Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д.Серикбаева

УДК 6285.1

ГОРОБЕЦ АЛЁНА СЕРГЕЕВНА

Разработка методики определения аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием спутниковых технологий

специальность 6N0711 – Геодезия и картография

Реферат диссертации на соискание академической степени магистра технических наук по специальности геодезия и картография

Научный руководитель:
Кандидат технических наук,
доцент ВКГТУ Хасенов К.Б.

Усть-Каменогорск 2010

Введение

Прорыв человечества в космос, начавшийся во второй половине прошлого века, привел к широкому использованию спутниковых технологий для определения местоположения воздушных судов в воздухе и на земле. И хотя определение координат воздушных судов практически широко началось всего порядка 20 лет тому назад, в настоящее время точность этих определений возросла в сотни и даже тысячи раз. Благодаря использованию спутниковых технологий местоположение воздушных судов может определяться с точностью до единиц метра.

За прошедшие годы развитие независимого Казахстана характеризуется масштабными и коренными преобразованиями экономической системы страны. В последние годы формируется адекватный росту экономики рынок авиационных транспортных услуг. Однако существующий потенциал, в том числе и возможности международного транзита через территорию Казахстана используются пока не в полной мере. Все это приводит к необходимости выработки комплекса мероприятий в сфере гражданской авиации. В то же время существует ряд важнейших задач, без решения которых, авиация нашей страны не сможет успешно функционировать как самостоятельная, независимая отрасль транспортной инфраструктуры Казахстана. Большая территория и низкая плотность населения, а также недостаточная развитость железнодорожных путей и автомобильных дорог, создают предпосылки для развития гражданской авиации.

Сеть международных аэропортов Казахстана оптимальна, однако необходимо приведение её в соответствие с международными стандартами.

В республике из 22 аэропортов действует 21. Из-за несоответствия техническим стандартам аэродромных комплексов и в связи с введением ограничений по типам авиационной техники не все аэропорты могут принимать тяжелые воздушные суда без ограничений. Большинство аэропортов нуждаются в реконструкции.

Наблюдается дефицит обеспеченности аэропортов современными основными производственными мощностями, зданиями, сооружениями, технологическим оборудованием и спецтехникой для обслуживания воздушных судов западного производства. Из-за дефицита финансовых средств не соблюдаются сроки реконструкции и проведения плановых мероприятий по восстановлению ВПП, рулежных дорожек, перронов, периметровых ограждений. В связи с этим, большинство казахстанских аэропортов, в том числе допущенных к обслуживанию международных авиаперевозок, не отвечают международным нормам и требованиям.

В большой мере на развитие воздушного транспорта влияет недостаточная модернизация инфраструктуры и основных средств гражданской авиации. Из-за недостаточной пропускной способности и несоответствия техническим стандартам узловые аэропорты Казахстана вынужденно сокращают число принимаемых и отправляемых ими

воздушных судов наряду с введением ограничений по типам авиационной техники.

В настоящее время только аэропорты городов Астана, Алматы, Актобе, Атырау и Караганды имеют соответствующие категории ИКАО. В связи с чем, Комитет гражданской авиации вынужден принимать меры по ограничению запрашиваемых разрешений, как зарубежных авиакомпаний, так и авиакомпании «Эйр Астана» в связи с имеющимися ограничениями по состоянию аэродрома, аэровокзального комплекса и другой инфраструктуры региональных аэропортов.

Требуется срочное принятие мер по обновлению имеющихся данных на более современные, отвечающие международным требованиям.

Наиболее существенно за последнее время изменились требования к точности получения геодезических данных на территории аэродрома. По отдельным объектам аэродрома и приаэродромной территории они повысились в десятки и сотни раз. Если раньше для публикации в сборниках аэронавигационной информации и Паспорте аэродрома координаты порогов ВПП надо было знать с точностью до 0,1', то сегодня, по документам ИКАО, они должны быть известны не грубее 0,01" (требования повысились практически в 600 раз).

