и системы WGS-72, может составлять в конкретном государстве порядка нескольких сот метров.

1.3 ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ АЭРОНАВИГАЦИИ

1.3.1 В настоящее время в гражданской авиации обычно используются географические координаты двух типов: координаты, определяемые наземными службами, и координаты, определяемые с помощью навигационных систем. На земле координаты определяют путем проведения съемок, расчетов и измерений. Они публикуются полномочными органами гражданской авиации в сборниках аэронавигационной информации (AIP), а также в виде карт, доступных для общественности. Координаты, определяемые с помощью навигационных систем, выдаются бортовыми системами с использованием показаний акселерометров и сигналов наземных или спутниковых средств.

1.3.2 Определяемые на земле координаты (широта и долгота) получают путем измерений и расчетов с использованием математических моделей. Модели описывают форму Земли в конкретном географическом районе и называются геодезическими основами. Например, в Соединенных Штатах Америки используемые гражданской авиацией координаты привязаны математически к геодезической основе североамериканской системы координат (NAD), в Японии – к геодезической основе токийской системы координат (TD), а в Европе – к геодезической основе единой европейской системы координат (ED). Для каждой из указанных геодезических основ используются различные математические модели, которые наиболее точно соответствуют форме Земли в этих конкретных географических районах или наиболее точно ее представляют. Хотя государства редко публикуют данные о применяемой геодезической основе, однако для всех топографических, картографических и геодезических целей государство обычно использует свою геодезическую основу. Математические параметры этих геодезических основ различны, различно и местоположение центра каждой геодезической основы, и, за исключением тех государств, которые уже перешли на использование геодезической основы, начало которой находится в центре Земли, начало ни одной геодезической основы не совпадает с центром тяжести Земли.

1.3.3 В отличие от координат, определяемых на земле, начало координат, выдаваемых навигационными системами, находится в центре Земли. В инерциальной навигационной системе (INS) для регистрации движения и определения местоположения воздушного судна используются акселерометры на платформе, стабилизируемой при помощи гироскопов или кольцевых лазеров. Юстировка платформы производится относительно центра массы и вращения Земли, в результате чего выдаваемые INS координаты оказываются привязанными к центру Земли. Это означает, что опубликованные координаты, привязанные к местной геодезической основе, не будут

непосредственно соотноситься с координатами, определяемыми с помощью системы INS. Поскольку юстировка системы INS перед взлетом, как правило, производится по местным координатам, то она обеспечивает наибольшую точность в пределах района, на который распространяется местная геодезическая основа. До настоящего времени "сдвиг координат" не вызывал особых осложнений при полетах в пределах района, где используется местная опорная геодезическая система, поскольку его величина незначительна по сравнению с погрешностями за счет ухода гироскопов системы INS при полете по маршруту большой протяженности.

1.3.4 Координаты, определяемые бортовым компонентом глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) по сигналам со спутников, будут привязаны к центру Земли, поскольку в математической модели, описывающей работу системы спутников GNSS, за начало отсчета принят центр Земли, то есть WGS-84. Координаты GNSS не соотносятся с координатами, привязанными к местным геодезическим основам, за исключением районов, где координаты были приведены к геодезической основе с началом в центре Земли. Это означает, что необходимо учитывать различие между координатами точки, привязанными к местной геодезической основе, и координатами той же точки, привязанными к геодезической основе системы WGS-84, начало которой совпадает с центром Земли.

1.4 РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.4.1 Решение данной проблемы заключалось в принятии WGS-84 в качестве единой геодезической опорной системы для гражданской авиации (см. предисловие к настоящему руководству). Приводимый здесь инструктивный материал был подготовлен в целях содействия внедрению опорной системы WGS-84.

1.4.2 Первым шагом на пути внедрения какого-либо предложения по изменению системы координат является изучение соответствующей информации. Для оценки качества публикуемых аэронавигационных географических координат, требуемых для аэронавигации, необходимо рассмотреть все имеющиеся соответствующие данные по аэронавигационным координатам.

1.4.3 В добавлении G приводится образец вопросника, предназначенного для сбора информации о проведенных съемках. Полученная с помощью такого вопросника информация позволит дать точные оценки и выявить те объекты, для которых необходимо произвести полевую съемку для проверки данных о их местоположении.

1.4.4 Анализ полученных с помощью указанного вопросника данных выявит навигационные средства, а

также точки и средства в районе аэродромов/вертодромов, которые требуют повторной съемки. Этот анализ также выявит те точки, географические координаты которых удовлетворяют требованиям к точности и целостности и можно непосредственно преобразовать в координаты опорной геодезической системы WGS-84 с использованием лишь математических методов.

1.4.5 В принципе существуют два подхода, которые могут быть использованы как самостоятельные или в комбинации для преобразования полученных в результате съемки достаточно точных координат в систему координат WGS-84.

- a) Проведение съемки по крайней мере трех контрольных точек (охватывающих рассматриваемый район) для получения координат WGS-84 и определения различия в параметрах геодезической основы местной опорной системой и WGS-84.
- b) Определение координат WGS-84 всех оставшихся точек путем автоматического преобразования геодезической основы.

1.4.6 Имеются две общие группы аэронавигационных точек, географические координаты которых подлежат точному определению (см. таблицу 1-1).

1.4.7 В предыдущих пунктах рассматривался горизонтальный элемент геодезической системы WGS-84. Однако система WGS-84 является трехмерной опорной системой с координатами X , Y , Z или ϕ , λ или h . Географические координаты выражаются широтой ϕ и долготой λ , а параметр h представляет собой геометрическую (относительно эллипсоида) высоту над эллипсоидом WGS-84.

1.4.8 Значения высот, полученные с помощью GNSS, привязываются к эллипсоиду WGS-84, которые, как правило, будут отличаться от "обычной" (ортометрической) высоты в той же точке. Различие будет значительным при навигации в районе аэродромов с использованием датчиков GNSS. В этой связи авиационному сообществу следует предоставлять информацию о разнице между ортометрической высотой (высота относительно геоида, превышение) и высотой относительно эллипсоида WGS-84. Разница в высоте между геоидом и эллипсоидом WGS-84 представляет собой волну геоида.

1.4.9 Информация о волне геоида необходима для определения превышений аэропортов, зон приземления и отрыва на ВПП (TLOF) или зон конечного этапа захода на посадку и взлета (FATO) на вертодромах. (См. также добавление В.)

Таблица 1-1. Координаты, представляющие интерес для авионавигации

<i>Координаты точек зональной навигации/ точек на маршруте</i>	<i>Координаты аэродромов/вертодромов</i>
Точки на маршрутах ОБД/RNAV	Опорные точки аэродромов/вертодромов
Пункты ожидания	Пороги ВПП, FATO
Маршрутные радионавигационные средства	Радионавигационные средства в районе аэропорта
Зоны ограничения полетов/запретные/опасные зоны	FAF, FAP и другие важные точки IAP
Препятствия на маршруте	Точки на осевой линии ВПП
Границы FIR	Точки стоянки воздушных судов
СТА, СТЗ	Препятствия в районе аэродрома/вертодрома
Прочие основные точки	

РИСУНКИ К ГЛАВЕ 1

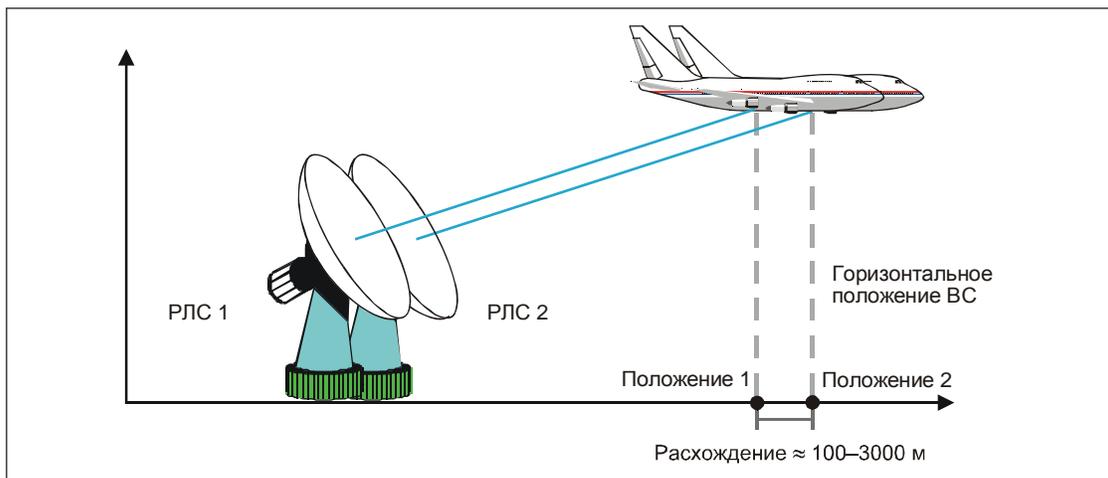


Рис. 1-1. Проблема геодезической основы в авионавигации

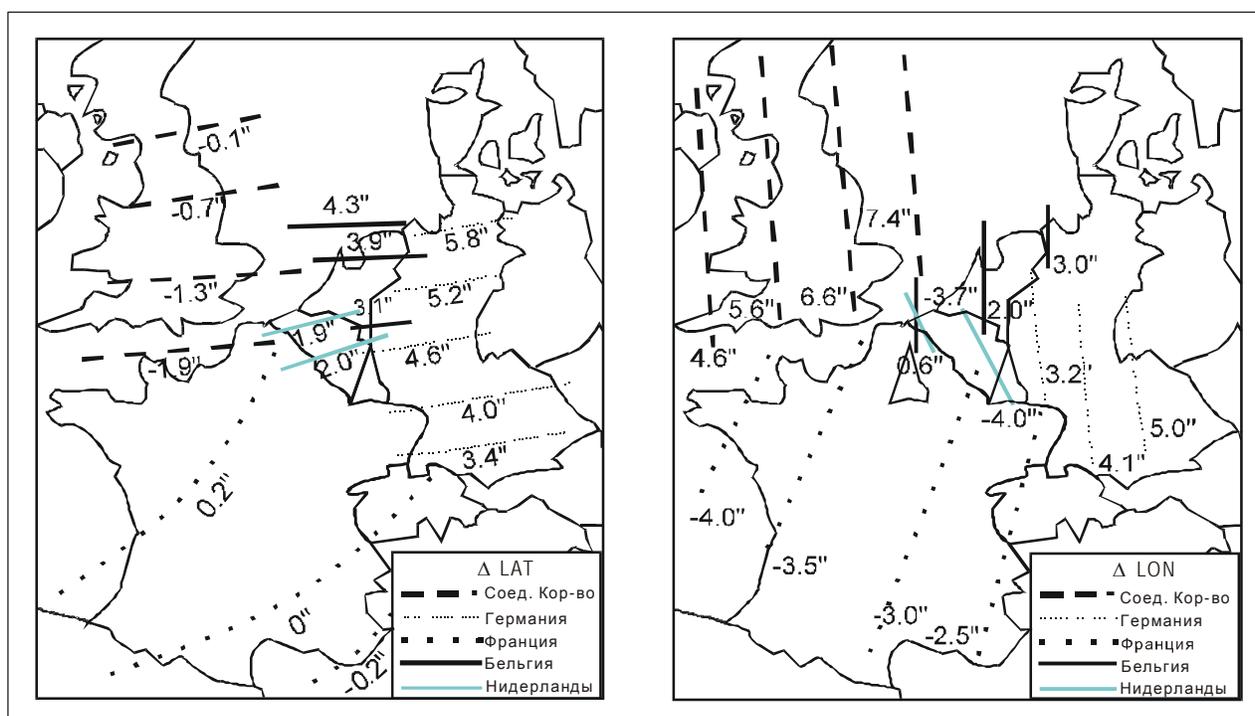


Рис. 1-2. Расхождение (") в значениях широты (ΔLAT) и долготы (ΔLON) между местными координатами и координатами WGS-72

Глава 2

ТОЧНОСТЬ, РАЗРЕШЕНИЕ И ЦЕЛОСТНОСТЬ АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ

2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1 Традиционные приемы аэронавигации основывались на возможности осуществлять полет в направлении или от средства навигационного наведения. Хотя координаты навигационных средств предоставлялись, эта информация в процессе навигации не использовалась. В настоящее время все более широкое применение находят системы зональной навигации (RNAV), в которых местоположение воздушного судна определяется с помощью данных от таких источников, как инерциальная навигационная система (INS), система Omega, всенаправленный ОБЧ-радиомаяк/дальномерное оборудование (VOR/DME), две или несколько единиц DME и глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS). На основе аэронавигационных данных системы RNAV выдают соответствующие указания автопилотам, что позволяет воздушным судам выполнять полет по запланированному маршруту на этапе вылета, на маршруте и при заходе на посадку, а также (после внедрения системы GNSS) на этапе посадки.

2.1.2 При выполнении таких полетов фактическая линия пути, по которой следует воздушное судно, зависит от координат, определяющих как линию пути, так и местоположение наземных навигационных средств. С началом использования маршрутов точной зональной навигации (RNP 1) и распространением системы зональной навигации на схемы полета в узловом диспетчерском районе (ТМА) требуется более высокая точность, при этом необходимо обеспечить, чтобы данные, определяющие планируемую линию пути, соответствовали по своим показателям точности, разрешающей способности и целостности требованиям RNP.

2.2 ТИП И КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ

2.2.1 Аэронавигационные точки могут быть подразделены на две основные группы, как указано в таблице 1-1:

а) точки зональной навигации/точки на маршруте и

б) точки на аэродроме/вертодроме.

2.2.2 Помимо этой основной классификации, аэронавигационные точки могут подразделяться по типу данных о местоположении. Определены три типа позиционных данных: съемочные точки, расчетные точки и объявленные точки (см. таблицы 2-1 – 2-5).

а) *Съемочная точка.* Съемочная точка представляет собой четко определенную физическую точку, заданную значениями широты и долготы, полученными по результатам съемки, проведенной в соответствии с инструктивными указаниями, изложенными в настоящем руководстве. К категории съемочных точек, как правило, относятся пункты связи, входные ворота, навигационные средства, аэронавигационные контрольные точки, препятствия и пороги ВПП.

б) *Расчетная точка.* Расчетная точка представляет собой точку в пространстве, которую нет необходимости задавать в явном виде значениями широты и долготы и которая была рассчитана математически по координатам известной съемочной точки. Примером расчетной точки может служить контрольная точка, чьи координаты были определены по радиалу/пеленгу и расстоянию от известной съемочной точки, такой как навигационное средство, либо по точке пересечения нескольких радиалов/пеленгов, обеспечиваемых несколькими навигационными средствами. Точки на маршруте, которые рассчитываются с привязкой к точке пересечения маршрутов или к точке на маршруте с координатами, определяемыми пересечением радиалов, также являются расчетными точками, хотя при этом сообщаются значения их широты и долготы.

в) *Объявленная точка.* Объявленная точка представляет собой заданную значениями широты и долготы точку в пространстве, которая не зависит от какой-либо известной съемочной точки и формально к ней не привязана. Объявленными

точками зачастую являются точки границ районов полетной информации (FIR), а также запретных зон, зон ограничения полетов и опасных зон, находящихся за пределами диспетчерского воздушного пространства.

2.3 ИСТОЧНИК НЕОБРАБОТАННЫХ АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ

В сферу ответственности технических служб соответствующего полномочного органа Договаривающегося государства входит определение перечня необработанных аэронавигационных данных для распространения их службой аэронавигационной информации (САИ). После получения указанных необработанных данных соответствующие технические службы должны проверить, зарегистрировать и отредактировать эти данные таким образом, чтобы их можно было передать следующему пользователю, которому они предназначены, в стандартном формате. Необработанные аэронавигационные данные, содержащие информацию о местоположении, могут быть получены из различных источников.

- a) *На маршруте.* Как правило, полученные с помощью съемок данные о местоположении навигационных средств и пунктов связи предоставляются владельцем/эксплуатантом (УВД) данного оборудования.
- b) *Схемы SID, STAR, захода на посадку по приборам.* Как правило, расчетные данные о местоположении определяются органом ОВД, ответственным за данную схему полета, по согласованию с техническим отделом, связанным с вопросами разработки этой схемы полета в рамках полномочного авиационного органа государства.
- c) *Аэродром/вертодром.* Как правило, полученные с помощью съемок данные о местоположении порогов, входных ворот, препятствий и навигационных средств, расположенных на аэродроме/вертодроме и т. д., предоставляются владельцем или эксплуатантом указанного аэродрома/вертодрома.
- d) *Деление воздушного пространства и ограничение полетов.* Как правило, объявленные данные о местоположении определяются полномочными органами гражданской авиации или военного ведомства, либо иными государственными органами.

2.4 ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ

2.4.1 Для того чтобы аэронавигационные данные могли быть пригодными, они должны быть точными, и в

этом контексте их можно подразделить на две четкие категории:

- a) расчетные аэронавигационные данные и
- b) справочные аэронавигационные данные.

2.4.2 Расчетные аэронавигационные данные включают такую информацию, как данные о местоположении, превышение, длина ВПП, объявленные дистанции, характеристики пеленга платформы и магнитное склонение. Справочные данные включают обозначения навигационных средств, частоту навигационных средств, названия точек пути, средства спасания и противопожарные средства, часы работы, номера телефонов и т. д.

2.4.3 Требование к точности справочных данных является абсолютным, то есть информация либо верна, либо неверна. В отличие от этого требуемая степень точности расчетных данных будет меняться в зависимости от применения указанных данных. В настоящем руководстве в основном рассматриваются расчетные данные о местоположении, однако многие из использованных здесь процедур могут быть применены в отношении других расчетных данных, а также, при необходимости, в отношении справочных данных. В таблицах 2-1 – 2-5 содержатся требования к точности аэронавигационных данных, предусмотренные в Приложении 11, а также в томах I и II Приложения 14. Более подробная информация, касающаяся требований к гарантиям качества и процедурам обработки аэронавигационных данных, содержится в главе 6.

Определение точности. Степень соответствия расчетного или измеренного значения истинному значению.

Примечание. Точность измерения местоположения, как правило, выражается расстоянием от заявленного местоположения, в пределах которого с определенной степенью вероятности находится истинное местоположение.

2.4.4 Требования к точности основываются на 95%-ном доверительном уровне (см. таблицу 2-6). Обычно принимается, что статистический разброс двумерных данных о местоположении описывается нормальным распределением по кругу. Вероятность P того, что некоторая точка действительно попадет в круг радиусом $c\sigma$ с центром в точке с ее объявленными координатами, где σ – среднее квадратичное одномерное отклонение, а c – числовой коэффициент, выражается следующей формулой:

$$P = 1 - \exp(-c^2/2).$$

2.4.5 Круговая вероятная ошибка (СЕР) равна радиусу круга, в пределы которого попадает 50% измеренных величин, то есть $1,1774\sigma$. Радиус круга, в пределы которого попадает 95% измеренных величин, равен $2,448\delta$, или $2,079 \times \text{СЕР}$. В таблице 2-6 приводится

соотношение величин σ , вероятных ошибок и вероятностей для одномерной, двумерной и трехмерной систем координат.

2.4.6 Типы RNP (см. таблицу 2-7) устанавливают параметры точности навигационных характеристик для всех сочетаний пользователей и систем навигации в пределах определенного воздушного пространства. Типы RNP могут применяться специалистами по планированию воздушного пространства для определения потенциальных возможностей использования воздушного пространства, а также в качестве вводных данных при определении ширины маршрутов и требований к эшелонированию воздушных судов, хотя RNP сами по себе не являются достаточной основой для установления стандарта эшелонирования.

2.5 ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Определение *разрешающей способности*. Число единиц или цифр, определяющее порядок используемого измеренного или рассчитанного значения.

2.5.1 Под разрешающей способностью данных о местоположении понимается наименьший интервал, который может быть обеспечен с помощью метода, используемого для указания местоположения. Необходимо следить за тем, чтобы степень разрешения не влияла на точность; разрешение всегда выражается округленными, а не усеченными величинами. Степень разрешения аэронавигационных данных при их публикации и нанесении на карту должна быть такой, как указано в таблицах 2-1 – 2-5.

Определение *прецизионности*. Наименьшая разница, которую можно уверенно различить в процессе измерения.

Примечание. Применительно к геодезической съемке прецизионность представляет собой уровень качества выполнения операции или степень совершенства приборов и методов, используемых при выполнении измерений.

2.5.2 Термины "прецизионность" и "разрешающая способность" при использовании их в широком смысле зачастую являются взаимозаменяемыми понятиями. В настоящем контексте прецизионность используется как мера возможностей данных полевой съемки, обеспечиваемых в рамках конкретного варианта этой системы. (Например, координата 54° 3' 15" выражена с разрешением в 1 с.) Никакой процесс, при котором данные обрабатываются после их первоначального измерения или определения, не может повысить степень прецизионности, с которой эти данные были измерены или определены, независимо от разрешающей способности, обеспечиваемой самой системой.

2.6 ТРЕБОВАНИЯ К ЦЕЛОСТНОСТИ

Определение *целостности (аэронавигационных данных)*.

Определенная гарантия того, что аэронавигационные данные и их значения не потеряны или не изменены с момента подготовки данных или санкционированного внесения поправки.

2.6.1 Общие положения

2.6.1.1 Целостность данных может рассматриваться как степень уверенности в том, что любой элемент данных, извлеченный из системы хранения информации, никоим образом не искажен и не изменен с момента первоначального ввода данных или последнего санкционированного внесения поправки. Целостность данных должна поддерживаться в течение всего процесса манипулирования с данными с момента съемки до их использования. Применительно к службе САИ целостность должна быть сохранена до получения данных следующим предполагаемым пользователем.

2.6.1.2 Целостность выражается степенью вероятности того, что элемент данных, извлеченный из системы хранения информации без признаков его искажения, не совпадает с той величиной, которую он должен представлять. Например, целостность, равная 1×10^{-8} , означает, что необнаруженное искажение можно ожидать не более чем в одном из 100 000 000 обработанных элементов данных. Потеря в целостности необязательно означает потерю в точности. Однако это означает невозможность доказательства точности данных без последующей их проверки, начиная с того этапа процесса обработки, где их целостность может быть подтверждена.

2.6.1.3 Требования к целостности данных не являются абсолютными. Риск, связанный с точкой, имеющей погрешности в координатах, зависит от того, для какой цели используются данные местоположения этой точки. Так, уровень целостности данных о точке порога, используемых при посадке, должен быть выше, чем у точки, используемой для аэронавигационного наведения на маршруте. Важно отметить, что более низкий уровень точности необязательно предполагает снижение требований к целостности.

2.6.2 Требования к целостности

2.6.2.1 Применение элементов данных составляет основу для определения требований к ее целостности. Поэтому требования к целостности аэронавигационных данных должны основываться на потенциальном риске, связанном с использованием искаженных данных, а также на конкретном использовании элемента данных. Соответственно должна применяться следующая классификация целостности данных:

- a) *Критические данные.* Большая вероятность того, что при использовании искаженных критических данных безопасное продолжение полета и посадка воздушного судна будут сопряжены со значительным риском и возможностью катастрофы.
- b) *Важные данные.* Малая вероятность того, что при использовании искаженных важных данных безопасное продолжение полета и посадка воздушного судна будут сопряжены со значительным риском и возможностью катастрофы.
- c) *Обычные данные.* Очень малая вероятность того, что при использовании искаженных важных данных безопасное продолжение полета и посадка воздушного судна будут сопряжены со значительным риском и возможностью катастрофы.

2.6.2.2 Для каждого типа указанных данных определены следующие требования к их целостности:

- a) *Критические данные:* 1×10^{-8} . Указанный уровень предписывается в отношении данных о местоположении порога ВПП, которые определяют точку посадки. Указанный уровень целостности был рассчитан на основе требований к целостности данных, используемых при автоматической посадке, и был определен таким образом, чтобы в течение всего процесса, где аэронавигационные

данные составляют лишь его часть, обеспечивался требуемый уровень целостности.

- b) *Важные данные:* 1×10^{-5} . Указанный уровень предписывается в отношении данных о местоположении точек, погрешности координат которых хотя и могут привести к тому, что воздушное судно окажется за пределами требуемых границ режимов полета, однако такое отклонение необязательно приведет к катастрофе. Примерами могут служить навигационные средства и препятствия на маршруте. Причина, по которой целостность данных о препятствиях может поддерживаться на относительно низком уровне, заключается в том, что хотя указанные данные должны быть точными при разработке схем полета, никакое последующее искажение этих данных не должно оказывать влияния на безопасность воздушного судна при условии соблюдения им требований, предъявляемых к данной схеме полета.

- c) *Обычные данные:* 1×10^{-3} . Указанный уровень предписывается в отношении данных, погрешность которых не влияет на навигационные характеристики. К таковым относятся точки на границах района FIR.

Примечание. Классификация аэронавигационных данных в отношении их целостности представлена в таблицах 2-1 – 2-5.

ТАБЛИЦЫ К ГЛАВЕ 2

Таблица 2-1. Требования к качеству аэронавигационных данных (широта и долгота)

<i>Широта и долгота</i>	<i>Точность/ тип данных</i>	<i>Разрешение публикуемых данных</i>	<i>Разрешение карты</i>	<i>Классификация целостности данных</i>
Точки границ района полетной информации	2 км (1 м. миля), объявленная	1 мин	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Точки границ районов P, R, D (вне границ СТА/СТЗ)	2 км (1 м. миля), объявленная	1 мин	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Точки границ районов P, R, D (внутри границ СТА/СТЗ)	100 м, расчетная	1 с	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-5} , важные
Точки границ СТА/СТЗ	100 м, расчетная	1 с	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-5} , важные
Маршрутные NAVAID и контрольные точки, пункт ожидания, точки STAR/SID	100 м, результаты съёмки/расчетная	1 с	1 с	1×10^{-5} , важные
Препятствия на маршруте	100 м, результаты съёмки	1 с	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Опорная точка аэродрома/вертодрома	30 м, результаты съёмки	1 с	1 с	1×10^{-3} , обычные
NAVAID, расположенные на аэродроме/вертодроме	3 м, результаты съёмки	1/10 с	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-5} , важные
Препятствия в зоне полетов по кругу и на аэродроме/вертодроме	3 м, результаты съёмки	1/10 с	1/10 с (АОС тип С)	1×10^{-5} , важные
Значительные препятствия в зоне захода на посадку и взлета	3 м, результаты съёмки	1/10 с	1/10 с (АОС тип С)	1×10^{-5} , важные
Контрольные точки/пункты конечного захода на посадку и другие важные контрольные точки/пункты, образующие схему захода на посадку по приборам	3 м, результаты съёмки/расчетная	1/10 с	1 с	1×10^{-5} , важные
Порог ВПП	1 м, результаты съёмки	1/100 с	1 с	1×10^{-8} , критические
Конец ВПП (точка выравнивания траектории полета)	1 м, результаты съёмки	1/100 с	–	1×10^{-8} , критические
Точки осевой линии ВПП	1 м, результаты съёмки	1/100 с	1/100 с	1×10^{-8} , критические
Точки осевой линии РД	0,5 м, результаты съёмки	1/100 с	1/100 с	1×10^{-5} , важные
Точки осевой линии РД на земле, точки РД для руления по воздуху и транзитных маршрутов	0,5 м, результаты съёмки/расчетная	1/100 с	1/100 с	1×10^{-5} , важные
Точки стоянки воздушных судов/вертолетов/ пункты проверки INS	0,5 м, результаты съёмки	1/100 с	1/100 с	1×10^{-3} , обычные
Геометрический центр TLOF или пороги FATO (вертодромы)	1 м, результаты съёмки	1/100 с	1 с	1×10^{-8} , критические

**Таблица 2-2. Требования к качеству аэронавигационных данных
(превышение/абсолютная высота/относительная высота)**

<i>Пре­вы­ше­ние/аб­со­лют­ная вы­со­та/ от­но­си­тель­ная вы­со­та</i>	<i>Точ­ность/ тип дан­ных</i>	<i>Раз­ре­ше­ние пу­бли­куе­мых дан­ных</i>	<i>Раз­ре­ше­ние кар­ты</i>	<i>Клас­си­фи­ка­ция це­ло­ст­но­сти дан­ных</i>
Пре­вы­ше­ние аэро­дро­ма/вер­то­дро­ма	0,5 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	1 м или 1 фут	1 м или 1 фут	1×10^{-5} , важ­ные
Вол­на геои­да WGS-84 в мес­те пре­вы­ше­ния аэро­дро­ма/вер­то­дро­ма	0,5 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	1 м или 1 фут	1 м или 1 фут	1×10^{-5} , важ­ные
По­рог ВПП или FATO (не­точ­ные за­хо­ды на по­сад­ку)	0,5 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	1 м или 1 фут	1 м или 1 фут	1×10^{-5} , важ­ные
Вол­на геои­да WGS-84 на по­ро­ге ВПП или FATO, в гео­мет­ри­че­ском цен­тре TLOF (не­точ­ные за­хо­ды на по­сад­ку)	0,5 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	1 м или 1 фут	1 м или 1 фут	1×10^{-5} , важ­ные
По­рог ВПП или FATO (точ­ные за­хо­ды на по­сад­ку)	0,25 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	0,5 м или 1 фут	0,5 м или 1 фут	1×10^{-8} , крити­че­ские
Вол­на геои­да WGS-84 на по­ро­ге ВПП или FATO, в гео­мет­ри­че­ском цен­тре TLOF (точ­ные за­хо­ды на по­сад­ку)	0,25 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	0,5 м или 1 фут	0,5 м или 1 фут	1×10^{-8} , крити­че­ские
Аб­со­лют­ная/от­но­си­тель­ная вы­со­та про­ле­та пре­пят­ствий (OCA/H)	Как ука­за­но в до­ку­мен­те PANS-OPS (Doc 8168)	–	Как ука­за­но в до­ку­мен­те PANS-OPS (Doc 8168)	1×10^{-5} , важ­ные
От­но­си­тель­ная вы­со­та пе­ре­се­че­ния по­ро­га ВПП (точ­ные за­хо­ды на по­сад­ку)	0,5 м или 1 фут, рас­че­т­ная	0,5 м или 1 фут	0,5 м или 1 фут	1×10^{-8} , крити­че­ские
Пре­пят­ствия в зо­нах за­хо­да на по­сад­ку и вз­ле­та	1 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	1 м или 1 фут	1 м или 1 фут	1×10^{-5} , важ­ные
Пре­пят­ствия в зо­нах по­ле­тов по кру­гу и на аэро­дро­ме/вер­то­дро­ме	1 м или 1 фут, ре­зуль­та­ты съём­ки	1 м или 1 фут	1 м или 1 фут	1×10^{-5} , важ­ные
Пре­вы­ше­ние пре­пят­ствий на мар­шру­те	3 м (10 фут), ре­зуль­та­ты съём­ки	3 м (10 фут)	3 м (10 фут)	1×10^{-3} , об­ыч­ные
Даль­но­мер­ное обо­ру­до­ва­ние/точ­ное (DME/P)	3 м (10 фут), ре­зуль­та­ты съём­ки	3 м (10 фут)	–	1×10^{-5} , важ­ные
Пре­вы­ше­ние даль­но­мер­но­го обо­ру­до­ва­ния (DME)	3 м (100 фут), ре­зуль­та­ты съём­ки	30 м (100 фут)	30 м (100 фут)	1×10^{-5} , важ­ные
Аб­со­лют­ная вы­со­та схе­мы за­хо­да на по­сад­ку по при­бо­рам	Как ука­за­но в до­ку­мен­те PANS-OPS (Doc 8168)	–	Как ука­за­но в до­ку­мен­те PANS-OPS (Doc 8168)	1×10^{-5} , важ­ные
Ми­ни­маль­ные аб­со­лют­ные вы­со­ты	50 м или 100 фут, рас­че­т­ная	50 м или 100 фут	50 м или 100 фут	1×10^{-3} , об­ыч­ные

Таблица 2-3. Требования к качеству аэронавигационных данных (склонение и магнитное склонение)

<i>Склонение/магнитное склонение</i>	<i>Точность/ тип данных</i>	<i>Разрешение публикуемых данных</i>	<i>Разрешение карты</i>	<i>Классификация целостности данных</i>
Склонение ОБЧ-NAVAID станции, используемой для технической настройки средства	1°, результаты съемки	1°	–	1 × 10 ⁻⁵ , важные
Магнитное склонение средства NDB NAVAID	1°, результаты съемки	1°	–	1 × 10 ⁻³ , обычные
Магнитное склонение аэродрома/вертодрома	1°, результаты съемки	1°	1°	1 × 10 ⁻⁵ , важные
Магнитное склонение антенны курсового радиомаяка ILS	1°, результаты съемки	1°	–	1 × 10 ⁻⁵ , важные
Магнитное склонение азимутальной антенны MLS	1°, результаты съемки	1°	–	1 × 10 ⁻⁵ , важные

Таблица 2-4. Требования к качеству аэронавигационных данных (пеленг)

<i>Пеленг</i>	<i>Точность/ тип данных</i>	<i>Разрешение публикуемых данных</i>	<i>Разрешение карты</i>	<i>Классификация целостности данных</i>
Участки воздушных трасс	1/10°, расчетная	1°	1°	1 × 10 ⁻³ , обычные
Контрольные точки на маршруте и в районе аэродрома	1/10°, расчетная	1/10°	1/10°	1 × 10 ⁻³ , обычные
Участки маршрутов прибытия/вылета в районе аэродрома	1/10°, расчетная	1°	1°	1 × 10 ⁻³ , обычные
Контрольные точки схемы захода на посадку по приборам	1/100°, расчетная	1/100°	1/10°	1 × 10 ⁻⁵ , важные
Выставление курсового радиомаяка ILS	1/100°, результаты съемки	1/100°, истинный	1°	1 × 10 ⁻⁵ , важные
Выставление нулевого азимута MLS	1/100°, результаты съемки	1/100°, истинный	1°	1 × 10 ⁻⁵ , важные
Пеленг ВПП и FATO	1/100°, результаты съемки	1/100°, истинный	1°	1 × 10 ⁻³ , обычные

**Таблица 2-5. Требования к качеству аэронавигационных данных
(длина/расстояние/размер)**

<i>Длина/расстояние/размер</i>	<i>Точность/ тип данных</i>	<i>Разрешение публикуемых данных</i>	<i>Разрешение карты</i>	<i>Классификация целостности данных</i>
Длина участков воздушных трасс	1/10 км или 1/10 м. мили, расчетная	1/10 км или 1/10 м. мили	1 км или 1 м. миля	1×10^{-3} , обычные
Расстояние между контрольными точками на маршруте и в районе аэродрома	1/10 км или 1/10 м. мили, расчетная	1/10 км или 1/10 м. мили	2/10 км или 1/10 м. мили	1×10^{-3} , обычные
Длина участков маршрутов прибытия/вылета в районе аэродрома	1/100 км или 1/100 м. мили, расчетная	1/100 км или 1/100 м. мили	1 км или 1 м. миля	1×10^{-5} , важные
Расстояние между контрольными точками схемы захода на посадку по приборам и в районе аэродрома	1/100 км или 1/100 м. мили, расчетная	1/100 км или 1/100 м. мили	2/10 км или 1/10 м. мили	1×10^{-5} , важные
Длина ВПП или FATO, размеры TLOF	1 м или 1 фут, результаты съемки	1 м или 1 фут	1 м (карта AD) 0,5 м (карта АОС)	1×10^{-8} , критические
Длина концевой полосы торможения	1 м или 1 фут, результаты съемки	1 м или 1 фут	0,5 м (карта АОС)	1×10^{-8} , критические
Располагаемая посадочная дистанция	1 м или 1 фут, результаты съемки	1 м или 1 фут	1 м (карта AD) 0,5 м (карта АОС)	1×10^{-8} , критические
Расстояние между антенной курсового радиомаяка ILS и концом ВПП и FATO	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Расстояние по осевой линии между антенной глиссадного радиомаяка ILS и порогом ВПП	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Расстояние между маркерами ILS и порогом ВПП	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	2/10 км (1/10 м. мили)	1×10^{-5} , важные
Расстояние по осевой линии между антенной DME ILS и порогом ВПП	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-5} , важные
Расстояние между азимутальной антенной MLS и концом ВПП и FATO	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Расстояние по осевой линии между угломестной антенной MLS и порогом ВПП	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-3} , обычные
Расстояние по осевой линии между антенной DME/P MLS и порогом ВПП	3 м или 10 фут, расчетная	3 м (10 фут)	В соответствии с тем, как нанесены	1×10^{-5} , важные

Таблица 2-6. Точность и вероятность

<i>Точность</i>	<i>Вероятность одномерная</i>	<i>Вероятность двумерная</i>	<i>Вероятность трехмерная</i>
3 σ	99,7%	98,9%	97,1%
2 σ	95,0%	86,0%	78,8%
1 σ	68,0%	39,3%	19,9%
Вероятная ошибка	50,0% (0,67 σ)	50,0% (1,18 σ)	50,0% (1,54 σ)

Таблица 2-7. Типы RNP

<i>Точность</i>	<i>RNP 1</i>	<i>RNP 4</i>	<i>RNP 12,6</i>	<i>RNP 20</i>
95%-ная точность определения местоположения в заданном воздушном пространстве	$\pm 1,85$ км ($\pm 1,0$ м. мили)	$\pm 7,4$ км ($\pm 4,0$ м. мили)	$\pm 23,3$ км ($\pm 12,6$ м. мили)	± 37 км ($\pm 20,0$ м. мили)

Глава 3

ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ WGS-84

3.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ WGS-84

3.1.1 Всемирная геодезическая система – система координат 1984 (WGS-84) представляет собой Обычную земную систему (CTS), реализованную путем изменения доплеровской опорной системы (NSWC 9Z-2) Навигационной спутниковой системы ВМС (NNSS) (или системы TRANSIT) по параметрам начала координат и масштаба, а также путем ее вращения таким образом, чтобы ее исходный меридиан совпал с нулевым меридианом, определенным Международным бюро времени (ВН).

3.1.2 Начало и оси системы координат WGS-84 определяются следующим образом.

- a) *Начало координат* – центр массы Земли.
- b) *Ось Z* – направление Обычного земного полюса (СТР) для определения смещения полюса, как это определено ВН на основе координат, принятых для пунктов ВН.
- c) *Ось X* – пересечение плоскости исходного меридиана WGS-84 и плоскости экватора СТР, при этом в качестве исходного меридиана берется нулевой меридиан, определенный ВН на основе координат, принятых для пунктов ВН.
- d) *Ось Y* – завершает правостороннюю ортогональную систему координат с началом в центре Земли и привязанную к Земле (ECEF); она расположена в плоскости экватора СТР под углом 90° к востоку от оси X.

Примечание. На рис. 3-1 изображены начало и оси системы координат WGS-84, которые также служат геометрическим центром и осями X, Y и Z эллипсоида WGS-84.

3.1.3 WGS-84 представляет собой привязанную к Земле глобальную опорную систему, включая модель

Земли, и определяется набором основных и вспомогательных параметров. Приводимые в таблице 3-1 основные параметры определяют форму земного эллипсоида, его угловую скорость и массу Земли, которая включена в референц-эллипсоид.

3.1.4 Вспомогательные параметры детально определяют модель поля земного тяготения (EGFM), степень и порядок которой равны $n = m = 180$. Модель EGFM WGS-84 со степенью и порядком $n = m = 180$ следует применять при расчетах высот над геоидом в системе WGS-84, компонентов нарушения тяготения WGS-84 и средних гравитационных аномалий $1 \times 1^\circ$ WGS-84 путем разложения на шаровые гармонические функции. Разложения такой степени и порядка ($n = m = 180$) необходимы для точного моделирования изменений гравитационного поля Земли на ее поверхности или вблизи ее. Модель EGFM WGS-84 со степенью и порядком $n = m = 41$ более приемлема для расчета орбит спутников (например, навигационных спутников GPS), а также для целей прогнозирования.

3.2 РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ WGS-84

3.2.1 Начало координат и ориентация осей координат в системе WGS-84 определяются координатами X, Y, Z пяти контрольных станций системы GPS (см. рис. 3-2).

3.2.2 В историческом плане координаты пунктов слежения в системе GPS были определены с помощью доплеровских измерений в спутниковой навигационной системе TRANSIT. Для получения точных координат этих станций была произведена обработка данных за длительный период наблюдений. Использование результатов доплеровских измерений системы TRANSIT для системы WGS-84 является хорошим примером практической реализации системы отсчета. Однако следует отметить возможность проникновения погрешностей в методы, применяемые при реализации геодезических опорных систем.

3.3 СТЕПЕНЬ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ WGS-84

3.3.1 Степень точности, одна сигма (1σ), координат WGS-84, установленных непосредственно в рамках системы WGS-84 с помощью спутниковой системы определения местоположения точек GPS, соответствующих точных эфемерид и полученных в стационарном режиме данных наземного компонента слежения за спутниками, выраженная через геодезическую широту ϕ , геодезическую долготу λ и геодезическую высоту h , равна:

- а) в горизонтальной плоскости: $\sigma\phi = \sigma\lambda = \pm 1$ м (1σ); и
- б) в вертикальной плоскости: $\sigma h = \pm 1 \dots 2$ м (1σ).

3.3.2 Указанные погрешности включают не только погрешности данных наблюдения, но также и погрешности, связанные с совмещением начала координат системы WGS-84 с центром массы Земли и с определением правильного масштаба. Эти абсолютные погрешности не следует путать с точностью дифференциального метода определения местоположения с помощью GPS, которая составляет несколько сантиметров. Во время создания системы WGS-84 координаты наземного сегмента контроля WGS-84 можно было определить только с помощью спутниковых доплеровских

измерений с точностью, которую обеспечивают такие измерения.

3.3.3 Определяемые без использования спутников координаты WGS-84 для пункта местной геодезической сети будут менее точными, чем координаты WGS-84 для станции GPS. Это объясняется искажениями и погрешностями съемки, свойственными местным сетям геодезических пунктов, то есть отсутствием достаточного числа надлежащим образом размещенных станций GPS, расположенных с учетом местных сетей геодезических пунктов, для определения параметров преобразования, а также неопределенностью, вносимой при преобразовании геодезических основ.

3.3.4 Точность определения координат WGS-84, равная ± 1 м, является достаточной почти для всех целей аэронавигации. Данный вопрос может потребовать дополнительного рассмотрения, если, например, в будущем будут использоваться спутниковые системы посадки вплоть до категории III. При точных заходах на посадку по категории III точность в вертикальной плоскости должна составлять 0,6 м, а в горизонтальной 6 м, то есть система WGS-84 со свойственным ей уровнем точности не может обеспечить таких параметров, но это возможно при использовании, например, Международной земной опорной системы (ITRF).

