

THE PROBLEM OF THE COORDINATE TRANSFORMATION WITH ERRORS IN BOTH SYSTEMS

A. DEGTARYOV, A. IVASHNIOVA

The task of the coordinate transformation occurs often enough in geodesy. Despite the wide use and clarity of the process of the two-dimensional transformation there are a number of important questions that require an additional research today. One such issue is the possibility of accounting errors in the two coordinate systems in solving the transformation task. The computational results and the conclusions about the expediency of using of the Gauss-Helmert model in coordinate transformation are presented in the article.

Keywords: *transformation, coordinate system, Gauss-Markov model, Gauss-Helmert model, affine model, transformation elements, traditional methods, non- traditional methods, least square method.*

УДК 527.8

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В АЭРОНАВИГАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

П.А. ЮЗЕФСВИЧ, В.Я. ЛОБАЗОВ

(Геодинамика, Россия)

Конвергенция последних реализаций общеземных систем координат к системе ITRF делает их различия несущественными с точки зрения требований ИКАО к представлению координат и высот аэронавигационных объектов. Иная ситуация с высотами – различия ортометрических и нормальных высот выходят за нормативные допуски, нерегулярны и зачастую вызваны ошибками исходных данных, особенно в удаленных и труднодоступных регионах.

Ключевые слова: *ИКАО, аэронавигационные данные, геоцентрические системы координат, нормальная высота, ортометрическая высота.*

Системы координат, применяемые для международной аэронавигации, должны удовлетворять определенным требованиям в части концепции и реализации. Глобальная сеть международного авиасообщения требует единой общеземной системы координат для опубликования аэронавигационных данных. Требование опубликования распространяется на всех участников, подписавших Чикагскую конвенцию о международной граждан-

ской авиации и вошедших в ИКАО. Опубликование аэронавигационных данных в стандартном виде и в соответствии с заданными характеристиками точности, разрешения и целостности определено в нормативных документах, являющихся приложениями к Чикагской конвенции (например, Приложение 15 «Службы аэронавигационной информации»). Указанные стандарты и требования едины для всех государств, вне зависимости от национальных стандартов, принятых локальных координат и высотной основы, а также от режимов секретности.

Одной из задач, выполняемых ИКАО в части аэронавигации, сегодня является смена всей концепции обработки информации. Суть процесса состоит в тезисе «от сервиса – к менеджменту» и означает постепенный перевод всего массива аэронавигационной информации – от навигационных карт и брифингов полета до процедуры обмена короткими навигационными сообщениями (т.н. NOTAM) – в цифровую форму с подготовкой всей соответствующей инфраструктуры сбора информации, ее обработки и передачи – и, в конечном счете – в перепоручении автоматическим информационным системам функций и операций, ранее доверенных только квалифицированному специалисту (оператору или диспетчеру) в зоне его ответственности. Процесс этого перехода занимает не одно десятилетие и разделен на три основные фазы и множество ступеней и процедур, прописанных в документе ИКАО «AIS to AIM Roadmap» или Дорожная карта ИКАО (рис. 1).

Дорожная Карта ИКАО AIS – AIM (2009)