Актуальность исследования: Диссертационная работа посвящена одной из важнейших проблем, которые возникают на этапе координирования препятствий на территории аэропорта, а именно: при определении аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием спутниковых технологий. Эта проблема актуальна не только для территории республики Казахстан, но и всего мира

Цель исследования состоит в разработке методики определения аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием спутниковых технологий.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих **задач:**

− изучить основные системы координат и времени используемые в спутниковых технологиях;

− провести оценку принципов работы спутниковых радионавигационных систем;

− рассмотреть и изучить дифференциальные методы съемки;

− изучить технологию проведения полевых работ со спутниковой аппаратурой;

− рассмотреть основные направления деятельности ИКАО по разработке, совершенствованию и внедрению стандартов и рекомендаций, применяемых в международной гражданской авиации;

− рассмотреть способы координирования препятствий и разработать методику выполнения полевых работ;

− провести оценку точности и сравнение геодезических и спутниковых технологий;

− рассмотреть способы пересчета координат из СК-42 в WGS-84.

Научная новизна исследования: впервые приводится разработка методики координирования препятствий на территории аэродрома и приаэродромной территории с использованием геодезических и спутниковых технологий. Предлагаемые алгоритмы обработки позволяют свести различные виды измерений, выполненных в различные годы, в Единую общую систему координат (WGS-84) что повысит точность и надёжность самолётовождения.

Положения, выносимые на защиту:

- системы координат и времени в спутниковых технологиях;
- общие сведения о спутниковых навигационных системах;
- технология полевых работ;
- общие сведения и физико-географическое описание г. Усть-Каменогорск и его аэропорта с приаэродромной территорией;
- разработка и исследование методов координирования препятствий территории аэропорта г. Усть-Каменогорска с использованием геодезических и спутниковых средств измерений.

Апробация работы: Основные положения диссертационной работы обсуждались и получили одобрение, VII, VIII, X Республиканской научно - технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых ВКГТУ Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск (2007, 2008 и 2010 г.), заседаниях кафедры «Геодезия, землеустройство и кадастр» ВКГТУ им. Д. Серикбаева (2009-2010гг.).

По теме диссертации опубликовано 3 печатных работа.

Практическая ценность работы: В диссертации предлагается методика координирования препятствий аэродрома, которой рекомендуется придерживаться аэропортам при определении аэронавигационных ориентиров и препятствий, а также предложена программа пересчета координат в систему WGS-84 – BERNESE, так как она выдает наиболее точные координаты.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и 5 приложений.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, целесообразность и необходимость постановки исследований, изложены цели, задачи, а также новизна и практическая значимость работы.

В первой главе дается краткий обзор используемых в спутниковых технологиях систем координат и времени. Необходимость использования различных координатных систем обусловлено тем, что для вычисления орбит спутников, прогнозирования их движения используются одни системы координат, для определения координат пунктов в процессе наблюдений используются другие системы, а для использования полученных координат

при решении различных прикладных задач требуются совершенно иные системы. При этом нужна адекватная теория времени, поскольку решение задач космической геодезии производится по наблюдениям объектов, часто движущихся с огромными скоростями.

В данной главе рассмотрены: истинная небесная система, прямоугольные и геодезические общеземные системы координат, система координат ПЗ-90, система WGS-84 и системы времени.

Вторая глава работы посвящена обзору спутниковых навигационных систем первого и второго поколения, совместное использование ГЛОНАСС и GPS, источники ошибок и методы съемок с использованием спутниковой аппаратуры.

В 1957 г. в СССР группа учёных под руководством В.А. Котельникова экспериментально подтвердила возможность определения параметров движения искусственного спутника Земли (ИСЗ) по результатам измерений доплеровского сдвига частоты сигнала, излучаемого этим спутником. Была установлена возможность решения обратной задачи – нахождения координат приёмника по измеренному доплеровскому сдвигу сигнала, излучаемого с ИСЗ, если параметры движения и координаты этого спутника известны.

Таким образом, искусственный спутник Земли становится радионавигационной опорной станцией, координаты которой изменяются во времени вследствие движения спутника по орбите, но заранее могут быть вычислены для любого момента времени благодаря эфемеридной информации, заложенной в навигационном сигнале спутника.

Так получили развитие спутниковые системы первого поколения: «Цикада» и «Transit».

«Цикада» – гражданский вариант морской спутниковой навигационной системы «Циклон». Приёмная аппаратура «Шхуна» обеспечивает определение положения судна с точностью 50 - 100 м. Сдана в эксплуатацию в 1979 г. в составе 4 спутников «Цикада», выведенных на круговые орбиты высотой 1000 км, наклонением 83°. Плоскости орбит наклонены на 45° друг к другу. Она позволяет потребителю в среднем через каждые полтора-два часа входить в радиоконтакт с одним из навигационных спутников и определять плановые координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 5 - 6 мин.