Таблица 3-1. Параметры WGS-84

Параметры	Обозначение	WGS-84
Большая полуось	a	6 378 137 м
Угловая скорость	ω	$7,292115 \times 10^{-5}$ рад/с ⁻¹
Геоцентрическая гравитационная постоянная (с учетом массы атмосферы Земли)	GM	$398\,600,5$ км ³ /с ⁻²
Нормализованный коэффициент второй зональной гармоники гравитационного потенциала	$\bar{C}_{2,0}$	$-484,16685 \times 10^{-6}$
Сплюснутость (определяется на основе $\bar{C}_{2,0}$)	f	1/298,257223563

РИСУНКИ К ГЛАВЕ 3

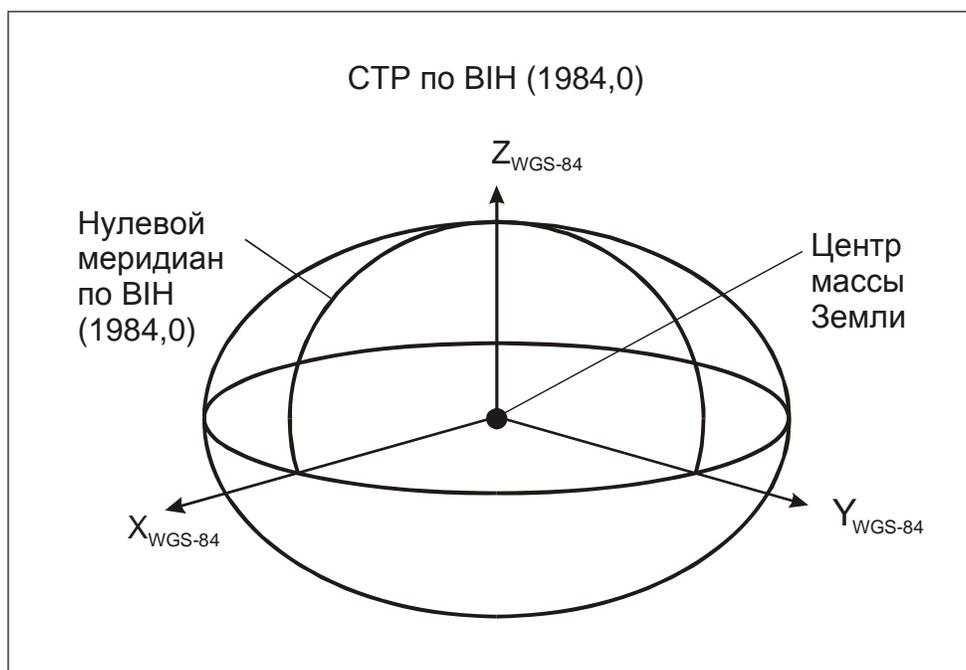


Рис. 3-1. Определение системы координат WGS-84

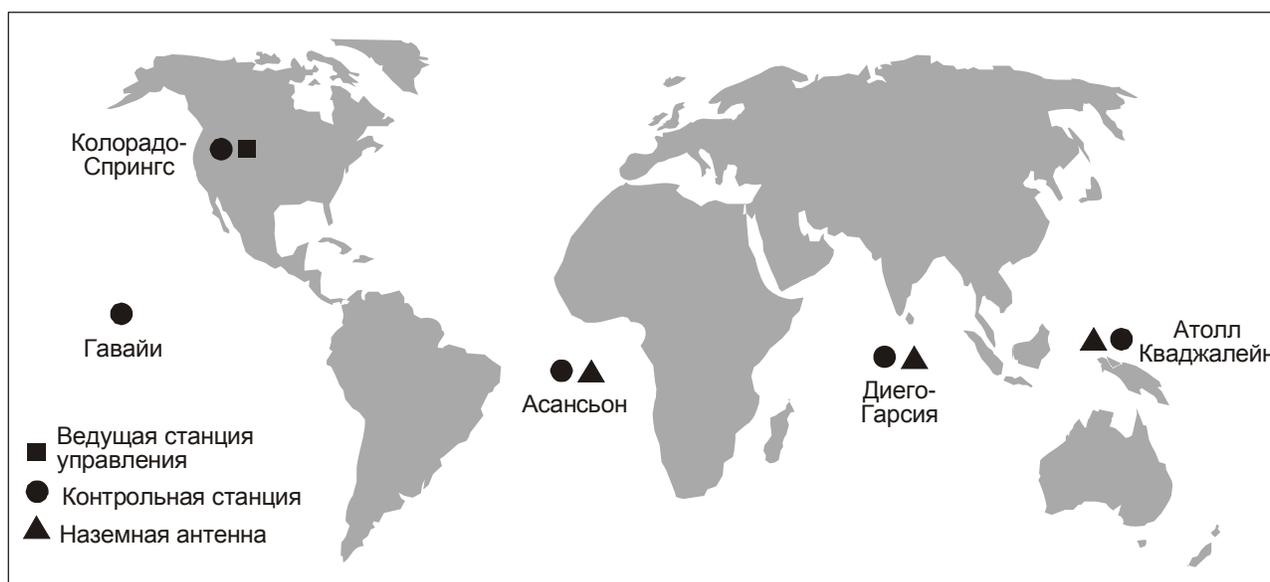


Рис. 3-2. Реализация начала координат и ориентации осей координат WGS-84

Глава 4

ИНСТРУКЦИИ ПО РАСЧЕТУ КООРДИНАТ WGS-84

4.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель данной главы заключается в обеспечении инструктивных указаний и рекомендаций для пользователей при расчетах координат WGS-84. Пользователю даются инструкции в отношении мер, которые необходимо осуществить на каждом этапе для получения координат WGS-84 в зависимости от наличия и качества аэронавигационных данных. Первый вопрос, на который необходимо ответить, состоит в следующем:

Имеются ли координаты требуемой точности?

Да Если такие координаты имеются и основаны на местной опорной системе, то необходимо обратиться к п. 4.2 (сценарий 1). Если имеющиеся координаты получены на основе карт путем цифрового преобразования, то необходимо обратиться к п. 4.4 (сценарий 3).

При рассмотрении вопроса об использовании существующих данных, прежде чем преобразовать координаты навигационных средств в систему координат WGS-84 с помощью математических методов, важно проверить их на предмет их точности и целостности. Необходимо иметь в виду, что в аэронавигации координаты могут иметь критически важное значение для безопасности и что высокие требования к их целостности должны выполняться. В целях соблюдения требований к качеству координат топограф должен обеспечить, чтобы:

- a) маркировки точек не были перепутаны или неправильно идентифицированы;
- b) координаты могли быть выверены с помощью повторных измерений;
- c) степень точности была предсказуемой и достаточной.

Нет Если координаты требуемой точности отсутствуют или, например, требования к их целостности не могут быть выполнены, необходимо провести

повторную съемку с соответствующим объемом полевых работ. Различные методы проведения повторной съемки для получения точных координат WGS-84 разъясняются в п. 4.3 (сценарий 2).

4.2 СЦЕНАРИЙ 1: ИМЕЮТСЯ КООРДИНАТЫ, ЗАДАННЫЕ В МЕСТНОЙ ОПОРНОЙ СИСТЕМЕ

Для преобразования координат, заданных в национальной системе координат, в координаты WGS-84 существуют два подхода. Они зависят от знания параметров преобразования, типа системы координат и могут быть использованы как по отдельности, так и в сочетании.

4.2.1 Проверка типа системы координат

4.2.1.1 Перед тем как производить преобразование геодезических основ, необходимо проверить, известны ли параметры преобразования из местной опорной системы в систему WGS-84, и ответить на следующий вопрос:

Известны ли все параметры преобразования?

Да Для получения координат в системе WGS-84 произведите преобразование геодезической основы математическим методом с использованием формул преобразования геодезических основ (см. п. 4.2.2). Для этой процедуры существует несколько компьютерных программ, например программа DATUM.

Примечание. Программа DATUM выполняет преобразование координат из целого ряда существующих геодезических опорных систем в систему координат WGS-84.

Нет Используйте метод съемки с помощью системы GPS для определения местоположения известных контрольных пунктов (охватывающих рассматриваемый район) с целью получения координат WGS-84. Поскольку координаты этих контрольных пунктов известны в местной опорной системе и в

системе WGS-84, то одним и тем же пунктам соответствуют два набора координат. Указанные наборы координат могут быть затем использованы для определения параметров геодезической основы для формулы Гельмерта. Для получения дополнительных координат WGS-84, требуемых для определения всех семи параметров преобразования Гельмерта (в формуле обратного преобразования Гельмерта), необходимо произвести с помощью GPS съемку по крайней мере трех известных контрольных пунктов. Однако на практике для получения наилучших расчетных значений указанных параметров по методу наименьших квадратов специалисты обычно стремятся иметь как можно большее число общих точек.

Примечание. Информация о съемке с помощью GPS приводится в добавлении А. Подробное описание формулы Гельмерта приводится в добавлении D.

4.2.1.2 Нижеследующий пример основан на допущении, что необходимо определить только три компоненты сдвига начала координат при переходе от местной опорной системы к системе WGS-84 и поэтому с помощью GPS была произведена съемка только одного контрольного пункта. Формула обратного преобразования Гельмерта для определения трех параметров сдвига начала координат имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Местная}$$

Сдвиг
начала
координат

Допущение: отсутствие изменений в ориентации ($\epsilon_X = \epsilon_Y = \epsilon_Z = 0$) и масштабе ($\mu = 1$) между местной опорной системой и системой WGS-84.

4.2.1.3 После определения всех необходимых параметров преобразования следует руководствоваться разъяснениями, приведенными в начале п. 4.2.1.1. Метод соотнесения результатов произведенной с помощью GPS местной (то есть относительной) и достаточно точной съемки аэродрома с системой координат WGS-84 путем простого замера разницы в координатах между одной точкой аэродрома и известным пунктом WGS-84 с геодезическими знаками называется прямой геодезической привязкой. С помощью этой процедуры можно непосредственно преобразовать все координаты данного аэропорта в систему координат WGS-84. Однако проблема заключается в том, что во всем мире количество геодезических пунктов, чьи точные координаты WGS-84 известны, весьма незначительно. Поэтому для этой цели рекомендуется использовать ITRF-станции, если таковые имеются. При отсутствии вблизи аэродрома или навигационного средства ITRF-станции съемка, проводимая с целью геодезической привязки, может оказаться очень трудоем-

кой. В этом случае съемка должна охватывать район большой протяженности, что может быть связано со значительными расходами.

4.2.2 Преобразование горизонтальной геодезической основы

4.2.2.1 Существуют три различных метода преобразования координат из местной геодезической основы в систему WGS-84. Для этого используются:

- формула Гельмерта* для преобразования в прямоугольную систему координат X, Y, Z с использованием трех, четырех или семи параметров преобразования в зависимости от наличия и/или надежности параметров преобразования. Формула Гельмерта может также применяться для пространственных эллипсоидальных координат ϕ , λ , h путем преобразования эллипсоидальных координат в прямоугольные и наоборот;
- стандартная формула Молоденского* для преобразования в криволинейную систему координат ϕ , λ , h ;
- уравнения множественной регрессии* для учета нелинейных искажений в местной геодезической основе. (Рекомендуются только для больших районов).

Примечание. Подробное описание указанных формул преобразования геодезических основ изложено в добавлении D, а перечень референц-эллипсоидов и параметров приводится в таблице В-1.

4.2.2.2 Соображения относительно точности

4.2.2.2.1 Из-за распространения погрешности преобразование геодезической основы не может повысить точности результатов съемки. В большинстве случаев степень точности преобразованных координат в абсолютном понимании ниже степени точности исходных координат. Пользователю необходимо проверить, в частности, удовлетворяет ли результирующая точность координат требуемому уровню. Более того, проведение такого контроля качества может представлять трудности.

4.2.2.2.2 Среди нескольких известных причин потери точности две заключаются в следующем:

- во многих случаях геодезическая основа или параметры преобразования определены недостаточно точно, при этом расхождения в параметрах геодезической основы, опубликованных в различных справочных источниках, могут составлять до 50 м. Кроме того, точность исходных координат навигационного средства может быть недостаточной, и

во многих случаях степень точности параметров геодезической основы не установлена;

- б) в национальной геодезической сети, охватывающей рассматриваемый район, могут иметься незначительные искажения.

4.2.2.3 Ограничения, связанные с преобразованием

4.2.2.3.1 Следует отметить, что случайные и систематические погрешности в результатах съемки местного значения непосредственно преобразуются в погрешности WGS-84. Из-за различий в геометрии геодезических сетей и распространения погрешностей в этих сетях параметры местной геодезической основы в какой-либо стране, на практике, не являются постоянными величинами и меняются в зависимости от местоположения точки в геодезической сети.

4.2.2.3.2 Отношение сигнала к шуму для параметров геодезической основы во многих случаях близко к единице, то есть уровень шума очень высок по отношению к величине самого параметра геодезической основы. Например, публикуемые значения углов ориентации геодезической основы обычно выражаются такими величинами, как, например, $0,5 \pm 0,3''$.

4.2.2.3.3 Прогнозируемая погрешность (или неопределенность) зачастую превышает саму величину. На рис. 4-1 в количественном выражении показано, каким образом погрешности в процессе преобразования переходят в погрешности преобразованных координат.

4.2.2.3.4 Источниками погрешностей при преобразовании геодезической основы являются погрешности в параметрах сдвига, в параметрах ориентации и в масштабном множителе. Погрешность в масштабном множителе переходит в вышеуказанные данные за счет того, что она рассматривается как погрешность в ориентации, выраженная в радианах, и умножается на значение координаты, подлежащей преобразованию. Даже при точной съемке, точность которой составляет, например, 0,1 м, после применения параметров преобразования степень точности в системе WGS-84 может оказаться равной лишь 1 м. В этих случаях необходимо учитывать разницу между абсолютной и относительной точностью данных о местоположении точки.

4.3 СЦЕНАРИЙ 2: КООРДИНАТЫ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ОТСУТСТВУЮТ

4.3.1 Методы новой полевой съемки

4.3.1.1 В тех случаях, когда отсутствуют координаты требуемой точности, необходимо провести новую полевую

съемку с помощью одного или нескольких из следующих методов:

- а) обычная съемка;
- б) съемка с помощью GPS; или
- в) аэрофотограмметрическая съемка.

4.3.2 Наиболее эффективный(е) метод(ы) новой полевой съемки

4.3.2.1 При решении вопроса о том, какой (или какие) из вышеуказанных методов является(ются) наиболее эффективным(и) для проведения новой съемки, можно руководствоваться следующими соображениями.

- а) Для съемки ограниченных и относительно небольших районов следует использовать очень экономичным способом систему GPS.
- б) В тех случаях, когда подлежащий съемке район имеет значительные размеры, следует использовать аэрофотограмметрический метод.
- в) В тех случаях, когда в подлежащем съемке районе имеется много препятствий, могущих привести к потере или многопутевому распространению сигналов GPS, следует использовать обычную съемку.

Примечание. Полномасштабная повторная съемка местоположения точки с использованием дифференциального метода съемки с помощью GPS (относительно местоположения станции с известными координатами WGS-84), несомненно, является наиболее точным методом определения точных координат WGS-84.

4.3.3 Определение координат с помощью обычной наземной съемки

4.3.3.1 На рис. 4-2 показано, каким образом можно получить координаты WGS-84 с помощью обычной наземной съемки.

4.3.3.2 Некоторые обычные геодезические приборы современного типа (нивелир, теодолит, дальномер, полностью оборудованный геодезический пункт) могут производить полевые расчеты в интерактивном режиме. После пересылки полученных данных через интерфейс в офисный компьютер можно произвести их окончательную последующую обработку. Прежде чем вводить полученные координаты в базу данных съемки, необходимо провести проверку их качества и целостности. Полученные данные и результаты можно также различными способами представить в графическом виде.

Примечание. Дополнительная информация, касающаяся обычной съемки, приводится в добавлении E.

4.3.4 Определение координат путем съемки с использованием GPS

4.3.4.1 Большую часть полевых съемок, необходимых для определения местоположения навигационных средств, радиолокаторов, ВПП и т. д., лучше всего производить с использованием дифференциального метода съемки с помощью GPS. Этот метод позволяет круглосуточно производить измерения при любых погодных условиях, прост в использовании, обладает быстродействием, экономичностью и точностью и, что наиболее важно, прямой совместимостью с геодезической основой WGS-84.

4.3.4.2 Приемники GPS сохраняют полученные полевые данные. По окончании съемки указанные данные необходимо ввести в компьютер, где они подвергаются последующей обработке с использованием пакетов программного обеспечения, предоставляемых изготовителями оборудования GPS и/или университетами. Процесс обработки может осуществляться с использованием либо отдельной основной сети, либо многосеансовой – многостанционной сети. Как и в предыдущем случае, прежде чем вводить полученные координаты в базу данных съемки, необходимо провести проверку их качества и целостности. Полученные данные и результаты можно также различными способами визуализировать.

Примечание. Для выбора режима съемки с помощью GPS (статического, ускоренного статического, кинематического и т. д.), в значительной мере определяющего степень точности, следует обратиться к добавлению А и таблице А-2.

4.3.5 Определение координат методом аэрофотограмметрии

4.3.5.1 Определение координат WGS-84 с использованием метода аэрофотограмметрии показано на рис. 4-3. Параметры аэрофотозалета необходимо определить как функцию ожидаемой точности координат наземных станций. В случае отсутствия координат WGS-84 на наземных станциях их следует определить методами дифференциальной съемки с помощью GPS. Таким образом, важным требованием для привязки вновь рассчитанных координат к национальной геодезической основе является наличие сети наземных контрольных точек, чьи координаты и относительные высоты заранее известны. Точки, координаты которых подлежат определению, должны быть маркированы таким способом, чтобы их можно было однозначно опознать на аэрофотоснимках.

4.3.5.2 При необходимости следует получить разрешение на выпуск данных аэрофотосъемки. Затем эти данные проявляют и с помощью находящегося в соответствующем учреждении фотограмметрического прибора строят стереомодели. После ввода координат контрольной

станции и полученных с помощью GPS координат местоположения аэрофотокамеры, при их наличии, указанные данные обрабатываются путем фотограмметрического уравнивания блоков триангуляции.

4.3.5.3 Как и в предыдущем случае, прежде чем ввести полученные координаты в базу данных съемки, необходимо провести проверку их качества и целостности. Полученные данные и результаты можно затем различными способами представить в графическом виде.

Примечание. В добавлении Е приводится дополнительная информация, касающаяся аэрофотограмметрии и сведения к минимуму числа наземных станций контроля.

4.4 СЦЕНАРИЙ 3: ИМЕЮТСЯ КООРДИНАТЫ В ЦИФРОВОЙ ФОРМЕ, РАССЧИТАННЫЕ НА ОСНОВЕ КАРТ

Примечание. Настоящий раздел поможет пользователю преобразовывать координаты в систему WGS-84 в тех случаях, когда в его распоряжении имеются координаты, полученные на основе карт, представленных в цифровой форме.

4.4.1 Ограничения

4.4.1.1 Хотя цифровые данные не содержат информации о масштабе, степень точности этих данных, несомненно, ограничена соответствующей точностью аналоговой карты, на основании которой они были получены, а также точностью использованного метода цифрового преобразования аналоговых данных. Можно отпечатать новую аналоговую карту с более крупным, чем у карты-оригинала масштабом, однако при этом степень точности по сравнению с тем уровнем, который обычно обеспечивается данным укрупненным масштабом, не увеличится. Проблема усугубляется частым пересмотром и обновлением базы данных за счет результатов новых полевых съемок. Более того, процесс преобразования в цифровую форму приводит к спрямлению и приданию квадратной формы обычным объектам, в результате чего даже после процесса увеличения явно получаются "хорошо вычерченные" карты.

4.4.1.2 Однако наиболее серьезным недостатком карт, представленных в цифровой форме, является сам характер аналоговой базы данных. Как правило, нанесенные на карту точные координаты задаются в виде северного и восточного указаний по национальной координатной сетке, которые получены путем отображения геодезических (эллипсоидальных) координат на картографической проекции. Кроме того, следует учитывать более существенные погрешности в масштабе и ориентации, присущие всем картографическим проекциям. Хотя указанные погрешности можно уменьшить за счет разум-

ного использования равноугольной проекции (например, поперечной проекции Меркатора), тем не менее они остаются достаточно значительными, что делает процесс определения координат по картам ненадежным методом. Например, если координаты двух точек определить по сетке координат карты и по этой сетке рассчитать расстояние между ними, то полученное расстояние будет меньше, чем измеренное на земле на величину до 30 см на километр. Такая погрешность представляет собой значительную величину и может иметь серьезные последствия.

4.4.1.3 Поэтому при преобразовании в цифровую форму координат, определенных по карте, следует учитывать следующие моменты:

- a) Необходимо проверить, с использованием какого метода была составлена карта (на основе аналоговых данных/путем преобразования в цифровую форму данных других карт, на основе цифровых данных и т. д.).
- b) Для преобразования северных и восточных указаний по координатной сетке в географические координаты необходимо знать точные формулы для используемой картографической проекции.
- c) При преобразовании необходимо знать исходную геодезическую основу проектируемых координат, а также новую основу.
- d) Преобразование координат геодезической основы можно осуществлять только после перевода координат, заданных в картографической проекции, в геодезические координаты.
- e) Чтобы убедиться в том, что точность полученных в результате цифровых координат соответствует предполагаемым требованиям, необходимо провести соответствующую проверку и получить подтверждение.

4.4.1.4 WGS-84 представляет собой определение центра массы Земли, принятое в 1984 г., и все карты, составленные до этой даты и использующие различные геодезические системы отсчета, не будут в точности соответствовать новым картам, основанным на WGS-84. Кроме того, следует иметь в виду, что на картах никогда не указываются высоты над эллипсоидом. Например, на различных картах высоты могут отсчитываться:

- a) от различных нулевых точек (определяемых с помощью приливомеров); или
- b) в рамках различных систем отсчета высот. (Существуют не только ортометрические высоты, но также так называемые "нормальные высоты", используемые, например, в Восточной Европе.)

4.4.2 Преобразования

4.4.2.1 Для преобразования цифровых координат, полученных на основе карт, в координаты WGS-84 необходимо ответить на следующий вопрос:

Известен ли тип картографической проекции, который использовался при проведении местной съемки для отображения референц-эллипсоида на плоскости и для вычисления планометрических координат?

Нет В тех случаях, когда на данный вопрос невозможно ответить или когда картографическая проекция неизвестна, применяется сценарий 2, при этом необходимо провести повторную съемку.

Да В тех случаях, когда картографическая проекция известна, необходимо произвести расчеты обратной картографической проекции для определения значений широты и долготы на референц-эллипсоиде для представленных в цифровой форме метрических координат.

Примечание. Информация о различных типах картографических проекций приводится в добавлении F.

4.4.2.2 При всех преобразованиях геодезической основы необходимо использовать высоту над эллипсоидом h в местной системе координат, которая выражается следующей формулой:

$$h = H + N,$$

где H – ортометрическая высота (превышение) и N – волна геоида (высота). Как правило, известна лишь ортометрическая высота (которая также указывается на картах). Величину волны геоида определяют по цифровой модели (если таковая имеется). Было проведено исследование для проверки влияния неизвестной (ортометрической) высоты на преобразованные значения широты и долготы точки с использованием формул Гельмерта. Высотам присваивались значения от 0 до 8000 м, при этом полученные значения широты и долготы изменялись весьма незначительно (менее 15 см при 8000 м). Следовательно, высоту точки с известными значениями широты и долготы, но с неизвестной (ортометрической) высотой можно произвольно принять равной 0 м, и это не окажет существенного влияния на результаты преобразования.

4.4.2.3 Поскольку национальные топографические службы используют различные референц-эллипсоиды, следующим шагом является определение используемого референц-эллипсоида с тем, чтобы можно было осуществить преобразование местной геодезической основы в глобальную геодезическую основу. Иногда оказывается возможным непосредственное преобразование местной геодезической основы в WGS-84. В противном случае необходимо произвести дальнейшее преобразование геодезической основы из глобальной в WGS-84.

РИСУНКИ К ГЛАВЕ 4

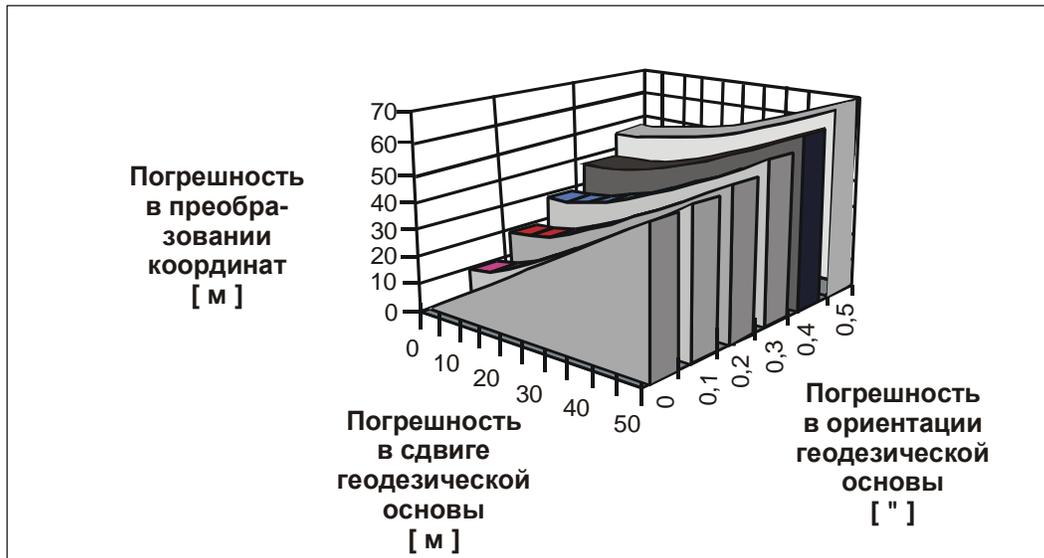


Рис. 4-1. Распространение погрешностей при преобразовании геодезической основы

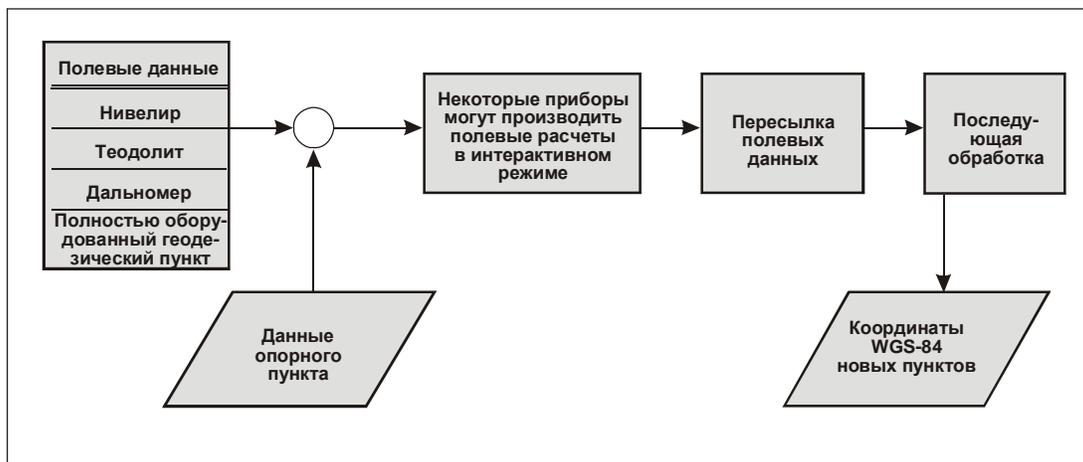


Рис. 4-2. Процесс преобразования данных наземной съемки в координаты WGS-84

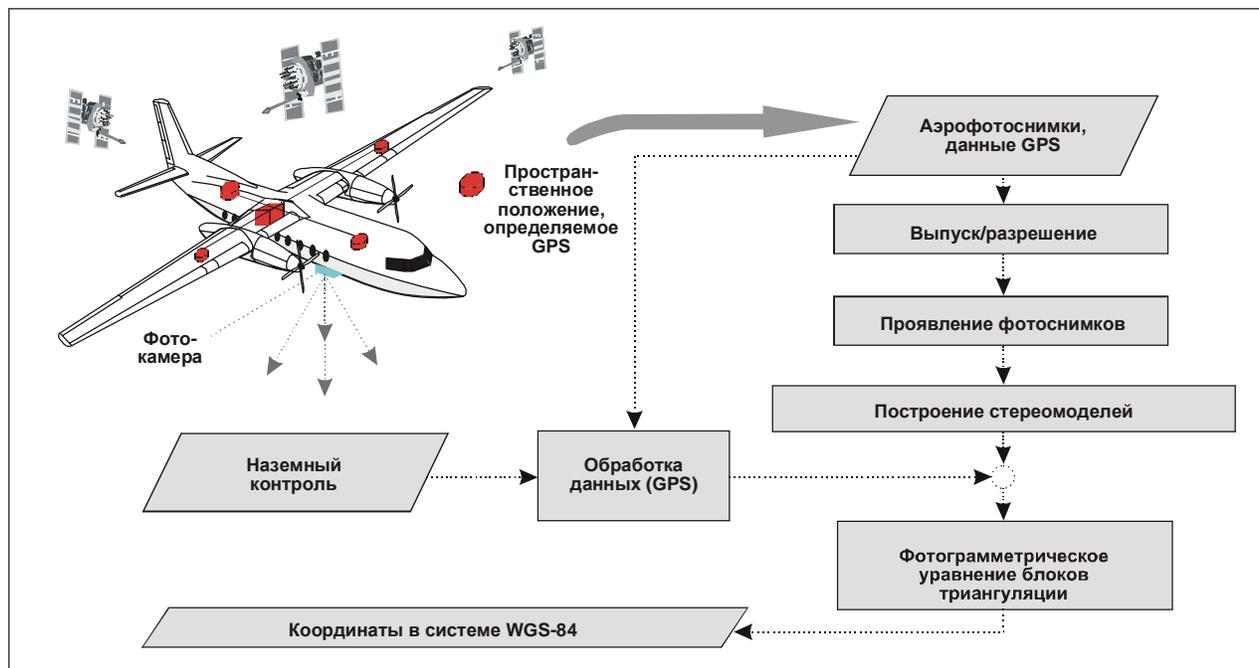


Рис. 4-3. Преобразование данных аэрофотограмметрической съемки в координаты WGS-84

Глава 5

ИНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЪЕМКИ

5.1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящей главе излагаются инструктивные указания по проведению съемки географического местоположения навигационных средств и навигационных точек, связанной с принятием WGS-84 в качестве единой геодезической опорной системы для международной гражданской авиации. Конкретная степень точности результатов полевой съемки учитывает эксплуатационные требования и соответствует положениям Приложения 11 и томов I и II Приложения 14, а требования к разрешающей способности изложены в Приложениях 4 и 15. Во многих случаях указанные уровни точности могут быть легко превышены при использовании современных топографических приборов.

5.1.1 Применение требований

5.1.1.1 Содержащиеся в настоящей главе требования применяются ко всем аэродромам/вертодромам, которые были отобраны национальными авиационными управлениями для использования при международных и внутренних полетах, и касаются съемки с целью определения географических координат навигационных элементов в системе WGS-84. Навигационные средства и точки, чьи координаты непосредственно используются в аэронавигации, рассматриваются в настоящей главе в качестве навигационных элементов. Излагаемые в данной главе инструктивные указания по проведению съемки относятся к расчету координат, то есть значений широты и долготы определенных навигационных точек.

5.1.1.2 В соответствии с положениями Приложений 11 и 14 результаты съемки географического местоположения навигационных элементов, определяемого в системе WGS-84, должны сообщаться в службу аэронавигационной информации национального авиационного управления.

5.1.1.3 Настоящая глава включает требования к съемке координат тех пунктов на аэродроме/вертодроме (таких, как установленные места стоянок воздушных судов и пункты проверки навигационного оборудования), чьи координаты

могут использоваться для целей проверки, калибровки или установки в исходное состояние навигационного оборудования. Перечень подлежащих съемке навигационных элементов приводится в таблице 5-1.

5.2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.2.1 Геодезической основой, к которой должны быть привязаны координаты навигационных элементов, является система WGS-84. Указанное требование обеспечивается путем съемки с привязкой к соответствующей глобальной геодезической опорной системе.

5.2.2 Все аэронавигационные данные, касающиеся географических координат и удовлетворяющие требованиям настоящего руководства, должны быть такими, чтобы можно было продемонстрировать их качество. Степень точности полевой съемки, проводимой с целью определения географических координат различных навигационных элементов, установлена в соответствии как с действующими, так и ожидаемыми эксплуатационными требованиями. В тех случаях, когда навигационное средство обслуживает более одного этапа полета и, следовательно, должно удовлетворять различным эксплуатационным требованиям, необходимо применять более строгие требования к точности съемки.

5.2.3 Вероятность того, что все местоположения определены с требуемой точностью, должна составлять 95% (2σ), за исключением тех случаев, когда указываются другие требования. Единицы измерения должны соответствовать традициям и практике проведения съемки, применяемым в конкретном государстве. Все публикуемые географические координаты и размеры должны соответствовать требованиям ИКАО. В частности, географические координаты должны публиковаться в шестидесятиричной системе измерения углов (градусы, минуты, секунды и десятые доли секунды) и соответствовать значениям разрешения публикуемых данных, указанным в добавлении 7 к Приложению 15, и значениям разрешения карты, указанным в добавлении 6 к Приложению 4.

Таблица 5-1. Минимальные требования к точности съемки координат для навигационных элементов и целостности этих данных

Примечание. Степень точности определяется точностью, обеспечиваемой существующей сетью опорных пунктов аэродрома/вертодрома, за исключением величин, снабженных пометкой (), которые относятся к абсолютным координатам, привязанным к указанной геодезической основе.*

<i>Широта и долгота</i>	<i>Точность/тип данных</i>	<i>Классификация целостности данных</i>
Маршрутные NAVAID и контрольные точки, пункт ожидания, точки STAR/SID	100 м, результаты съемки/расчетная	1×10^{-5} , важные
Опорная точка аэродрома/вертодрома	30 м, результаты съемки/расчетная	1×10^{-3} , обычные
NAVAID, расположенные на аэродроме/вертодроме	3 м, результаты съемки	1×10^{-5} , важные
Препятствия в зоне полета по кругу и на аэродроме/вертодроме	3 м, результаты съемки	1×10^{-5} , важные
Значительные препятствия в зоне захода на посадку и взлета	3 м, результаты съемки	1×10^{-5} , важные
Контрольные точки/пункты конечного этапа захода на посадку и другие важные контрольные точки/пункты, образующие схему захода на посадку по приборам	3 м, результаты съемки/расчетная	1×10^{-5} , важные
Порог (посадочный) ВПП	1 м, результаты съемки	1×10^{-8} , критические
Конец ВПП (точка выравнивания траектории полета)	1 м, результаты съемки	1×10^{-8} , критические
Точки осевой линии ВПП	1 м, результаты съемки	1×10^{-8} , критические
Точки осевой линии РД	0,5 м, результаты съемки	1×10^{-5} , важные
Точки осевой линии РД на земле, точки РД для руления по воздуху и транзитных маршрутов	0,5 м, результаты съемки/расчетная	1×10^{-5} , важные
Точки стоянки воздушных судов/пункты проверки INS	0,5 м, результаты съемки	1×10^{-3} , обычные
Геометрический центр TLOF или пороги FATO на вертодромах	1 м, результаты съемки	1×10^{-8} , критические
Волна геоида WGS-84 в месте превышения аэродрома/вертодрома	0,5 м или 1 фут, результаты съемки	1×10^{-5} , важные
Волна геоида WGS-84 на пороге ВПП или FATO, в геометрическом центре TLOF (неточные заходы на посадку)	0,5 м или 1 фут, результаты съемки	1×10^{-5} , важные
Волна геоида WGS-84 на пороге ВПП или FATO, в геометрическом центре TLOF (точные заходы на посадку)	0,25 м или 1 фут, результаты съемки	1×10^{-8} , критические
Сеть опорных пунктов аэродрома/вертодрома (преобразование геодезической основы)	1 м*, результаты съемки	1×10^{-8} , критические

5.2.4 Размеры и расстояния должны указываться в следующих единицах:

- а) метры (м);
- б) футы (1 фут = 0,3048 м); или
- в) морские мили (1 м. миля = 1852 м).

5.2.5 Сеть геодезических опорных пунктов аэродрома/вертодрома

В целях определения местоположения навигационных элементов на выбранных аэродромах/вертодромах и вблизи них необходимо создать на каждом из них сеть геодезических опорных пунктов. Такая сеть должна состоять как минимум из двух взаимовидимых пунктов с минимальным боковым разнесением 500 м. Для обеспечения достаточного уровня резервирования с тем, чтобы при потере одного опорного пункта по-прежнему сохранялась возможность проверки ориентации, сеть геодезических опорных пунктов аэродрома/вертодрома должна состоять как минимум из четырех пунктов. Стратегическое расположение опорных пунктов должно быть таким, чтобы обеспечивалось их максимальное использование при последующих съемках. Для целей, изложенных в настоящей главе, могут использоваться геодезические знаки существующих сетей геодезических опорных пунктов аэродромов/вертодромов.

5.2.6 Требования к точности сети опорных пунктов

5.2.6.1 Местоположение каждого опорного пункта должно определяться в соответствующей опорной системе с точностью до 1 м. Степень точности, обеспечиваемая самой сетью, должна отвечать требованиям к точности съемки координат навигационных элементов, указанным в соответствующих Приложениях и в настоящей главе. Погрешность измерений, производимых с помощью сети геодезических опорных пунктов аэродрома/вертодрома, может быть менее 10 см.

5.2.6.2 Для определения координат сети геодезических опорных пунктов аэродрома/вертодрома не должны применяться методы математического преобразования, основанные на использовании единственного набора средних параметров преобразования, которые соотносят известную (существующую) геодезическую основу с WGS-84.

5.2.7 Установка геодезических знаков на опорных пунктах

Опорные пункты должны состоять из геодезических знаков стандартных типов (соответствующая информация приводится в дополнении А к настоящей главе). Для

различных условий расположения, местности и характера грунта на территории аэродрома/вертодрома используются различные типы геодезических знаков; вопрос о выборе наиболее оптимального типа решается производящим съемку специалистом по согласованию с национальным управлением. Перед установкой геодезического знака может быть проведено исследование для гарантии того, что его сооружение не повредит подземные кабели и коммуникации. В тех случаях, когда сеть состоит не из четырех пунктов, как это рекомендовано, а меньшего числа пунктов, необходимо сооружать геодезические знаки большего размера.

5.2.8 Нумерация опорных пунктов

5.2.8.1 Каждый опорный пункт должен иметь индивидуальный номер. Это гарантирует, что при разрушении какого-либо пункта и последующей замене его на новый пункт приблизительно в том же месте никакого неправильного опознавания не произойдет.

5.2.8.2 Маркировка и нумерация пункта должны быть таковы, чтобы не возникало сомнений относительно происхождения или правильности опознавания данного опорного пункта. На отдельных аэродромах/вертодромах для всех опорных пунктов могут использоваться единые образные маркировочные знаки (например, штампелированные диски). Может использоваться не допускающая неопределенности система нумерации, позволяющая опознавать аэродром/вертодром, год и номер пункта (соответствующая информация приводится в дополнении А к настоящей главе). В тех случаях, когда в качестве опорного пункта используется существующий прочный топографический ориентир на поверхности земли, указанный пункт должен быть четко маркирован стойкой краской.

5.2.9 План месторасположения опорных пунктов

Необходимо составить план месторасположения сети геодезических опорных пунктов аэродрома/вертодрома в масштабе 1:2 000 или в другом соответствующем стандартном картографическом масштабе с указанием мест расположения всех опорных пунктов и основных топографических ориентиров. План должен быть ориентирован по истинному северу, либо на плане должно быть указано направление на истинный север.

5.2.10 Описание опорных пунктов

5.2.10.1 Необходимо подготовить подробное описание опорных пунктов геодезической сети аэродрома/вертодрома. Оно должно включать текстовое описание и четкую схему, отражающую размеры крепления геодезических знаков и указатели направления на другие видимые ориентиры сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома.

5.2.10.2 Указанное описание может включать фотоснимок пункта с изображением окружающих предметов. Могут проводиться инспекции с целью проверки общего состояния сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома, и любые нарушения или повреждения должны быть зарегистрированы.

5.2.11 Определение координат опорных пунктов

5.2.11.1 Для установления местоположения опорных пунктов геодезической сети аэродрома/вертодрома необходимо использовать один из следующих методов определения координат.

- a) *Прямая геодезическая привязка.* Полученные в процессе съемки результаты измерений должны быть использованы для привязки сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома к национальной или международной (например, ITRF) геодезической опорной системе таким образом, чтобы погрешность съемки в процессе привязки не оказала существенного влияния на погрешность координат указанной сети аэродрома/вертодрома. Данный вариант является предпочтительным, поскольку в нем используются наиболее точный метод измерения и непосредственно наблюдаемая привязка к принятой геодезической опорной системе. С помощью дифференциальной GPS в статическом режиме съемки может быть осуществлена привязка предпочтительно к трем точкам соответствующей геодезической сети, но в любом случае не менее чем к двум.
- b) *Расчетная геодезическая привязка.* Когда известны местные параметры, связывающие существующую геодезическую сеть опорных пунктов и WGS-84 с точностью, соизмеримой с требованиями, изложенными в настоящем руководстве, для определения координат существующей сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома могут быть использованы стандартные методы преобразования, одобренные на общегосударственном или региональном уровне. В тех случаях, когда принят данный метод, указанная информация должна включать полное описание метода преобразования и значения параметров преобразования. Отчет о результатах съемки должен содержать подробную информацию о привязке существующей сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома к существующей геодезической сети (под существующей сетью подразумевается сеть, которая существовала на аэродроме/вертодроме до внедрения на этом аэродроме/вертодроме системы WGS-84).
- c) *Определение координат WGS-84 методом прямого наблюдения.* Для тех регионов, где национальные или международные координаты неизвестны, коор-

динаты WGS-84 сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома должны определяться методом прямого наблюдения с использованием соответствующего типа геодезического приемника GPS. Результаты всех таких наблюдений должны контролироваться путем одновременного наблюдения, осуществляемого в точках с известными абсолютными координатами WGS-84. Метод наблюдения и расчета должен быть таков, чтобы абсолютные координаты сети опорных пунктов аэродрома/вертодрома определялись с точностью, указанной в настоящей главе.

5.2.12 Определение местных параметров взаимосвязи между известной существующей геодезической основой и WGS-84

5.2.12.1 Если результаты относительных съемок должны быть привязаны к WGS-84 (например, результаты съемок препятствий в районе аэродрома/вертодрома), необходимо провести измерения с целью определения местных параметров взаимосвязи (разница в значениях широты, долготы, ориентации и в масштабе) между известной существующей геодезической основой и WGS-84, за исключением тех случаев, когда требуемая информация обеспечивается путем расчета геодезической привязки.

5.2.12.2 При использовании местных параметров взаимосвязи между известной существующей геодезической основой и WGS-84 они должны определяться с точностью соизмеримой с относительной точностью данных, подлежащих преобразованию. В отчете о результатах съемки должны быть указаны значения и степень точности местных параметров взаимосвязи координат.

5.2.13 Требования к отчету о результатах съемки

5.2.13.1 Все результаты съемки, проведенной с целью определения координат навигационных средств на аэродромах/вертодромах, должны представляться в формате, указанном в дополнении С к настоящей главе. В тех случаях, когда национальная практика представления отчетов отличается от формата, приведенного в настоящей главе, национальное авиационное управление может представить обоснование в поддержку своей национальной практики, если будет продемонстрирована ее совместимость.

5.2.13.2 В таблице 5-1 приводится минимальный уровень точности данных, который должен быть обеспечен при съемке. Во многих случаях указанный уровень точности можно легко превзойти при использовании современной геодезической аппаратуры. Все измерения при съемках могут производиться и регистрироваться с разрешающей способностью и точностью, которые обеспечиваются таким

оборудованием, поэтому будущие потребности в съемках более высокой точности могут быть удовлетворены. При проведении съемок с использованием оборудования или методов, обеспечивающих получение данных не только об относительной высоте, но и местоположении на горизонтальной плоскости, такая информация должна быть подробно зарегистрирована и включена в отчет о результатах съемки.

5.3 ТРЕБОВАНИЯ К СЪЕМКЕ КООРДИНАТ НАВИГАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С АЭРОДРОМОМ/ВЕРТОДРОМОМ

5.3.1 Осевые линии и пороги ВПП

5.3.1.1 Для целей съемки осевая линия ВПП должна рассматриваться как геометрический центр ширины несущей поверхности, при этом данное определение имеет приоритет по отношению к любым существующим маркировочным знакам или огням осевой линии ВПП. В тех случаях, когда боковая кромка ВПП является неровной или соединяется с рулежной дорожкой, необходимо выбрать соответствующую теоретическую линию, которая наилучшим образом определяла бы возможную границу ВПП.