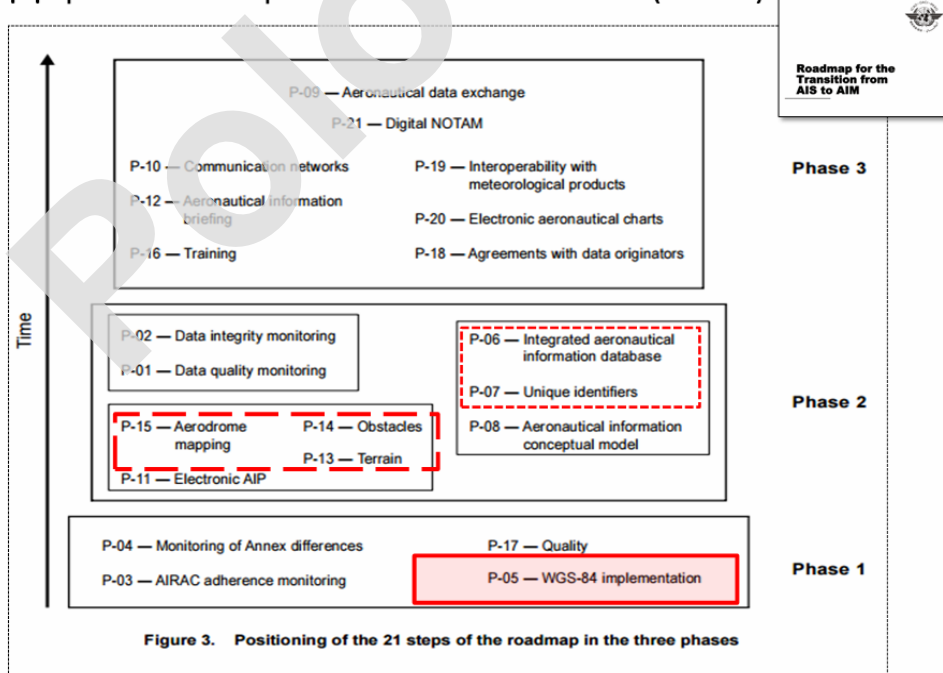


Рис. 1. Дорожная карта ИКАО

В начале Фазы 1 (см. рис. 1) стоит требование проведения геодезической съемки в системе WGS-84, успешно выполненное, благодаря повсеместному внедрению GNSS. Сегодня решаются задачи создания электронных баз данных аэродрома (AMDB), съемка и поддержание в актуальном состоянии баз данных по препятствиям и представление данных о рельефе (eTOD), централизованное предоставление государствами в уполномоченные органы ИКАО баз данных eTOD, разработка системы уникальных идентификаторов и средств описания объектов.

Национальные требования к съемке и опубликованию информации об аэронавигационных объектах, выраженные в приказах Минтранса РФ и документах МАК, в общем и целом повторяют требования ИКАО (таблица). Требуемая точность геодезической съемки (0.5 м) обеспечивается современными средствами с большим запасом. При этом система ПЗ-90.11, реализованная в системе ГЛОНАСС и установленная Постановлением Правительства от 28.12.2012 г. для целей навигации имеет формальные отличия от WGS-84.

Любая система координат изначально представляется в двух видах: концепции и реализации. Если концепция построения всех общеземных систем схожая, то реализации систем WGS-84, ПЗ-90 и ITRS/ITRF весьма различны. Точность реализации системы выражается, в том числе, точностью апостериорных и предсказанных орбит спутников. Здесь вне конкуренции система ITRF, в основе реализации которой лежат четыре фундаментальные технологии (GNSS, SLR, VLBI и DORIS), имеющая самое большое число наземных измерительных станций, в том числе пунктов коллокации, сочетающих несколько разнородных типов измерительных средств.

Начиная с 2002 г. (выход реализации системы WGS-84 версии G1150) системы WGS-84 и ITRF объявлены согласованными на уровне 10 см. Последние реализации WGS-84 G1674 и G1762 содержат в себе модели и алгоритмы Рекомендаций Международной службы вращения Земли (IERS Conventions 2010, Technical Notes 36), что позволяет их считать согласованными на уровне первых единиц сантиметров с системой ITRF-2008. Согласно справочному документу по системе ПЗ-90.11, эта система имеет почти нулевые параметры сдвига и разворота осей координат относительно ITRF-2008 и не имеет отличия в масштабе. На рисунке 2 показан процесс конвергенции систем координат WGS-84, ITRF-xx и ПЗ-90.xx. В скобках рядом с названием указана референцная эпоха, к которой отнесены координаты в координатных каталогах.