В США создаётся доплеровская спутниковая радионавигационная система «Transit», которая начала разрабатываться в 1958 г. В 1959 г. на орбиту выведен первый навигационный искусственный спутник Земли, а в 1964 г. вступила в эксплуатацию система для обеспечения американских атомных ракетных подводных лодок «Поларис». Для коммерческого использования эта система была предоставлена в 1967 г., причем число гражданских потребителей вскоре существенно превысило число военных. Координаты источника вычисляются по доплеровскому сдвигу частоты сигнала одного из 7 видимых спутников. ИСЗ систем имеют круговые

полярные орбиты с высотой над поверхностью Земли 1100 км, период обращения спутников «Transit» равен 107 минутам.

Спутниковая навигационная система «Transit» имела существенные недостатки: относительно невысокая точность определения координат и большие промежутки времени между наблюдениями. С целью преодоления этих недостатков было принято решение начать работы над созданием спутниковой навигационной системы нового поколения.

Американская и российская спутниковые радионавигационные системы GPS (NAVSTAR) и ГЛОНАСС пришли на смену навигационным системам первого поколения «Transit» и «Цикада».

Структура, способы функционирования и требуемые характеристики подсистем СРНС во многом зависят от заданного качества навигационного обеспечения и выбранной концепции навигационных измерений. Для достижения таких важнейших качеств, как непрерывность и высокая точность навигационных определений, в глобальной рабочей зоне в составе современной СРНС функционируют три основные подсистемы:

− подсистема космических аппаратов (ПКА), состоящая из навигационных ИСЗ (в дальнейшем сетью навигационных спутников (НС) или космический сегмент);

− подсистема контроля и управления (ПКУ) (наземный командно-измерительный комплекс (КИК) или сегмент управления);

− навигационная аппаратура потребителей (АП) СРНС (приемоиндикаторы (ПИ) или сегмент потребителей). Разнообразие видов приемоиндикаторов СРНС обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

Космический сегмент представлен спутниками и космодромом, с которого они запускаются, а Контрольный сегмент имеет дело с управлением операциями спутников. Пользовательский сегмент охватывает деятельность, связанную с разработкой военного и гражданского пользовательского оборудования (то есть приемников).

Одним из важнейших направлений совершенствования и развития спутниковой радионавигации является совместное использование сигналов ГЛОНАСС и GPS. Основные цели этого процесса - повышение точности и надежности (доступности, непрерывности обслуживания и целостности) навигационных определений.

В геодезических приложениях нашли применение исключительно дифференциальные методы GPS-измерений, поскольку только с их использованием возможно определение координат точек местности с требуемой точностью.

Его суть состоит в выполнении измерений двумя приемниками: один устанавливается в определяемой точке, а другой - в точке с известными координатами - базовой (контрольной) станции.

Третья глава полностью посвящена такому важному вопросу, как технология проведения полевых работ.

Топографическая съемка – это комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для составления топографических карт и планов.

В состав топографо-геодезических работ входят следующие этапы: подготовительный, полевой, камеральный.

На подготовительном этапе производится сбор необходимой информации, а также изучение уже имеющегося материала.

На следующем этапе выполняются топографические и разбивочные работы. Съемке и отображению на топографических планах подлежат все элементы ситуации местности, существующей застройки, благоустройства, подземных коммуникаций, а также рельеф местности.

Для составления топографических планов применяют аналитический, мензульный, тахеометрический, аэрофототопографический, фототеодолитный методы съемок, съемку нивелированием поверхности и с помощью спутниковых приемников. Применение того или иного метода зависит в основном от условий и масштаба съемки.

Камеральные работы являются завершающим этапом большого комплекса процессов по созданию топографо-геодезической продукции. При производстве камеральных работ осуществляется обработка полученного материала в основном в стационарных производственных подразделениях: в цехах и на участках, а также с использованием персональных компьютеров (ПЭВМ).

Технология проведения работ со спутниковой ГЛОНАСС/GPS аппаратурой включает следующие этапы:

1 Составление проекта геодезических работ на объекте.