5.3.1.2 Для целей съемки местоположение порога должно рассматриваться как геометрический центр ВПП в начале участка поверхности с искусственным покрытием, то есть в начале участка ВПП, пригодного для посадки. В тех случаях, когда пороги снабжены соответствующими маркировочными знаками (например, смещенные пороги), последние должны рассматриваться как точки порогов. При съемке координат огней порога их местоположение должно быть указано на схеме, прилагаемой к отчету о результатах съемки. При отсутствии огней порога топограф должен выбрать для съемки соответствующую точку на основе схем, приводимых в дополнении В к настоящей главе.

5.3.1.3 Если у ВПП имеется только один сертифицированный для посадки порог, необходимо произвести съемку местоположения конца ВПП. Для целей съемки местоположение конца ВПП (точка выравнивания траектории полета) должно рассматриваться как геометрический центр ВПП в конце участка поверхности с искусственным покрытием, то есть в конце участка ВПП, пригодного для посадки.

5.3.1.4 Необходимо установить маркировочные знаки, фиксирующие точки проведения съемки (привязочные пункты) с тем, чтобы в случае обновления покрытия, перекраски или проверки данных можно было бы восстановить съемочную точку порога. Кроме того, необходимо произвести съемку двух связанных с ней точек оси ВПП, отстоящих друг от друга на расстоянии не менее 10% длины ВПП. При обработке результатов съемки

топограф должен определить коллинеарность указанных трех точек и представить соответствующую информацию. В тех случаях, когда на каждом конце ВПП имеется порог, необходимо произвести съемку обоих порогов и двух дополнительных точек оси ВПП, при этом коллинеарность определяется для всей группы из четырех точек.

5.3.2 Расчетные координаты порога

5.3.2.1 В тех случаях, когда для съемки выбирается точка, не совпадающая с порогом ВПП, а отстоящая от него по осевой линии, координаты порога должны определяться национальным авиационным управлением. Один из методов расчета, применяемых для такой задачи, изложен в дополнении D к настоящей главе.

5.3.2.2 Вновь рассчитанные координаты порога должны быть подвергнуты такой же проверке на коллинеарность, которая указана в п. 5.3.1.4.

5.3.3 Пункты проверки на рулежных дорожках и в местах стоянки воздушных судов

5.3.3.1 Общие принципы

5.3.3.1.1 В соответствии с эксплуатационными требованиями к усовершенствованным системам управления наземным движением и контроля за ним (A-SMGCS) пилотам следует на постоянной основе предоставлять информацию наведения и управления на этапе послепосадочного пробега, руления к месту стоянки и от места стоянки в место ожидания у ВПП для выхода в назначенную стартовую позицию при взлете, а также при разбеге при взлете.

5.3.3.1.2 Поскольку определение соответствующих точек на осевой линии РД и точек в местах стоянки воздушных судов для сведения и руководства пилотам основывается на маркировочных знаках на аэродромах/вертодромах, применение нижеследующих пунктов должно ограничиваться теми аэродромами/вертодромами, которые отвечают SARPS в отношении маркировки, содержащимся в п. 5.2 тома I и пп. 5.2.11 и 5.2.12 тома II Приложения 14.

5.3.3.1.3 Схемы с указанием соответствующих точек на рабочей площади аэродрома/вертодрома приведены в дополнении В к настоящей главе.

5.3.3.1.4 За исключением положений, изложенных в п. 5.3.3.2.1, для целей съемки центр (половина ширины) маркировки осевой линии РД, маркировки рулежной дорожки на перроне или маркировки линии руления на стоянке воздушных судов необходимо принимать в качестве опорного репера. Необходимо установить маркировочные знаки, фиксирующие точки проведения съемки, с тем чтобы в случае обновления покрытия, перекраски или

проверки данных можно было бы восстановить съемочные точки маркировки осевой линии РД, рулежной дорожки на перроне и линии движения на стоянке воздушных судов.

5.3.3.1.5 Необходимо произвести съемку точек начала и конца маркировки прямолинейных участков РД, рулежных дорожек на перроне и линий руления на стоянках воздушных судов. Необходимо произвести съемку достаточного количества дополнительных точек для обеспечения требуемой точности вдоль этих линий.

5.3.3.1.6 В отношении маркировки криволинейных участков РД, рулежных дорожек на перроне и линий заруливания на стоянку воздушных судов необходимо произвести съемку точек в начале и в конце осевой линии криволинейного участка с определением центра дуги и ее радиуса. В случае наличия нескольких криволинейных участков необходимо определить центр и радиус каждой дуги и произвести съемку точек в начале и в конце каждой дуги. Когда это не представляется возможным осуществить в полевых условиях, необходимо произвести съемку ряда последовательных точек вдоль осевой линии криволинейного участка с максимальным расстоянием до хорды дуги, не превышающим 0,25 м для маркировки РД и 0,10 м для маркировки рулежных дорожек на перроне и линий заруливания на стоянку воздушных судов. Необходимо произвести съемку достаточного количества точек для обеспечения требуемой точности вдоль этих линий. При обработке результатов съемки топограф должен провести графическую проверку съемочных точек для обеспечения коллинеарности.

5.3.3.2 Рулежные дорожки

5.3.3.2.1 В п. 5.2.8.5 и на рис. 5-6 тома I Приложения 14 рекомендуется, чтобы маркировка РД на ВПП была смещена на 0,9 м параллельно осевой линии ВПП и соответствующей маркировке осевой линии ВПП, с тем чтобы пилоты могли визуально различать маркировку осевой линии ВПП и маркировку РД для выруливания с ВПП. Однако для обеспечения ненарушаемого перехода с фактической осевой линии ВПП на осевую линию РД, а также требуемой непрерывности информации наведения для бортовой навигационной базы данных необходимо проводить различие между маркировкой на поверхности и фактической линией пути, по которой должно следовать воздушное судно. Следовательно, для наведения воздушных судов, выезжающих на ВПП или покидающих ее для взлета или посадки, необходимо произвести съемку:

- a) точки, в которой радиус поворота, предписанный соответствующим полномочным органом для каждой РД, представляет собой касательную к осевой линии ВПП (как определено в п. 5.3.1.1), и точки, в которой данный радиус поворота совпадает с маркировкой осевой линии РД по касательной;

- b) точки, которая соответствует центру дуги; и
- c) радиуса дуги.

Там, где это не представляется возможным выполнить в полевых условиях, необходимо произвести съемку ряда последовательных точек вдоль осевой линии криволинейного участка РД.

5.3.3.2.2 Там, где маркировка осевой линии РД обеспечивается на ВПП и является частью стандартного маршрута руления или осевая линия РД не совпадает с осевой линией ВПП, необходимо произвести съемку следующих точек:

- a) точки на маркировке РД, в которой РД выходит на ВПП;
- b) точек, в которых РД отклоняется от прямой линии;
- c) пересечения маркировки осевой линии РД с границей каждого "блока", опубликованного в качестве части системы управления движением в аэропорту и контроля за ним; и
- d) точки на маркировке РД, в которой РД выходит с ВПП.

5.3.3.2.3 При определении РД следует, при необходимости, произвести съемку следующих точек в центре маркировки осевой линии каждой РД:

- a) промежуточных точек ожидания и точек ожидания при выходе на ВПП (включая точки на пересечении ВПП с другой ВПП в тех случаях, когда первая ВПП является частью стандартного маршрута руления) и точек, установленных для защиты чувствительных зон радионавигационных средств;
- b) маркировки пересечений РД;
- c) пересечений с другими РД, включая РД, указанные в п. 5.3.3.2.2;
- d) пересечений "блоков", определенных для систем управления наземным движением и контроля за ним;
- e) начала и конца светосигнальных систем, выбираемых РД, как части систем управления наземным движением и контроля за ним, когда они отличаются от указанных в подпункте d); и
- f) линий огней "стоп".

5.3.3.2.4 При определении дорожек руления вертолетов по воздуху следует, при необходимости, произвести съемку центра маркера каждой дорожки руления по воздуху.

5.3.3.3 Точки в местах стоянок воздушных судов

5.3.3.3.1 При определении мест стоянок воздушных судов, при необходимости, следует произвести съемку следующих точек в центре маркировки заруливания воздушных судов на места стоянок воздушных судов:

- a) осевых линий заруливания;
- b) линии(й) заруливания;
- c) линии поворота;
- d) прямого участка линии поворота;
- e) места стоянки носового колеса;
- f) истинного направления линии установки; и
- g) линии(й) выруливания.

5.3.3.3.2 В тех случаях, когда стоянки воздушных судов используются воздушными судами разного типа и существует различная маркировка линий выруливания, топограф должен подготовить схему используемой маркировки с указанием съемочных точек. В тех случаях, когда все места стоянок на аэродроме/вертодроме имеют единообразную маркировку, необходимо составить только одну схему.

5.3.4 Навигационные пункты проверки

При съемке координат навигационных пунктов проверки, используемых для проверки правильности показаний навигационных систем, их координаты должны определяться с точностью, указанной в таблице 5-1. В тех случаях, когда пункты проверок совпадают с местами стоянок воздушных судов, необходимо в соответствии с п. 5.3.3.3 произвести съемку места останова носового колеса.

5.3.5 Места ожидания на маршруте движения

В соответствии с местными требованиями необходимо произвести съемку важных точек для соблюдения требований системы управления наземным движением транспортных средств и контроля за ним на рабочей площади аэродрома.

5.3.6 Прочие навигационные элементы аэродрома/вертодрома

В отношении всех других требующих съемки навигационных элементов аэродрома/вертодрома необходимо произвести съемку геометрического центра данного элемента, за исключением случаев, когда для указанного элемента в качестве стандартной принята другая конкретная

съемочная точка в соответствии с дополнением В к настоящей главе.

5.4 ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ О РЕЗУЛЬТАТАХ СЪЕМКИ АЭРОДРОМА/ВЕРТОДРОМА

Все результаты съемки, проведенной с целью определения координат навигационных элементов на аэродроме/вертодроме, должны быть представлены в формате, приведенном в дополнении С к настоящей главе. В тех случаях, когда национальная практика представления отчетов отличается от формата, приведенного в настоящей главе, национальное авиационное управление может представить обоснование в поддержку своей национальной практики, если будет продемонстрирована совместимость указанной национальной практики.

5.5 ТРЕБОВАНИЯ К СЪЕМКЕ КООРДИНАТ НАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

5.5.1 Навигационные средства на маршрутах и аэродромах/вертодромах

5.5.1.1 Координаты навигационных средств на маршруте и аэродроме/вертодроме должны удовлетворять требованиям к точности, указанным в таблице 5-1. В тех случаях, когда существующие координаты навигационных средств, удовлетворяющие требованиям к точности и целостности данных, преобразуются в систему координат WGS-84 математическим методом, необходимо показать, что в процессе такого преобразования требуемый уровень точности координат сохраняется.

5.5.1.2 Если невозможно установить качество (для целей съемки это касается требований к точности и целостности данных) существующих координат, их следует определить с точностью, указанной в таблице 5-1. Во всех случаях опубликование координат, полученных путем съемки, может быть предпочтительным по сравнению с теми, которые были определены графическими методами.

5.5.2 Описание навигационных средств на маршруте и аэродроме/вертодроме

Схемы расположения наиболее распространенных навигационных средств, используемых на маршруте и аэродроме/вертодроме, приводятся в дополнении В к настоящей главе. В отношении навигационных средств, не включенных в дополнение В, необходимо провести съемку местоположения геометрического центра антенны. При съемке совместно расположенного оборудования VOR/DME за местоположение обоих систем необходимо принимать местоположение элемента DME.

5.6 ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ О РЕЗУЛЬТАТАХ СЪЕМКИ НА МАРШРУТЕ

Все результаты съемки, проведенной с целью определения координат маршрутных навигационных элементов, должны быть представлены в формате, приведенном в дополнении С к настоящей главе. В тех случаях, когда национальная практика представления отчета отличается от формата, приведенного в настоящей главе, национальное авиационное управление может представить обоснование в поддержку своей национальной практики, если будет продемонстрирована совместимость указанной национальной практики.

5.7 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

При использовании для обработки результатов съемки программного обеспечения необходимо продемонстриро-

вать правильность его функционирования. Указанная демонстрация должна быть оформлена в виде письменного доклада, показывающего, что данное программное обеспечение дает те же самые результаты, что и стандартные расчеты.

5.8 ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ СЪЕМКИ

Цифровой формат для представления данных съемки приводится в главе 7. Указанный формат может использоваться для представления в цифровой форме всех данных съемки. В тех случаях, когда национальный стандарт уже существовал до введения формата, изложенного в главе 7, или когда государство предпочитает использовать свой собственный формат, необходимо подробно описать взаимосвязь между указанными двумя форматами.

Дополнение А. УСТАНОВКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗНАКОВ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При установке на местности геодезических знаков их тип должен соответствовать поставленной задаче, а также характеру поверхности и грунта, где они сооружаются. Конструкции предлагаемых геодезических знаков показаны на рис. 5А-1, 5А-2 и 5А-3, однако могут использоваться геодезические знаки и других конструкций.

2. СИСТЕМА НУМЕРАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗНАКОВ

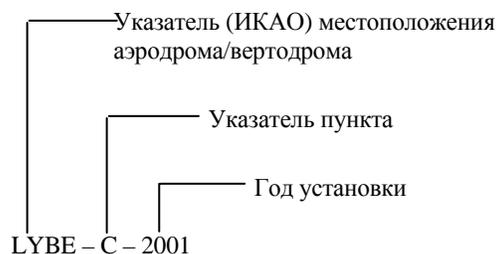
2.1 Каждый опорный пункт, являющийся составной частью геодезической сети аэродрома/вертодрома, может быть маркирован при полевой съемке индивидуальным опознавательным номером.

2.2 Система нумерации может включать указатель аэродрома/вертодрома, указатель опорного пункта и год установки. Хотя указатель аэродрома/вертодрома одинаков для каждого опорного пункта на данном аэродроме/вертодроме, и в этом отношении не будет иметь какого-либо целевого назначения, тем не менее он необходим для опознавания в цифровых базах данных.

2.3 Указатель опорного пункта, независимо от того, является ли он буквенным или цифровым, может присваиваться в хронологическом порядке после сооружения указанного пункта. Включение цифр, обозначающих год, позволяет ориентироваться в отношении времени сооружения и снижает вероятность ошибочного опознавания в случае замены опорных пунктов на новые. Можно также использовать систему последовательной нумерации.

2.4 Хотя в разных государствах будут использоваться различные системы нумерации, необходимо, чтобы любая система не допускала случаев, когда за указанные пункты могли бы быть приняты другие геодезические знаки, устанавливаемые на данном аэродроме/вертодроме. Система просто последовательной нумерации без использования других указателей неприемлема.

Пример:



РИСУНКИ К ДОПОЛНЕНИЮ А

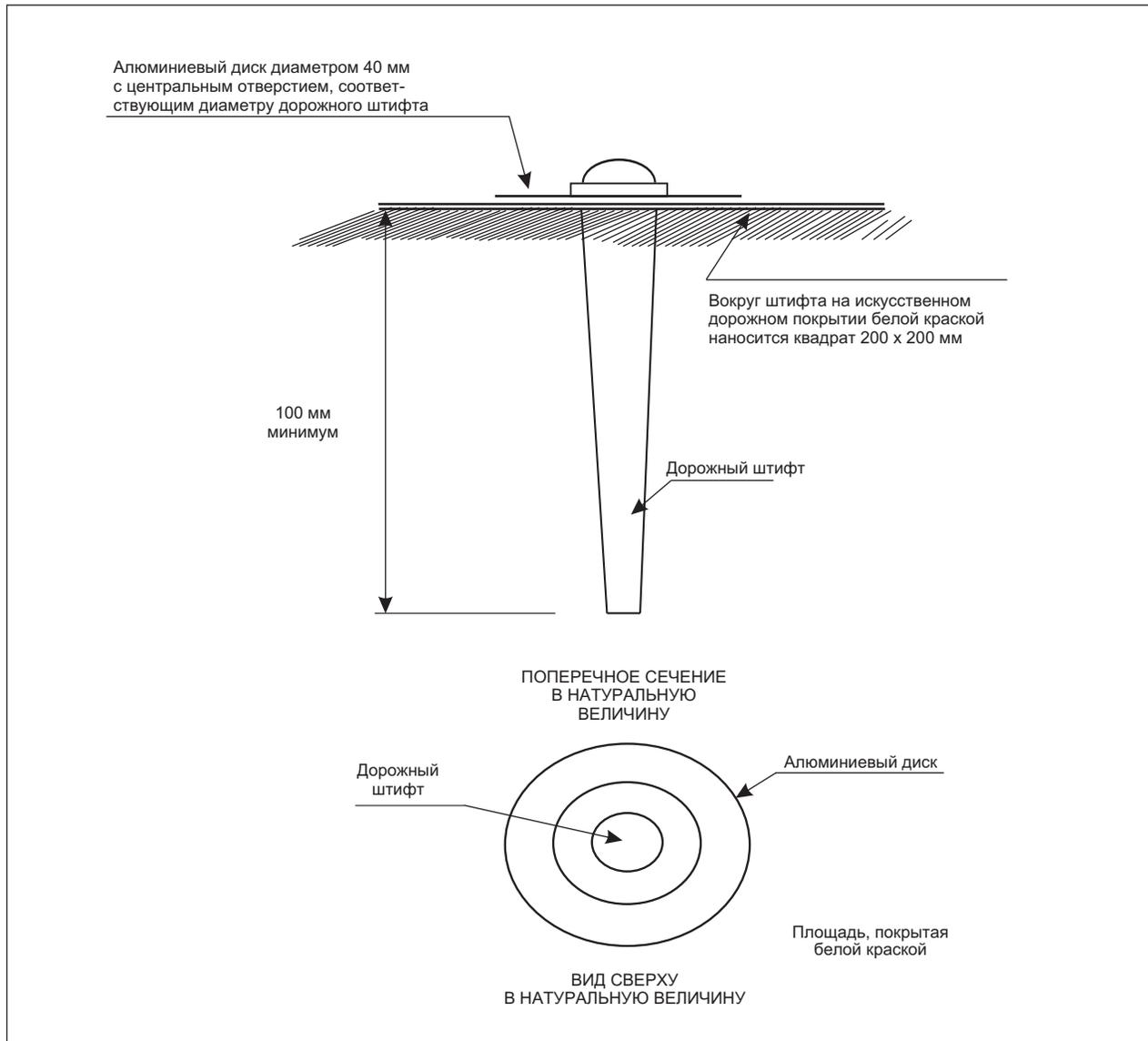


Рис. 5А-1. Геодезический знак

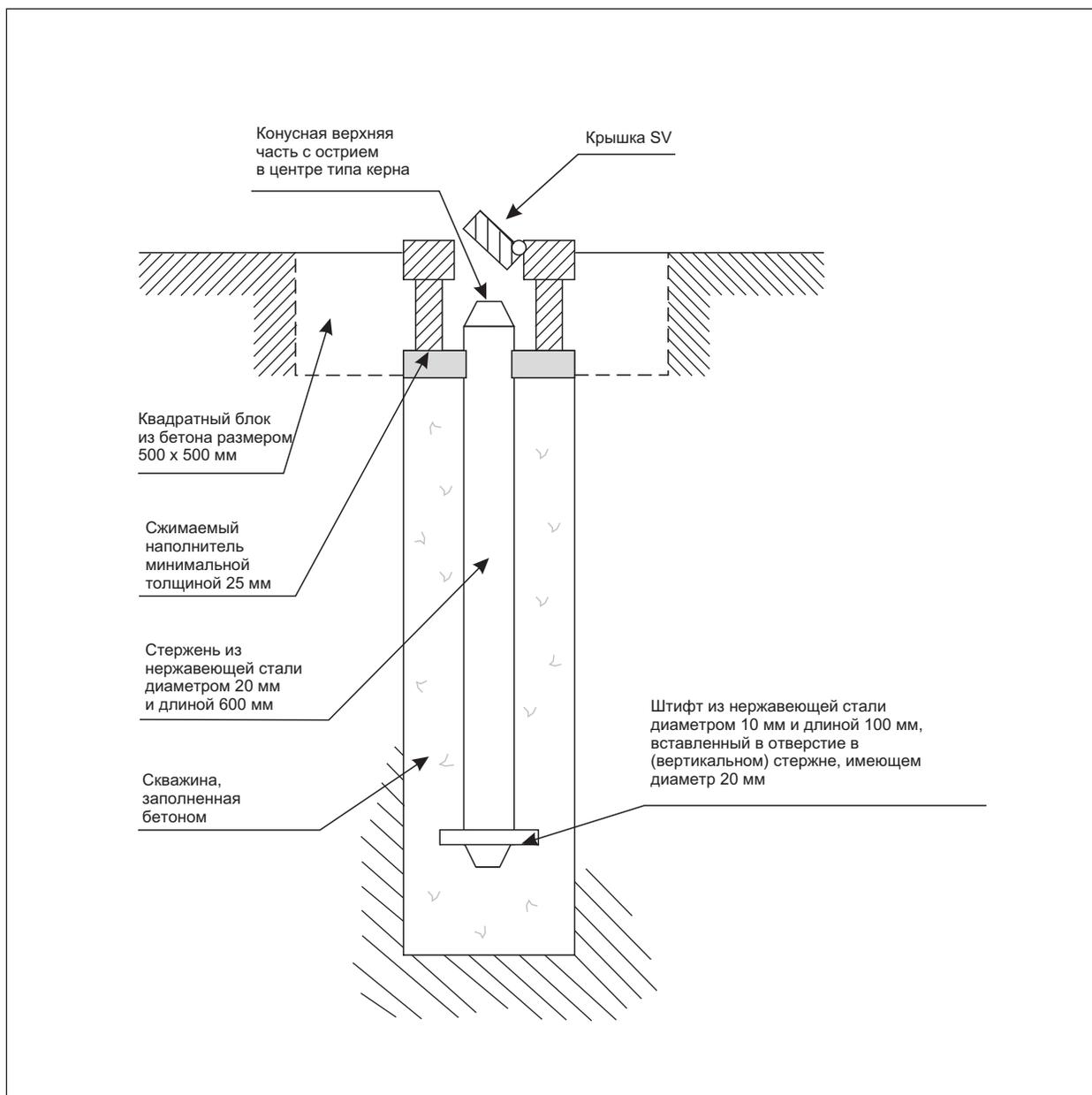


Рис. 5А-2. Геодезический знак

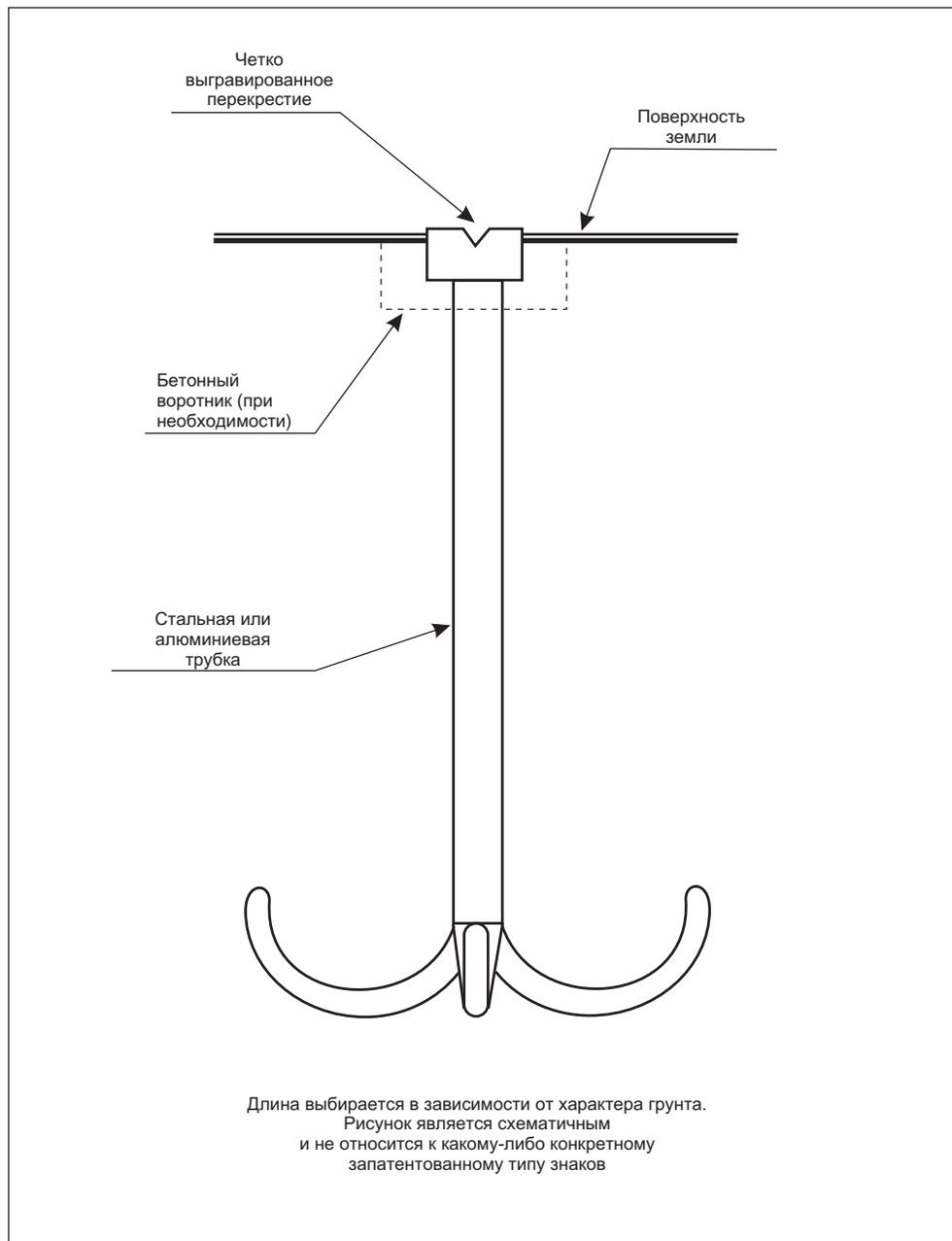


Рис. 5А-3. Геодезический знак

Дополнение В. ОПИСАНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

В целях стандартизации определения местоположения порогов при съемке приводятся следующие инструктивные указания:

- а) в качестве основы для описания расположения маркировочных знаков (огней) и местоположения выбранных для съемки точек могут быть подобраны и использованы схемы, наиболее точно представляющие маркировочные знаки ВПП;
- б) в тех случаях, когда ни одна из приводимых в настоящем дополнении схем не может быть использована, необходимо подготовить новую схему, отражающую действительное расположение

маркировочных знаков и местоположение выбранных для съемки точек.

Примечание. Огни световых горизонтов порога ВПП и огни, установленные перед участком ВПП с твердым покрытием, при съемках непосредственным образом не влияют на определение координат порога ВПП;

- в) при использовании существующих национальных стандартов отчет о результатах съемки должен включать указание о равнозначности используемых схем и схем, содержащихся в настоящем дополнении.

РИСУНКИ К ДОПОЛНЕНИЮ В

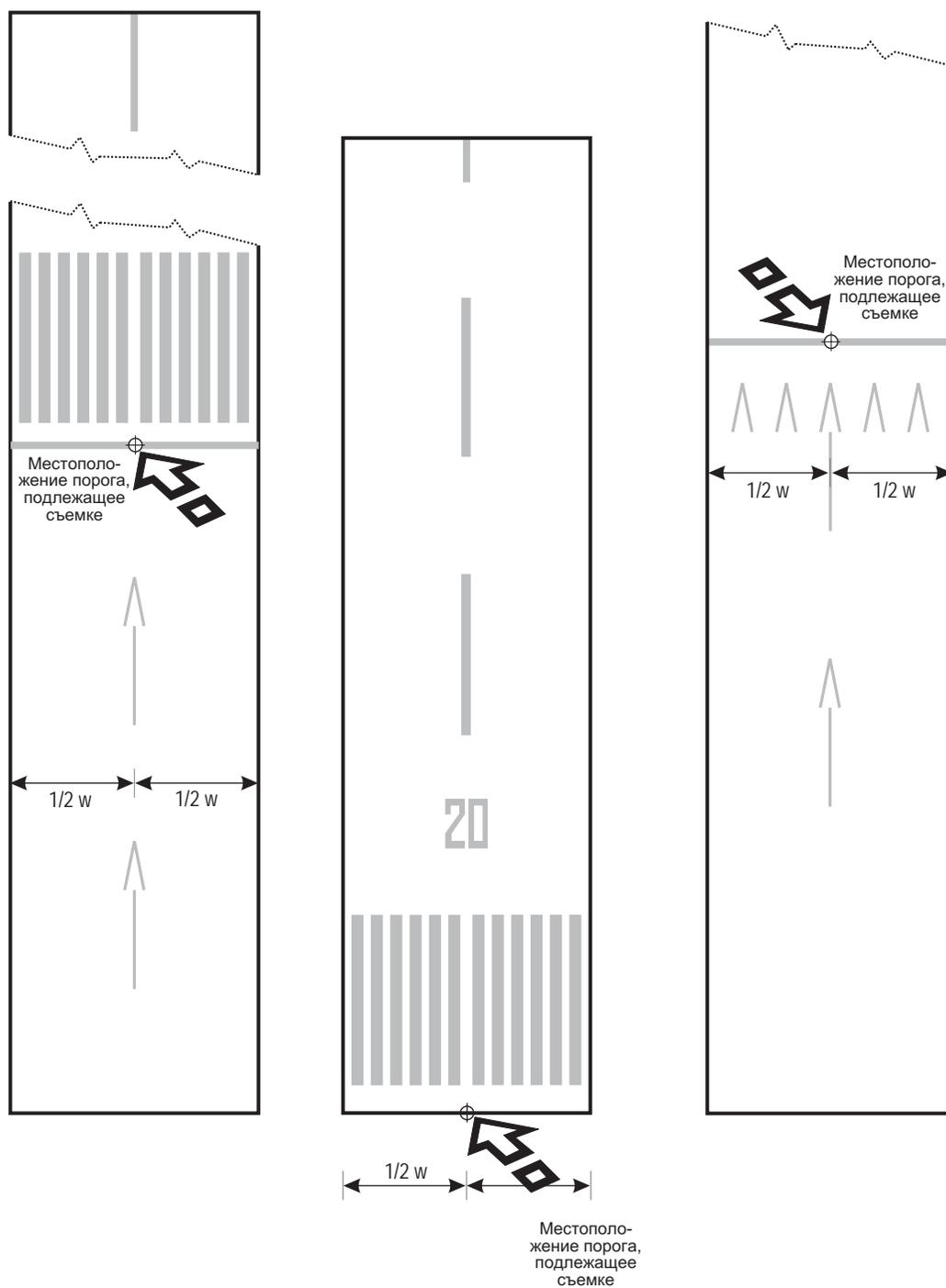


Рис. 5В-1. Местоположение порога в плоскости, подлежащее съемке

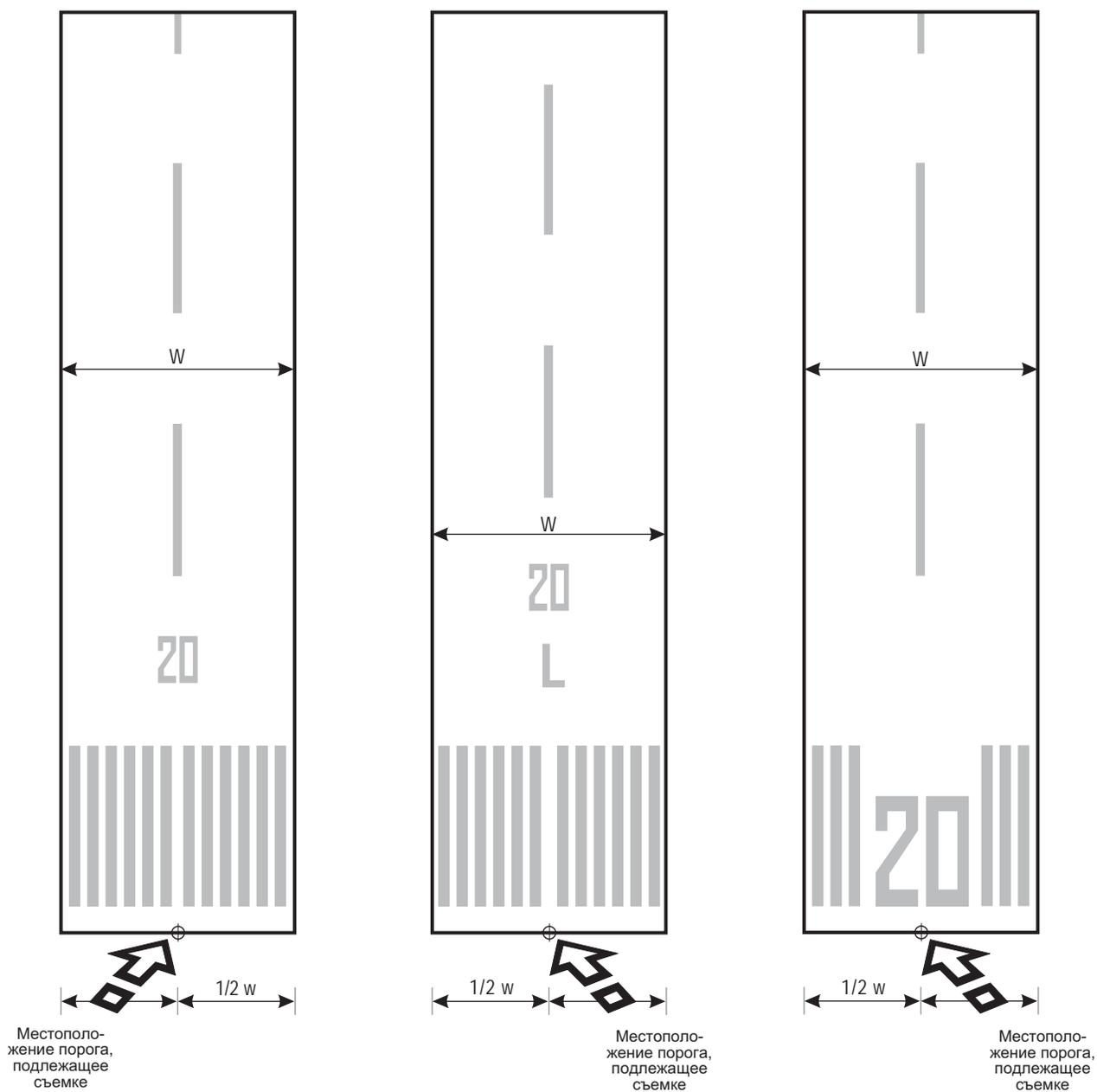


Рис. 5В-2. Местоположение порога в плоскости, подлежащее съемке

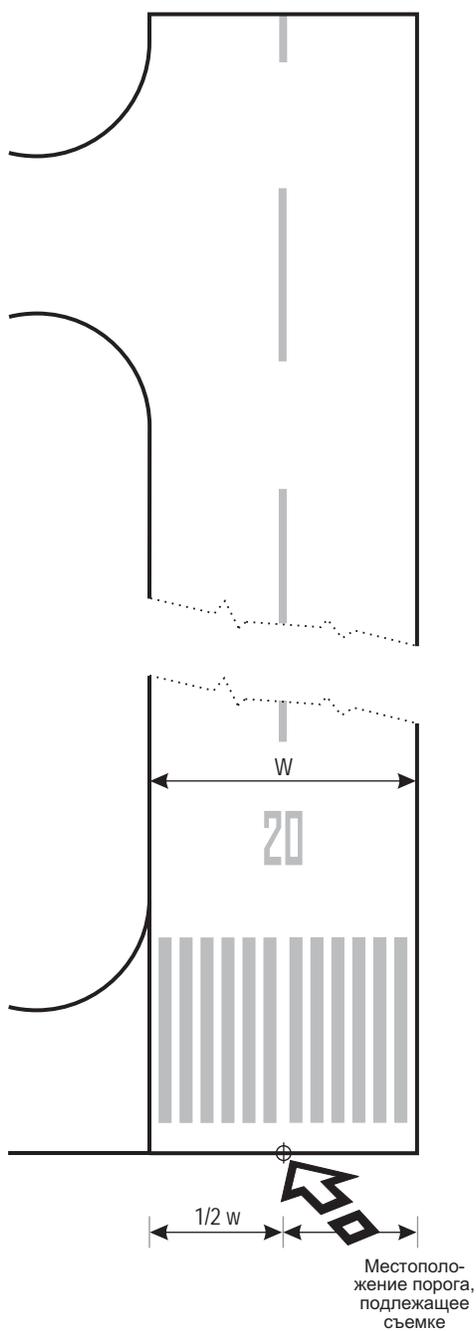


Рис. 5В-3. Местоположение порога в плоскости, подлежащее съемке

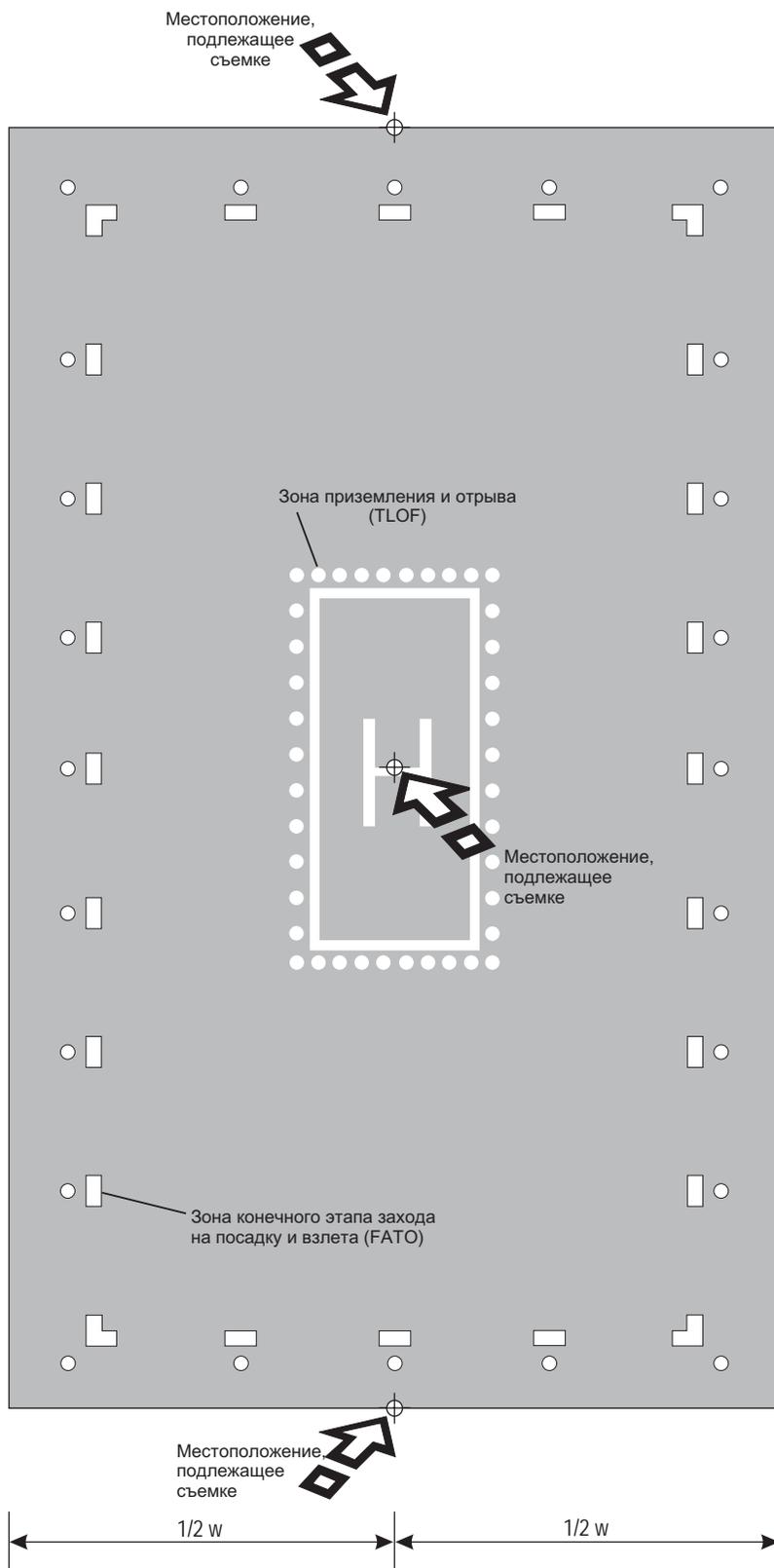
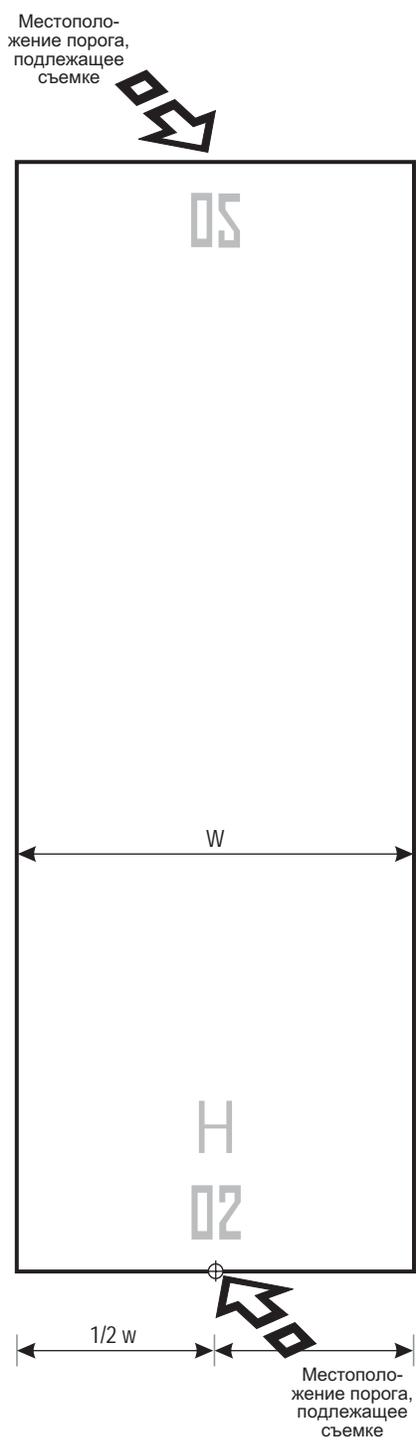


Рис. 5В-4. Местоположения порогов TLOF и FATO в плоскости, подлежащие съемке



Зона конечного этапа захода на посадку и взлета (FATO)