**Требования к качеству данных (точности, разрешению и целостности)
согласно Приказу №269 Минтранса РФ от 15.07.2010**

Превышение абсолютная/относительная высота	Точность, тип данных	Разрешение	Классификация целостности данных
Превышение аэродрома вертодрома	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Геодезическая высота аэродрома/вертодрома	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Порог ВПП или порог FATO (неточные заходы на посадку)	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Геодезическая высота на пороге ВПП или FATO, в геометрическом центре TLOF (неточные заходы на посадку)	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Порог ВПП или FATO (точные заходы на посадку)	0.25 м или 1 фут результат съемки	0.5 м или 1 фут	1×10^{-8} критические
Геодезическая высота на пороге ВПП или FATO, в геометрическом центре TLOF точные заходы на посадку	0.25 м или 1 фут результат съемки	0.5 м или 1 фут	1×10^{-8} критические
Абсолютная / относительная высота пролёта препятствий	Как указано в док. PANS-OPS Doc8168)	-	1×10^{-5} важные
Относительная высота пересечения порога ВПП (точные заходы на посадку)	0.5 м или 1 фут результат съемки	0.5 м или 1 фут	1×10^{-8} критические
Препятствия в зонах захода на посадку и взлёта	1 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Препятствия в зонах полётов по кругу и на аэродроме/вертодроме	1 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные

Год	WGS-84	ITRFxx	ПЗ-90.xx
	реализация (референцная эпоха)		
(до 2000 г.)	...		
2002	G1150 (2001.0)	ITRF2000 (2000.0)	ПЗ-90.02
2006	ITRF2005 (2000.0)		
2011	ITRF2008 (2005.0)		ПЗ-90.11 (2010.0)
2012	G1674 (2005.0)		
2013	G1762 (2005.0) (конвенции IERS 2010)		
2016	ITRF2014 (2010.0)		

Рис. 2. Реализации геоцентрических систем координат

Последняя реализация ITRF-2014, по сравнению с предыдущей системой ITRF-2008, имеет незначительные отличия в координатах и новую референдную эпоху – 2010.0. В основе ITRF-2014 положены те же четыре перечисленные базовые технологии. Разница заключается в том, что система ITRF-2014 получена путем повторной обработки и переуравнивания измерений за 20-летний период в соответствии с рекомендациями Конвенции IERS 2010. Изменился также подход к вычислению смещений пунктов на заданную эпоху – теперь эти смещения описываются с помощью моделей сейсмических событий и вычисления соответствующих поправок в линейные векторы.

Говоря о системах высот в аэронавигации, следует иметь в виду, что принципиальное различие между высотами в геометрическом и физическом смысле проявляется при использовании разных способов измерения высоты полета воздушного судна: барометрическим высотомером или системой GNSS, дополненной системами дифференциальной коррекции.

Во втором случае необходимо иметь в виду различие между отсчетными эллипсоидами WGS-84 и ПЗ-90: разница размеров их больших полуосей проявляется в том, что геодезические высоты в системе ПЗ-90.11 больше высот в системе WGS-84 на 1 метр, что превышает в 4 раза допуски ИКАО. Об этом необходимо помнить при опубликовании координат и особенно высот навигационных ориентиров.

Системы высот в физическом определении, сходные между собой по принципу построения, различаются в деталях реализации. Наиболее распространены ортометрические и нормальные высоты. В первом случае предполагается, что отсчетная поверхность – геоид, каким-то образом задана, например, ее можно построить, имея модель гравитационного поля Земли (ГПЗ). Системы нормальных высот не требуют какой-либо модели геоида, но для них необходимы данные высокоточного нивелирования и гравиметрической съемки.

Нормативные документы ИКАО предписывают использовать в качестве физической системы высот MSL (Mean Sea Level) – т.е. «высоты над уровнем моря», под которыми понимаются ортометрические высоты, полученные с использованием модели геопотенциала EGM-96. Изучение характеристик модели и ее сравнение с современной моделью геопотенциала EGM-2008 указывает на недостаточную точность ортометрических высот EGM-96 по сравнению с требуемыми ИКАО точностными характеристиками. Как и ожидалось, модель EGM-2008, имеющая в шесть раз более высокое разрешение, чем EGM-96, с этой точки зрения более предпочтитель-

на. Высотная основа для навигации в РФ осталась прежней – Балтийская система нормальных высот 1977 г.