2 Получение разрешений для работы на режимных или частных территориях и на работу радиостанции.

3 Полевая рекогносцировка, в результате которой делаются заключения об объекте, технологии работ и особенностях материально-технического обеспечения измерений. В итоге составляется проект полевых работ, и подготавливается необходимый картографический материал.

4 Закладка центров.

5 Организация базовых станций (если этого требует технология).

6 Планирование сеансов наблюдений которое включает в себя определение оптимальных временных интервалов измерений, проектирование последовательности сеансов или маршрутов обхода объектов съемки.

7 Составление таблиц с кодом топографических объектов и печать штрих-кодовых карточек в соответствии с указанным в техническом здании классификатором объектов. Это необходимо для эффективного выполнения топографических или ГИС съемок.

8 Полевые измерения (съемка объектов).

9 Камеральная обработка, вывод результатов измерений.

10 Составление технического отчета и оформление необходимой документации.

11 Полевой контроль, архивирование и сдача материалов.

Как видно из перечня работ, спутниковые и традиционные технологии имеют много общего. Технология GPS позволяет решать геодезические задачи самого разного уровня: от развития государственной геодезической сети до инвентаризации земельных участков. Практика показывает, что производительность труда возрастает при этом в десятки раз. В зависимости от требуемой точности определения координат, лимита времени на измерения, условий выполнения работ, применяются GPS-приемники различных типов, однако все они работают в дифференциальном режиме и являются фазовыми (за исключением, может быть, некоторых задач ГИС (Геоинформационных систем), где достаточно точности кодового приемника).

Четвертая глава диссертации содержит конкретные материалы физико-географического описания, общие сведения г. Усть-Каменогорска и сведения по аэропорту города.

Город Усть-Каменогорск является промышленным, культурным и административным центром Восточно-Казахстанской области, один из крупнейших в Республике Казахстан центром цветной металлургии и машиностроения. Развиты пищевая, легкая, деревообрабатывающая промышленность; работают швейная, мебельная фабрики, комбинат шелковых тканей.

Город лежит в широтной зоне степи, в 6000 километрах от Атлантического океана и 2500 километрах от побережья Северного Ледовитого океана. Координаты: 49° 57′ 00″ с.ш. 82° 37′ 00″ в.д. , 49,95° с.ш. 82,616667° в.д.

На сегодняшний день в Республике Казахстан действуют 21 аэропорт. К обеспечению международных полетов допущены 14 аэропортов городов: Астана, Алматы, Актау, Актобе, Атырау, Караганда, Костанай, Петропавловск, Тараз, Уральск, Усть-Каменогорск, Шымкент, Павлодар, Семипалатинск.

Аэропорт нашего города – международный аэропорт города Усть-Каменогорска в Восточно-Казахстанской области Казахстана.

Аэродром Усть-Каменогорск 2 класса способен принимать воздушные суда типов Ил-76 (151,5 т), Ту-154, Ту-134, Як-42, Ан-12, Ил-18, Airbus A320 и более лёгкие.

АО «Аэропорт Усть-Каменогорск» (ул. Бажова 566, e-mail: airport@mail.east.telecom.kz) расположен на 11 км северо-западнее центра города Усть-Каменогорска. Высота 286 м над уровнем моря, координаты: 50° 02′ 12″ с.ш., 82° 29′ 42″ в.д. , 50,036667° с.ш., 82,495° в.д.

Взлётно-посадочные полосы (ВПП): номер – 13/31; покрытие – асфальтобетон, размеры – 2500 × 42 м.

Основными видами деятельности АО «Аэропорт Усть-Каменогорск» являются:

− обслуживание пассажиров и обработка багажа, почты, груза в аэропорту;

− обеспечение пассажиров, экипажей питанием;
− обеспечение ВС авиа ГСМ;
− прием, выпуск и техническое обслуживание воздушных судов;
− обеспечение полетной документацией;
− медицинское обеспечение полетов;
− услуги по хранению грузов;
− услуги наземных видов обслуживания воздушных судов;
− услуги по авиационной безопасности;
− обеспечение защиты и охраны пассажиров, членов экипажа, наземного персонала, населения и средств от актов незаконного вмешательства.

Пятая глава диссертации, является результатом анализа научных исследований, которые были приведены в предыдущих главах.