Рис. 5В-5. Местоположение порога FATO в плоскости, подлежащее съемке

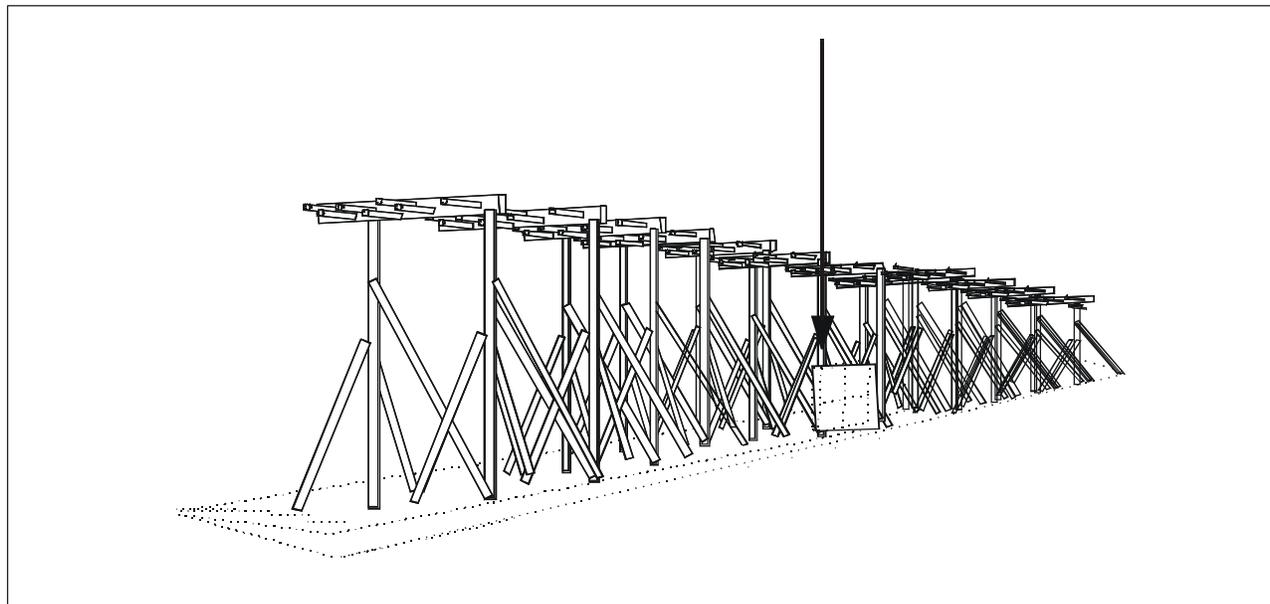


Рис. 5В-6. Курсовой маяк ILS

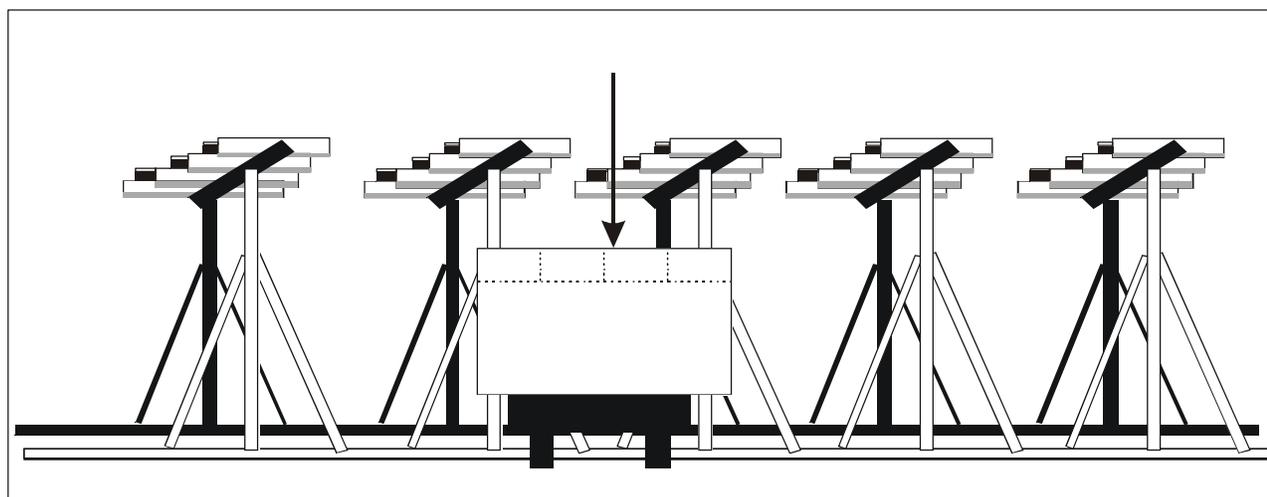


Рис. 5В-7. MLS

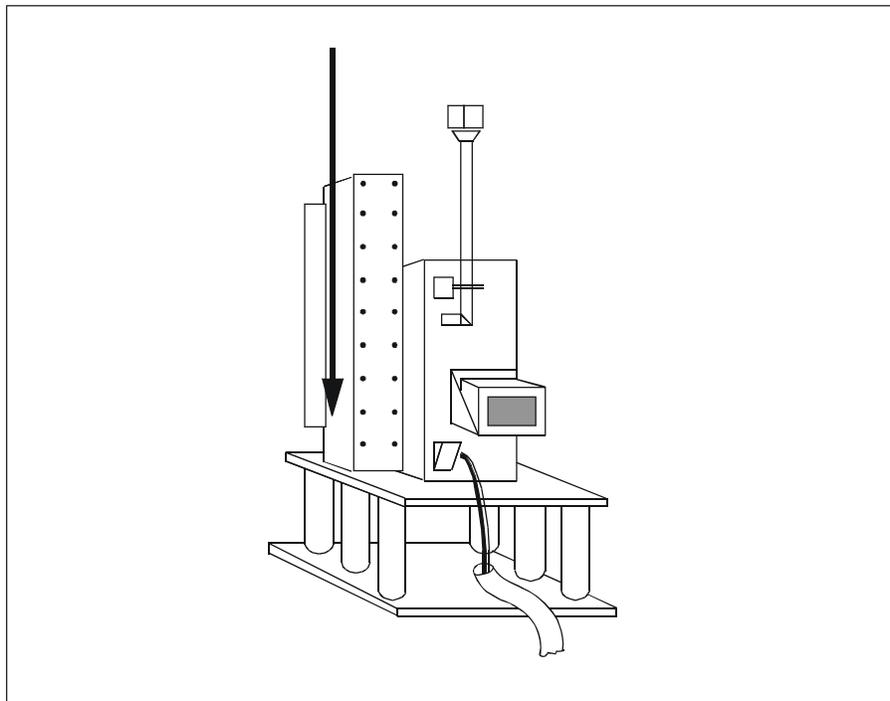


Рис. 5В-8. MLS

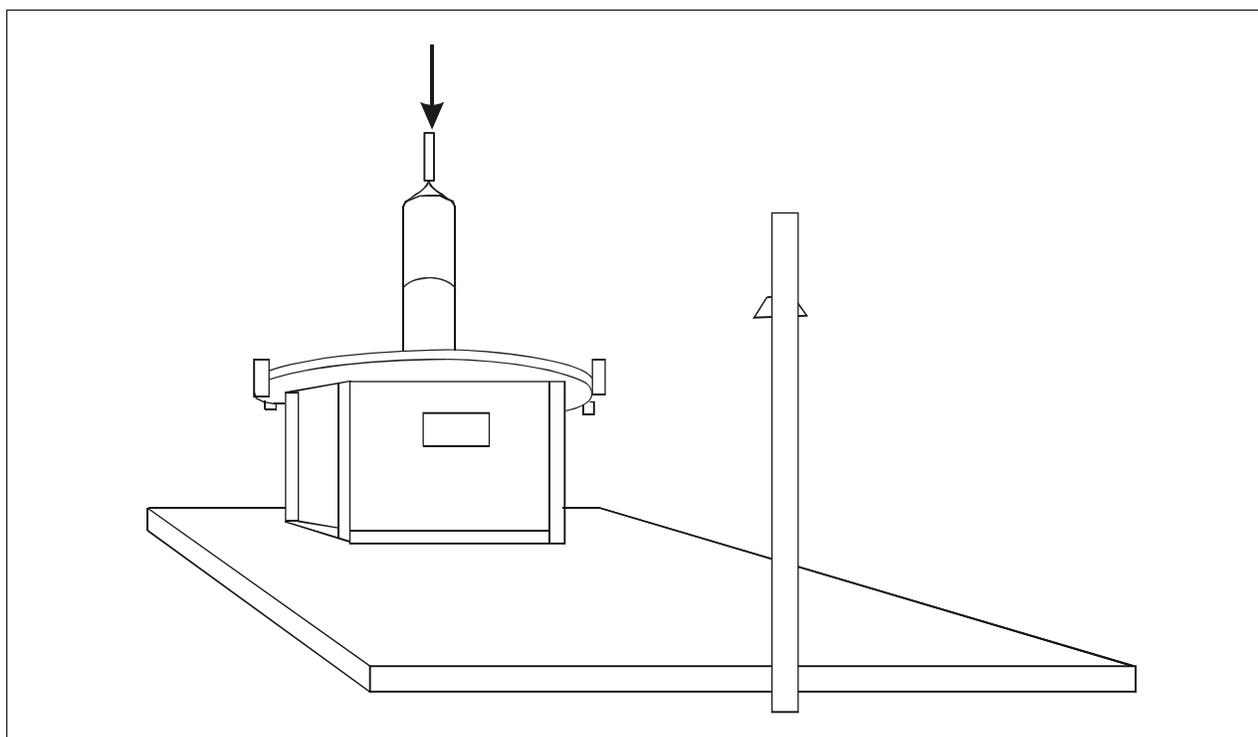


Рис. 5В-9. VOR/DME

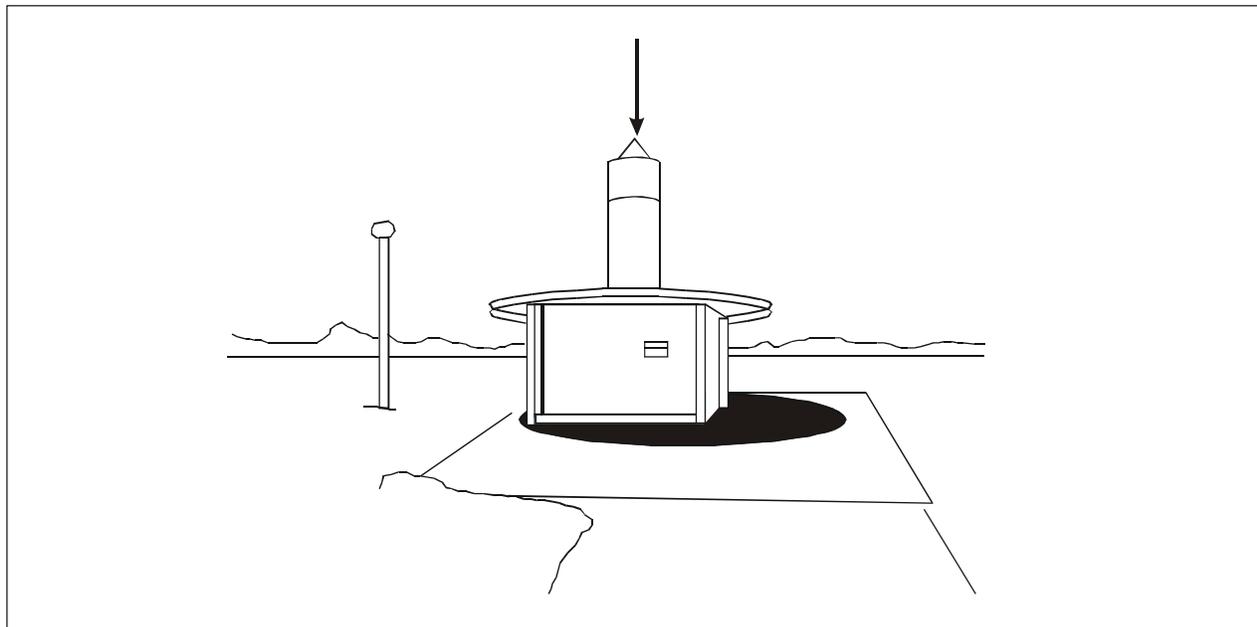


Рис. 5В-10. VOR

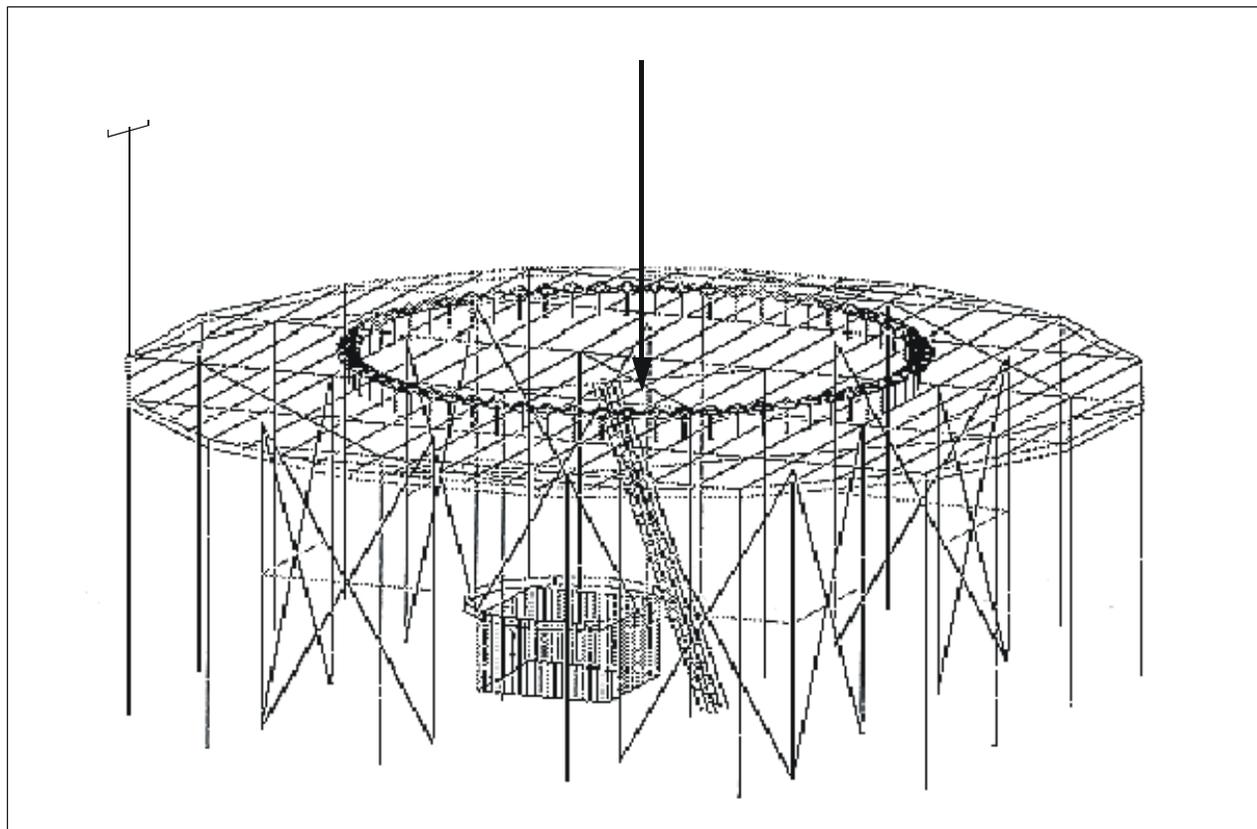


Рис. 5В-11. DVOR/DME

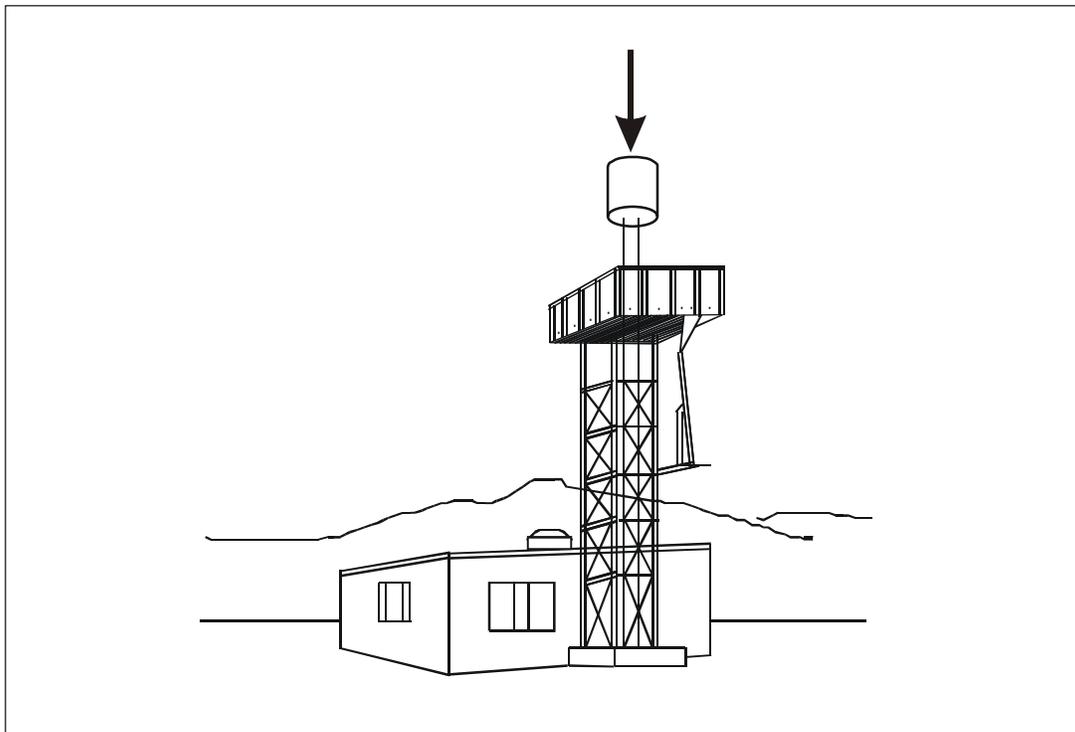


Рис. 5В-12. TACAN

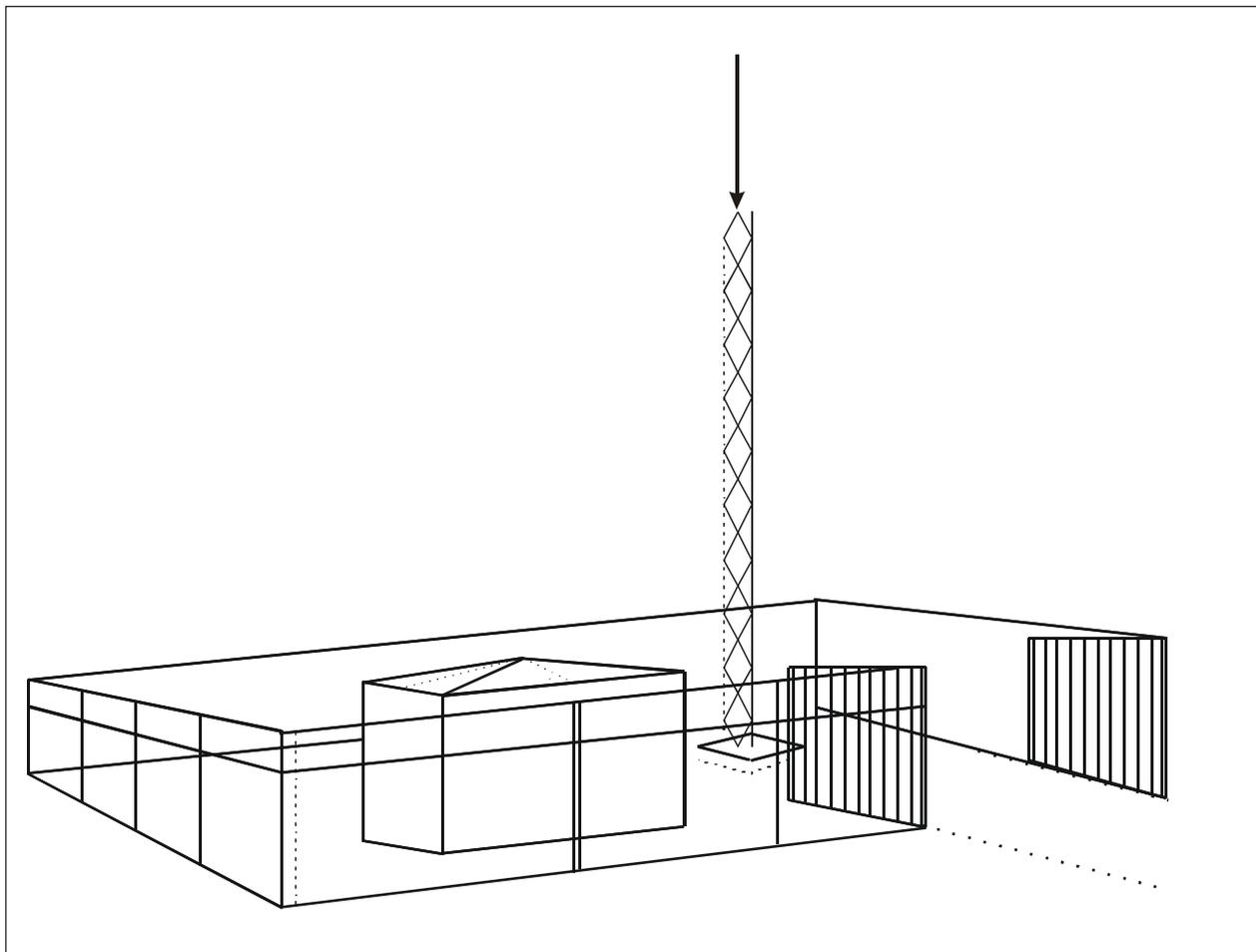


Рис. 5В-13. NDB

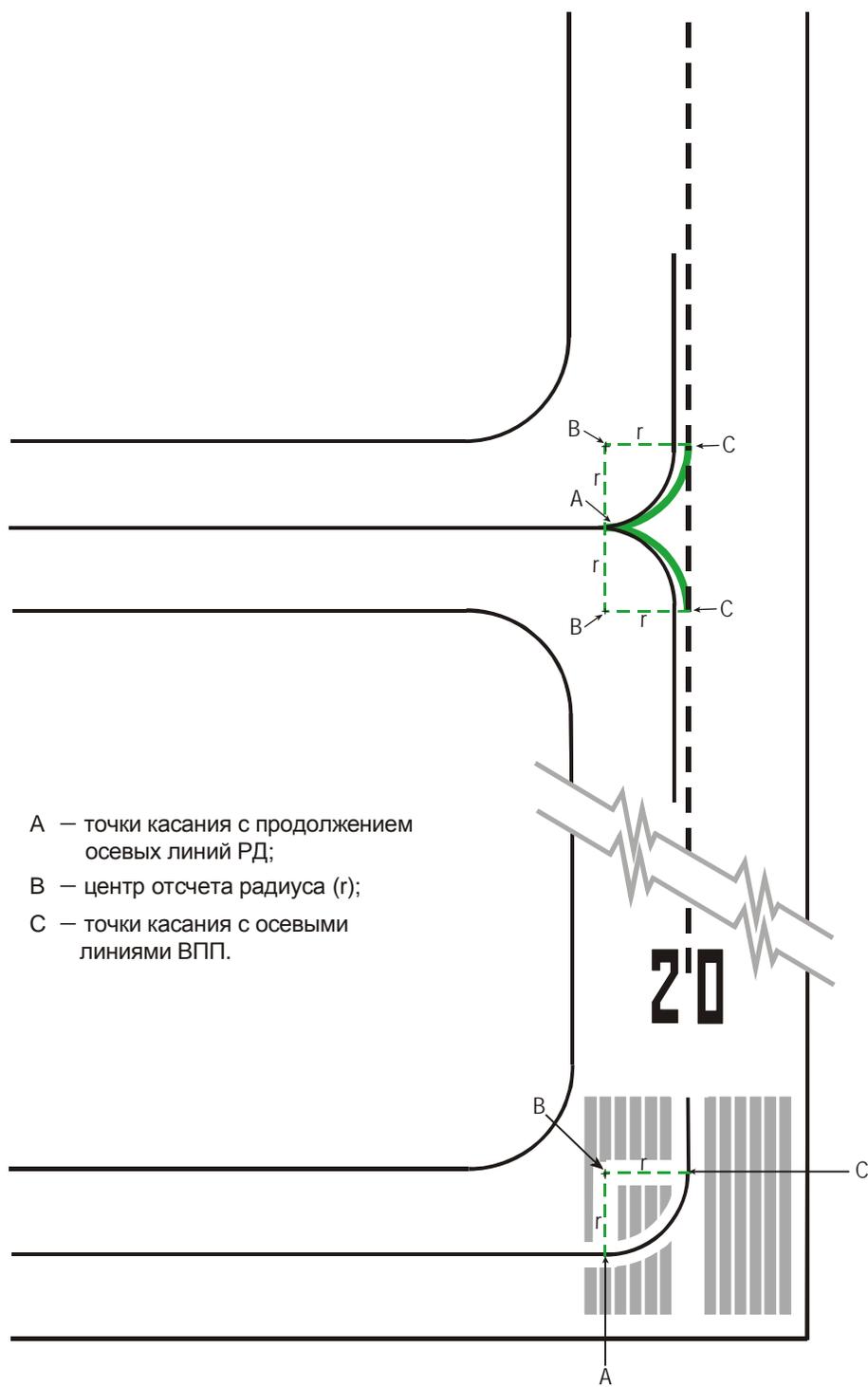


Рис. 5В-14. Пересечения ВПП и РД, подлежащие съемке

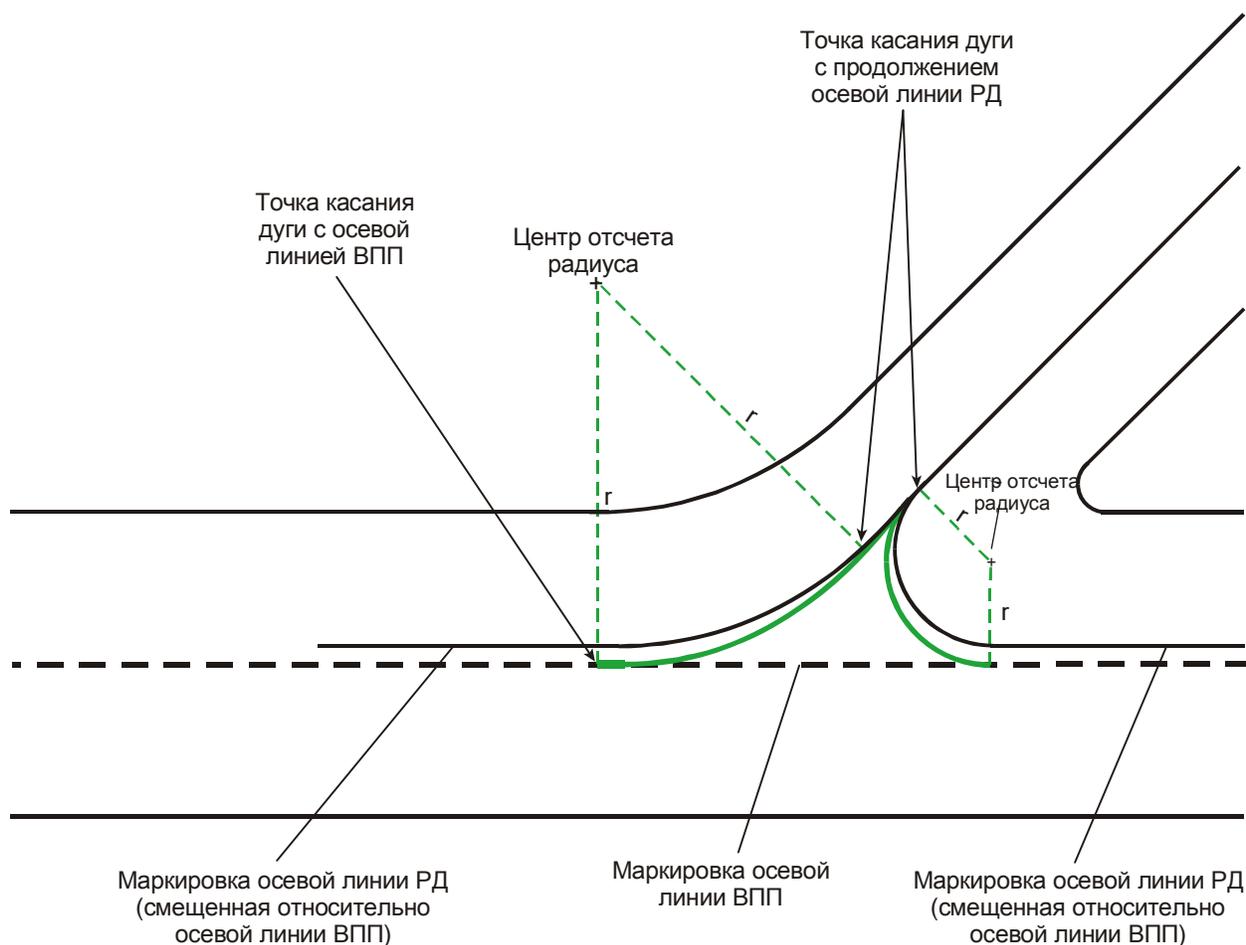


Рис. 5В-15. Пересечения ВПП и РД, подлежащие съемке

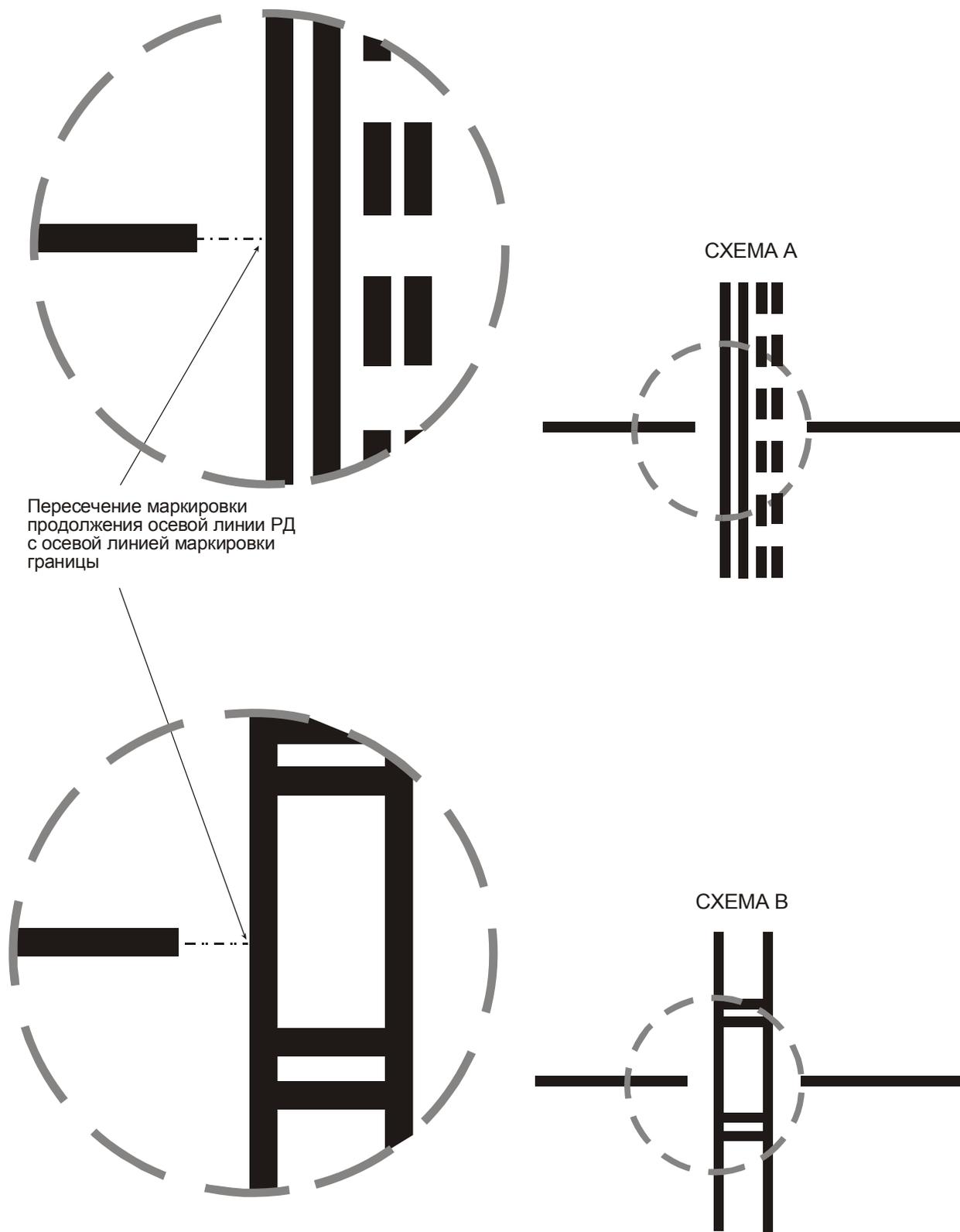


Рис. 5В-16. Места ожидания перед ВПП, подлежащие съемке

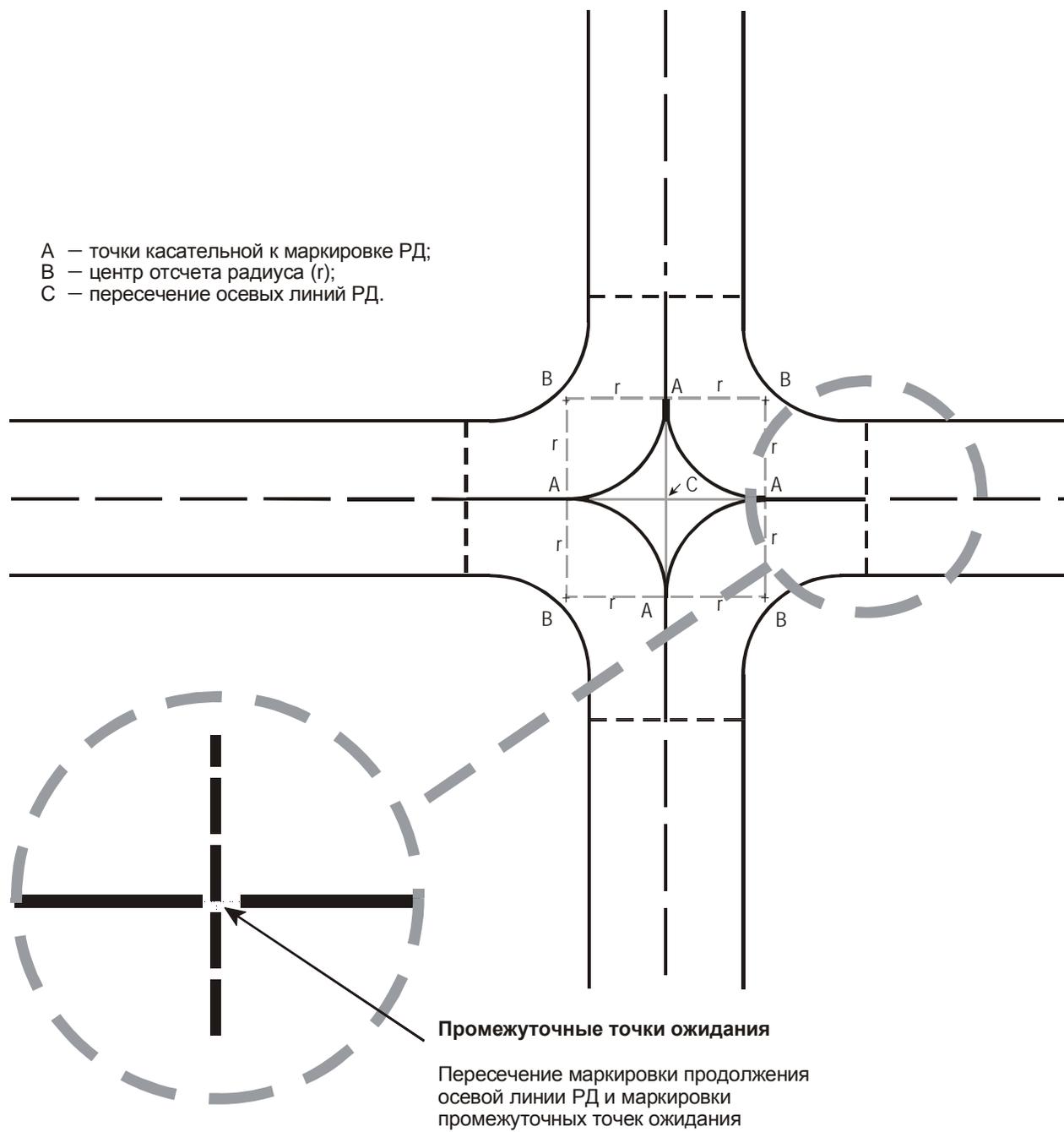


Рис. 5В-17. Пересечения РД, подлежащие съемке

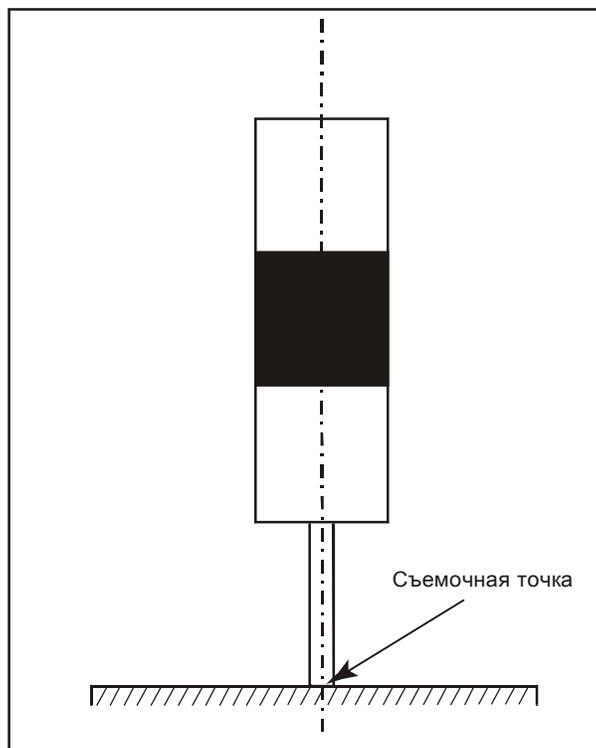


Рис. 5В-18. Геодезический знак руления по воздуху вертолетов, подлежащий съемке

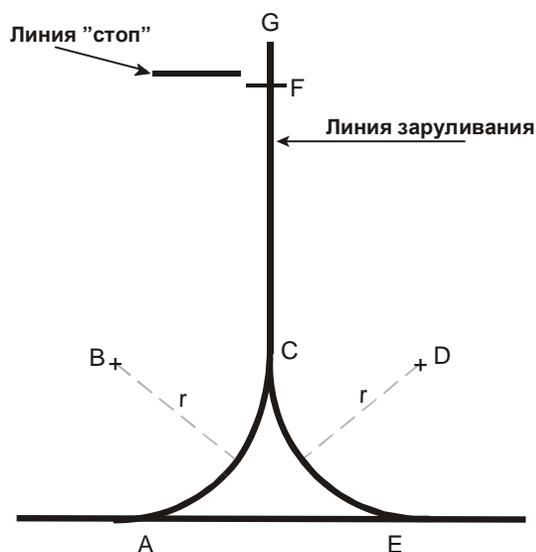


Рис. 5В-19. Простые линии заруливания для носового колеса

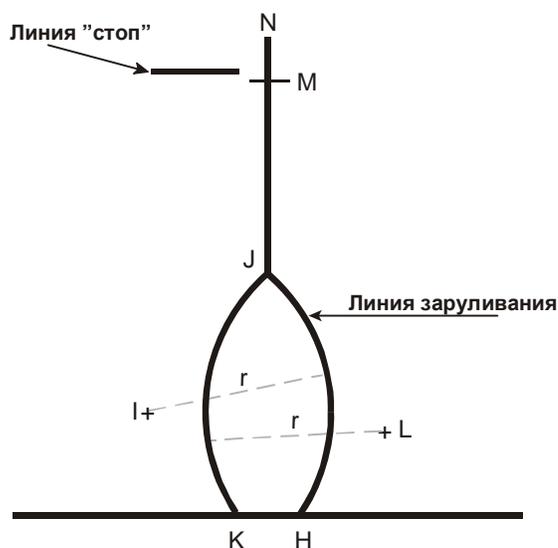
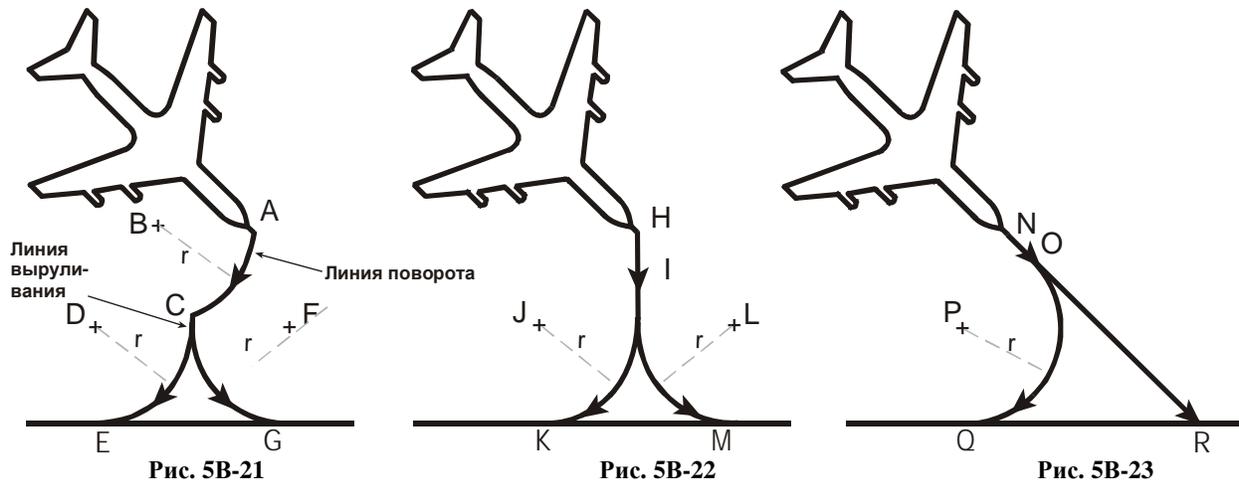


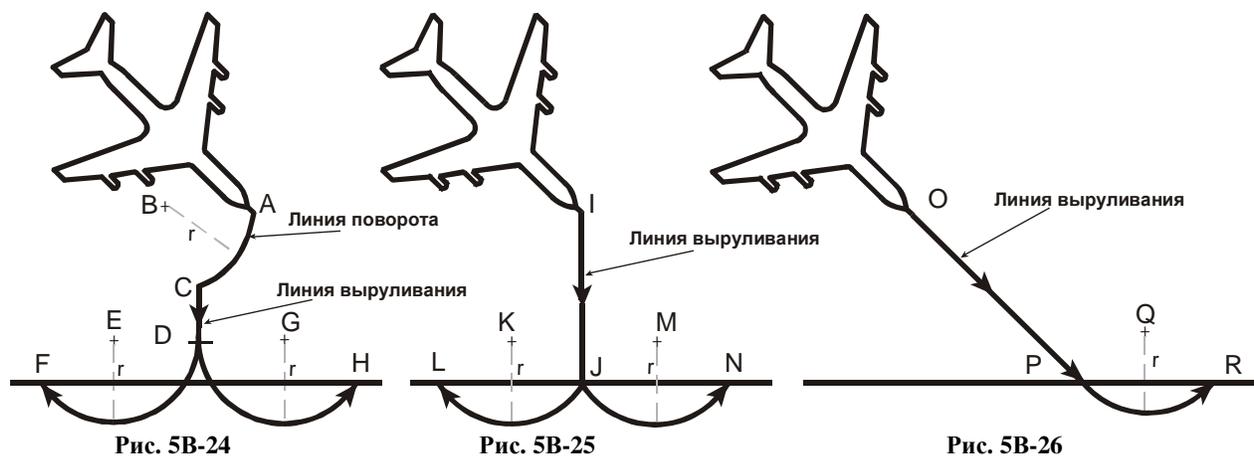
Рис. 5В-20. Смещенная линия заруливания для носового колеса

<i>Местоположение</i>	<i>Описание точки, подлежащей съемке</i>
A	Точка касания центра маркировки заруливания с центром маркировки руления на перроне
B	Центр и радиус дуги линии заруливания
C	Точка касания с центром маркировки линии заруливания
D	Центр и радиус дуги линии заруливания
E	Точка касания центра маркировки заруливания с центром маркировки руления на перроне
F	Местоположение носового колеса запаркованного воздушного судна
G	Конец маркировки линии заруливания
H	Пересечение центра маркировки линии заруливания и центра маркировки руления на перроне
I	Центр и радиус дуги линии заруливания
J	Центр начала прямого участка линии заруливания
K	Пересечение центра маркировки линии заруливания и центра маркировки руления на перроне
L	Центр и радиус дуги линии заруливания
M	Местоположение носового колеса запаркованного воздушного судна
N	Конец маркировки линии заруливания



Простые линии выруливания для носового колеса

<i>Местоположение</i>	<i>Описание точки, подлежащей съемке</i>
A	Центр начала маркировки линии поворота
B	Центр и радиус дуги линии поворота
C	Центр пересечения маркировки линии поворота и маркировки линии выруливания
D	Центр и радиус дуги линии выруливания
E	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
F	Центр и радиус дуги линии выруливания
G	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
H	Начало линии выруливания
I	Центр начала криволинейного участка линии выруливания
J	Центр и радиус дуги линии выруливания
K	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
L	Центр и радиус дуги линии выруливания
M	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
N	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
O	Центр начала криволинейного участка линии выруливания
P	Центр и радиус дуги линии выруливания
Q	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
R	Пересечение центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне



Смещенные линии выруливания для носового колеса

Местоположение	Описание точки, подлежащей съемке
A	Центр начала маркировки линии поворота
B	Центр и радиус дуги линии поворота
C	Центр пересечения маркировки линии поворота и маркировки линии выруливания
D	Центр конца прямолинейного участка маркировки линии выруливания
E	Центр и радиус дуги линии выруливания
F	Пересечение центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
G	Центр и радиус дуги линии выруливания
H	Пересечение центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
I	Начало линии выруливания
J	Центр начала криволинейного участка линии выруливания
K	Центр и радиус дуги линии выруливания
L	Пересечение центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
M	Центр и радиус дуги линии выруливания
N	Пересечение центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
O	Начало линии выруливания
P	Центр начала криволинейного участка линии выруливания
Q	Центр и радиус дуги линии выруливания
R	Пересечение центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне

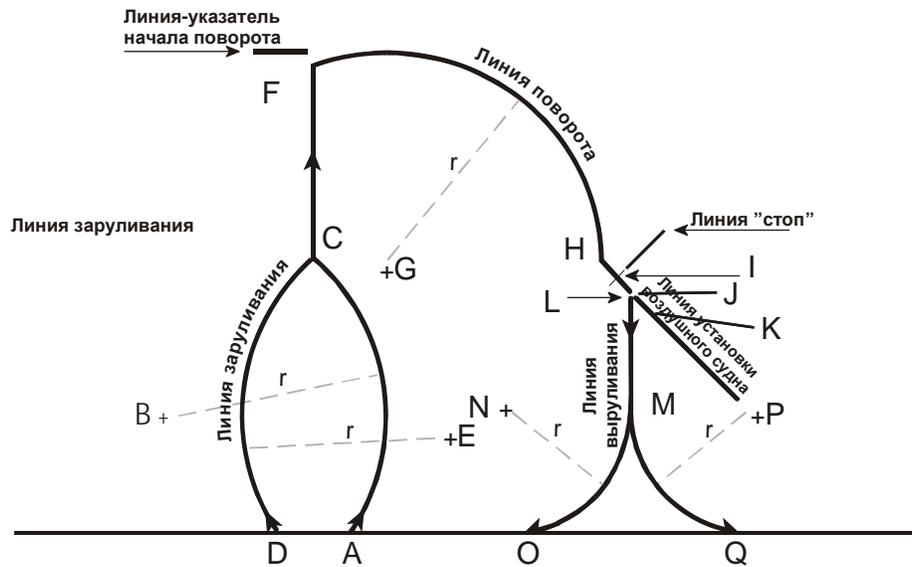


Рис. 5В-27. Линии поворотов

Местоположение

Описание точки, подлежащей съемке

A	Пересечение центра маркировки линии заруливания и центра маркировки руления на перроне
B	Центр и радиус дуги линии заруливания
C	Центр начала прямолинейного участка линии заруливания
D	Пересечение центра маркировки линии заруливания и центра маркировки руления на перроне
E	Центр и радиус дуги линии заруливания
F	Конец прямолинейного участка маркировки линии заруливания/начало маркировки линии поворота
G	Центр и радиус дуги линии поворота
H	Центр начала прямолинейного участка маркировки линии поворота
I	Местоположение носового колеса запаркованного воздушного судна
J	Центр конца прямолинейного участка или маркировки линии поворота
K	Истинный пеленг линии установки
L	Начало линии выруливания
M	Центр начала криволинейного участка линии выруливания
N	Центр и радиус дуги линии выруливания
O	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне
P	Центр и радиус дуги линии выруливания
Q	Точка касания центра маркировки линии выруливания и маркировки руления на перроне

Дополнение С. ОТЧЕТЫ О РЕЗУЛЬТАТАХ СЪЕМКИ

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА

1.1 По результатам съемки необходимо представить отчет в соответствии со следующим общим форматом.