В 2015 г НПЦ «Геодинамика» МИИГАиК проводил сравнительный анализ нормальных высот в Балтийской системе 1977 г. с ортометрическими высотами EGM-96 и EGM-2008. Сравнение проводилось для 772 пунктов на 68 гражданских аэродромах России, разделенных по четырем географическим регионам, включая пункты ОГС, контрольные точки, пороги ВПП и характерные точки профилей ВПП. Анализ показал, что расхождения между нормальными и ортометрическими высотами обеих моделей носят неравномерный характер и их абсолютная величина, как случайная, так и систематическая, увеличивается с Запада на Восток. Расхождение нормальных высот с ортометрическими для модели EGM-96 оказалось выше в 1.5 раза по сравнению с этими же величинами для модели EGM-2008.

По набору из 143 пунктов ГГС, взятому независимо от перечисленного массива, были вычислены контрольные остаточные разности передачи высотной отметки от каждого из пунктов аэродрома, принятого за исходный на каждый из контрольных пунктов ГГС по формулам спутникового нивелирования, где для вычислений приращений аномалии высоты использовалась модель EGM-2008. Остаточные разности, помещенные на график зависимости от углового расстояния между пунктами, приведены на рисунке 3.

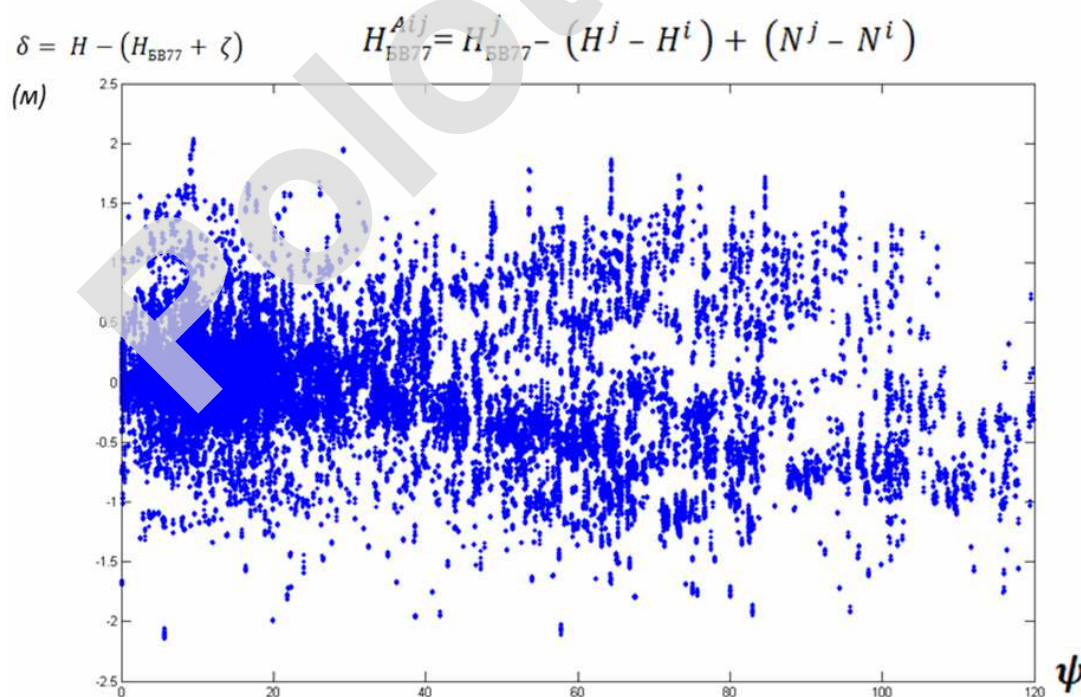


Рис. 3. Остаточные разности геодезических высот

График позволяет судить о применимости метода спутникового нивелирования для передачи высот на большие расстояния. Как видно, ошибки могут легко достигать величин в 1.5 м. При слабо выраженной систематической зависимости от величины расстояния, очевидно, что основным источником ошибок здесь являются ошибки исходных данных, т.е. каталожные значения нормальных высот местных пунктов. Такой вывод не будет неожиданным, учитывая, что исходные отметки некоторых удаленных аэродромов, в том числе в Якутии, на Камчатке, Чукотке и Дальнем Востоке едва ли могли быть получены высокоточным нивелированием от реперов Главной высотной основы. Таким образом, задача перехода в Балтийскую систему высот спутниковыми методами может решаться только на локальном участке и от ближайших пунктов высотной основы, при этом достоверность значений их высотных отметок должна быть подтверждена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roadmap for the Transition from AIS to AIM, ИКАО, 2009.
2. Службы аэронавигационной информации : Конвенции о международной гражданской авиации, приложение 15. – ИКАО, 2004.
3. Terrain and Obstacle Data Manual, EUROCONTROL, 2015.
4. ГКИНП (ГНТА)–01–006–03 Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. – М. : ЦНИИГАиК, 2004.
5. Параметры Земли 1990 года (ПЗ-90.11) : справочный документ, ВТУ ГШ ВС РФ, 2014.
6. Об опубликовании аэронавигационных данных аэродромов гражданской авиации, аэродромов совместного базирования и воздушных трасс Российской Федерации : приказ № 269 Минтранса РФ от 15 июля 2010 г.