Опираясь на итоги этих исследований и на результаты обработки данных приведены методика координирования препятствий при помощи спутниковых технологий и предложена программа перерасчета координат.

Ценность результатов, приведенных в этой главе, состоит в том, что практически впервые приводится обобщенная и эффективная методика проведения работ по определению аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием современных высокоточных средств измерений.

Согласно требованиям ИКАО аэропорты должны располагаться в местности, свободной от препятствий и помех полетам самолетов. Объекты, представляющие потенциальную опасность, оцениваются в соответствии с нормами, определяющими допустимое расстояние до препятствий, находящихся на земле, или соседних самолетов, находящихся в воздухе. Поэтому при строительстве аэропорта ставится условие отсутствия препятствий, таких, как здания, антенны или перепады высот местности, на расстояниях до 50 км от взлетно-посадочной полосы аэропорта, которые могут нарушить безопасность полетов при неблагоприятных погодных условиях.

Переход на международную систему WGS-84 служб гражданской авиации стало составной частью концепции обеспечения безопасности полётов. Согласно требованиям ИКАО аэропорты мира должны представлять данные в этой системе. Это позволит коренным образом перестроить схему обеспечения авиационной безопасности, а также обеспечит централизованное управление САБ в аэропортах, оперативное принятие мер в случаях актов незаконного вмешательства.

ИКАО (ICAO) - Международная организация гражданской авиации (International Civil Aviation Organization).

Основные направления деятельности ИКАО:

− техническое направление - разработка, совершенствование и внедрение стандартов и рекомендаций, применяемых в международной гражданской авиации;

− экономическое направление;

− исследование международных пассажирских и грузовых перевозок и выработка рекомендаций по вопросам ставок и сборов за пользование аэропортами и аэронавигационными средствами, а также порядка установления тарифов, применяемых на международных линиях;

− изучение вопросов упрощения формальностей при международных воздушных перевозках;

− оказание постоянной технической помощи развивающимся странам в создании собственных систем внутренних и международных воздушных перевозок;

− правовое направление - разработка проектов новых документов по международному воздушному праву.

Работы по геодезическому обеспечению аэродрома в соответствии с рекомендациями ИКАО, включают координирование аэронавигационных объектов, профилирование осей ВПП, координирование препятствий на аэродроме и приаэродромной территории.

Комплекс геодезических работ на приаэродромной территории включает:

− создание опорной геодезической сети аэродрома;

− задание систем координат и высот аэродрома;

− координирование аэронавигационных ориентиров;

− определение геометрических параметров взлётно-посадочной полосы (ВПП);

− профилирование ВПП;

− определение координат и высот препятствий на приаэродромной территории;

− создание базы данных аэронавигационной информации.

При проведении геодезических работ на приаэродромной территории должны быть решены технологические вопросы обеспечения полноты, точности, достоверности, а также целостности информации

Работа с использованием ГЛОНАСС/GPS базовых станций стала идеальным решением для геодезического обеспечения территории аэропорта. Базовая станция состоит из приемника, размещенного в известной (и неподвижной) точке. Приемник одновременно отслеживает те же спутники, что и мобильный приемник. Базовая станция, установленная на известной точке, вычисляет ошибки и генерирует последовательность поправок. Поправки высылаются мобильному приемнику по радиоканалу, и используются им в режиме реального времени для корректировки местонахождения.

Базовая станция в г. Усть-Каменогорск расположена на крыше здания ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Установлена она на точке с известными координатами, которые необходимы для дифференциальной коррекции файлов измерений полевых приемников. Данная станция обеспечивает территорию в радиусе 50 км. Куда входит и территория аэропорта. Однако данная базовая станция не может обеспечить радиус в 50 км от контрольной

точки аэродрома, которая необходима для координирования препятствий на приаэродромной территории.

С этой целью рекомендуется установить базовую станцию на территорию аэропорта и разместить в защищенных от погоды и воровства офисах объекта или в легкодоступном трейлере (для проверки или настройки). GPS и радиоантенны обычно крепятся на постоянную конструкцию на крыше высокого здания, не имеющих препятствий, где радиоантенна может обеспечить максимальный диапазон работы.

Еще один способ получения координат в системе WGS-84 – это перерасчет координат.