Содержание отчета: геодезическая привязка

1. Расписка в получении отчета от имени уполномоченной организации с указанием даты получения отчета о результатах съемки, подтверждением его завершенности и перечнем адресатов, которым направлены экземпляры отчета.
2. Историческая справка (даты и общая цель съемки, Ф.И.О. топографа, название топографической организации и т. д.).
3. Описание метода съемки.
4. Подробные данные о привязке к геодезической основе и об источнике получения контрольных координат (то есть исходное описание и перечни координат, полученные от национальной геодезической организации, или перечни со ссылкой на результаты предыдущих съемок).
5. Схема сети опорных пунктов.
6. Описание опорных пунктов.
7. Перечень отснятых точек в хронологическом порядке с указанием даты установки геодезических знаков, описанием и результатами съемки.
8. Отчет о контроле за качеством, включающий информацию о калибровке оборудования и о методе проверки результатов съемки. Подтверждаемые свидетельства соответствия требованиям точности данных

1.2 Результаты реальных наблюдений должны быть изложены в отдельном томе с соответствующим указателем. Отчет о результатах съемки должен содержать ссылки на данные наблюдений.

2. СЪЕМКА АЭРОДРОМА/ВЕРТОДРОМА

2.1 По результатам съемки необходимо представить отчет в соответствии со следующим общим форматом.

Содержание отчета: съемка аэродрома/вертодрома

1. Расписка в получении отчета от имени уполномоченной организации с указанием даты получения отчета о результатах съемки, подтверждением его завершенности и перечнем адресатов, которым направлены экземпляры отчета.
2. Историческая справка (даты и общая цель съемки, Ф.И.О. топографа, название топографической организации и т. д.).
3. Описание метода съемки.
4. Подробные данные наблюдений со ссылками на результаты контрольной съемки.
5. План съемки координат навигационных элементов и подтверждающие схемы с соответствующими ссылками (в случае необходимости).
6. Перечень отснятых точек в хронологическом порядке с указанием координат и даты съемки.
7. Отчет о контроле за качеством, включающий информацию о калибровке оборудования и методе проверки результатов съемки, включая, при необходимости, схемы. Подтверждаемые свидетельства соответствия требованиям точности данных.

2.2 Результаты реальных наблюдений должны быть изложены в отдельном томе с соответствующим указателем. Отчет о результатах съемки должен содержать ссылки на данные наблюдений.

3. СЪЕМКА НА МАРШРУТЕ

3.1 По результатам съемки необходимо представить отчет в соответствии со следующим общим форматом.

Содержание отчета: съемка на маршруте

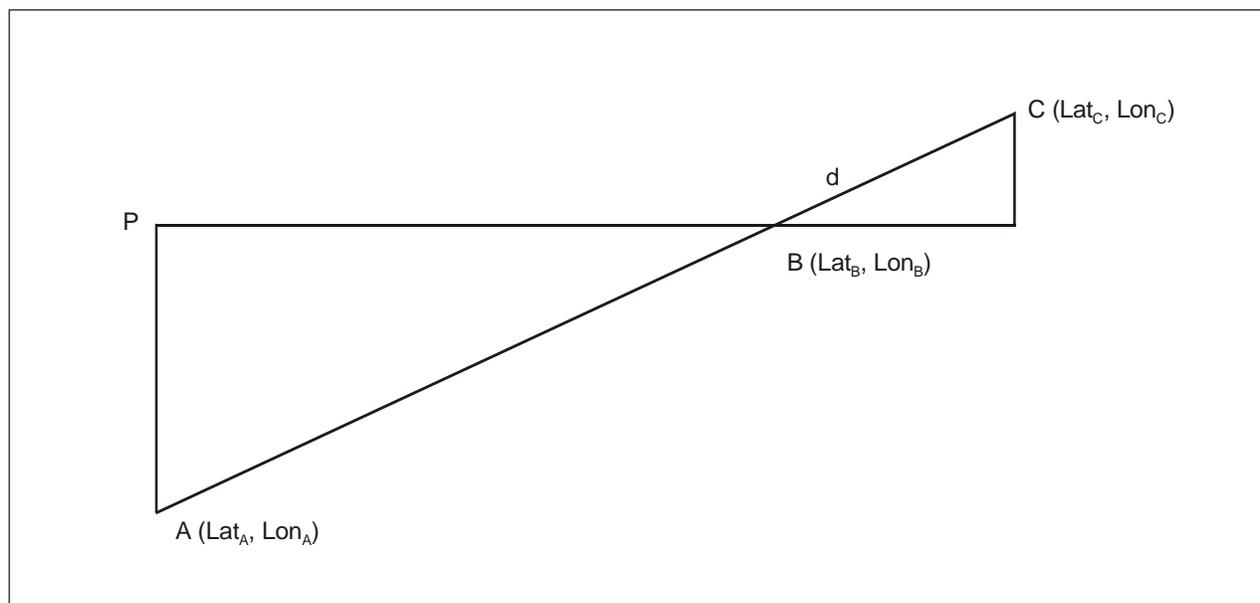
1. Расписка в получении отчета от имени уполномоченной организации с указанием даты получения отчета о результатах съемки, подтверждением его завершенности и перечнем адресатов, которым направлены экземпляры отчета.

2. Историческая справка (даты и общая цель съемки, Ф.И.О. топографа, название топографической организации и т. д.).
 3. Описание метода съемки.
 4. Подробные сведения о приведении координат отдельных навигационных средств к общей системе координат.
 5. Схема съемки, отражающая метод привязки к местной геодезической основе, с помощью которого были получены координаты геометрического центра навигационного средства.
 6. Перечень отснятых точек в хронологическом порядке с указанием координат и даты съемки.
 7. Отчет о контроле за качеством, включающий информацию о калибровке оборудования и о методе проверки результатов съемки. Подтверждаемые свидетельства соответствия требованиям точности данных.
- 3.2 Результаты реальных наблюдений должны быть изложены в отдельном томе с соответствующим указателем. Отчет о результатах съемки должен содержать ссылки на данные наблюдений.

Дополнение D. РАСЧЕТ КООРДИНАТ ПОРОГОВ

В тех случаях, когда местоположение точки на осевой линии, определенное путем реальной съемки, не совпадает с порогом, координаты порога могут быть определены путем

расчета координат порога, смещенного по отношению к отснятой точке по долготе, с использованием следующего метода:



(Углы в градусах в десятичной системе.)

Дано: A (Lat_A, Lon_A) – точка на осевой линии ВПП;
 B (Lat_B, Lon_B) – отснятая точка порога;
 d (м) – смещение по долготе от истинного порога.

Найти: C (Lat_C, Lon_C).

$$PB = (Lon_B - Lon_A) \times 1852 \times 60 \times \cos [(Lat_B + Lat_A)/2];$$

$$PA = (Lat_B - Lat_A) \times 1852 \times 60;$$

$$AB = \sqrt{(PB^2 + PA^2)};$$

$$K = d/AB.$$

$$\begin{aligned} Lat_C &= Lat_B + k(Lat_B - Lat_A), \\ Lon_C &= Lon_B + k(Lon_B - Lon_A). \end{aligned}$$

Примечание 1. При использовании описанной выше системы условных обозначений приведенная формула применима для всех случаев. Степень точности, обеспечиваемую данной формулой, можно повысить за счет использования более точной местной величины по сравнению с 1852 м, принимаемыми за 1 м. милю.

Примечание 2. Значения долготы к западу от Гринвича могут указываться как отрицательные величины. В тех случаях, когда смещение направлено от точки В к точке А, расстояние d может быть указано как отрицательная величина.

Примечание 3. Приводимые выше формулы являются приблизительными и могут использоваться только при малой величине d (например, менее 1 км и менее расстояния АВ).

Глава 6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

6.1 ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ КАЧЕСТВА

6.1.1 При обсуждении проблем качества важно иметь единое понимание используемой терминологии. У большинства людей интерпретация значения слова "качество" будет различной в зависимости от их личного опыта. В целях обеспечения единообразия в использовании терминов включены следующие определения.

Процедуры. Применяемый метод, то есть как должны распределяться обязанности по выполнению поставленной задачи; что должно быть достигнуто в результате выполнения поставленной задачи; и что должно регистрироваться для представления соответствующих данных о качестве.

6.1.2 Процедура не ограничена конкретным оборудованием. Она касается результатов, которые должны быть достигнуты после выполнения соответствующих этапов данной процедуры. Подробное описание того, "как выполнять работу", содержится в рабочих инструкциях, например, как пользоваться конкретным прибором или оборудованием.

Качество. Совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности (ИСО 8402*).

Примечание. Объектом является то, что может быть индивидуально описано и рассмотрено (ИСО 8402*).

6.1.3 В этом случае качество означает способность продукта отвечать **на постоянной основе** установленным для него требованиям, то есть он соответствует предназначенной цели. Единой или абсолютной меры качества не существует, хотя заявления о качестве процесса или продукта могут основываться на результатах физических измерений и наблюдений, например уровень качества.

Обеспечение качества (QA). Все планируемые и систематически осуществляемые виды деятельности в рамках системы качества, а также подтверждаемые как необходимые для создания достаточной уверенности в том, что объект будет выполнять требования к качеству (ИСО 8402*).

6.1.4 Иными словами, QA представляет собой процесс подтверждения посредством использования заранее определенных методов того, что установленные параметры качества реализованы в конечном продукте. После получения доказательств успешного производства требуемого продукта с использованием определенного метода необходима система, которая могла бы обеспечить при каждом повторении данного процесса правильное применение указанного метода или методов. QA распространяется на все мероприятия и функции, которые влияют на уровень качества продукта, и достигается за счет использования системы качества.

Контроль качества. Методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству (ИСО 8402*).

Управление качеством. Все виды деятельности, относящиеся к общей управленческой функции, определяющие политику, цели и обязанности в отношении качества, и осуществление их с помощью таких средств, как планирование качества, контроль качества, обеспечение качества и повышение качества в рамках системы качества (ИСО 8402*).

Уровень качества. Степень удовлетворения потребностей клиента. Уровень качества, равный 100%, означает, что в **каждом** случае обеспечивалось полное соответствие требуемым параметрам.

6.1.5 Это можно интерпретировать как осуществление мер, связанных с QA.

Параметры качества. Минимальные заранее заданные параметры, которые должны быть достигнуты для обеспечения соответствия установленным требованиям к качеству. Система качества обеспечивает контроль, гарантирующий достижение требуемых параметров качества.

Проверка. Подтверждение путем экспертизы и представления объективного доказательства того, что установленные требования были выполнены (ИСО 8402*).

* Стандарт 8402 ИСО "Управление качеством и обеспечение качества: словарь" (второе издание).

Примечание. Объективным доказательством является информация, которая может быть доказана, что она правдива, основана на фактах и получена путем наблюдения, измерения, испытания или других средств (ИСО 8402*).

Прослеживаемость. Способность проследить предысторию, использование и местонахождение объекта с помощью идентификации, которая регистрируется (ИСО 8402*).

Рабочие инструкции. Фактические этапы осуществления данной процедуры. Они представляют собой подробное описание приемов, характерных для конкретного вида оборудования, используемого в производственном процессе.

Разрешающая способность (разрешение). Число единиц или цифр, определяющее порядок используемого измеренного или рассчитанного значения.

Регистрация информации о качестве. Задокументированное свидетельство выполнения задач, в рамках которых были достигнуты требуемые результаты, и достаточная привязка к другим зарегистрированным данным о качестве для обеспечения прослеживаемости (трассируемости) данных.

Система качества. Совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством (ИСО 8402*).

Требования к качеству. Выражение определенных потребностей или их перевод в набор количественно или качественно установленных требований к характеристикам объекта, чтобы дать возможность их реализации и проверки (ИСО 8402*).

Утверждение (придание законной силы). Подтверждение путем экспертизы и представления объективного доказательства того, что особые требования, предназначенные для конкретного применения, соблюдены (ИСО 8402*).

6.2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА (QA)

6.2.1 Необходимость системы обеспечения качества

Цель внедрения WGS-84 заключается в получении привязанных к единой геодезической основе значений координат с высоким доверительным уровнем точности и целостности данных. При применении любых методов, обеспечивающих соответствие требуемому стандарту всех данных о местоположении, необходимо решить проблемы, связанные с масштабом такой задачи. Все получаемые

координаты должны быть прослеживаемыми до их источника по непрерывной цепочке. Координаты каждой точки являются уникальными, поэтому контрольные проверки качества на выборочной основе были бы неприемлемыми. Большое число точек и их географический разброс делают непрактичным проверку координат каждой отдельной точки. Однако существует возможность проверки метода, с помощью которого были получены указанные данные. Это может быть сделано в рамках QA.

6.2.2 Обеспечение качества и внедрение WGS-84

6.2.2.1 QA связано, скорее, с проблемой предотвращения погрешностей, чем с их исправлением. Для этого необходимо понять следующее правило. Необходимо определить связанные с этим задачи и обеспечить их эффективное решение. Это достигается путем использования системы качества или системы управления качеством (QMS). Основными элементами такой системы могут быть (см. рис. 6-1):

- a) *Организация* (структура управления). Очень важно, чтобы обязанности по выполнению конкретной задачи были сформулированы и поняты всеми участниками процесса, то есть каждый знает, кто что выполняет.
- b) *Планирование/процедуры.* Определение подлежащих выполнению задач и разработка процедур, необходимых для осуществления производственного процесса.
- c) *Документация.* В целях обеспечения единообразного выполнения процедур различным персоналом их необходимо изложить в письменном виде. Документы могут обновляться, но в соответствии с санкционированной процедурой контроля. Для обеспечения прослеживаемости процесса в случае необходимости установления возникшей проблемы информация о качестве должна регистрироваться в письменном виде.
- d) *Оценка.* Наиболее важной частью любой системы качества является применяемый метод оценки, то есть процесс проверки. Этим обеспечиваются проверки, показывающие, правильно ли используются соответствующие процедуры и достигаются ли при этом требуемые результаты. При таком методе обеспечивается обратная связь, позволяющая усовершенствовать процесс, если в этом возникает необходимость. Проведение оценки направлено на выработку конструктивных рекомендаций по усовершенствованию системы при выявлении несоответствия требованиям и на обеспечение доверия к этим методам, когда указанные требования выполняются.

- е) *Обзор.* Процесс рассмотрения результатов оценки и внесения любых необходимых изменений с использованием процедуры корректирующих действий.

Примечание. Стандарты обеспечения качества серии 9000 Международной организации по стандартизации (ISO) определяют основные рамки для разработки программ обеспечения качества. Конкретные элементы успешной программы должны разрабатываться каждым государством, и в большинстве случаев они являются уникальными для соответствующих организаций каждого государства.

6.2.2.2 На рис. 6-2 представлен пример структуры QMS, применимой в отношении QA при расчете новых данных. На нем показаны:

- а) цели и обязанности, определяемые национальным авиационным управлением;
- б) различные задачи планирования, включая:
 - i) решение об использовании существующих данных или проведении повторной съемки;
 - ii) тип съемки (геодезическая, съемка аэродрома или маршрута);
 - iii) требования к точности; и
 - iv) инструктаж подрядных топографических организаций в отношении требований к точности и вопросов безопасности, а также оценка их соответствия поставленным задачам до того, как будут заключены контракты;
- с) два результата процесса оценки (проверки):
 - i) соответствие установленным требованиям, когда указанные данные могут затем обрабатываться; и
 - ii) несоответствие установленным требованиям, когда процесс необходимо вернуть на стадию планирования посредством процедуры корректирующих действий.

6.2.3 Аспекты безопасности при съемке

6.2.3.1 Система качества должна учитывать аспекты безопасности при проведении съемки. Проблема безопасности связана с различными юридическими аспектами и имеет свои особенности, устанавливаемые каждым авиационным управлением. Но при этом система качества должна содействовать безопасной практике работы, так как любой несчастный случай отражается на качестве предоставляемого обслуживания, например, обеспечивать проведение надлежащего инструктажа бригады топо-

графов в отношении типа съемки, которую они должны осуществить, и ознакомления с соответствующими местными правилами. Это особенно важно при работе на аэродромах.

6.2.3.2 Прежде чем заключить какой-либо контракт, необходимо принять во внимание опыт топографической компании, то есть, сколько они провели съемок на аэродромах. В соответствии с требованиями QMS необходимо регистрировать и сохранять связанную с качеством информацию, например контрольный перечень пунктов инструктажа бригады топографов. При отсутствии подтверждения факта проведения инструктажа бригады топографов по вопросам, касающимся требований к безопасности на аэродроме, указанная бригада не должна приступать к работе.

6.2.4 Планы обеспечения качества

Вышеуказанная система QMS была разработана исключительно для гарантии качества источника данных WGS-84, полагаясь в основном на данные, полученные бригадой топографов. Сфера действия этой системы не включает управление всеми процессами, связанными с аэронавигационными данными, которые могут входить в компетенцию отдела службы САИ. Однако QMS может функционировать как вспомогательный элемент в рамках общей системы качества с более широкой сферой действия. Вспомогательная система QMS именуется планом обеспечения качества. Например, приведенная на рис. 6-2 система QMS названа государственным планом обеспечения качества. Указанный план может быть включен в какую-либо существующую систему качества авиационного управления либо в новую систему наряду с другими планами обеспечения качества, такими как планы, разработанные для обеспечения качества поступающего потока данных, проходящего через процесс хранения базы данных и публикации. На рис. 6-3 приводится пример такой общей системы управления данными.

6.2.5 Информация, необходимая для определения качества данных

Для обеспечения гарантии целостности данных и возможности ее подтверждения необходимо, чтобы все координаты могли прослеживаться до их источника по непрерывной цепочке. Хотя получатели данных будут применять контроль с использованием циклического избыточного кода (CRC) для подтверждения правильности их приема, этого недостаточно для определения качества данных. По этой причине необходимо регистрировать все вносимые изменения. Примерный перечень некоторых данных, которые необходимо регистрировать, включает следующее:

- а) точность данных;

- b) источник данных;
- c) подробная информация об изменениях, внесенных в указанные данные;
- d) причина изменения данных;
- e) справочные материалы, имеющие отношение к изменению данных;
- f) источник изменения данных;
- g) фамилия лица, внесшего указанные изменения;
- h) дата внесения изменений.

6.2.6 Процедуры обеспечения прослеживаемости данных

6.2.6.1 Информация о качестве должна регистрироваться организацией, осуществляющей модификацию данных. Хотя признак, позволяющий извлечь эту информацию, должен быть включен в данные, передаваемые следующему предполагаемому пользователю вместе с CRC, необходимость в передаче самой информации о качестве отсутствует.

6.2.6.2 Информация о качестве может храниться в электронном или отпечатанном виде. Для обеспечения непрерывности всей цепочки процесса определенная информация об изменениях должна присутствовать в каждом элементе данных на протяжении всего процесса манипулирования этими данными и их использования и, по возможности, храниться в соответствующем поле данных или записях, относящихся к указанному элементу данных.

6.2.7 Процедуры обеспечения целостности данных

6.2.7.1 Точность данных (см. главу 2) задается их источником. В отношении съемочных данных процедуры, необходимые для обеспечения заданной точности, рассматриваются в главе 5 "Инструктивные указания по проведению съемки". Процедуры для расчета координат точек должны не только учитывать степень точности известных (съемочных) данных, но должны также обеспечивать поддержание требований к точности, предусмотренных соответствующей моделью данных, на стадии последующих математических расчетов. Координаты объявленных точек должны указываться с точностью, предусмотренной соответствующей моделью данных, содержащейся в главе 2.

6.2.7.2 Гарантия целостности данных требует четко определенных процедур для всех стадий процесса, связанного с аэронавигационными данными: от этапа

первоначального получения этих данных до этапа их использования. Возможности обеспечения целостности данных, хранимых в системе с ручной обработкой данных, какими-либо другими средствами, помимо тщательного осуществляемого вручную независимого контроля, весьма ограничены. Однако в отношении данных, хранящихся на электронном носителе, существует целый ряд возможных вариантов. При выборе соответствующих методов защиты целостности данных, хранимых в электронном виде, необходимо учитывать требования к целостности указанных данных и тот риск, которому эти данные подвергаются.

6.2.8 Ввод данных вручную

Преобразование рукописной или отпечатанной информации в электронную форму является главным потенциальным источником погрешностей во всем процессе. В целях обеспечения требуемых уровней целостности данных на протяжении всего процесса необходимо уделять особое внимание средствам, с помощью которых будет осуществляться и контролироваться такое преобразование.

6.2.9 Проверка правильности данных

Проверка правильности данных, которая может осуществляться при хранении данных в электронном виде, выявит многие ошибки, допущенные при вводе данных вручную, однако возможность повышения уровня целостности хотя бы на один порядок с помощью одной только проверки правильности данных представляется сомнительным.

6.2.10 Аспекты программного обеспечения

6.2.10.1 В каждом случае, когда данные обрабатываются компьютерными программами, даже если речь идет об извлечении какого-либо элемента из базы данных и записи его на магнитный носитель, существует риск того, что в результате ошибки в программном обеспечении итоговый элемент данных не будет являться точной копией оригинала. Соответственно любое программное обеспечение, используемое для обработки данных, должно быть подвергнуто тщательному опробыванию, тестированию и проверке на правильность.

6.2.10.2 Кроме угрозы для целостности данных, которую представляет собой ошибка в программном обеспечении, существует также угроза компьютерных вирусов, которые могут быть внесены в ЭВМ через рабочую программу при применении прикладного программного обеспечения и утилитов. Данный аспект

должен также учитываться в рамках системы управления конфигурацией.

6.2.11 Аспекты, связанные с сохранностью данных

Хотя надежность аппаратного обеспечения ЭВМ с годами заметно повысилась, тем не менее сохраняется риск искажения данных из-за отказа какого-либо компонента ЭВМ или бросков напряжения питания. Обнаружение искажений данных, вызванных отказами оборудования, может быть улучшено путем тестирования и проверки через регулярные промежутки времени.

6.2.12 Аспекты, связанные с пересылкой данных

Риск, которому подвергаются данные при записи на магнитные/оптические носители или считывании с них, зависит от используемых устройств и методов, применяемых при упаковке таких носителей и обращении с ними. Защита обеспечивается компьютерными программами, контролирующими считывание с носителей и запись на них. Для обеспечения защиты данных в процессе их хранения или пересылки необходимо использовать CRC. (Подробная информация содержится в главе 7.)

РИСУНКИ К ГЛАВЕ 6

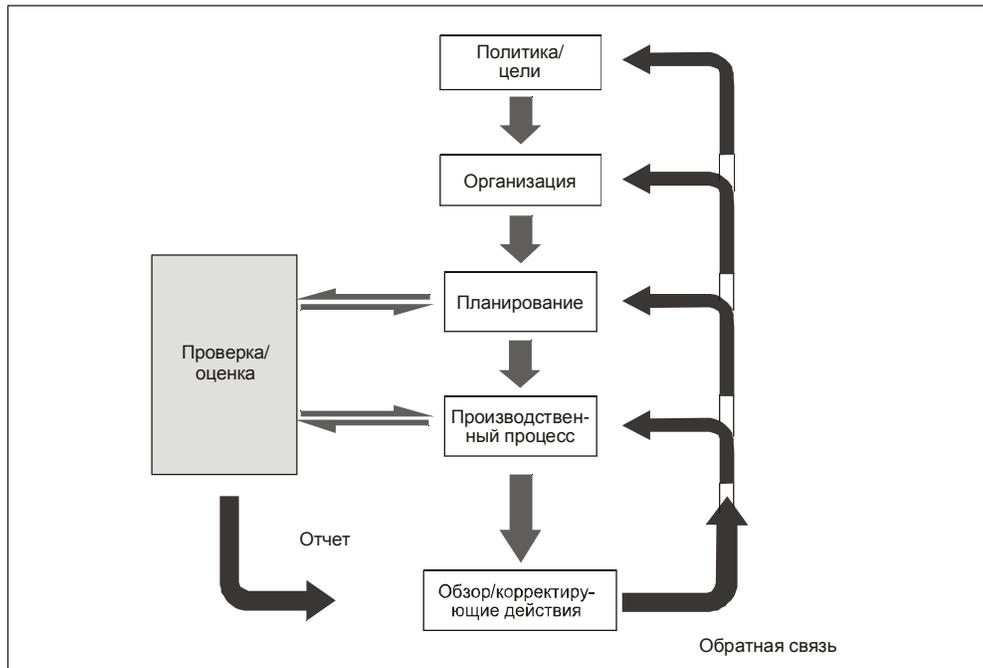


Рис. 6-1. Основная структура системы качества (петля QA)

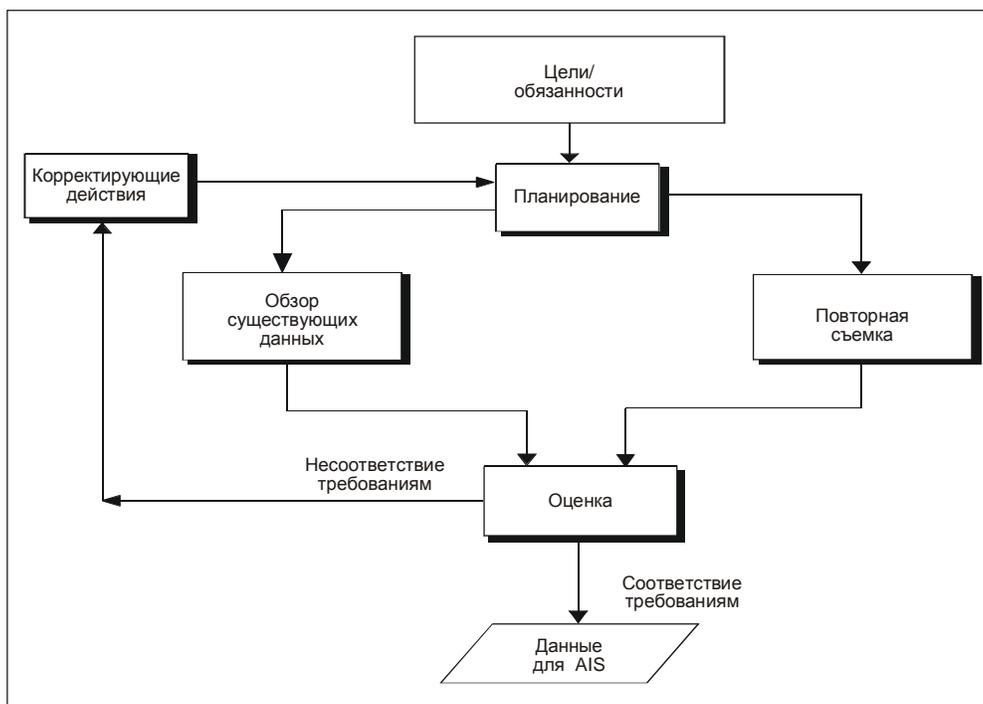


Рис. 6-2. Модель государственного плана обеспечения качества



Рис. 6-3. Планы обеспечения качества в рамках системы качества

Глава 7

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОТЧЕТЫ

7.1 ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТНОСТИ О СЪЕМКАХ

7.1.1 Важно иметь информацию о том, какой тип данных был получен в результате съемки, а также с какой степенью точности и разрешения указанная съемка была осуществлена. Классификация типов данных, точности и разрешения была приведена в главе 2. Помимо возможности получения точных данных о местоположении, другая цель внедрения системы WGS-84 состоит в обеспечении возможности отслеживания источника этих данных. Подробная информация об использованном методе получения данных содержится в отчете о съемке. Указанный отчет представляет собой также зарегистрированные данные о качестве, которые будут использоваться для оценки результатов съемки и последующего их применения в качестве справочного материала.

7.1.2 Поэтому важно, чтобы проводящие съемку топографы регистрировали всю необходимую информацию, используя стандартизированные формы отчетности. Это даст возможность представлять все результаты съемочных работ, проводимых с целью определения координат навигационных средств, в заранее заданном формате. В тех случаях, когда существующая национальная практика отчетности отличается от предложенной в данном руководстве, национальные авиационные управления могут представить обоснования в поддержку национальной практики, если будет доказана ее совместимость.

7.1.3 Совместимость отчетов, достижимая благодаря использованию стандартизированных форматов, даст определенные преимущества при оценке (проверке) результатов съемок. Контрольные перечни будут способствовать эффективному осуществлению контрольной проверки, особенно при большом количестве съемок. Можно получить дополнительное преимущество, если до проведения съемок предоставить топографам такие контрольные перечни в качестве инструктивного документа, определяющего требования к отчетности, благодаря чему авиационное управление получает результаты, соответствующие установленным стандартам.

7.2 БАЗОВАЯ СТРУКТУРА ОТЧЕТОВ

7.2.1 Ниже приводится пример базовой структуры отчета:

- a) *Используются три типа форматов представления отчетов.*
 - i) Для геодезической съемки.
 - ii) Для навигационных средств на маршруте.
 - iii) Для съемки района аэродрома/вертодрома.

Кроме того, имеются еще данные о координатах, полученные путем преобразования существующего набора данных, которые сами являются результатом одного из вышеназванных типов съемки.

- b) *Типичные элементы отчета.* Определенные разделы должны присутствовать в каждом формате отчета.
 - i) Историческая справка, содержащая общую информацию о съемке:
 - цель съемки;
 - дата проведения;
 - фамилии топографов и название фирмы.
 - ii) Метод съемки. Способ практического выполнения съемки, а не просто описание теоретических принципов, лежащих в основе использованного метода съемки.
 - iii) Схемы. В соответствующих случаях следует приводить схемы для описания геодезических пунктов, сетей опорных пунктов и порогов.

- iv) Отчет контроля качества должен содержать информацию о проведении калибровки оборудования. В нем также должны быть описаны методы, использованные для проверки результатов съемки и, в частности, приведены доказательства того, что требуемая точность для конкретного типа данных была выдержана.
 - v) Наблюдения. Записи реальных наблюдений должны быть включены в отдельный том и содержать перекрестные ссылки на отчет о съемке.
- с) *Формат отчета о топографической съемке аэродрома/вертодрома.* Формат отчета о съемке аэродрома/вертодрома в его полном объеме должен включать следующие элементы.
1. Расписка в получении, подписанная от имени уполномоченного органа по приемке, с указанием даты получения отчета о съемке и количества копий отчета.
 2. Историческая справка с указанием даты и цели проведения съемки, названий фирм и фамилий сотрудников.
 3. Описание метода съемки.
 4. Подробная информация о выполненных наблюдениях со ссылками на контрольную съемку.
 5. План съемочных работ и оборудования со ссылками на подтверждающие диаграммы (в случае необходимости).
 6. Схема точек съемки с указанием координат и даты проведения съемки.
 7. Отчет контроля качества, содержащий подробную информацию о калибровке оборудования и описание методов, использованных для проверки результатов съемки. Кроме того, должны быть приведены доказательства того, что съемка проводилась с требуемой точностью.
 8. Результаты реальных наблюдений (включенные в отдельный том) должны быть снабжены указателем, позволяющим включить перекрестные ссылки в отчет о съемке.

7.3 ФОРМАТЫ, СТАНДАРТНЫЕ АЛГОРИТМЫ И РАБОЧАЯ ПРАКТИКА

Для всеобщего использования предлагаются следующие форматы данных, стандартные алгоритмы и рабочая практика.

7.3.1 Универсальный формат представления данных (UDDF)

7.3.1.1 Универсальный формат представления данных (UDDF), предложенный Соединенными Штатами Америки (Федеральное авиационное управление, документ № 405 "Стандарты для аэронавигационных данных и связанной с ними информации"), представляет собой систему цифрового представления, в которой аэронавигационные и другие данные, включая данные о аэродроме/вертодроме, ВПП, навигационных средствах и препятствиях, представляются в стандартном текстовом формате ASCII. Такую информацию можно легко вводить в файлы пользователей и базы данных. Она задает требуемый формат, когда данные о съемке представляются в AIS.

7.3.1.2 За справками, с замечаниями или рекомендациями, касающимися UDDF, просьба обращаться по адресу:

Robert Fisher
 Manager, FAA Programs
 Photogrammetry Branch, NGSD
 1315 East-West Highway
 Silver Spring, Maryland
 20910

7.3.1.3 Документ № 405 ФАУ построен следующим образом:

- a) *Общее описание структуры:* описывается общая структура формата UDDF.
- b) *Условные знаки:* описываются условные знаки, принятые в UDDF, например знаки, используемые в качестве разделителей типов записей и ограничителей полей.
- c) *Распечатки аннотированных файлов:* приводятся аннотированные файлы в формате UDDF, которые содержат кодовые числа в начале каждого поля. Декодирование кодовых чисел дает описание данных, тип поля и столбцы поля.

7.3.1.3.1 *Общее описание структуры.* Формат UDDF реализован в виде семи файлов, каждый из которых содержит данные для одного из семи типов съемки, предназначенной для следующих целей:

- a) карта аэродромных препятствий (AOC);
- b) обычная точная посадка с заходом по методу зональной навигации (APC);
- c) обычная неточная посадка с заходом по методу зональной навигации (ANC);
- d) точная вертикальная посадка с заходом по методу зональной навигации (APV);

- e) неточная вертикальная посадка с заходом по методу зональной навигации (ANV);
- f) отправление ВС с отключенными двигателями (EOD);
- g) специальная съемка (SPL).

7.3.1.3.1.1 Каждый из этих файлов состоит из следующих информационных сегментов:

- a) данные об аэропорте, включая название аэропорта, индекс местоположения, присвоенный ИКАО, номер местоположения, присвоенный ФАУ, дату проведения съемки, издание с результатами съемки, магнитное склонение и другую информацию об аэропорте и съемке;
- b) данные о порогах и смещенных порогах, о концевых полосах торможения, струеотбойных плитах ВПП и другая информация, касающаяся ВПП;
- c) данные о навигационных средствах, включая вычисленные расстояния между навигационными средствами и wybranными точками на ВПП;
- d) данные о препятствиях, включая вычисленные расстояния от выбранных точек на ВПП и высоту над этими точками;
- e) специальные примечания с различной информацией, которая не может быть логически включена в другие данные, например консультативные сообщения о возможных возвышениях кораблей над поверхностью.

7.3.1.3.2 *Условные знаки.* Информация UDDF выдается в виде файлов в формате ASCII. Имя файла определяет аэропорт, приблизительную дату проведения съемки и тип съемки. Каждое поле ограничивается символом в виде вертикальной пунктирной линии, а информационные сегменты разделены внутри файла символом "@". Информационные сегменты внутри самого сегмента, например данные по отдельным ВПП внутри сегмента с данными о ВПП, разделены символом "#". Конец файла обозначается как "EOF".

7.3.1.3.3 *Распечатки аннотированных файлов.* Требуется аннотированный файл с описаниями полей (см. рис. 7-1).

7.3.1.3.4 При вводе данных в базу данных необходимо:

- a) подтвердить правильность данных путем сопоставления их с данными первичной съемки;

- b) ввести данные, используя строгие процедуры контроля качества; и
- c) проверить введенные данные.

7.3.2 Алгоритм контроля с помощью циклического избыточного кода (CRC)

7.3.2.1 Полномочные органы гражданской авиации, которые будут разрабатывать электронную базу аэронавигационных данных, должны обеспечить, чтобы пересылка данных, будь то из одного персонального компьютера в другой, обработка внутри базы данных или цифровая передача по сетям связи, контролировалась с помощью циклического избыточного кода (CRC), заданного для пакета данных, подлежащих передаче. CRC может также использоваться для контроля целостности конкретных элементов информации, хранящихся в базе данных. Значения целостности данных, которые должны обеспечиваться для конкретных данных, хранящихся в базе, или при их передаче, указаны в таблицах 2-1 – 2-5.

7.3.2.2 CRC представляет собой алгоритм обнаружения ошибок, способный обнаруживать небольшие изменения в блоке данных. В тех случаях, когда полномочные органы гражданской авиации продолжают получать и передавать данные с помощью ручных процессов, значение CRC можно было бы прилагать к передаваемому набору данных в визуальной форме с тем, чтобы каждый последующий пользователь, получающий эти данные, мог сравнить исходное значение CRC с вновь рассчитанным значением. С помощью настольной издательской системы, позволяющей представить аэронавигационные данные в электронной форме, можно создать сборник аэронавигационной информации (AIP) в печатном виде. Затем отдельные данные или все данные, содержащиеся на одной странице можно "завернуть" в CRC с тем, чтобы обеспечить их защиту. Результирующее вычисленное значение использованного для данного случая CRC должно быть напечатано либо вместе с этими отдельными данными, либо для всей выбранной страницы. Таким способом значение CRC, присоединенное к исходным значениям данных, можно контролировать с момента формирования данных на протяжении всей их публикации. Получатели данных, такие, как организации по подготовке данных и изготовители авиационного электронного оборудования, имели бы тогда возможность до ввода этих данных в базу данных проверять целостность их значений, полученных от полномочного органа гражданской авиации, путем сравнения отпечатанного значения CRC со значением, полученным в результате их собственной независимой проверки с помощью CRC.

7.3.2.3 CRC представляет собой математический процесс, в ходе которого последовательность из N инфор-

мационных битов в результате обработки алгоритмом преобразуется в блок из n битов, известный как CRC, где n меньше N . Проверка целостности данных может осуществляться путем сравнения результата применения алгоритма CRC с объявленным ожидаемым результатом. Если с помощью такой математической программы восстановить значение CRC по полученным данным не удается, то это означает, что либо в данных, либо в CRC появилась ошибка и поэтому эти данные более не являются надежными. При тщательном выборе используемого алгоритма CRC и соотношения значений n и N можно гарантировать, что должна быть искажена более чем заданная часть исходных N битов, прежде чем появится какая-либо возможность выдачи того же самого результирующего кода из n битов. При заданной формуле CRC уровень целостности, обеспечиваемый для какого-либо элемента данных, будет определяться отношением n и N .

7.3.2.4 Основными характеристиками CRC являются следующие:

- a) более надежен для обнаружения ошибок, чем проверка по суммам или битам четности;
- b) элементами генерации кода CRC являются:
 - блок данных, деленный на генерирующий полином;
 - CRC, равный остатку от деления;
 - CRC, добавленный в конце блока данных;
 - при отсутствии ошибок остаток, полученный при делении, равен нулю;
- c) гарантия обнаружения ошибок (см. таблицу 7-1, где приведена зависимость целостности данных от длины CRC).

7.3.2.5 Стандартные алгоритмы CRC

7.3.2.5.1 Генерирующий полином алгоритма CRC измеряется размером в битах, где коэффициентами полинома являются двоичные величины, равные 0 или 1. Уровень защиты целостности, обеспечиваемый конкретным генерирующим полиномом, зависит от члена полинома, имеющего наивысший порядок. Чем выше порядок члена, тем выше уровень защиты. Из приведенных ниже генерирующих полиномов:

- a) $1 + x^5 + x^{12} + x^{16}$ – алгоритм CRC-CCITT; и
- b) $1 + x + x^3 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{14} + x^{16} + x^{22} + x^{24} + x^{31} + x^{32}$ – алгоритм CRC-23Q.

7.3.2.5.2 Алгоритм CRC-CCITT является 16-битовым алгоритмом и обеспечивает меньший уровень защиты, чем алгоритм CRC-32Q, который является 32-битовым. Приведенные выше алгоритмы CRC предлагаются для универсального применения во всех государствах мира.