7. The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96, NASA/TP–1998–206861 / F.G. Lemoine, [et al.]. – 1998.
8. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008// Presentation from the 2008 EGU General Assembly Meeting / N.K. Pavlis [et al.]. – 2012.
9. The Development and Evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) / N.K. Pavlis [et al.] // Journal of Geophysical Research Atmospheres 04/2012; 118(5). – Vol. 117, B04406. – 2012.

COORDINATE SYSTEMS IN AERONAVIGATION. CURRENT STATE AND PERSPECTIVES

P. YUZEFOVICH V. LOBAZOV

Convergenton of the last realizations of global coordinate systems toward ITRF reduce differences between them to non-essential values comparing to the ICAO requirements for data representation and publishing of coordinates

of aeronautical objects. Another situation concerning height systems: given orthometric and normal heights show irregular differences exceeding the accuracy limits. These differences may also be referred to uncertainties in local heights especially in distant and arduous regions.

Keywords: *ICAO, aeronautical data, global coordinate systems, normal heights, orthometric heights.*

УДК 528.3

ДЕМАРКАЦИЯ ТОЧКИ СТЫКА ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГРАНИЦ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ЛИТОВСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И РЕСПУБЛИКИ ПОЛЬША

М.С. ШЕВНЯ

(Балтийское аэрогеодезическое предприятие, Россия)

Рассмотрены последовательность действий и синхронизация приемов трех государств (Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша) при демаркации точки стыка государственных границ.

Ключевые слова: *демаркация границы, демаркационные карты, точки стыка государственных границ.*

Проблемы международно-правового оформления государственных границ относятся к наиболее острым и сложным проблемам развития и становления государства. Российская Федерация получила в наследство от СССР отдельные не решенные до конца пограничные проблемы с некоторыми государствами и вообще не оформленные границы с республиками бывшего СССР. Сразу остро встал вопрос установления границ с государствами, не входящими в СНГ (Литва, Латвия и Эстония), вступивших в ЕС.

Поэтому в 1992г. по взаимной договоренности были начаты переговоры по оформлению российско-литовской государственной границы. Начинала работу на экспертном уровне делимитационная комиссия созданная распоряжением тогдашнего губернатора Калининградской области Ю. Маточкина под руководством Первого заместителя губернатора в то время Г. Чмыхова. В дальнейшем работу проводила делимитационная комиссия, созданная Постановлением Совета Министров Правительства Российской Федерации от 15 февраля 1993 г. № 131-9 «О создании Комиссии по делимитации границ между Российской Федерацией и Литовской Республикой».