7.3.2.6 Использование CRC для проверки правильности данных

7.3.2.6.1 Целостность нельзя восстановить, если она была потеряна. Поэтому целостность необходимо гарантировать с момента получения исходных данных до их конечного применения. Исходя из этого, предлагается, чтобы на том этапе, когда элемент данных преобразуется в электронную форму, он должен быть снабжен кодом CRC, чтобы таким образом обеспечить возможность проверки при его передаче следующему предполагаемому пользователю. При этом, и на каждом последующем этапе, получатель должен подтвердить правильность данных и тем самым подтвердить гарантию того, что данные не были искажены во время их хранения или передачи.

7.3.2.6.2 Ввод данных в базу данных в начале процесса является одним из наиболее критических этапов всего процесса. Поэтому на данном этапе необходимо осуществить следующее:

- a) подтвердить правильность данных путем сопоставления их с данными первичной съемки;
- b) ввести данные, используя строгие процедуры контроля качества;
- c) выполнить проверку для подтверждения правильности введенных данных.

7.3.2.6.3 Для того чтобы CRC можно было использовать для проверки правильности данных, выбранный CRC должен обеспечить уровень целостности, который требуется для отдельных элементов данных, подлежащих передаче. Это значение CRC должно соответствовать наименьшему набору данных, с которым приходится иметь дело в данном конкретном случае. Так, например, в большинстве случаев, связанных с внедрением WGS-84, таким наименьшим элементом будет одна точка. Возможным набором данных для проверки с помощью CRC может также быть некоторая процедура и, в конечном счете, даже вся база аэронавигационных данных.

7.3.2.7 Различные компьютерные форматы и их влияние на CRC

В идеальном случае после того, как код CRC сформирован, он остается неизменным вплоть до его применения в системах управления полетом (FMS) или

RNAV. Однако в процессе обработки форматы данных меняются, а код CRC имеет силу только для конкретного формата данных. Например, данные хранятся в компьютере в формате, зависящем от длины слова, которая вряд ли будет такой же, что и в базе данных поставщика или в системах RNAV/FMS. Поэтому необходимо производить пересчет CRC на различных этапах обработки данных. Пересчет должен выполняться при строгом контроле качества для того, чтобы CRC по-прежнему оставался достоверным показателем целостности.

7.3.2.8 Целостность и длина CRC

7.3.2.8.1 CRC обеспечивает абсолютную гарантию обнаружения ошибки при появлении только одного периода "пакетной ошибки" в пределах потока данных, в который был введен CRC, при условии, что подстрока, содержащая все подвергшиеся воздействию ошибки биты, короче чем длина используемого CRC. Если искаженные биты отстоят друг от друга на расстояние, превышающее длину CRC, то вероятность необнаруженной ошибки равна вероятности того, что как исходные, так и искаженные данные дадут одно и то же значение CRC. Если допустить, что CRC "равномерно" распределен по достоверным строкам данных, то вероятность необнаруженной ошибки возрастает до максимума в 2-н, когда число битов, защищенных CRC, в несколько раз больше длины самого CRC.

7.3.2.8.2 В таблице 7-1 указаны значения длины CRC, требуемые для достижения различных уровней гарантированного обнаружения ошибки в нескольких битах передаваемых данных в случае отсутствия гарантии того, что расстояние между ошибочными битами меньше чем длина CRC. Поэтому для достижения гарантированной целостности величиной 1×10^{-8} необходимо использовать 32-битовый CRC.

7.3.2.9 Пример генерации CRC

7.3.2.9.1 Алгоритм, по которому получают CRC, определяется генерирующим полиномом (GP). GP для n-битового CRC имеет n-й порядок; коэффициенты имеют значения либо 0 либо 1 при том ограничении, что полином является простым и что коэффициенты членов x^0 и x^n оба равны 1. Для генерирования CRC необходимо блок данных разделить на GP. Полученный остаток, то есть CRC, обычно добавляется в конце этого блока данных. При последующей проверке данных они подвергаются аналогичному делению, хотя в этом случае они уже содержат остаток. Если в данных не появилось никаких ошибок, то остаток от этого деления должен быть равен 0.

7.3.2.9.2 Указанный процесс можно продемонстрировать с помощью следующих математических выкладок, используя арифметические расчеты по модулю 2.

Пусть:

D – данные, GP – генерирующий полином, Q – частное и R – остаток.

(Добавляемые буквы Q и R обозначают соответственно отправитель и получатель данных.)

Тогда:

$D = QO \times GP + RO$ (для исходных данных);

$D + RO = QR \times GP + RR$ (у получателя).

Это можно представить как $D = QR \times GP + RR + RO$.

Отсюда следует, что:

$QO \times GP \times RO = QR \times GP + RR + RO$.

Таблица 7-1. Целостность и длина CRC

Целостность	Длина CRC	
	Число битов	Число знаков
$3,9 \times 10^{-3}$	8	1
$1,5 \times 10^{-5}$	16	2
$6,0 \times 10^{-8}$	24	3
$2,3 \times 10^{-10}$	32	4

Сокращая GP и RO, получаем:

$QO = OR$, если $RR = 0$ (т. е. ошибки отсутствуют).

7.3.2.9.3 CRC можно реализовать с помощью простых сдвиговых регистров и вентилях исключающего ИЛИ (XOR). Для наглядности представляется следующий пример, выполняемый вручную.

7.3.2.9.4 Генерация CRC.

7.3.2.9.4.1 Пример генерации CRC приведен на рис. 7-2. При этом данные = 11011001, GP = 11001 и CRC имеет длину 4 бита.

7.3.2.9.4.2 Одно из предварительных требований к GP состоит в том, что он должен быть на 1 бит длиннее CRC.

7.3.2.9.4.3 В конце данных добавляются четыре нуля (длина CRC), и эти данные (с четырьмя добавленными нулями) сравниваются в вентилях исключающего ИЛИ с GP. В результате этой операции получаются частное и остаток (т. е. CRC).

7.3.2.9.4.5 Подтверждение правильности данных. CRC добавляется в конце передаваемых данных. Когда получатель данных вновь подвергает эту строку тем же самым вычислениям, то в случае отсутствия ошибок остаток получается равным нулю (см. рис. 7-3).

РИСУНКИ К ГЛАВЕ 7

0	1										2										3										4										5										6										7																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	...																													
ASR (MFR)											422306.6000										-1225146.7000										1310.0																																																	
60											61										62										63										64										65										66																			
DME (14)											422140.0470										-1225201.8010										1334.0																																																	
GS (14)											422242.4910										-1225224.7530										1297.1																																																	
GS (14) PP											422241.0590										-1225229.7230										1299.7																														400										1081									
LOC (14)											422140.1380										-1225157.8070										1318.9																														998																			
LMM (14)											422321.0000										-1225250.6000																																								3250																			
LOM (14)											422703.2000										-1225448.2000																																								27420																			
VORTAC (OED)											422846.5000										-1225446.7000										2080.0																																																	

Элементы с 1 по 6 представляют собой описание полей в формате UDDF, имеющее следующий смысл:

1. ОПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ КОД АЭРОПОРТА/А6/2-7;
2. НОМЕР МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ АЭРОПОРТА/А10/9-18;
3. РЕГИОН ФАУ/А4/20-23;
4. ТИП СЪЕМКИ/А6/25-30;

- АОС – СЪЕМКА КАРТЫ АЭРОДРОМНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ;
- ЕОД – СЪЕМКА МАРШРУТА ОТПРАВЛЕНИЯ С ОТКЛЮЧЕННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ;
- НРА – СЪЕМКА МАРШРУТА НЕТОЧНОГО ЗАХОДА НА ПОСАДКУ ПО МЕТОДУ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ;
- РАА – СЪЕМКА МАРШРУТА ТОЧНОГО ЗАХОДА НА ПОСАДКУ ПО МЕТОДУ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ;
- SPL – СПЕЦИАЛЬНАЯ СЪЕМКА;

5. НОМЕР ОС/15/32-36;
6. ИЗДАНИЕ ОС/А3/38-40.

Рис. 7-1. Формат UDDF для данных о навигационных средствах

1	1	X	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	ЧАСТНОЕ				
						1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0		
						1	1	0	0	1									
						0	0	0	1	0	0	0	1						
									1	1	0	0	1						
									0	1	0	0	0	0					
									1	1	0	0	1						
									0	1	0	0	1	0					
									1	1	0								
									0	1	0	1	1	0					
			1	1	0	0	1												
			0	1	1	1	1	0											
			1	1	0	0	1												
			0	0	1	1	1												

Остаток (CRC)

Рис. 7-2. Данные делятся на GP для получения CRC

1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
	X	O	R		1	1	0	1	1	0	0	1	0
					1	1	0	0	1				
					0	0	0	1	0	0	0	1	
						1	1	0	0	1			
						0	1	0	0	0	0	0	0
							1	1	0	0	1		
							0	1	0	0	1	1	
								1	1	0	0	1	
								0	1	0	1	0	1
								1	1	0	0	1	
								0	0	0	0	0	0

Остаток = 0 (ошибка отсутствует)

Рис. 7-3. Данные с добавленным CRC делятся на GP для обнаружения их возможного искажения

Добавление А

ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ (GPS)

1. БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Глобальная система определения местоположения (GPS), являющаяся вариантом навигационной системы, обеспечивающей измерение времени и дальности (NAVSTAR), представляет собой всепогодную навигационную систему космического базирования, которая была разработана в основном для нужд министерства обороны Соединенных Штатов Америки. Эта система, эксплуатация которой началась в 1973 году и которая полностью вступила в действие в 1994 году, позволяет в глобальных масштабах определять текущее местоположение подвижного транспортного средства и его скорость (то есть выполнять навигационные функции), а также осуществлять точную координацию времени.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

Глобальная система определения местоположения состоит из трех основных сегментов:

- а) *Управляющий сегмент* с наземным оборудованием для контроля за спутниками и обновления передаваемой ими информации. Система оперативного управления (OCS), как следует из ее названия, обеспечивает контроль и поддержку всей остальной системы. Она выполняет три основных функции: слежение, прогнозирование и пересылку информации и состоит из одной ведущей станции управления (MCS), пяти контрольных станций и трех наземных антенн.
- б) *Космический сегмент*, обеспечивающий глобальное перекрытие с помощью от четырех до восьми спутников с углом возвышения более 15° , одновременно находящихся в поле зрения. Это достигается наличием спутников на шести почти круговых орбитах высотой около 20 200 км над Землей с периодом обращения приблизительно 12 ч. Количество рабочих спутников составляет 21 (плюс 3 дополнительных действующих резервных спутника) с углом наклона 55° , то есть по

4 спутника на каждую плоскость. Резервные спутники используются для замены неисправного "действующего" спутника.

- в) *Сегмент пользователей*, состоящий из неограниченного количества приемников, которые принимают сигналы со спутников и производят расчеты текущего местоположения и другой навигационной информации.

3. СТРУКТУРЫ СПУТНИКОВЫХ СИГНАЛОВ GPS

3.1 Радиовещание на несущей осуществляется со спутника в форме шумоподобного сигнала, что делает его менее подверженным преднамеренным (или непреднамеренным) помехам. Метод шумоподобного сигнала в настоящее время обычно используется в самом различном оборудовании, таком как гидрографические системы определения дальности и местоположения и беспроводные системы локальных сетей (LAN).

3.2 Ключевым фактором, определяющим точность системы, является то, что все составляющие сигнала точно контролируются атомными часами. Спутники, входящие в конфигурацию "Блок II", имеют четыре бортовых стандарта времени: двое рубидиевых и двое цезиевых часов. Эти высокоточные стандарты частоты, являющиеся главным элементом спутников GPS, генерируют основную частоту в L -диапазоне, составляющую 10,23 МГц. Путем умножения основной частоты на 154 и 120 получают два когерентных сигнала, а именно две несущих $L1$ и $L2$, составляющие соответственно:

$$L1 = 1575,42 \text{ МГц (19 см) и}$$

$$L2 = 1227,60 \text{ МГц (24 см)}$$

3.3 Эти когерентные частоты имеют существенное значение для исключения основного источника погрешностей, то есть ионосферной рефракции. Для определения псевдодальностей, которые рассчитываются исходя из

измеренного времени распространения сигнала от каждого спутника до приемника, используются два псевдослучайных шумовых (PRN) кода, которыми модулируются две основные несущие. Первый код представляет собой C/A-код (неточный код/код выделения сигнала), он относится к Службе стандартного определения местоположения (SPS), доступной для гражданского использования. C/A-кодом, имеющим эффективную длину волны 293,1 м, модулируется только несущая $L1$ и преднамеренно не модулируется несущая $L2$.

3.4 Второй код – это P-код (точный код), он относится к Службе точного определения местоположения (PPS), которая предназначена для военных пользователей США и других уполномоченных пользователей. P-кодом, имеющим эффективную длину волны 29,31 м, модулируются обе несущие $L1$ и $L2$.

4. ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ СО СПУТНИКОВ GPS

4.1 Кроме PRN-кодов, обе несущие модулируются сообщением, содержащим следующую информацию:

- a) эфемериды спутников,
- b) коэффициенты моделирования ионосферы,
- c) информация о состоянии,
- d) системное время и уход часов спутника и
- e) информация о дрейфе.

4.2 Полное сообщение, состоящее из 1500 бит, передается за 30 с со скоростью 50 бит/с. Сообщение разбито на 5 подкадров. Каждый подкадр передается за 6 с и содержит 10 слов по 30 бит.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ПСЕВДОДАЛЬНОСТИ И ФАЗЫ НЕСУЩЕЙ

5.1 На рис. А-1 показано, как производятся измерения псевдодальности и фазы несущей. В результате сравнения кода, передаваемого со спутника, с его точной копией, генерируемой в приемнике, получается временной сдвиг Δt , называемый также псевдодальностью. Умножение этого временного сдвига на скорость света c (с учетом различных поправок) дает расстояние между пользователем и спутником.

5.2 Несущая излучаемого спутником сигнала принимается (с доплеровским сдвигом) приемником и срав-

нивается с генерируемой в нем несущей. Разность фаз этих двух несущих и есть так называемая измеренная фаза несущей.

5.3 Измеренная фаза равна некоторой доле длины волны переданного сигнала, в то время как число целых периодов сигнала, составляющее остальную часть расстояния, неизвестно. Число целых периодов определяется не по принимаемому сигналу, а подсчитывается по сигналу, генерируемому в приемнике. Поэтому каждая потеря захвата принимаемого сигнала приводит к потере соответствующего числа периодов и создает так называемый сдвиг по числу периодов. Поскольку начальное значение n и значение после сдвига по числу периодов неизвестны, измерения фазы дают неопределенный результат. Эта неопределенность (равная числу целых периодов) должна быть определена в процессе обработки.

6. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

6.1 Существуют в основном два метода отказа гражданским пользователям в использовании системы GPS в полном объеме.

Селективный доступ (S/A)

6.2 Первоначально этот вид отказа в доступе был реализован посредством колебательного изменения ("дрожания") тактовой частоты со спутника таким образом, чтобы гражданские пользователи не могли производить точные измерения текущей псевдодальности ("дитер"-процесс). Эта форма отказа в осуществлении точных измерений главным образом эффективна при использовании одного приемника. Когда для измерения псевдодальности используются два приемника, влияние дитер-эффекта в значительной степени устраняется и на работу в этом режиме навигации, предлагаемой, например, службой береговой охраны Соединенных Штатов Америки, он не воздействует. Метод S/A был реализован только в конфигурации спутников "Блок II" и с апреля 1990 года периодически использовался на различных уровнях отказа в осуществлении точных измерений.

6.3 Второй метод отказа в осуществлении точных измерений заключается в усечении передаваемого навигационного сообщения таким образом, чтобы координаты спутников нельзя было точно вычислить ("эпсилон"-процесс). Погрешность в местоположении спутника превращается приблизительно в такую же по величине погрешность местоположения в приемнике.

Защита от ложных сигналов

6.4 В конструкции системы GPS предусмотрена возможность по существу "выключения" P-кода или генерирования шифрованного кода (Y-код) в качестве средства отказа в доступе к P-коду для всех пользователей, кроме уполномоченных на такой доступ. Это делается для того, чтобы противник не передавал ложных сигналов, имеющих структуру сигналов GPS, с целью ввести в заблуждение пользователей, которые в этом случае неправильно определяют свое местоположение. Доступ к P-коду возможен только при установке в каждом канале приемника вспомогательной выходной микросхемы (АОС), которую можно получить только по соответствующему разрешению. Меры по защите от ложных сигналов сказываются на многих применениях системы GPS, связанных с высокоточной съемкой.

7. АБСОЛЮТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ GPS

7.1 На рис. А-2 показано, что для определения трех координат местоположения необходимо измерить псевдодальности до четырех разных спутников.

7.2 Четвертое измерение производится с целью определения разности (уход часов) между сигналами высокоточных цезиевых часов спутника и непрецизионных кварцевых часов приемника.

7.3 Решается следующая система уравнений с четырьмя неизвестными:

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 + dT = (PR1)^2; \quad (A-1)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 + dT = (PR2)^2; \quad (A-2)$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 + dT = (PR3)^2; \quad (A-3)$$

$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 + dT = (PR4)^2. \quad (A-4)$$

Точность абсолютного определения с помощью GPS местоположения отдельной точки

7.4 Для гражданских пользователей С/А-код обеспечивает точность в горизонтальной плоскости, равную 100 м (2d ср. кв.) при включенном S/A и 40 м (2d ср. кв.) при выключенном S/A. Точность в вертикальной плоскости может быть в два-три раза хуже из-за взаимного геометрического расположения спутник – пользователь. Определение местоположения отдельной точки может производиться как в статическом, так и в кинематическом (движущийся объект) режимах.

7.5 Интересно отметить, что российская спутниковая система GLONASS обеспечивает приблизительно такую же точность, что GPS, но, насколько нам известно, режим, подобный S/A, в GLONASS отсутствует.

8. ПОГРЕШНОСТИ GPS В ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

При определении местоположения отдельной точки возможны следующие источники погрешности:

- a) спутник – орбита;
- b) спутник – часы;
- c) спутниковый код – селективный доступ S/A;
- d) приемник – разрешение при наблюдении;
- e) приемник – шум при наблюдении;
- f) антенна – многопутевое распространение;
- g) атмосферная рефракция (в ионосфере, тропосфере).

9. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД СЪЕМКИ С ПОМОЩЬЮ GPS

9.1 Различные погрешности при определении местоположения отдельной точки можно устранить путем формирования "разностей" между наблюдениями. Определение местоположения стационарного или подвижного пользователя относительно некоторой фиксированной опорной станции с известными WGS-84 координатами называется дифференциальным методом определения местоположения с помощью GPS. Такая опорная станция может использоваться бесконечно большим числом пользователей, расположенных вокруг нее, например, в радиусе до 100 км. Трехмерный относительный вектор базисной линии (между опорной станцией и станцией пользователя) получается в результате обработки данных с помощью программ анализа GPS. Обработка может производиться в режиме базисной линии или в режиме сети.

9.2 В таблице А-1 показаны влияние шумов приемника и теоретически ожидаемая погрешность при дифференциальном методе определения местоположения при благоприятной геометрии расположения спутника (PDOP = 3). PDOP – мера, определяющая геометрию расположения спутника: чем меньше число, тем лучше.

Таблица А-1. Шум при наблюдении и соответствующая погрешность

Наблюдения при использовании С/А-кода	Шум приемника	Погрешность при дифференциальном методе определения местоположения (PDOP = 3)
Псевдодальность	0,2–5 м	0,6–15 м
Фаза несущей	0,2–2 мм	0,6–6 мм

Таблица А-2. Режимы съемки с помощью GPS и их точность

Режим	Характеристики	Точность
Статический	Длительное время наблюдения (от нескольких часов до нескольких суток) Длинные базисные линии (> 100 км)	$\pm 0,1 \text{ мм} \dots \pm 1 \times 10^{-6}$
Быстрый статический	Малое время наблюдения (5–30 мин)	$\pm (5 \text{ мм} + 1 \times 10^{-6})$
Укороченный статический	Короткие базисные линии (< 10 км) Предпочтительны двухчастотные приемники	
Псевдокинематический	Малое время наблюдения (несколько минут) Требуется переключение станций	$\pm (5 \text{ мм} + 1 \times 10^{-6})$
Пошаговый (stop-and-go) Полукинематический	Малое время наблюдения (несколько минут) Поддержание синхронизации между станциями	$\pm (5 \text{ мм} \pm 1 \times 10^{-6})$
Кинематический	Остановок не требуется Необходимо сложное программное обеспечение	$\pm (1\text{--}5 \text{ см} \pm 1 \times 10^{-6})$

10. ВЫБОР МЕТОДА СЪЕМКИ С ПОМОЩЬЮ GPS

10.1 В зависимости от желаемой точности определения координат можно использовать следующие методы обработки:

- а) Точность в диапазоне метров и меньше метра

Обработка псевдодальностей, измеренных дифференциальным методом со сглаживанием фазы. Умеренная стоимость приемника и программ анализа (менее 10 000 долл. США). Съемка в реальном масштабе времени представляется более целесообразной, чем чисто измерения фаз.

- б) Точность в диапазоне сантиметров

Метод, основанный на измерении фазы несущей. Стоимость необходимого оборудования и программ анализа значительно выше, главным образом за счет использования двухчастотных приемников. Возможны различные стратегии наблюдения, а именно следующие режимы: статический, быстрый или укороченный статический, псевдокинематический, пошаговый, полукинематический

и кинематический. Эти режимы поясняются в таблице А-2.

Режимы съемки с помощью GPS и их точность

10.2 В таблице А-2 приведены различные режимы съемки с помощью GPS и обеспечиваемые ими точности.

Дифференциальный метод определения местоположения в реальном масштабе времени с помощью GPS

10.3 В середине 1994 года несколькими компаниями был предложен дифференциальный метод съемки в реальном масштабе времени с помощью GPS (DGPS). Вопрос об измерениях в реальном масштабе времени возник не из-за необходимости быстрого получения результатов, а из-за необходимости осуществления контроля качества в полевых условиях.

10.4 Рис. А-3 иллюстрирует дифференциальный метод определения местоположения в реальном масштабе времени с помощью GPS, т. е.:

- a) определение местоположения (подвижного) пользователя относительно опорной станции с известными координатами;
- b) определение на опорной станции с помощью GPS поправок псевдодальности и/или фазы несущей;
- c) передача поправок по телеметрическому каналу подвижному пользователю;
- d) контроль качества и погрешностей с помощью контрольных станций.

точность съемки в реальном масштабе времени составляет 0,6–2 м.

11. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОПРАВКИ

11.1 Опорная станция может передавать три типа поправок:

- a) поправки местоположения или псевдодальности;
- b) поправки псевдодальности, сглаженной с помощью несущей;
- c) поправки фазы несущей.

Дифференциальные поправки псевдодальности

11.2 Дифференциальная поправка псевдодальности – это разность между наблюдаемой и вычисленной (по известным координатам опорной станции и переданным со спутника эфемеридам) псевдодальностью на опорной станции.

11.3 Преимущество перед ранее использованными координатами местоположения заключается в том, что в данном случае удается избежать смещений, обусловленных разными сценариями слежения за спутниками на опорной станции и станции пользователя. Возможная точность съемки в реальном масштабе времени составляет от 3 до 6 м.

Дифференциальные поправки псевдодальности, сглаженной с помощью несущей

11.4 В принципе применяется тот же самый метод, что и для дифференциальных поправок псевдодальности, однако в данном случае фазы несущей используются для сглаживания псевдодальностей, которое происходит в фильтре. Благодаря этому повышается точность определения местоположения и в значительной степени устраняются погрешности, возникающие за счет многопутевого распространения сигнала, принимаемого антенной. Никакого восстановления сдвигов по числу периодов не требуется, необходима лишь их регистрация. Возможная

Дифференциальные поправки фазы несущей

11.5 Поправки этого типа вычисляются на опорной станции с известными координатами и затем ею передаются. Это новый метод, обладающий следующими характеристиками.

a) Преимущества:

- точность навигации составляет несколько сантиметров;
- меньший объем телеметрических данных по сравнению с передачей необработанных данных;
- меньшая чувствительность к временным сдвигам;
- сокращение объема вычислений для подвижного пользователя.

b) Недостатки:

- необходимо: непрерывно вычислять неопределенность в значении фазы несущей;
- зависимость пользователя от целостности и надежности вычислений, производимых на опорной станции;
- более трудное обнаружение ошибок.

11.6 Возможная точность съемки в реальном масштабе времени составляет 1–5 см.

12. ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ GPS

На рис. А-4 показаны значения точности и соответствующие статистические распределения погрешностей, достижимые при навигации и съемке с помощью GPS (абсолютные измерения) и DGPS (относительные измерения).

13. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ GPS

13.1 Дифференциальные методы определения местоположения имеют следующие преимущества и недостатки.

- а) Преимущества:
- круглосуточное определение местоположения при любых погодных условиях;
 - степень точности может быть различной и зависит от имеющегося оборудования и программного обеспечения;
 - простота в эксплуатации.
- б) Недостатки:
- целевой объект (то есть станция пользователя) необязательно должен находиться в пределах
- прямой видимости по отношению к опорной станции, однако в зоне видимости должны находиться по крайней мере четыре спутника;
- поскольку строения, деревья и другие объекты могут препятствовать распространению сигнала, определенный объем съемки приходится по-прежнему производить обычными методами.
- 13.2 DGPS позволяет определять только разности высот над эллипсоидом. Для получения ортометрических высот необходимо использовать модель геоида соответствующей точности.

РИСУНКИ К ДОБАВЛЕНИЮ А

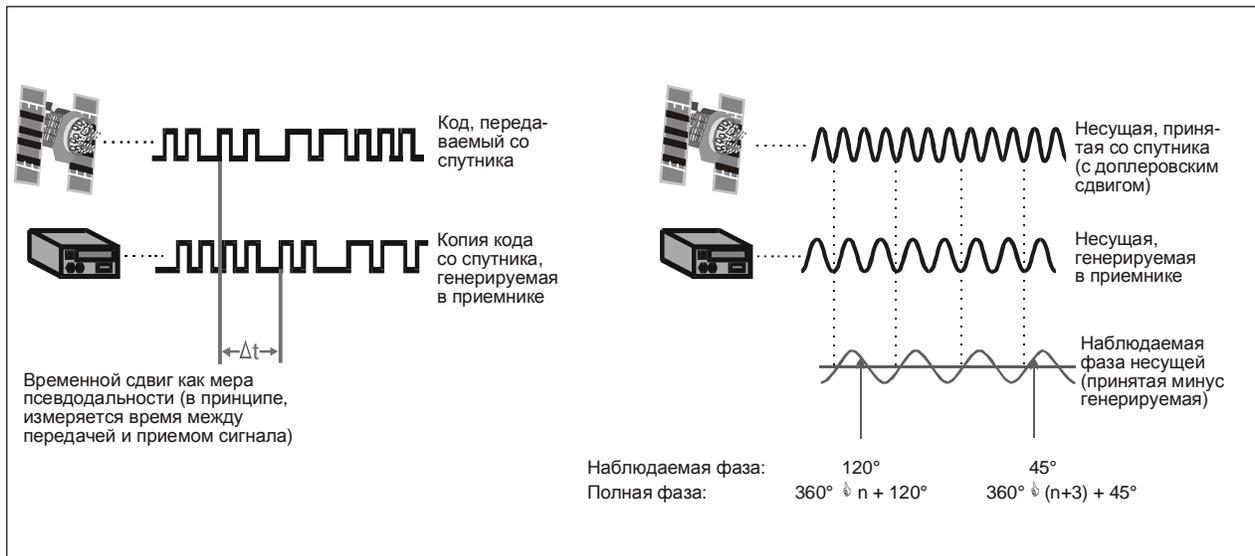


Рис. А-1. Измерение псевдодальности и фазы несущей

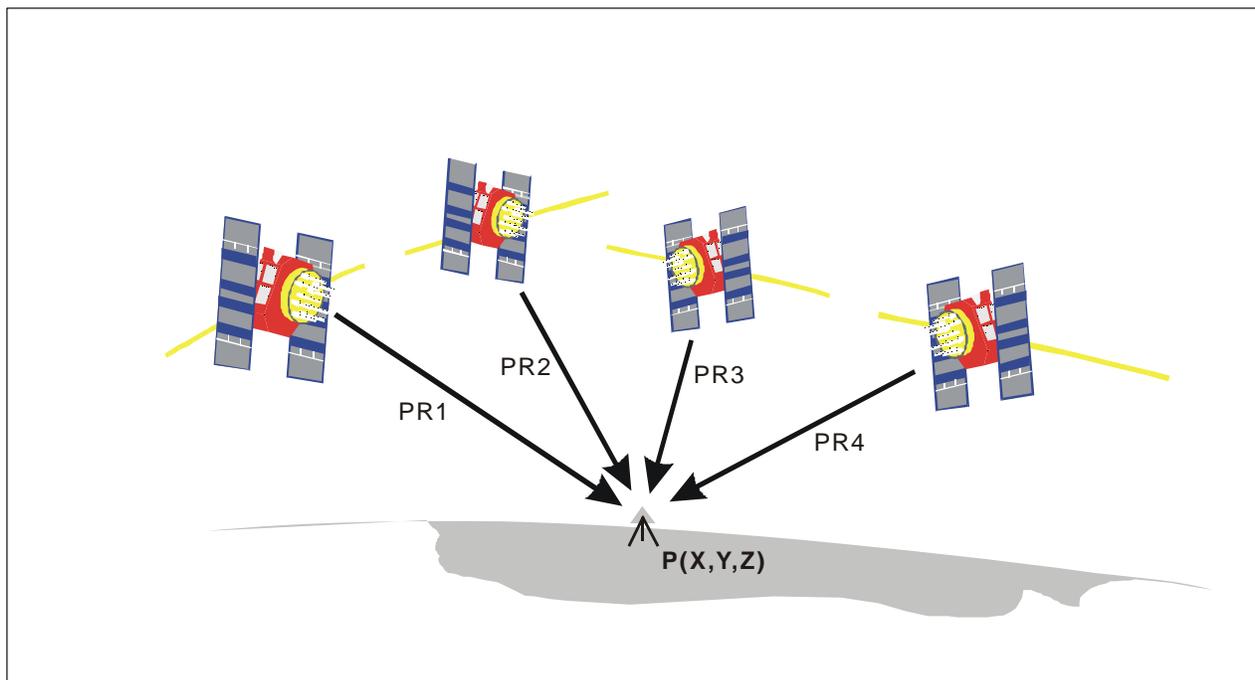


Рис. А-2. Принцип абсолютного определения местоположения с помощью GPS

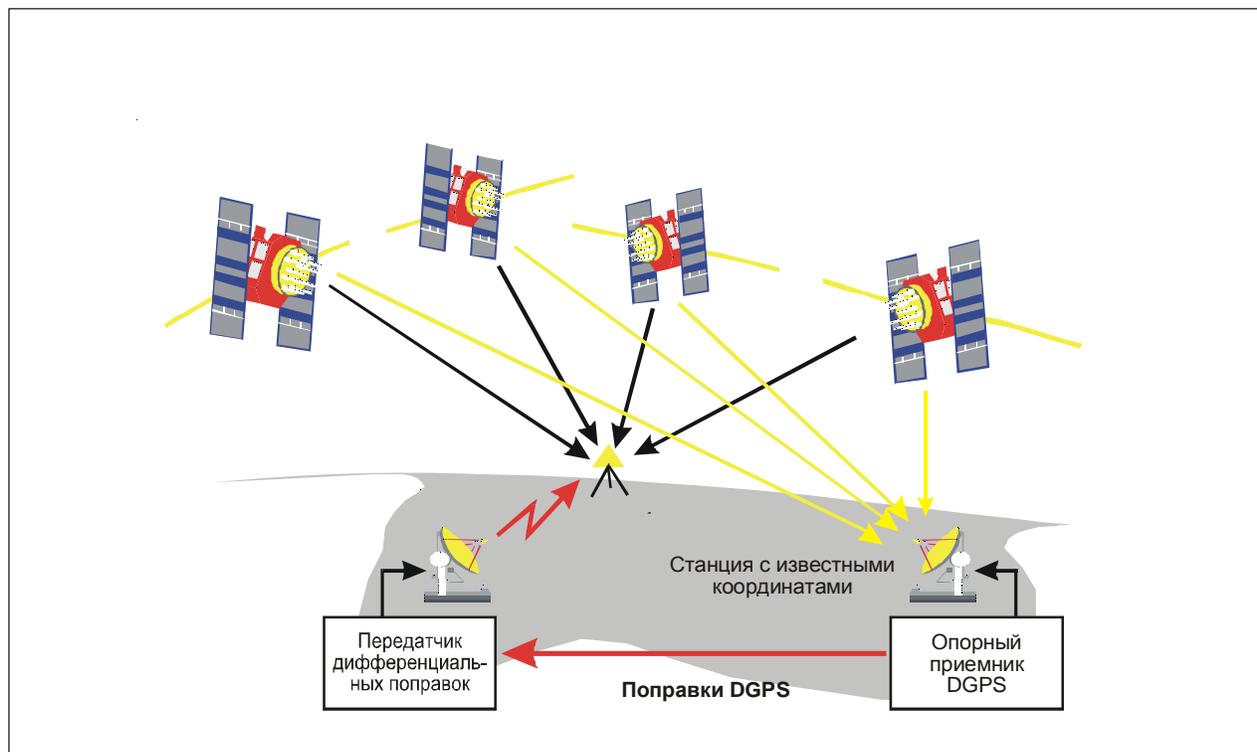


Рис. А-3. Дифференциальный метод определения местоположения в реальном масштабе времени с помощью GPS

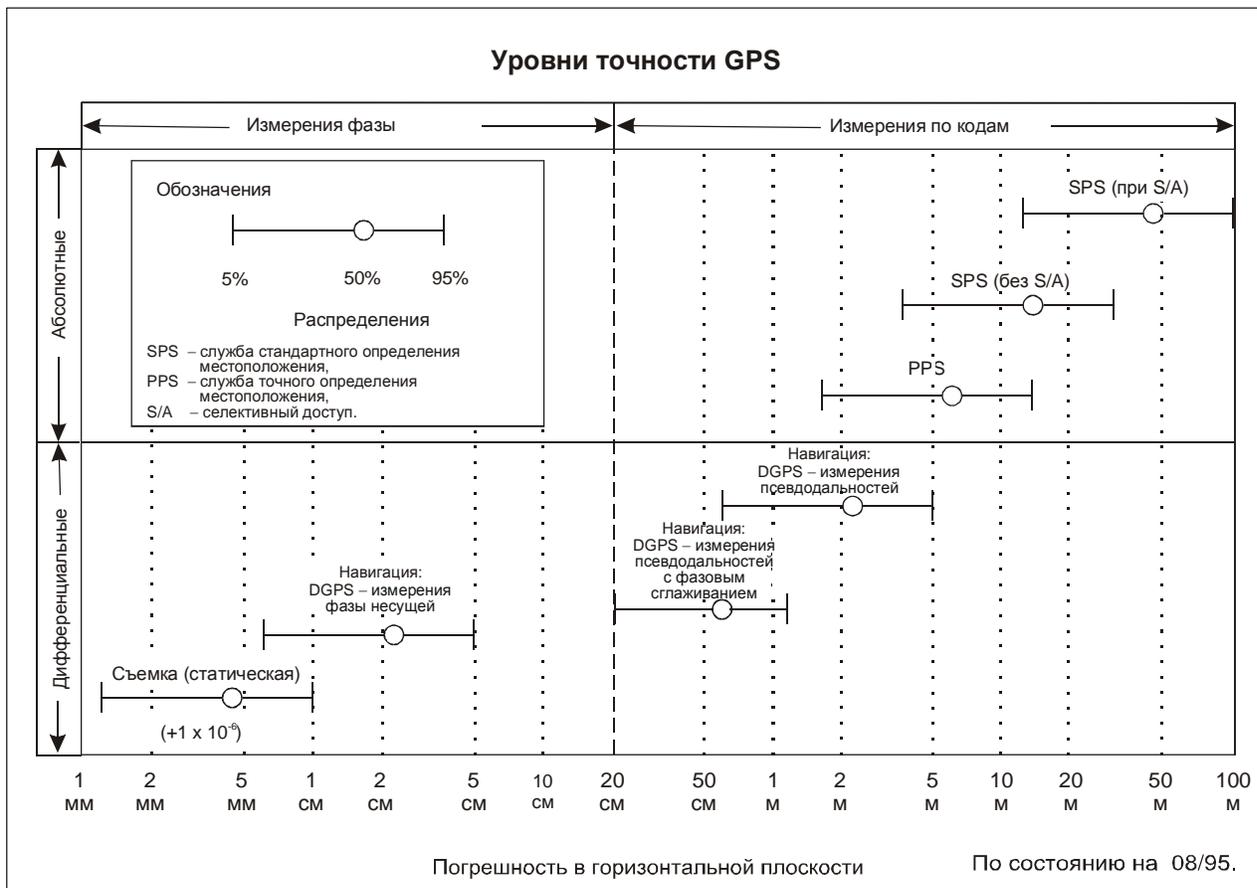


Рис. А-4. Точность системы GPS

Добавление В

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ

"Геодезия есть наука, занимающаяся изучением геометрической формы и размеров Земли, а также формы эквипотенциальных поверхностей потенциала силы тяжести."

1.1 Это определение принадлежит Фридриху Р. Гельмерту (1880), одному из ведущих ученых в области геодезии XIX века.

1.2 Ниже приводится еще одно более современное определение, сформулированное Комитетом по геодезии Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки (1978).

- a) Создание и эксплуатация национальных и глобальных трехмерных геодезических сетей.
- b) Измерение и анализ геодинамических явлений (вращение Земли, земные приливы, движения земной коры и т. д.).
- c) Определение гравитационного поля Земли.

Во всех трех случаях учитываются также временные изменения.

1.3 Принципиально новым аспектом в этом определении является контроль временных изменений координат и гравитационного поля.

Почему геодезия занимается изучением гравитационного поля?

1.4 Гравитационное поле оказывает влияние на любые геодезические изменения. Например, нивелируя измерительный инструмент в горизонтальной плоскости с помощью спиртового уровня, последний совмещает вертикальную ось инструмента с местным направлением отвеса (местным гравитационным вектором), которое может, к сожалению, отличаться от точки к точке.

1.5 При определении высот эквипотенциальную поверхность гравитационного поля необходимо использовать в качестве опорной для отсчета в вертикальной плоскости. (Куда течет вода?)

2. ФИГУРА ЗЕМЛИ И УРОВЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

2.1 Первоначально считалось, что Земля имеет приблизительно форму шара, позднее в качестве фигуры Земли был принят эллипсоид. Эти приближения являются геометрическими, в то время как геоид представляет собой инамитичную уровенную поверхность – некоторую эквипотенциальную поверхность гравитационного поля Земли.

Земля как шар

2.2 В прошлые времена высказывались различные мнения относительно формы Земли, например представление о земном диске, окруженном Океаном. Гомер ("Илиада", около 800 г. до н. э.), Пифагор (примерно 580–500 гг. до н. э.) и его школа, а также Аристотель (384–322 гг. до н. э.) были среди тех, кто считал, что Земля – это шар.

2.3 Основателем научной геодезии является ученый из Александрии Эратосфен (276–195 гг. до н. э.), который, приняв форму Земли за сферическую, на основании измерений определил ее радиус с точностью 2% (левая часть рис. В-1).

2.4 Разработанный им принцип измерения дуги применялся и в наше время (градусные измерения): на основании геодезических измерений определяется длина дуги меридиана ΔG . Астрономические наблюдения позволяют получить соответствующий центральный угол γ . Тогда радиус Земли определяется по формуле $R = \Delta G / \gamma$.

2.5 Средние века характеризуются большими достижениями в создании инструментов для измерения дуг. Результаты измерений дуг и начала триангуляции показаны на карте мира, приведенной на рис. В-1.

Земля как эллипсоид

2.6 К концу XVII века Ньютон продемонстрировал, что представление о том, что Земля имеет правильную сферическую форму, неприемлемо для объяснения равновесного состояния океанической поверхности. Он утверждал, что поскольку Земля является вращающейся планетой, силы, создаваемые ее собственным вращением, должны стремиться вытеснить любые жидкости на ее поверхности в направлении к экватору. С помощью простой теоретической модели он показал, что гидростатическое равновесие будет сохраняться при условии, что экваториальная ось Земли длиннее ее полярной оси. Это равносильно утверждению о том, что тело Земли сплюснуто в направлении полюсов.

2.7 Сплюснутость определяется из формулы $f = (a - b)/a$, где a – большая полуось, а b – малая полуось эллипсоида.

2.8 В XVIII и XIX веках были определены эллипсоиды, наиболее точно соответствующие определенным районам Земли (рис. В-2). Эти местные эллипсоиды до сих пор служат в качестве геометрической опорной системы при определении координат на горизонтальной плоскости для различных национальных геодезических сетей (триангуляции).

2.9 В таблице В-1 приведены примеры эллипсоидальных параметров различных эллипсоидов. Отметим, что в Восточной Европе (бывший СССР) координаты на горизонтальной плоскости определяются на основании трехосного эллипсоида (Красовского).

Земля как геоид

Волна геоида. Расстояние (положительное значение или отрицательное значение) между поверхностью геоида и поверхностью математически определенного референц-эллипсоида.

Примечание. В отношении эллипсоида, определенного во Всемирной геодезической системе – 1984 (WGS-84), разница между высотой относительно эллипсоида WGS-84 и ортометрической высотой геоида представляет собой волну геоида (WGS-84).

Геоид. Эквипотенциальная поверхность в гравитационном поле Земли, совпадающая с невозмущенным средним уровнем моря (MSL) и его продолжением под материками.

Примечание. Геоид имеет неправильную форму вследствие местных гравитационных возмущений (ветровые нагоны, соленость, течения и т. д.), и направление силы тяжести представляет собой перпендикуляр к поверхности геоида в любой точке.

2.10 Лаплас (1802), Гаусс (1828), Бессель (1837) и ряд других ученых пришли к выводу о том, что модель Земли в форме эллипсоида является неправомерной. Нельзя было не принимать во внимание уклонение линии физического отвеса, использовавшегося при измерениях, от нормали к эллипсоиду (отклонение вертикали, см. рис. В-3). При сопоставлении результатов нескольких серий градусных измерений, проводившихся с целью определения параметров эллипсоида a и f , были выявлены расхождения, которые значительно превосходили точность наблюдений.

2.11 Понятие геоида было введено Листингом (1873), а Гельмерт (1880, 1884) осуществил переход к современному представлению о фигуре Земли, когда при вычислении параметров эллипсоида также учитываются уклонения вертикали.

2.12 Определение фигуры геоида является одной из основных задач геодезии в течение последнего столетия. В последнее время значение этой задачи еще более возросло в связи с новой концепцией замены измерений путем нивелирования со спиртовым уровнем космическими наблюдениями с помощью GPS и использованием точных высот от поверхности геоида. Другие соображения глобального характера требуют введения единой системы отсчета в вертикальной плоскости, то есть определения фигуры геоида с точностью до сантиметров и даже миллиметров. Эту трудную задачу и предстоит решить геодезии в грядущие годы.

2.13 При определении фигуры геоида имеется ряд трудностей, а именно: топография морской поверхности, повышение уровня морей (за счет таяния льдов полярных шапок) и изменения плотности земной поверхности (землетрясения) и т. д.

3. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И РЕФЕРЕНЦ-ЭЛЛИпсоИДЫ

3.1 В словаре по геодезии приводятся следующие общие геодезические определения.

- Координаты.** Одна из совокупностей из N чисел, определяющая положение точки в N -мерном пространстве.
- Система координат.** Ряд правил, определяющих порядок присвоения координат точкам в (исходной) системе осей.

3.2 Существуют три системы координат: местная, геоцентрическая (привязанная к Земле) и прямоугольная (декартова), или эллипсоидальная.

Местная система координат

3.3 В силу исторических традиций национальные топографические службы определяли форму эллипсоида, наиболее точно соответствующего их государству, в качестве базиса для картографии. Начало и ориентация системы координат выбирались произвольно, но часто "шар под крестом на вершине конкретной церкви" служил в качестве нулевой точки (начала) национальной системы координат (например, система координат Солднера в Баварии, начало которой находится в мюнхенском кафедральном соборе "Либфраудом"). Национальные эллипсоиды являются геометрическими уровенными поверхностями только для координат на горизонтальной плоскости.

Геоцентрическая (привязанная к Земле) прямоугольная система координат (X, Y, Z)

3.4 В качестве основной земной системы координат принята привязанная к Земле пространственная прямоугольная система (X, Y, Z), началом которой является центр массы Земли "S" (геоцентр, т. е. центр массы, включая массу атмосферы (см. рис. В-4)). Ось Z совпадает со средней осью вращения Земли (перемещение полюсов).

3.5 Средняя экваториальная плоскость, перпендикулярная оси Z, образует плоскость X-Y. Плоскостью X-Z служит средняя плоскость меридиана Гринвича, которая задается средней осью вращения и нулевым меридианом со значениями долготы, принятыми Международным бюро времени (ВН) ("средняя" Гринвичская обсерватория). Ось Y ориентирована таким образом, чтобы получилась правосторонняя система. Введение понятия "средняя ось вращения" необходимо по той причине, что с течением времени вращение изменяется по отношению к телу Земли. Это касается как положения оси вращения Земли Z (перемещение полюсов), так и угловой скорости вращения.

Эллипсоидальные географические координаты

3.6 Как показано на рис. В-5, поверхность Земли можно достаточно точно аппроксимировать эллипсоидом вращения со сплюснутыми полюсами (при этом величина отклонений поверхности эллипсоида по высоте от геоида не превышает 100 м). Поэтому вместо пространственной прямоугольной системы координат часто используют геометрически заданные эллипсоидальные системы.

3.7 Эллипсоид вращения получается при вращении меридианного эллипса вокруг его малой оси. Поэтому

форма эллипсоида описывается двумя геометрическими параметрами: большой полуосью a и малой полуосью b . Обычно b заменяют меньшим по величине параметром, который более удобен, а именно (геометрической) сплюснутостью f .

$$f = (a - b)/a.$$

3.8 Используются также следующие определения:

- Начало системы координат.* Центр массы Земли.
- Географическая (геодезическая) широта ϕ .* Угол, измеряемый в меридианной плоскости между экваториальной (X, Y) плоскостью и нормалью к поверхности в точке P.
- Географическая (геодезическая) долгота λ .* Угол, измеряемый в экваториальной плоскости между нулевым меридианом (ось X) и плоскостью меридиана, проходящей через точку P.

Пространственная эллипсоидальная система координат

3.9 Для пространственного определения положения точек на физической поверхности Земли (или в пространстве) по отношению к эллипсоиду вращения в дополнение к географическим координатам ϕ и λ вводится понятие высоты h над эллипсоидом. Высота h над эллипсоидом измеряется вдоль нормали к его поверхности (рис. В-6).

3.10 Пространственные эллипсоидальные координаты ϕ , λ и h называют геодезическими координатами. Точка Q на эллипсоиде получается путем проектирования находящейся на поверхности (или в пространстве) точки P по нормали к эллипсу. Любая точка в пространстве задается координатами ϕ , λ и h и формой эллипсоида (a, f).

3.11 Стандартная модель Земли, используемая в качестве геодезического референц-тела, должна достаточно точно соответствовать форме поверхности Земли и ее внешнему гравитационному полю, причем принцип ее формирования должен быть простым.

3.12 Этим требованиям вполне отвечает эллипсоид вращения – понятие, которое было уже введено нами в качестве геометрической референц-поверхности. Помимо геометрических параметров (большой полуоси a и сплюснутости f), вводятся физические параметры: полная масса M и угловая скорость вращения ω . Таким образом, гравитационное поле создается в результате действия силы тяжести и вращения.

3.13 Если теперь нам требуется, чтобы поверхность этого эллипсоида была уровенной поверхностью создаваемого им гравитационного поля, то, согласно теореме Стокса, это гравитационное поле однозначно

**Таблица В-1. Названия референц-эллипсоидов и их константы
(основа WGS-84 минус местная геодезическая основа)**

Название референц-эллипсоида	Код идентификации	a (м), Δa (м)	f^{-1} , $\Delta f \times 10^{-4}$
Эйри, 1830 г.	AA	6377563,396; 573,604	299,3249646; 0,11960023
Национальный австралийский	AN	6378160; -23	298,25; -0,0001204237
Бесселя, 1841 г. Эфиопия, Индонезия, Япония, Корея	BR	6377397,155; 739,845	299,1528128; 0,1003748283
Намибия	BN	6377483,865; 653,135	299,1528128; 0,1003748283
Кларка, 1866 г.	CC	6378206,4; -69,4	294,9786982; -0,3726463909
Кларка, 1880 г.*	CD	6378249,145; -112,145	293,465; -0,547507137
Эверест Бруней и Вост. Малайзия (Сабах и Саравак)	EB	6377298,556; 838,444	300,8017; 0,2836136834
Индия, 1830 г.	EA	6377276,345; 860,655	300,8017; 0,2836136834
Индия, 1956 г.**	EC	6377301,243; 835,757	300,8017; 0,2836136834
Зап. Малайзия и Сингапур, 1948 г.	EE	6377304,063; 832,937	300,8017; 0,283616834
Зап. Малайзия, 1969 г.**	ED	6377295,664; 841,336	300,8017; 0,2836136834
Геодезическая система отсчета, 1980 г.	RF	6378137; 0	298,257222101; $-1,6193 \times 10^{-7}$
Гельмерта, 1906 г.	HE	6378200; -63	298,3; 0,004807957
Хью, 1960 г.	HO	6378270; -133	297; -0,14192702
Международный (Хейфорда), 1924 г.	IN	6378388; -251	297; -0,14192702
Красовского, 1940 г.	KA	6378245; -108	298,3; 0,004807957
Модифицированный Фишера, 1960 г.	FA	6378155; -18	298,3; 0,004807957
Южноамериканский, 1960 г.	SA	6378160; -23	298,25; -0,000812042
WGS-72	WD	6378135; 2	298,26; 0,000312108
WGS-84	WE	6378137; 0	298,257223563; 0

* Как принято NIMA.

** После принятия в государстве нового коэффициента перевода ярдов в метры.

определяется в пространстве, внешнем по отношению к данной поверхности. Это тело называют урванным (или эквипотенциальным) эллипсоидом. Кроме того, задается геоцентрическая гравитационная постоянная GM и динамическая сплюснутость $\bar{C}_{2,0}$ (зональная гармоника второго порядка гравитационной модели Земли). Если значения параметров эллипсоида выбираются равными величинам, соответствующим реальным размерам Земли, то получается оптимальное приближение для геометрии геоида и внешнего гравитационного поля, которое известно как средний земной эллипсоид.

3.14 В таблице В-1 приводится перечень референц-эллипсоидов и их констант a и f , соответствующих местным геодезическим основам, которые приводятся к системе WGS-84 с помощью констант преобразования и/или уравнений множественной регрессии.

4. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Определения

4.1 Терминология, необходимая для описания проблемы геодезической основы, довольно сложная, она разрабатывалась более 100 лет. Во избежание путаницы и неправильного понимания необходимо внимательно следить за точным использованием различных терминов.

4.2 Международным геодезическим сообществом приняты следующие определения:

- a) *Геодезическая система отсчета.* Концепция привязанной к Земле прямоугольной системы координат (X, Y, Z).
- b) *Геодезическая опорная система.* Практическая реализация геодезической системы отсчета, полученная путем наблюдений.

4.3 Важно проводить различие между системой отсчета и опорной системой. Система отсчета – это концепция построения конкретной системы координат (ее теоретическое определение). Опорная система – это практическая реализация системы отсчета, полученная с помощью наблюдений и измерений (в которых имеются погрешности). При практическом осуществлении съемки используются только опорные системы, однако принципы построения конкретной опорной системы имеют основополагающее значение.

- a) Глобальная GRS:
 - начало: центр массы Земли;
 - ось Z: совпадает со средней осью вращения Земли;

- ось X: средняя плоскость меридиана Гринвича, перпендикулярная оси Z; и
- ось Y: ортогональная.

b) Местная GRS:

- начало и ориентация осей являются "произвольными".

c) Геодезическая основа:

- минимальный набор параметров, необходимый для определения местоположения и ориентации местной системы по отношению к глобальной системе отсчета/опорной системе.

4.4 Кроме того, важно различать глобальную и местную опорные системы (системы координат). Из всего набора возможных опорных систем, расположенных в теле Земли, существует только одна подлинно глобальная система отсчета. Начало глобальной системы отсчета совпадает с центром Земли, ось Z должна совпадать со средней осью вращения Земли, а ось X находится в средней плоскости меридиана Гринвича и быть перпендикулярной оси Z. Ось Y ортогональна осям X и Z (в правосторонней системе).

4.5 Геодезическая основа задается с помощью набора параметров преобразования, которые необходимы для определения местоположения и ориентации местной опорной системы по отношению к глобальной системе.

Примечание. Термин "геодезическая основа" часто используется, когда речь фактически идет об опорной системе".

4.6 Необходимо проводить различия между основой прямоугольной системы координат и основой эллипсоидальной системы координат.

4.7 Основа прямоугольной системы координат задается тремя сдвигами (ΔX , ΔY , ΔZ); тремя углами вращения (α , β , γ) и масштабным множителем (μ). Эти семь параметров необходимы для соотнесения двух прямоугольных трехмерных опорных систем.

4.8 Поскольку Земля представляет собой криволинейную поверхность, аппроксимируемую эллипсоидом, штурманы обычно работают с географическими координатами (широтой и долготой). Для определения географических координат необходимо также учитывать форму так называемого референц-эллипсоида. Форма эллипсоида задается его большой и малой полуосями, то есть требуются два дополнительных параметра. Эти два дополнительных параметра и определяют расхождение между основами прямоугольной и эллипсоидальной систем. Таким образом, основа эллипсоидальной системы определяется девятью параметрами преобразования.

4.9 Эмпирическое правило таково: основа эллипсоидальной системы = основа прямоугольной системы + форма земного эллипсоида.

5. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

5.1 Преобразование геодезической основы – это математическое правило, используемое для преобразования измеренных координат, заданных в опорной системе 1, в координаты, заданные в опорной системе 2. Оно представляет собой функцию определенного набора необходимых параметров преобразования основы.

5.2 Следующие девять параметров:

- перенос начала системы координат: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$;
- углы вращения: $\epsilon_X, \epsilon_Y, \epsilon_Z$;
- масштабный множитель μ ;
- изменение большой полуоси эллипсоида Δa и изменение сплюснутости Δf

определяют местоположение и ориентацию (местной) системы координат по отношению к глобальной опорной системе. Эти параметры необходимы для автоматического преобразования координат с использованием формулы Гельмерга.

6. ПРОБЛЕМА ВЫСОТ

Что такое "высота"?

6.1 Как правило, смысл термина "высота" кроется в ответе на вопрос: "Куда течет вода?". Физически можно представить себе озеро, в котором вода находится в состоянии покоя в виде поверхности равных высот. Если использовать более конкретную терминологию, то указанная поверхность представляет собой эквипотенциальную поверхность в поле силы тяжести Земли. При движении по такой поверхности не совершается никакой работы, и никакие силы не воздействуют на нее. Поэтому понятие высоты с таким физическим смыслом нельзя определить геометрически, равно как и уровенная поверхность (нулевая поверхность) не может быть геометрической поверхностью эллипсоида.

Геодезические сети

6.2 Дифференциальные методы наблюдения с помощью GPS позволяют определить:

- a) координаты WGS-84 в горизонтальной плоскости: широту ϕ и долготу λ на эллипсоиде и
- b) координаты WGS-84 в вертикальной плоскости: высоту h над эллипсоидом.

6.3 Высота над эллипсоидом не имеет какого-либо физического смысла. Это геометрическая величина, которая не определяет уровенную поверхность (то есть, она не указывает направления течения воды). Геодезические сети, как правило, состоят из геометрически определенных значений широты и долготы, отсчитываемых на эллипсоиде, в то время как в национальных сетях высоты отсчитываются от поверхности геоида ("средний уровень моря") как от нулевой поверхности.

Геоид как уровенная поверхность для отсчета высот

6.4 Геоид можно рассматривать как идеализированную поверхность океана, проходящую под материками (рис. В-7). Это определенная эквипотенциальная поверхность гравитационного поля Земли, совпадающая приблизительно с двумя третями поверхности Земли. Существует только один геоид.

6.5 На практике форму геоида определяют по наблюдениям за "средним уровнем моря", производимым в течение периода времени с помощью приливомеров. Однако при этом существуют трудности, связанные с ветрами, изменением процентного содержания соли, течениями и т. д., в результате воздействия которых отклонения от геоида достигают 2 м ("топография морской поверхности"). Это означает, что нулевые точки и, следовательно, значения высот, определенные с помощью различных национальных сетей, могут отличаться на аналогичные величины.

6.6 Высоту над поверхностью геоида называют ортометрической высотой H . Связь между высотой над эллипсоидом h и H определяется формулой:

$$H = h - N,$$

где N – волна геоида.

Проблема геодезической основы в вертикальной плоскости

6.7 WGS-84 представляет собой трехмерную опорную систему в координатах X, Y, Z или в координатах ϕ, λ, h . Параметр h есть (геометрическая) высота над поверхностью эллипсоида WGS-84.

6.8 В авиации высоты (эшелон полета) определяются по атмосферному давлению. Поэтому все воздушные суда снабжены барометрическими высотомерами. Когда имеешь

дело со значениями относительной высоты, необходимо проявлять особую осторожность. Разница между точками нулевой высоты, определенными с помощью различных национальных сетей, может достигать 3 м! В настоящее время во всем мире предпринимаются усилия для принятия единой системы отсчета высот. Ожидается, что

такая нулевая поверхность (а именно, геоид) может быть определена при помощи спутниковых методов измерения высоты с точностью < 20 см.

6.9 В таблице В-2 указаны значения разности в высоте до поверхности геоида для различных вертикальных основ.

Таблица В-2. Разность в высотах уровенных поверхностей по отношению к геоиду

<i>Государство/уровенная поверхность</i>	<i>Разность в высоте до геоида (см)</i>
Австралия: материк	-68
о. Тасмания	-98
Англия	-87
Соединенные Штаты	
Америки: NGVD 29	-26
NAVD 88	-72
NAVD 88, Восток	-38
Германия	4

РИСУНКИ К ДОБАВЛЕНИЮ В

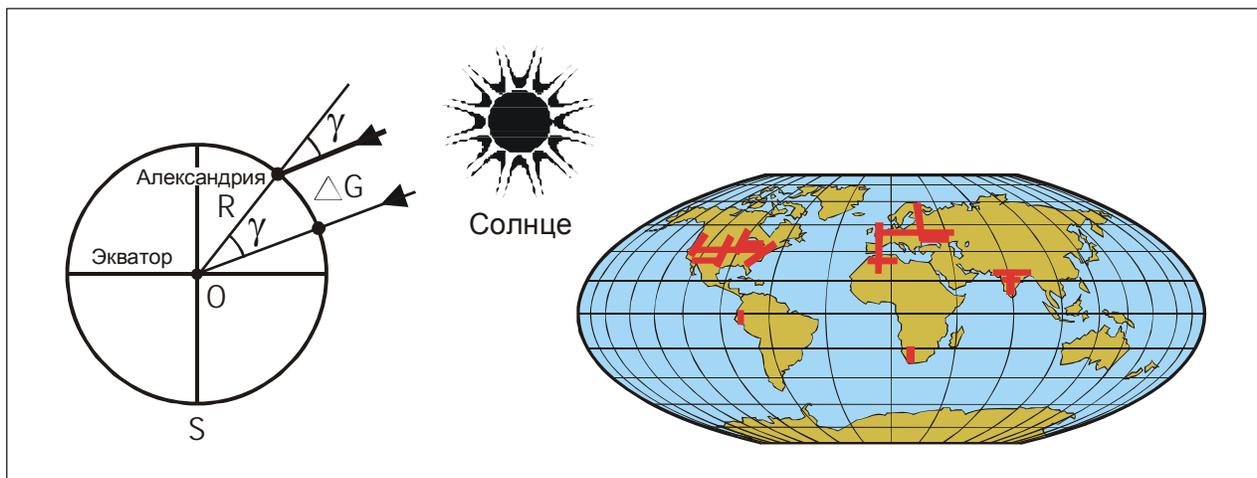


Рис. В-1. Представление о Земле как о шаре, полученное на основании измерений дуги меридиана

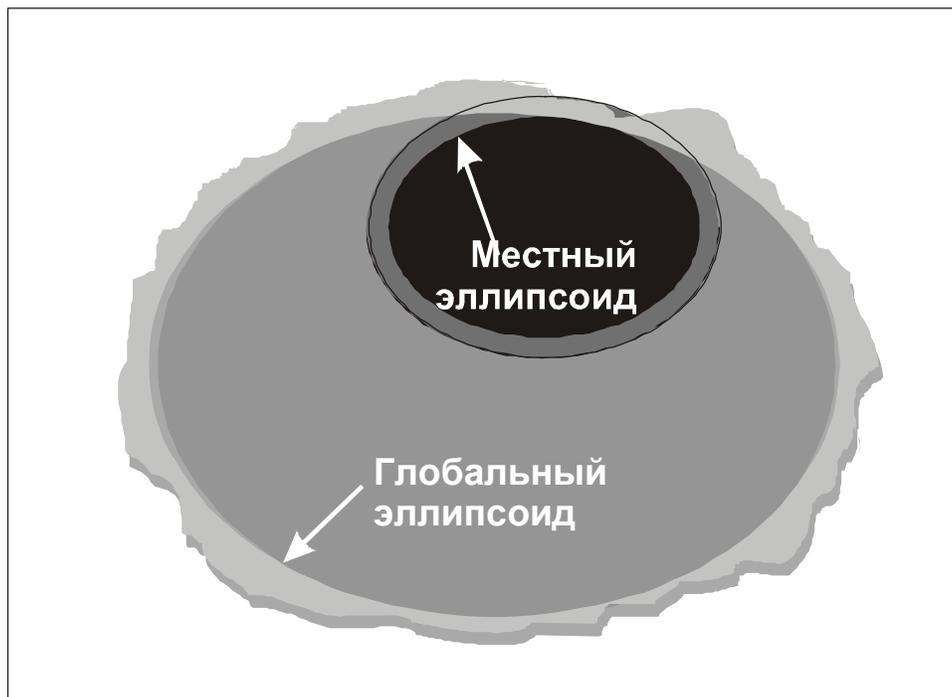


Рис. В-2. Местные эллипсоиды наиболее точно соответствуют конкретному государству

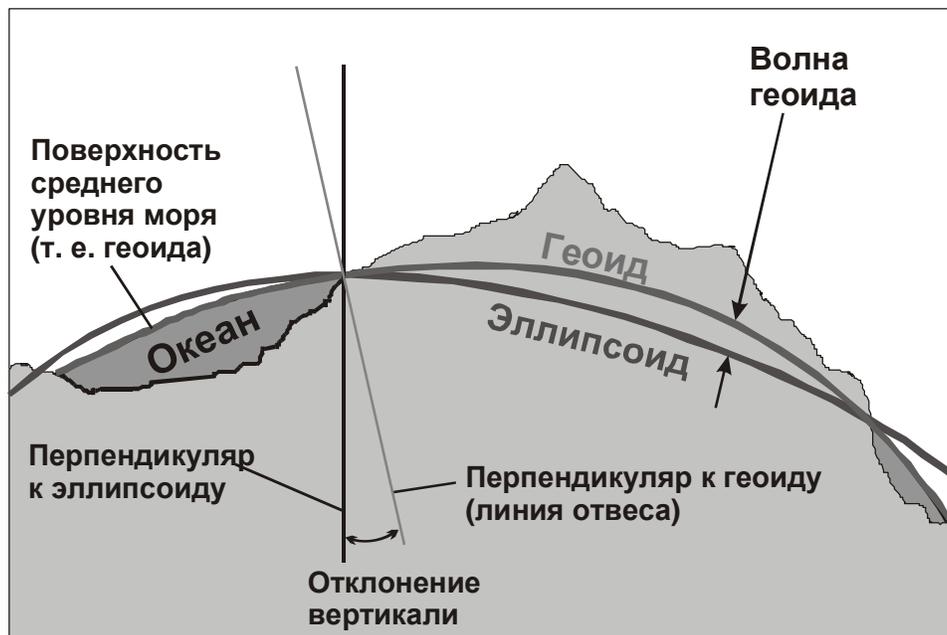


Рис. В-3. Земля как геоид

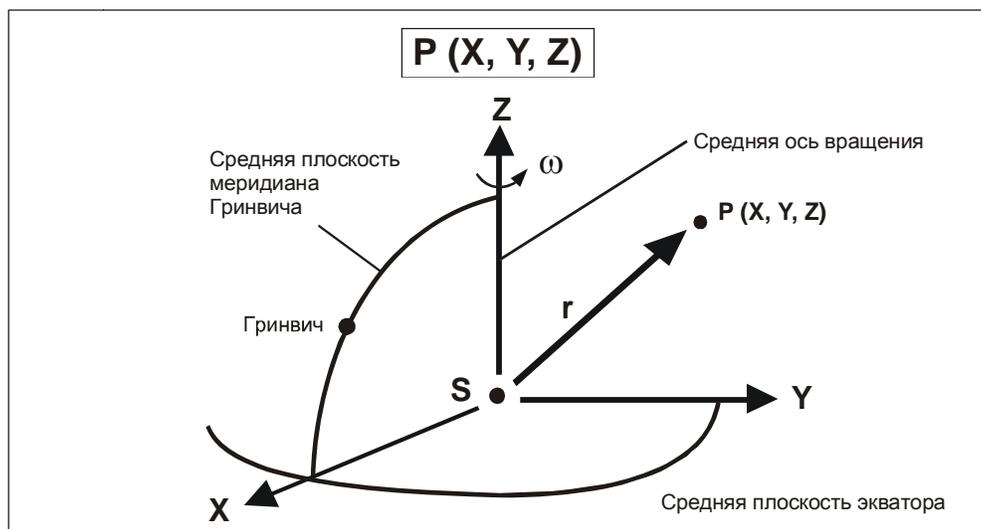


Рис. В-4. Привязанная к Земле пространственная прямоугольная система координат (X, Y, Z)

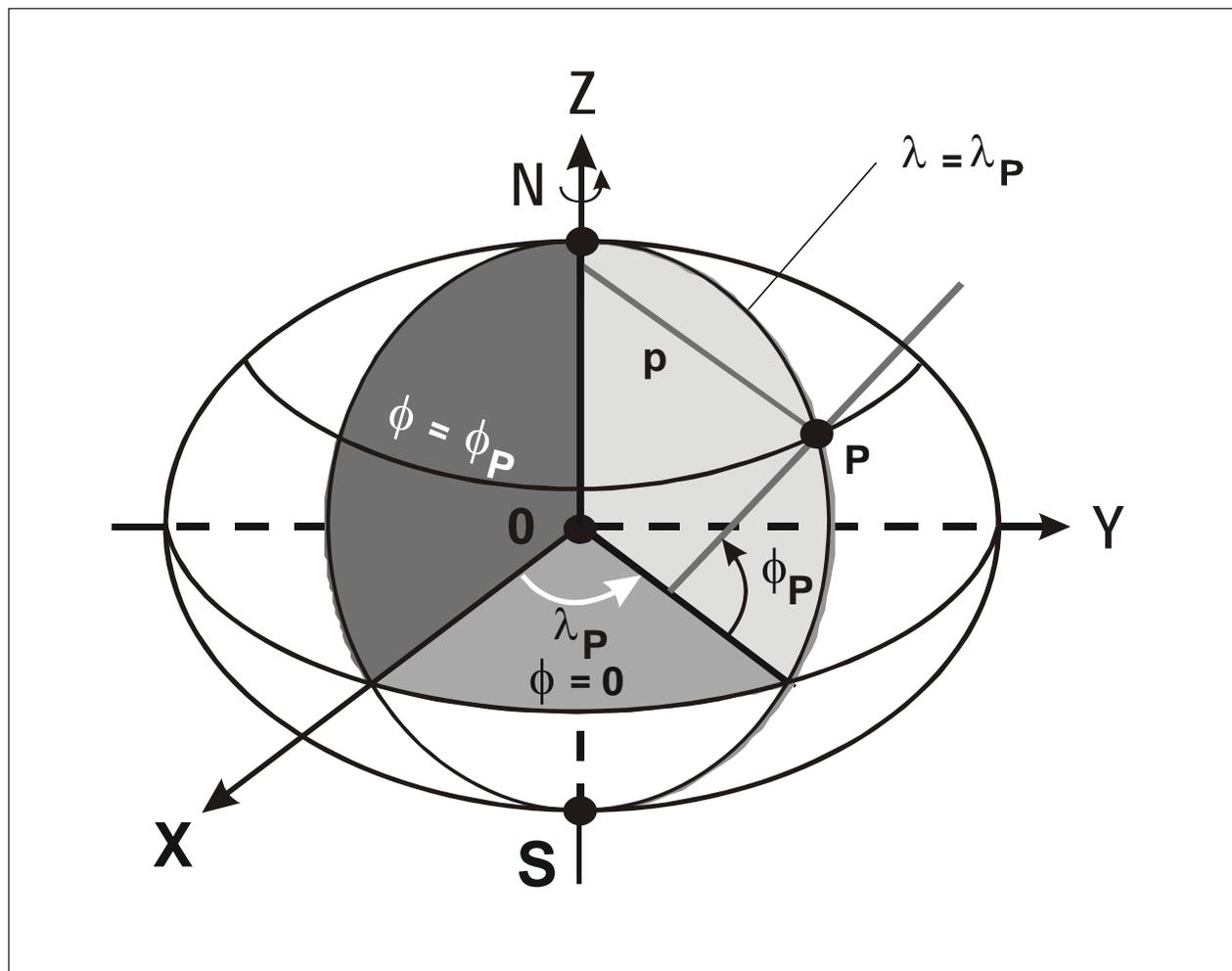


Рис. В-5. Эллипсоидальные географические координаты

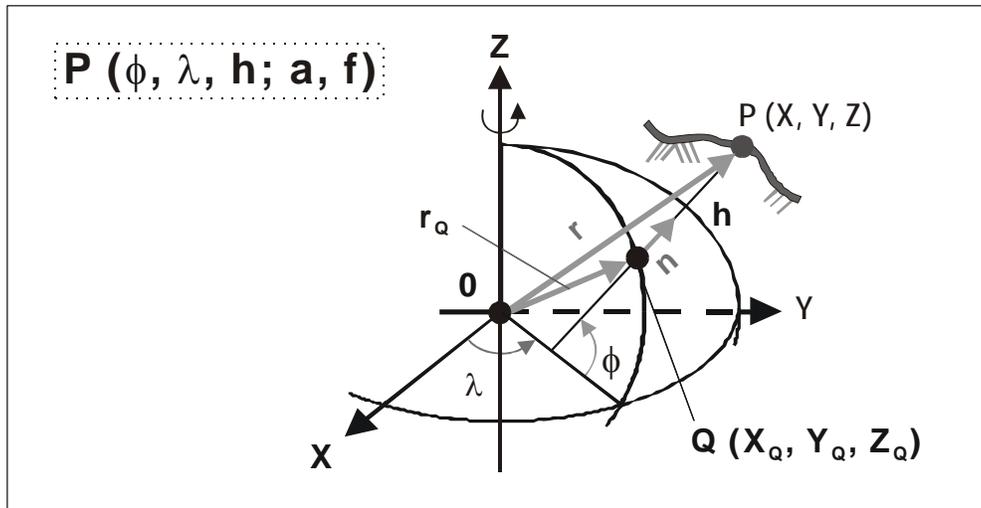


Рис. В-6. Пространственная эллипсоидальная система координат

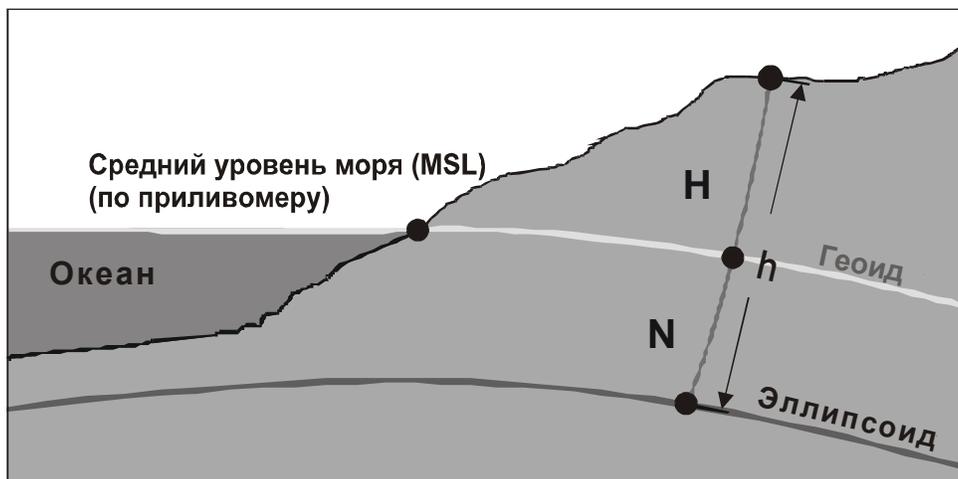


Рис. В-7. Геоид как уровенная поверхность для отсчета высот

Добавление С

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗЕМНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА (ITRS)

1. В настоящее время наиболее точными методами геодезических измерений для больших базисов являются лазерное измерение расстояния с помощью спутников (SLR) и интерферометрия со сверхдлинной базой (VLBI). Оба метода обеспечивают точность от 1 до 3 см при расстоянии до 5000 км. Созданы глобальные сети, насчитывающие до 70 SLR-станций и до 81 VLBI-станций для обеспечения непрерывного наблюдения и сбора данных. С 1987 года начала действовать Международная служба вращения Земли (IERS), использующая преимущественно результаты измерений SLR- и VLBI-станций и предоставляющая ежегодно новый набор координат X, Y, Z, получаемых путем совместной обработки результатов различных SLR- и VLBI-станций.

2. Высокоточный метод измерений с помощью SLR позволил создать высокоточную глобальную земную систему координат, получившую название Международной земной системы отсчета (ITRS). Система ITRS эксплуатируется IERS, а практическим воплощением ITRS является Международная земная опорная система (ITRF).

3. В этой системе координат с использованием результатов последних измерений и глобальной геофизической модели учитывается движение тектонических плит. Таким образом, эта система представляет собой модель с изменяющимися координатами, что вызвано движением тектонических плит, на которых находятся наземные станции. Однако такая опорная система позволяет определить положение Земли с точностью до 10 см и обеспечивает соответственно высокую точность ориентации осей. С 1988 года службой IERS были определены средняя ось вращения, опорный полюс IERS (IRP), нулевой меридиан и опорный меридиан IERS (IRM).

4. Поддержание такого уровня точности определения геодезической основы требует непрерывного контроля за вращением Земли, перемещением IRP и движением плит земной коры, на которых расположены наземные станции. В настоящее время система ITRF известна под названием ITRF 97; это означает, что вычисление ITRF-координат было выполнено в эпоху 1997,0.

Добавление D

ФОРМУЛЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Общую задачу преобразования геодезической основы можно сформулировать следующим образом:

Задана точка: некоторая точка с пространственными эллипсоидальными координатами (геодезическая широта ϕ и геодезическая долгота λ , высота над эллипсоидом h), приведенными к местному эллипсоиду с большой полуосью a и сплюснутостью f).

Найдены: геодезическая широта ϕ , долгота λ и высота над эллипсоидом h , приведенные к эллипсоиду WGS-84.

Эта процедура иллюстрируется на рис. D-1.

1.2 В настоящем добавлении более подробно рассматриваются три следующих преобразования:

- формула Гельмерта,
- стандартная формула Молоденского и
- уравнение множественной регрессии.

1.3 Преимуществом математических преобразований по сравнению со съемкой в системе WGS-84, несомненно, является минимальный объем работ, требующийся при использовании соответствующего программного обеспечения и известных параметров геодезической основы.

Примечание. Во всех преобразованиях геодезической основы используется высота h над эллипсоидом местной системы, выражаемая формулой: $h = H + N$, где H – ортометрическая высота, а N – волна (высота) геоида. Как правило, известна только ортометрическая высота (которая также указывается на картах). Волна (высота) геоида находится по цифровой модели (если таковая имеется).

1.4 Было проведено исследование для проверки влияния неизвестной (ортометрической) высоты на значения широты и долготы некоторой точки, преобразованные с помощью формулы Гельмерта. Высоте присваивались зна-

чения от 0 до 8000 м, при этом влияние на значения как широты, так и долготы оказалось пренебрежимо малым (менее 15 см при высоте 8000 м). Следовательно, высоту некоторой точки с известным значением широты и долготы, но с неизвестной (ортометрической) высотой можно произвольно принять за нулевую (0 м), и это не повлияет существенно на результаты преобразования.

2. ФОРМУЛА ГЕЛЬМЕРТА

2.1 Если вводные координаты заданы в виде пространственных эллипсоидальных координат ϕ , λ , h , применение формулы Гельмерта требует трехэтапного подхода. Если же вводные координаты уже заданы в местной прямоугольной системе координат X , Y , Z , то можно переходить сразу к этапу 2.

2.2 *Этап 1.* Преобразование пространственных эллипсоидальных координат местного эллипсоида в прямоугольные координаты X , Y , Z местной системы.

$$(\phi, \lambda, h)_{\text{Местн.}} \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{Местн.}}$$

где $X = (v + h) \cos \phi \cos \lambda$;

$$Y = (v + h) \cos \phi \sin \lambda$$

$$Z = (v(1 - e^2) + h) \sin \phi$$

где v – радиус кривизны в главном вертикале –

$$= \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}}$$

где a – большая полуось эллипсоида;

e – эксцентриситет эллипсоида ($e^2 = f(2 - f)$),

где f – сплюснутость эллипсоида.

Примечание. Перечень референц-эллипсоидов и их параметры приведены в таблице B-1.

2.3 *Этап 2.* В зависимости от наличия и достоверности параметров геодезической основы в этом преобразовании могут использоваться либо только три сдвига начала координат, либо три сдвига и масштабный множитель, либо все семь параметров, включая углы вращения.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Местн.}} + \begin{bmatrix} \mu & +\varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & \mu & +\varepsilon_X \\ +\varepsilon_Y & -\varepsilon_X & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{Местн.}} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

Углы вращения
и масштаб. множитель

Сдвиг
начала

Примечание. Параметры преобразования в систему WGS-84 приведены в таблице D-1.

2.4 *Этап 3.* Производится обратное преобразование прямоугольных координат WGS-84 в пространственные эллипсоидальные координаты в системе WGS-84. Следует заметить, что обратное преобразование выполняется только итерационным методом. Однако сходимость ряда достигается очень быстро, поскольку $h < n$.

$$(\phi, \lambda, h)_{\text{WGS-84}} \leftarrow (X, Y, Z)_{\text{WGS-84}};$$

$$\phi = \arctg \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - e^2 \frac{v}{v+h} \right)^{-1};$$

$$\lambda = \arctg \frac{Y}{X};$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \phi} - v.$$

2.5 Приведенная ниже формула точного обратного преобразования взята из работы *J. Zhu*. Exact Conversion of Earth-Centered Earth-Fixed Coordinates for Geodetic Coordinates, помещенной в журнале *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 16, No. 2, March-April 1993,

где ϕ – геодезическая широта (со знаком плюс в северном направлении);

λ – геодезическая долгота (отсчитываемая в восточном направлении от Гринвичского меридиана);

h – абсолютная высота по нормали к эллипсоиду;

a – экваториальный радиус эллипсоида ($a = 6\,378,137$ км для модели WGS-84);

e – эксцентриситет эллипсоида ($e^2 = 0,00669437999$ для модели WGS-84);

b – полярный радиус эллипсоида ($b = a\sqrt{1-e^2}$).

2.6 Координаты (X, Y, Z) некоторой точки P , заданные в системе координат, привязанной к Земле с началом в центре Земли, можно преобразовать в геодезические координаты (ϕ, λ, h) с помощью следующей формулы при условии, что P лежит вне пределов 43 км от центра Земли:

$$w = \sqrt{x^2 + y^2};$$

$$l = e^2/2, \quad m = (w/a)^2, \quad n = \left[(1 - e^2) z/b \right]^2;$$

$$i = -(2l^2 + m + n)/2, \quad k = l^2(l^2 - m - n);$$

$$q = (m + n - 4l^2)^3/216 + mnl^2;$$

$$D = \sqrt{(2q - mnl^2) mnl^2};$$

$$\beta = i/3 - \sqrt[3]{q + D} - \sqrt[3]{q - D};$$

$$t = \sqrt{\sqrt{\beta^2 - k} - (\beta + i)/2} - \sin(m - n) \sqrt{(\beta - i)/2};$$

$$w_1 = w/(t + l), \quad z_1 = (1 - e^2)z/(t - l);$$

$$\phi = \arctg \left[z_1 / \left((1 - e^2)w_1 \right) \right];$$

$$\lambda = 2 \arctg [(w - x)/y];$$

$$h = \sin(t - 1 + l) \sqrt{(w - w_1)^2 + (z - z_1)^2}.$$

3. СТАНДАРТНАЯ ФОРМУЛА МОЛОДЕНСКОГО (не применяется между широтой 89° и полюсом)

3.1 Помимо преобразований местной геодезической основы в систему WGS-84 в прямоугольных координатах (см. формулу Гельмерта), это преобразование можно также выполнять в криволинейных (геодезических) координатах:

$$\phi_{\text{WGS-84}} = \phi_{\text{Местн.}} + \Delta\phi;$$

$$\lambda_{\text{WGS-84}} = \lambda_{\text{Местн.}} + \Delta\lambda;$$

$$h_{\text{WGS-84}} = h_{\text{Местн.}} + \Delta h$$

с помощью стандартной формулы Молоденского.

$$\Delta\phi = \{ -\Delta X \sin \phi \cos \lambda - \Delta Y \sin \phi \sin \lambda + \Delta Z \cos \phi + \Delta a (ve^2 \sin \phi \cos \phi) / a + \Delta f [\rho (a/b) + v (b/a)] \sin \phi \cos \phi \} \cdot [(\rho + h) \sin 1"]^{-1};$$

$$\Delta\lambda = [-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda] \cdot [(v + h) \cos \phi \sin 1"]^{-1};$$

$$\Delta h = \Delta X \cos \phi \cos \lambda + \Delta Y \cos \phi \sin \lambda + \Delta Z \sin \phi - \Delta a (a/v) + \Delta f (b/a) v \sin^2 \phi;$$

где $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, Δh – поправки при преобразовании местной геодезической основы в систему WGS-84. $\Delta\phi$ и $\Delta\lambda$ измеряются в дуговых секундах ("), Δh измеряется в метрах (м);

ϕ , λ , h – геодезические координаты (преобразуемого эллипсоида),
где $h = H + N$ (H – ортометрическая высота, а N – волна геоида);

v – радиус кривизны главного вертикала;

ρ – радиус кривизны меридиана;

a , b – большая и малая полуоси местного эллипсоида, принятого за геодезическую основу $b/a = 1 - f$;

f – сплюснутость эллипсоида;

ΔX , ΔY , ΔZ – сдвиг начала координат;

Δa , Δf – разность соответственно большой полуоси и сплюснутости местного эллипсоида геодезической основы и эллипсоида WGS-84 (WGS-84 минус местный);

e – эксцентриситет эллипсоида ($e^2 = f(2 - f)$).

Примечание. Перечень референц-эллипсоидов и их параметров приводится в таблице B-1, а перечень параметров преобразования приводится в таблице D-1.

4. УРАВНЕНИЕ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ

4.1 Чтобы получить для земных поверхностей континентального масштаба более точные приближения, чем при использовании стандартной формулы Молоденского и сдвигов основы ΔX , ΔY , ΔZ , была начата разработка уравнения множественной регрессии для преобразования

местной геодезической основы в геодезическую основу WGS-84.

Примечание. Уравнения множественной регрессии, используемые для преобразования местной геодезической основы в основу WGS-84 для семи главных геодезических основ континентального масштаба, охватывающих смежные земные поверхности континентального масштаба, которые характеризуются большими искажениями, приводятся в издании, выпущенном Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems, National Imagery and Mapping Agency, NIMA TR8350.2".

$$\Delta\phi = A_0 + A_1U + A_2V + A_3U^2 + A_4UV + A_5V^2 + K + A_{99}U^9V^9;$$

$$\Delta\lambda = B_0 + B_1U + B_2V + B_3U^2 + B_4UV + B_5V^2 + K + B_{99}U^9V^9;$$

$$\Delta h = C_0 + C_1U + C_2V + C_3U^2 + C_4UV + C_5V^2 + K + C_{99}U^9V^9;$$

где A_0 , B_0 , C_0 – константы;

A_i ($i = 1 \dots 9$) – искомые неизвестные;

B_i ($i = 1 \dots 9$) – искомые неизвестные;

C_i ($i = 1 \dots 9$) – искомые неизвестные;

$U = k(\phi - \phi_m)$ – приведенная геодезическая широта;

$V = k(\lambda - \lambda_m)$ – приведенная геодезическая долгота;

k – масштабный множитель, коэффициент перевода градусов в радианы;

ϕ_m , λ_m – средние значения района местной геодезической основы (в градусах).

4.2 Основное преимущество заключается в моделировании искажений для достижения более точного соответствия для геодезических целей.

5. ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В таблице D-1 приведены параметры преобразования геодезических основ существующих национальных опорных систем.

Таблица D-1. Параметры преобразования геодезической основы

Опорная система	Сдвиги (м)			Углы вращения (")			Масштабный множитель μ (ppm)	Примечания
	ΔX	ΔY	ΔZ	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_z		
WGS-84	.	.	.	.	.	.	.
WGS 72	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	-0,554	0,22	
ED 50	-87,0	-98,0	0121,0	.	.	.	.
ED 79	-86,0	-98,0	-119,0	.	.	.	.
ED 87	-82,5	-91,7	-117,7	0,1338	-0,0625	-0,047	0,045	
Австрия NS	595,6	87,3	473,3	4,7994	0,0671	5,7850	2,555	По ED 87
Бельгия 50	-55,0	49,0	-158,0	.	.	.	.
Берн 1873	649,0	9,0	376,0	.	.	.	.
CH-1903	660,1	13,1	369,2	0,8048	0,5777	0,9522	5,660	
Дания GI 1934	662,0	18,0	734,0	.	.	.	.
Новая триангуляционная система Франции	-168,0	-60,0	320,0	.	.	.	.	Гринвичский нулевой меридиан
Новая триангуляционная система Франции	-168,0	-60,0	320,0	.	.	8414,03	.	Парижский нулевой меридиан
Потсдам	587,0	16,0	393,0	.	.	.	.	По ED 50
GGRS 87	199,6	-75,1	-246,3	0,0202	0,0034	0,0135	-0,015	
Йорси 55	-73,0	46,0	-86,0	.	.	.	.
Ирландия 65	506,0	-122,0	611,0	.	.	.	.
Италия 1940	-133,0	-50,0	97,0	.	.	44828,40	.	По ED 50 Римский нулевой меридиан
Новая триангуляционная система Люксембурга	-262,0	75,0	25,0	.	.	.	.	По ED 50
Нидерланды 1921	719,0	47,0	640,0	.	.	.	.	По ED 50
OSGB 36	375,0	-111,0	431,0	.	.	.	.
Португалия DLX	504,1	-220,9	563,0	.	.	-0,554	0,220	По WGS-72
Португалия 1973	-227,0	97,5	35,4	.	.	-0,554	0,220	По WGS-72
RNB 72	-104,0	80,0	-75,0	.	.	.	.	По ED 50
RT 90	424,3	-80,5	613,1	4,3965	-1,9866	5,1846	0,0	
NAD 27	-8,0	160,0	176,0	.	.	.	.	Среднее решение
NAD 83	0,0	0,0	0,0	.	.	.	.

Примечание 1. 1" угла вращения приблизительно равна 31 м на земной поверхности:

$$1'' = 6\,400\,000 \text{ м} \times 3,141593 / (180 \times 3600'') = 31,03 \text{ м};$$

$$[1 \text{ м. миля} = 1852 \text{ м (отсюда } 1'' = 30,48 \text{ м)}].$$

Примечание 2. 1 ppm = 10^{-6} , то есть 1 ppm эквивалентен приблизительно 6,4 м на земной поверхности.

РИСУНОК К ДОБАВЛЕНИЮ D

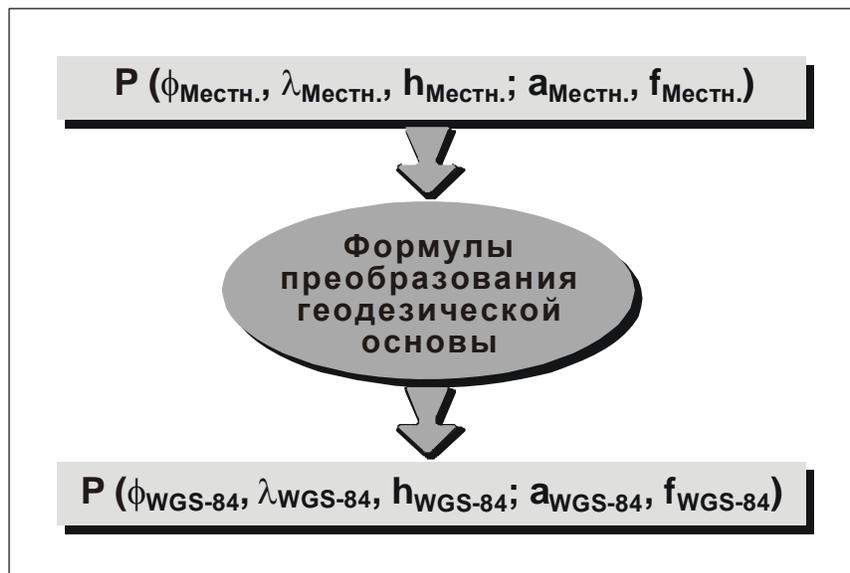


Рис. D-1. Общий принцип преобразования геодезической основы

Добавление Е

СЪЕМКА И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

1. СЪЕМКА

Определение. Съёмка – это метод сбора данных посредством наблюдений и измерений.

Обычные методы съёмки

1.1 Координаты в системе WGS-84 могут быть получены путем совмещения точки (точек) со станцией системы WGS-84 (ITRE) (измерение относительных разностей координат).

1.2 Обычные методы съёмки позволяют определять:

- а) направления и углы с помощью теодолита (точность определения направления до 0,01 мгона (0,1"). 1 гон также называют градусом, который составляет 1/400 окружности круга). Этот метод также называется триангуляцией; и
- б) расстояния с помощью электронных методов измерения расстояния (EDM). Точность достигает 1 мм. Этот метод также называется трилатерацией.

Полностью оборудованные геодезические пункты

1.3 Современные полностью оборудованные геодезические пункты включают записывающий высокоточный электронный теодолит с EDM-инструментом, ось которого (часто) совмещается с осью теодолита. Такое оборудование устанавливается над опорной точкой с известными координатами, и телескоп ориентируется в направлении цели/рефлектора для измерения расстояния и углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Результаты измерений автоматически записываются и либо используются для непосредственного отображения (полевые расчеты в реальном масштабе времени), либо сохраняются для последующей обработки.

Нивелирование со спиртовым уровнем

1.4 На рис. Е-1 показан принцип нивелирования со спиртовым уровнем, используемый для определения раз-

ности в высоте по отношению к точке с известной (ортометрической) высотой, при этом точность может составлять до $\pm 0,3$ мм/ \sqrt{s} (км). Хотя имеются автоматические приборы, полностью обеспечивающие цифровую обработку данных, тем не менее этот метод требует очень много времени, является сложным и дорогостоящим и формула определения погрешности в зависимости от расстояния применима лишь в пределах ограниченного региона, например не более 50 км. Таким образом, нивелирование со спиртовым уровнем в основном применяется в пределах близко расположенного района.

1.5 Высоты, определяемые тригонометрическим методом (путем измерения зенитного угла или угла высоты), можно рассматривать в качестве "ортометрических высот" (без учета данных о силе тяжести, при точности порядка дециметров).

Преимущества/недостатки обычных методов съёмки

1.6 Современные полностью оборудованные геодезические пункты позволяют очень быстро выполнять полевую съёмку, и обычно геодезист вместе с помощником при благоприятных метеоусловиях могут производить съёмку до 1000 точек в день (теодолит, EDM-приборы, а также инструменты для нивелирования со спиртовым уровнем являются менее эффективными). Этот метод, однако, имеет ряд недостатков.

1.7 Наблюдения ограничиваются взаимовидимостью между теодолитом и целью и, в меньшей степени, расстоянием между ними. Метод требует наличия нескольких опорных пунктов, координаты которых либо известны заранее, либо определяются по отдельности. Координаты плановых опорных точек обычно задаются триангуляционными пунктами, а высоты – реперами, при этом указанные данные предоставляются соответствующей национальной картографической организацией. В свою очередь национальные топографические организации производят съёмку этих пунктов и вычисляют их координаты и высоты с помощью ряда иерархически построенных сетей, имеющих начальный уровень и последовательно разбиваемых на уровни второго, третьего и так далее порядка. В районах, где произведена топо-

графическая съемка крупного масштаба, триангуляционные пункты нижнего порядка располагаются в лучшем случае, например, через каждые 5 км. Для общей съемки этого недостаточно, и приходится устанавливать дополнительные опорные пункты перед проведением детальной съемки с помощью хорошо известных методов контрольной съемки, таких как триангуляция, трилатерация и полигонометрия. Все более эффективными в этом отношении становятся съемка с помощью GPS и фотограмметрические методы.

Высоты

1.8 Обработка результатов измерений вертикальных углов и расстояний дает так называемые разности тригонометрических высот (равные разностям высот над эллипсоидом).

1.9 Ортометрические высоты можно с высокой точностью определить только путем измерения разностей потенциалов силы тяжести $C = \Delta W = - \int g \, dh$ (объединив результаты измерения силы тяжести g и разности высот dh , полученные с помощью нивелирования со спиртовым уровнем), разделив их на нормальную величину силы тяжести. Иными словами, для получения точных значений ортометрических высот необходимо внести ортометрические поправки.

1.10 Для небольшого негористого района (например, размерами 50×50 км) отклонения поверхности геоида могут составлять $<0,1$ м. Если пренебречь этими отклонениями, то можно использовать любой тип высоты (разность ортометрических высот = разности тригонометрических высот = разности нивелированных высот).

2. ПРИНЦИПЫ АЭРОФОТОГРАММЕТРИИ

2.1 С помощью установленной на самолете фотограмметрической камеры получают перекрывающиеся фотоснимки вдоль маршрута аэрофотосъемки. Ряд перекрывающихся аэрофотоснимков образует блок. Расположенные на земле объекты, координаты которых необходимо определить, помечаются на фотоснимках соответствующим образом с тем, чтобы их четко можно было опознать.

2.2 После проявки фотоснимков с помощью фотограмметрических инструментов определяют точные координаты на аэрофотоснимках. Эти координаты преобразуются в координаты WGS-84 наземных станций путем автоматических вычислений с использованием наземного контроля (легко опознаваемых станций с известными координатами WGS-84).

Взаимное ориентирование

2.3 По двум перекрывающимся аэрофотоснимкам (стереопарам) можно получить стереомодель земной поверхности. Этот процесс называют взаимным ориентированием. При этом используется геометрия фотоснимков, то есть центральная перспектива, и учитывается наклон аэрофотоснимков, вызванный смещением самолета (см. рис. E-2).

2.4 Вполне вероятно, что в ближайшем будущем аналоговые фотокамеры будут заменены цифровыми камерами.

Внешнее ориентирование

2.5 Процесс так называемого внешнего ориентирования для каждой модели (стереопары аэрофотоснимков) осуществляется путем автоматических вычислений (уравнивания блока фототриангуляции, см. рис. E-3) с использованием наземного контроля (станций с известными координатами WGS-84 или координатами WGS-84, определяемыми с помощью GPS). Кроме того, при аэрофотосъемке больших площадей необходимо учитывать кривизну Земли, а также изменения поверхности геоида.

Сведение к минимуму наземного контроля

2.6 Известно, что приблизительно 60–80% стоимости любого проекта по осуществлению фотограмметрической съемки приходится на обеспечение наземного контроля, поэтому можно получить значительную экономию, если точно определять координаты аэрофотокамеры в момент фотографирования; это можно сделать с помощью дифференциальной GPS (DGPS) путем кинематического определения местоположения (относительно опорной станции). Для этого необходимо установить на самолете приемник и антенны системы GPS, которые должны быть синхронизированы по времени с аэрофотокамерой. Кроме того, предварительно, путем измерений необходимо определить геометрические расхождения (эксцентриситет) в установке камеры и антенны GPS.

2.7 На рис. E-4 показано минимальное количество станций наземного контроля, необходимое в случае определения координат расположения фотокамеры с помощью DGPS.

Рабочие этапы

2.8 Реализация какого-либо проекта фотограмметрической съемки состоит из следующих рабочих этапов:

- a) Необходимо определить параметры аэрофотоаппарата как функцию ожидаемой точности координат наземных станций.
- b) При отсутствии координат WGS-84 на наземных станциях их следует определить методами дифференциальной съемки с помощью GPS.
- c) Пункты, координаты которых подлежат определению, необходимо маркировать таким способом, чтобы их можно было однозначно опознать на аэрофотоснимках.
- d) Аэрофотоаппараты следует выполнять только в ясную погоду. Для точного определения координат аэрофотоаппарат должен выполняться по аэрофотоаппаратному маршруту с использованием наведения с точностью в горизонтальной плоскости приблизительно 50 м.
- e) Координаты точек на аэрофотоснимках должны измеряться по принятым стереомоделям с помощью фотограмметрических инструментов (например, "аналитического плоттера").
- f) Окончательные координаты получают в результате автоматических вычислений путем так называемого фотограмметрического уравнивания блоков триангуляции.
- g) Подтверждение точности координат, определенных фотограмметрическим методом, должно производиться путем выборочных проверок на местности (с использованием GPS или обычных методов съемки).

Преимущества/недостатки

2.9 Аэрофотограмметрия имеет следующие преимущества:

- a) стереофотограмметрический способ аэрофотоаппаратной съемки позволяет за один аэрофотоаппарат производить съемку больших районов; и
- b) аналоговые аэрофотоснимки, получаемые для определения координат, содержат много дополнительной аналоговой информации, которая может оказаться полезной при решении других задач (например, интерпретация).

2.10 Среди недостатков возможны следующие:

- a) продолжительное время ожидания, поскольку аэрофотоаппараты должны выполняться при низкой растительности и в ясную погоду;
- b) в некоторых случаях невысокая экономическая эффективность по сравнению с другими методами наземной съемки;
- c) возможны определенные ограничения, связанные с ограничениями аэрофотоаппаратов и управлением воздушным движением;
- d) публикация аэрофотоснимков в открытой печати может потребовать санкции правительственных и военных организаций.

РИСУНКИ К ДОБАВЛЕНИЮ Е

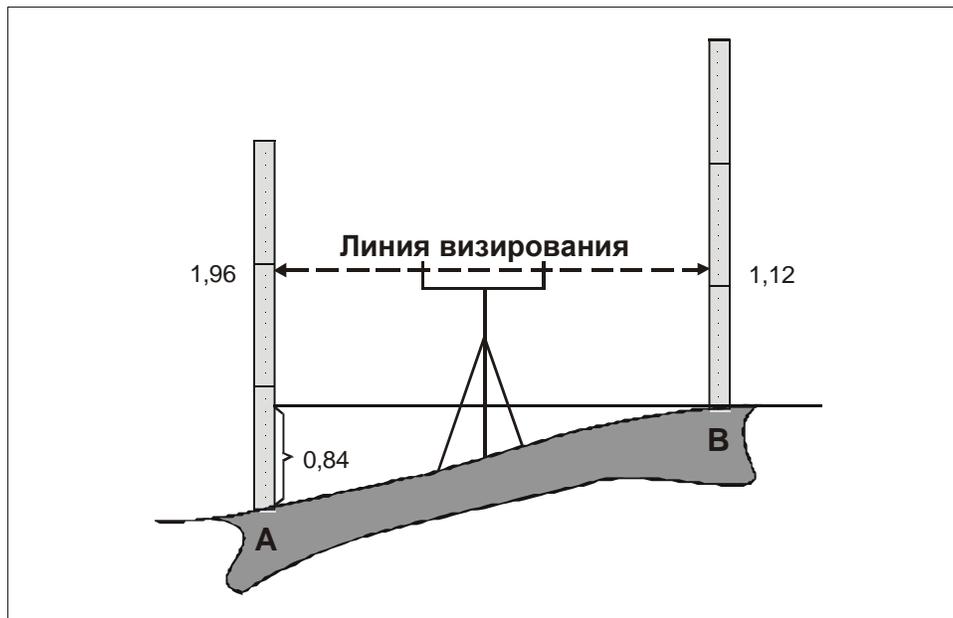


Рис. Е-1. Принцип нивелирования со спиртовым уровнем

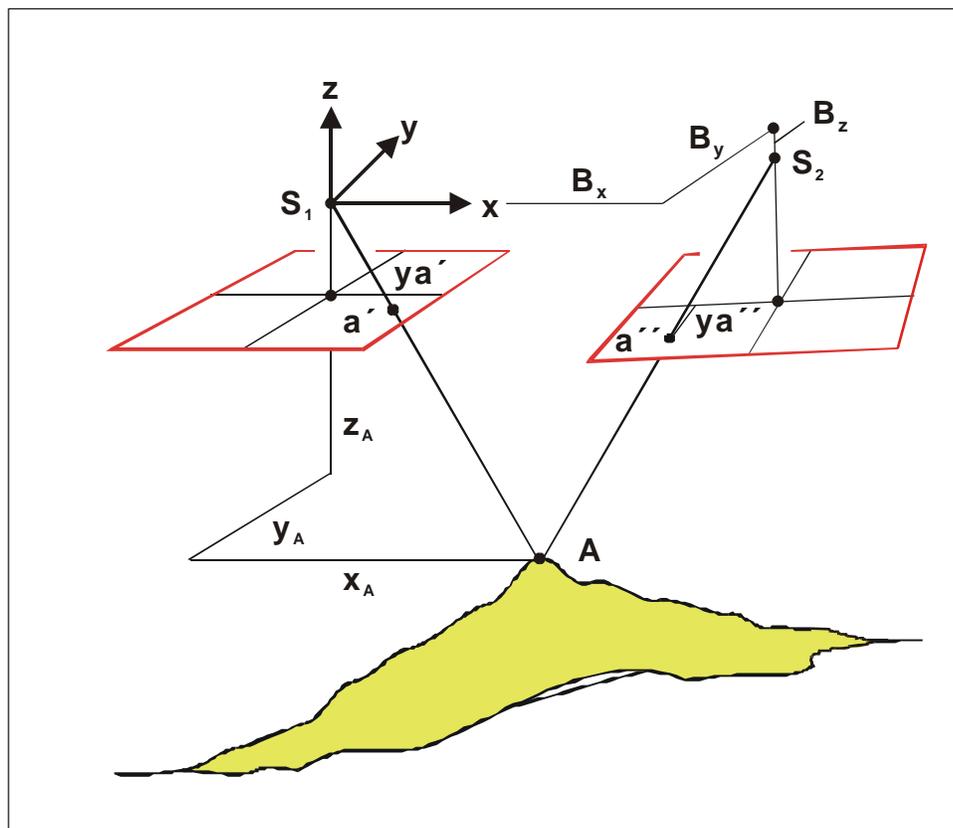


Рис. Е-2. Перекрывающиеся горизонтальные аэрофотоснимки, полученные с помощью аэрофотокамеры

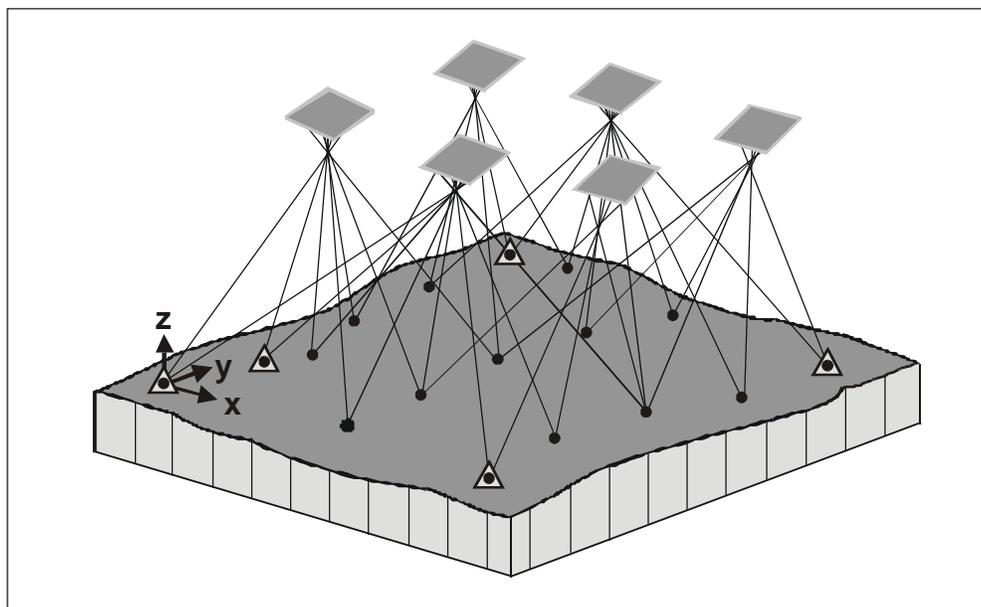


Рис. Е-3. Уравнивание блока фототриангуляции

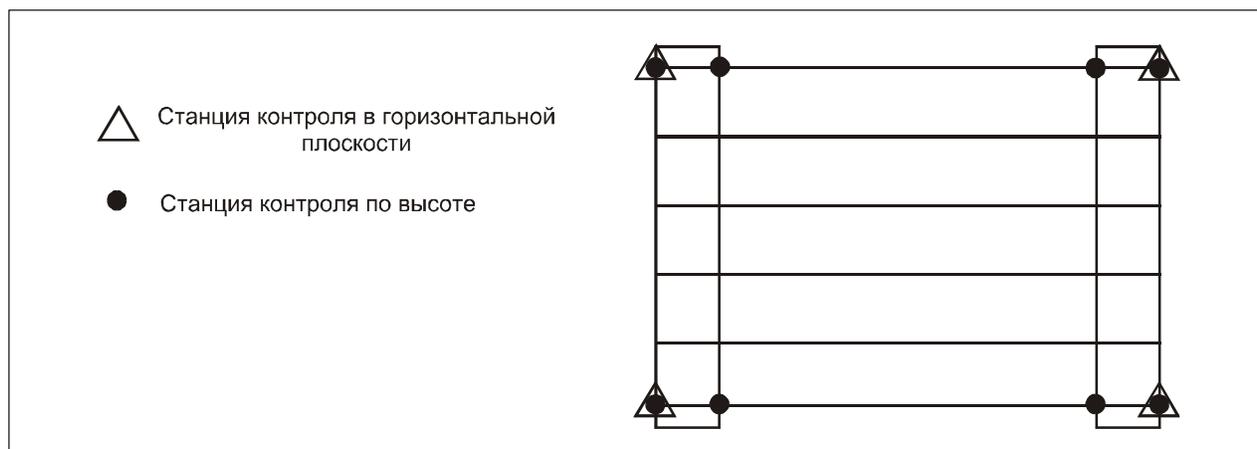


Рис. Е-4. Минимальное количество станций наземного контроля при использовании DGPS

Добавление F

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Успехи, достигнутые в информационной технологии, содействовали развитию автоматической картографии и соответственно цифровых методов картографирования. Нанесенную на бумагу аналоговую карту можно теперь преобразовать в цифровую форму и включить в базу данных, которую затем можно использовать при решении различных задач автоматизированного проектирования (CAD), связанных с планированием, гражданским строительством, а также в географических информационных системах (GIS). В настоящее время национальными топографическими и картографическими организациями достигнут значительный прогресс в преобразовании в цифровую форму национальных карт масштабом, как правило, 1:1000 для городских районов и до 1:10 000 для сельской местности.

2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

2.1 Требуется определить функции f_1 и f_2 , которые отображают эллипсоидальные (или сферические) координаты ϕ, λ на плоскости с прямоугольными координатами X, Y .

$$X = f_1(\phi, \lambda);$$

$$Y = f_2(\phi, \lambda).$$

2.2 f_1 и f_2 могут быть функциями широты, долготы или обеих этих величин. Каждой картографической проекции соответствует по единственному уравнению для X и для Y . Другими словами, между земной поверхностью и картой существует однозначное соответствие.

Примечание. На некоторых картографических проекциях один и тот же меридиан изображается дважды, поскольку географические полюсы отображаются на них линиями, а не точками, или же из-за того, что определенные части поверхности Земли нельзя отобразить на проекции. Объясняется это весьма просто: поверхность сферы – непрерывна, а плоская карта имеет края.

2.3 Соответствие между точками на поверхности Земли и на плоскости карты не может быть идеально точным. Во-

первых, происходит изменение масштаба. Во-вторых, поверхность Земли из-за ее кривизны невозможно отобразить на плоскости без определенной деформации или искажения, что равносильно растягиванию или разрыву этой криволинейной поверхности.

3. ТИПЫ ПРОЕКЦИЙ

3.1 Обработка результатов съемок местного значения обычно производится в планометрических координатах. Эти координаты получают путем картографического проектирования референц-эллипсоида на плоскость с использованием одной из хорошо известных проекций. Топограф работает в основном именно с такой системой плоских координат (x, y или соответственно северное и восточное указание по координатной сетке). Координаты объектов съемки, полученные, например, с помощью оборудования для электронного измерения расстояний (EDM) и теодолитов, наиболее легко вычисляются по формулам для плоскости.

3.2 С другой стороны, в аэронавигации используются географические координаты (широта, долгота). Поэтому здесь задача состоит в вычислении географических координат по плоским координатам. Ее можно решить путем применения к восточным и северным указаниям по координатной сетке формул обратной картографической проекции. Применение обратной картографической проекции требует четкого математического определения типа национальной картографической проекции.

3.3 Проекции можно классифицировать как проекция Земли на плоскость:

- а) азимутальная,
- б) конус касательных или
- в) цилиндр касательных.

3.4 По отношению к Земле плоскость, конус и цилиндр могут быть нормальными, поперечными или косыми. Кроме того, поверхности плоскости, конуса и цилиндра могут пересекать эллипсоид (или шар) так, что при этом образуются две линии соприкосновения. Такие проекции называются секущими.

4. СВОЙСТВА ПРОЕКЦИЙ

Эквидистантность

4.1 Один конкретный масштаб выдерживается равным главному масштабу по всей карте. Обычно за главный принимается масштаб по меридиану.

Эквивалентность

4.2 Картой в равновеликой проекции называется карта, на которой $a \times b = 1$ (a и b – оси эллипса искажений).

Конформность

4.3 Картой в равноугольной проекции называется карта, на которой $a = b$ во всех ее точках.

Геодезические проекции

4.4 Отличия геодезических проекций от картографических состоят в следующем:

- они применяются в основном на картах крупного и среднего масштаба;
- в качестве референц-эллипсоида служит эллипсоид, используемый национальным топографическим агентством;
- линии географической сетки на карте представляют геодезические координаты (в отличие от географических координат на картографических сетках);
- геодезические карты должны отображать результаты геодезической съемки (например, северное и восточное указания по координатной сетке).

4.5 В настоящее время преимущественно используются равноугольные поперечные цилиндрические проекции (координаты Гаусса).

5. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАРА

Поперечная цилиндрическая проекция Меркатора

5.1 Поперечной цилиндрической проекцией Меркатора является равноугольная проекция. Меридиан является линией нулевых искажений, а главный масштаб выдерживается по этому меридиану. По экватору проекция также является равнопромежуточной. Представление полюсов отсутствует. Проекция может быть либо касательной, либо секущей в зависимости от масштабного коэффициента

среднего меридиана. Ось X (север) ориентирована на Северный полюс вдоль среднего меридиана, а ось Y (восток) направлена на Восток. Началом отсчета служит точка на среднем меридиане, которая может быть выбрана произвольно путем задания широты начала отсчета ϕ_0 .

$$X = R \ln(\sec \theta + \operatorname{tg} \theta);$$

$$Y = R(\cos^{-1}(\operatorname{tg} \theta \operatorname{ctg}(\lambda - \lambda_0) - \phi_0));$$

$$\theta = \sin^{-1}(\cos \phi \sin(\lambda - \lambda_0));$$

$$R = F_0 \sqrt{\nu \rho},$$

где ϕ_0, λ_0 – широта начала отсчета, долгота среднего меридиана;

F_0 – масштабный коэффициент среднего меридиана ($F_0 = 0$ для касательной).

Полярная стереографическая проекция

5.2 Равноугольная зенитальная (плоская) проекция, являющаяся касательной к точке Северного полюса. Прямоугольные оси ориентированы следующим образом: ось X (север) направлена в сторону от "среднего" меридиана, а ось Y (восток) направлена под углом 90° на восток от среднего меридиана.

$$X = \frac{-2R \cos \phi \cos(\lambda - \lambda_0)}{1 + \sin \phi};$$

$$Y = \frac{2R \cos \phi \cos(\lambda - \lambda_0)}{1 + \sin \phi},$$

где R – радиус шара, определяемый как $R = \sqrt{\nu \rho}$;

λ_0 – долгота среднего меридиана.

Косая стереографическая проекция

5.3 Эта проекция аналогична полярной стереографической проекции лишь за одним исключением – ее плоскость является касательной к шару в любой ее точке. Ось X (север) направлена на Северный полюс, а ось Y (восток) направлена на Восток.

$$X = 2R \frac{\sin \phi \cos \phi_0 - \cos \phi \sin \phi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)}{1 + \sin \phi \sin \phi_0 + \cos \phi \cos \phi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)};$$

$$Y = 2R \frac{\cos \phi \sin(\lambda - \lambda_0)}{1 + \sin \phi \sin \phi_0 + \cos \phi \cos \phi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)};$$

где ϕ_0, λ_0 – широта и долгота точки касания.

Коническая проекция Ламберта с одной стандартной параллелью

5.4 Равноугольная коническая нормальная проекция, при которой конус расположен по касательной вдоль одной стандартной параллели широты. Прямоугольные оси ориентированы следующим образом: ось X (север) направлена на Северный полюс, ось Y (восток) направлена на восток.

$$X = r_0 - r \cos \theta;$$

$$Y = r \sin \theta;$$

$$\theta = (\lambda - \lambda_0) \sin \phi_0;$$

$$r_0 = R \operatorname{ctg} \phi_0;$$

$$r = r_0 \left(\frac{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi)}{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_0)} \right)^{\sin \phi_0};$$

$$R = \sqrt{v\rho},$$

где ϕ_0, λ_0 – широта стандартной параллели, долгота среднего меридиана.

Коническая проекция Ламберта с двумя стандартными параллелями

5.5 Эта проекция аналогична касательной, но в данном случае конус является секущим, который обрезает шар по двум стандартным параллелям ϕ_1 и ϕ_2 . Началом системы прямоугольных координат является подразумеваемая средняя широта ϕ_0 .

$$X = r_0 - r \cos \theta;$$

$$Y = r \sin \theta;$$

$$\theta = (\lambda - \lambda_0) \sin \phi_0;$$

$$l_0 = \frac{R \cos \phi_1 \left(\frac{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_0)}{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_1)} \right)^{\sin \phi_0}}{\sin \phi_0};$$

$$r = \frac{R \cos \phi_1 \left(\frac{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi)}{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_1)} \right)^{\sin \phi_0}}{\sin \phi_0};$$

$$\sin \phi_0 = \frac{l_0 \cos \phi_1 - l_0 \cos \phi_2}{l_0 \operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_1) - l_0 \operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_2)}.$$

6. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЛИПСОИДА

Примечание. Для формул проектирования эллипсоида используются те же описания и определения прямоугольных осей, что и для формул проектирования шара.

6.1 Полярная стереографическая проекция

$$X = -r \cos \theta;$$

$$Y = r \sin \theta;$$

$$\theta = \lambda - \lambda_0;$$

где λ_0 – долгота среднего меридиана;

$$r_0 = 2a(1 + e)^{\frac{-1}{2(1-e)}}(1 - e)^{\frac{-1}{2(1+e)}} \left(\frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \right) \left(\frac{1 + e \sin \phi}{1 - e \sin \phi} \right)^{1/2e},$$

где a – большая полуось эллипсоида;

e – эксцентриситет эллипсоида.

6.2 Косая стереографическая проекция

$$X = 2v_0 \left(\frac{1+e}{1-e} \right)^{-1/2} \left(\frac{\sin \phi \cos \phi_0 - \cos \phi \sin \phi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)}{1 + \sin h} \right);$$

$$\left(\frac{1+e \sin h}{1-e \sin h} \right)^{-1/2};$$

$$Y = 2v_0 \left(\frac{1+e}{1-e} \right)^{-1/2} \left(\frac{\cos \phi \sin(\lambda - \lambda_0)}{1 + \sin h} \right) \left(\frac{1+e \sin h}{1-e \sin h} \right)^{-1/2};$$

$$\sin h = \sin \phi \sin \phi_0 + \cos \phi \cos \phi_0 \cos(\lambda - \lambda_0);$$

$$v_0 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_0)^{1/2}},$$

где ϕ_0, λ_0 – широта точки касания в полюсе, долгота точки касания в полюсе.

6.3 Коническая проекция Ламберта с одной стандартной параллелью

$$X = r_0 - r \cos \theta;$$

$$Y = r \sin \theta;$$

$$\theta = (\lambda - \lambda_0) \sin \phi_0;$$

$$r_0 = v_0 \operatorname{ctg} \phi_0;$$

$$r = r_0 \left(\frac{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi) \left(\frac{1+e \sin \phi}{1-e \sin \phi} \right)^{1/2e}}{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_0) \left(\frac{1+e \sin \phi_0}{1-e \sin \phi_0} \right)^{1/2e}} \right)^{\sin \phi_0};$$

$$v_0 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_0)^{1/2}};$$

где ϕ_0, λ_0 – широта стандартной параллели,
долгота среднего меридиана.

6.4 Коническая проекция Ламберта с двумя стандартными параллелями

$$X = r_0 - r \cos \theta;$$

$$Y = r \sin \theta;$$

$$\theta = (\lambda - \lambda_0) \sin \phi_0;$$

$$r_0 = v_2 \frac{\cos \phi_2}{\sin \phi_2} \left(\frac{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_0) \left(\frac{1+e \sin \phi_0}{1-e \sin \phi_0} \right)^{1/2e}}{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_2) \left(\frac{1+e \sin \phi_2}{1-e \sin \phi_2} \right)^{1/2e}} \right)^{\sin \phi_0};$$

$$r = v_2 \frac{\cos \phi_2}{\sin \phi_0} \left(\frac{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi) \left(\frac{1+e \sin \phi}{1-e \sin \phi} \right)^{1/2e}}{\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_0) \left(\frac{1+e \sin \phi_0}{1-e \sin \phi_0} \right)^{1/2e}} \right)^{\sin \phi_0};$$

$$\sin \phi_0 = \frac{luv_1 \cos \phi_1 - luv_2 \cos \phi_2}{lu \left(\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_1) \left(\frac{1+e \sin \phi_1}{1-e \sin \phi_1} \right)^{1/2e} \right) - lu \left(\operatorname{tg}(45 - 0,5\phi_2) \left(\frac{1+e \sin \phi_2}{1-e \sin \phi_2} \right)^{1/2e} \right)};$$

$$v_1 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_1)^{1/2}};$$

$$v_2 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_2)^{1/2}};$$

6.5 Поперечная цилиндрическая проекция Меркатора

6.5.1 Эта поперечная проекция поверхности эллипсоида обычно описывается несколькими разложениями в ряд.

$$X = M + (\lambda - \lambda_0)^2 A + (\lambda - \lambda_0)^4 B + (\lambda - \lambda_0)^6 C;$$

$$Y = (\lambda - \lambda_0) D + (\lambda - \lambda_0)^3 E + (\lambda - \lambda_0)^5 F;$$

$$M = b \left(1 + n + \frac{5}{4} n^2 + \frac{5}{4} n^3 \right) (\phi - \phi_0);$$

$$- (3n + 3n^2 + \frac{21}{8} n^3) \sin(\phi - \phi_0) \cos(\phi + \phi_0);$$

$$+ \left(\frac{15}{8} n^2 + \frac{15}{8} n^3 \right) \sin 2(\phi - \phi_0) \cos 2(\phi + \phi_0);$$

$$- \frac{25}{24} n^3 \sin 3(\phi - \phi_0) \cos 3(\phi + \phi_0);$$

$$A = \frac{v}{2} \sin \phi \cos \phi;$$

$$B = \frac{v}{24} \sin \phi \cos^3 \phi (5 - \operatorname{tg}^2 \phi + 9\eta^2);$$

$$C = \frac{v}{720} \sin \phi \cos^5 \phi (61 - 58 \operatorname{tg}^3 \phi + \operatorname{tg}^4 \phi);$$

$$D = v \cos \phi;$$

$$E = \frac{v}{6} \cos^3 \phi \left(\frac{v}{\rho} - \operatorname{tg}^2 \phi \right);$$

$$F = \frac{v}{120} \cos^5 \phi (5 - 18 \operatorname{tg}^2 \phi + \operatorname{tg}^4 \phi + 14\eta^2 - 58 \operatorname{tg}^2 \phi \eta^2);$$

$$v = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}};$$

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}};$$

$$\eta = \frac{a - b}{a + b};$$

$$b = a(1 - f);$$

$$\eta^2 = \frac{v}{\rho} - 1.$$

6.5.2 Масштабный коэффициент среднего меридиана F_0 вводится путем умножения большой полуоси a на F_0 до вычисления любых других величин.

7. ПРОЕКЦИЯ ГАУССА-КРЮГЕРА

Проекция Гаусса-Крюгера идентична равноугольной проекции Меркатора за исключением того, что цилиндр является поперечным. Уровенная поверхность представляет собой эллипсоид Бесселя, а средний меридиан является равноотстоящим. Координаты y (восточные указания по координатной сетке) увеличены из-за сходимости осей x (северных указаний по координатной сетке). Для того чтобы это искажение оставалось в приемлемых пределах, используются зоны шириной 3° (по долготе), при этом средний меридиан расположен в середине каждой зоны. Системы меридиональных зон имеют следующие северные и восточные указания по координатной сетке:

<i>Северное указание (N)</i>	Расстояние от экватора
<i>Восточное указание (E)</i>	Чтобы избежать отрицательных знаков, каждый средний меридиан имеет константу $y = 500\,000$ м. Первые две цифры представляют номер зоны, который равен долготе среднего меридиана, поделенной на три
<i>Пример</i>	<p>Башня городской ратуши Берлина имеет следующие географические координаты:</p> <p>$\lambda = 13^\circ 24' 36,01''$; $\phi = 52^\circ 31' 11,65''$.</p> <p>Соответствующие координаты Гаусса-Крюгера относительно среднего меридиана с долготой $\lambda = 12^\circ$ таковы:</p> <p>$E = 4595696,00$ м; $N = 5821529,20$ м</p>

8. СИСТЕМА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ПРОЕКЦИИ МЕРКАТОРА (UTM)

Система универсальной поперечной проекции Меркатора (UTM), часто используемая для военных карт, имеет следующие особенности:

- Проекция представляет собой версию Гаусса-Крюгера поперечной проекции Меркатора, предназначенную для отображения земного шара между широтами $84^\circ N$ и $80^\circ S$.
- В качестве референц-эллипсоида используется Международный эллипсоид 1924 года, а в качестве единицы измерения – международный метр.
- Каждая зона имеет ширину 6° по долготе. Западный край первой зоны проходит по меридиану 180° , последующие зоны располагаются в восточном направлении вплоть до зоны номер 60, восточный край которой находится на долготе 180° . Таким образом, положение среднего меридиана каждой зоны таково: зона 1 – 177° ; зона 2 – 171° ; зона 3 – 168° и т. д.
- Началом каждой зоны является точка пресечения экватора со средним меридианом данной зоны. Каждая зона простирается в направлении полюса вплоть до $84^\circ N$ и $80^\circ S$ (первоначально эти пределы были равны $80^\circ N$ и $80^\circ S$).
- Восточным указаниям каждой зоны присваивается значение $500\,000$ м.
- Масштабный коэффициент на среднем меридиане равен $0,9996$.
- В системе UTM используется пять различных фигур для конкретных районов.

Добавление G

ОБРАЗЕЦ ВОПРОСНИКА

Инвентаризация съемочных работ, связанных с внедрением системы WGS-84

Примечания по заполнению разделов I и II:

- 1. Раздел I заполняется национальным авиационным управлением.*
- 2. Раздел I, подпункт 25 (пп. i–ix), должен быть заполнен для каждого навигационного средства.*
- 3. Раздел II рассылается национальным авиационным управлением для заполнения полномочными властями аэродромов/вертодромов, по одному вопроснику на каждый аэродром/вертодром. Титульный лист должен заполняться национальным управлением.*
- 4. Первоначально раздел II должен заполняться только для аэродромов/вертодромов, на которых используется(ются) процедура(ы) захода на взлетно-посадочную(ые) полосу(ы) по приборам.*
- 5. Для аэродромов/вертодромов, на которых используется только визуальный заход на посадку, требуется информация об опорной точке аэродрома/вертодрома (ARP).*
- 6. Разделы I и II разработаны таким образом, чтобы содержащиеся в них ответы можно было считывать автоматически в определенном цифровом формате. На большинство вопросов ответы представляются в формате многоэлементного выбора. Считывание и форматирование полученных данных позволит произвести анализ с помощью программного средства, предназначенного для персональных компьютеров (PC). Такую PC-программу государства могут получить от ИКАО.*
- 7. Бланки формы вопросника предоставляются ИКАО. Они могут использоваться национальными управлениями для внесения соответствующего текста, переведенного на национальный язык. При этом важно, чтобы формат и порядок расположения вопросов были сохранены с тем, чтобы переведенные вопросники можно было считывать и анализировать с помощью PC-программы, упомянутой в п. 6 выше.*

5. Если координаты определяются по картографическим материалам, то какой масштаб карты (или ближайший эквивалент) обычно используется?

	DME	VOR	DME/VOR	NDB	VORTAC	TACAN
> 1/5 000	<input type="checkbox"/>					
1/5 000	<input type="checkbox"/>					
1/10 000	<input type="checkbox"/>					
1/20 000	<input type="checkbox"/>					
1/25 000	<input type="checkbox"/>					
1/50 000	<input type="checkbox"/>					
1/100 000	<input type="checkbox"/>					
1/250 000	<input type="checkbox"/>					
< 1/250 000	<input type="checkbox"/>					

6. С какой точностью определяются координаты?

Примечание. Степень точности может отличаться от разрешения, с которым координаты указаны в сборнике AIP.

	DME	VOR	DME/VOR	NDB	VORTAC	TACAN
> 1 м. мили	<input type="checkbox"/>					
1 м. мили	<input type="checkbox"/>					
0,1 м. мили	<input type="checkbox"/>					
100 м	<input type="checkbox"/>					
10 м	<input type="checkbox"/>					
1 м	<input type="checkbox"/>					

ИНФРАСТРУКТУРА

7. Если координаты определяются по карте, известно ли, какая геодезическая основа использовалась при составлении этой карты?

Да Нет

8. Регистрируется ли информация в п. 7 выше как часть съемки?

Да Нет

9. Если координаты определялись с помощью инструментальной съемки, то:

- а) производилась ли регистрация использованной опорной системы?

Да Нет

- б) были ли созданы для этой съемки постоянные геодезические пункты?

Да Нет

18. Можно ли найти данные и установить метод съемки/определения координат отдельных навигационных средств?
 Да Нет
19. Хранятся ли записи результатов съемки централизованно и являются ли они легко доступными?
 Да Нет
20. Хранятся ли записи результатов съемки в компьютере?
 Да Нет
21. Осуществляется ли регулярный контроль и поддержание сохранности записей результатов съемки?
 Да Нет
22. В случае совместного размещения навигационных средств (VOR/DME) известно ли, к которому средству относятся опубликованные координаты?
 Да Нет
23. Известно ли расстояние между такими парами средств?
 Да Нет
24. Если записи точных координат навигационных средств хранятся централизованно, то производится ли проверка соответствия их координат, опубликованных в AIP?
 Да Нет

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВВОДА КООРДИНАТ В AIP

25. Просьба указать в колонке А количество навигационных средств, координаты которых опубликованы в сборнике. В колонке В укажите количество навигационных средств, координаты которых определены непосредственно национальным управлением гражданской авиации.

Средство	Колонка А	Колонка В
DME	<input type="text"/>	<input type="text"/>
VOR	<input type="text"/>	<input type="text"/>
VOR/DME	<input type="text"/>	<input type="text"/>
NDB	<input type="text"/>	<input type="text"/>
VORTAC	<input type="text"/>	<input type="text"/>
TACAN	<input type="text"/>	<input type="text"/>

ПОРОГИ ВПП

35. Какое количество порогов ВПП имеет аэродром/вертодром?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 >10

36. Сколько ВПП на аэродроме/вертодроме оборудованы средствами точного захода на посадку?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 >10

37. Сколько порогов измерено при съемке?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 >10

38. С какой точностью измерены эти пороги?

< 10 м < 3 м < 1 м < 0,1 м

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

- Ashkenazi, V., S.A. Crane, W.J. Preis, J. Williams, *The 1980 Readjustment of the Triangulation of the United Kingdom and Republic of Ireland – OS(SN)80*. Ordnance Survey Professional Papers, New Series, No. 31, 1984.
- Ashkenazi, V., T. Moore, C. Hill, *Datum: A Report and Software Package for the Transformation and Projection of Coordinates*. United Kingdom: Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy, University of Nottingham (UK), revised December 93, EEC Report 237, 12/1990.
- Helmert, F. R. *Die mathematischen und physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie*. Leipzig: B.G. Teubner 1880.
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, H. J. Collins. *Global Positioning System*. New York: Springer-Verlag Wien, 1993.
- Kahmen, H., W. Faig. *Surveying*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1988.
- Kraus, K., P. Waldhäusl. *Photogrammetrie. Band 1. Grundlagen und Standardverfahren*. Ferd. Bonn: Dümmlers Verlag, 1994.
- Maling, D. H. *Coordinate Systems and Map Projections*. Pergamon Press, 1992.
- Torge, W. *Geodesy*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1991.
- Vanicek, P. and E. Krakiwsky. *Geodesy: The Concepts*. Amsterdam, New York, Oxford: North Holland Publishing Company, 1982.
- Zhu, J., *Exact Conversion of Earth-Centred Earth-Fixed Coordinates to Geodetic Coordinates*. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. Vol. 16, No. 2, March-April 1993.
- National Imagery and Mapping Agency, *Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*. NIMA TR8350.2.
- National Geodetic Survey. *Geodetic Glossary (1986)*.

– КОНЕЦ –