Чтобы пересчитать координаты из одной системы в другую максимально точно, нужно выполнить четыре действия:

- пересчитать градусные координаты в декартову систему X, Y, Z;
- повернуть и сдвинуть систему координат в соответствии с новой системой;
- вычислить новые координаты;
- на новом эллипсоиде определить новые координаты в градусах.

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 рисунке 1.

Рисунок 1. Общий принцип преобразования геодезической основы

В связи с этим предлагаем довольно строгий и точный итерационный алгоритм перехода от геодезической системы координат H, B, L к геоцентрической прямоугольной системе $\overline{R} = (X, Y, Z)$ и обратно. Точность этого алгоритма может лимитироваться только точностью разрядной сетки

самого компьютера. Таким образом, алгоритм позволяет получать угловые координаты с точностью до $0{,}1 \cdot 10^{-8}$ угл. сек., а линейные - с точностью до $0{,}1 \cdot 10^{-8}$ мм. Причем эта точность достигается за несколько итераций, что особенно важно при массовых вычислениях, когда число точек достигает нескольких тысяч, например, при обработке нескольких циклов всего комплекса измерений, выполненных за несколько лет.

Обычно первичная информация по спутниковым измерениям - *X, Y, Z*, а вычисление *H, B, L* проводится на тот или иной эллипсоид. Поэтому рассмотрим алгоритм перехода от *X, Y, Z* к *H, B, L*.

Предварительные вычисления:

$$\begin{aligned} \rho &= \left(X^2 + Y^2\right)^{-1/2} \\ r &= \left(\rho^2 + Z^2\right)^{-1/2} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \qquad e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2}, \qquad e^2 = 2\alpha - \alpha^2 \tag{2}$$

$$\operatorname{tg}\varphi' = \frac{Z}{\rho}, \qquad \varphi' = \operatorname{arctg}\frac{Z}{\rho} \tag{3}$$

Определение *H, B, L:*

$$H = r - R_Э, \qquad L = \operatorname{arctg}\frac{Y}{X} \tag{4}$$

$$B = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{(1-\alpha)^2} \cdot \operatorname{tg}\varphi'\right) \tag{5}$$

$$R_e = R_Э\left(\frac{(1-\alpha)^2}{1-e^2\cos^2\varphi'}\right)^{-1/2} \tag{6}$$

$$\delta = B - \varphi' \tag{7}$$

$$H = \left(r^2 - R_e^2\sin^2\delta\right)^{-1/2} - R_e\cos\delta \tag{8}$$

$$\Delta\varphi = \arcsin\left(\frac{H}{r}\sin\delta\right) \tag{9}$$

$$\varphi'_{i+1} = \varphi - \Delta\varphi \tag{10}$$

где, $\left|\varphi'_i - \varphi'_{i+1}\right| < \varepsilon$, ε - заданная точность.

Если ε достигнута, то процесс итерации прекращается, если нет, то вычисления начинаются опять с вычисления B при φ'_{i+1}.

Обратный переход от *H, B, L* к *X, Y, Z*:

$$N = R_э\left(1 - e^2 \sin^2 B\right)^{-1/2} \tag{11}$$

$$X = \left(N + H\right)\cos B \cos L \tag{12}$$

$$Y = \left(N + H\right)\cos B \sin L \tag{13}$$

$$Z = \left(N(1-\alpha)^2 + H\right)\sin B \tag{14}$$

Эффективность этого алгоритма можно сравнивалась с вычислениями по программе фирмы Leica (Швейцария). В результате численных экспериментов было установлено, что данный алгоритм достигает заданной точности по сравнению с фирменным в 3,5 раз быстрее, и чем больше точек участвует в обработке, тем эффективнее работает заданный алгоритм, причем скорость вычислений оказывается в 5 раз быстрее при ε = 0,00001".

Для перевода деформационных величин, полученных в системе WGS-84 по спутниковым измерениям, в местную систему координат, принятую на участке месторождения, необходимо воспользоваться формулами перехода от геоцентрической прямоугольной системы $\overline{R}_{84}$ в местную $\overline{r}_м$:

$$\overline{r}_м = M \cdot \overline{R}_{84} \tag{15}$$

где M - матрица перехода.

$$\begin{vmatrix} x_м \\ y_м \\ z_м \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin L & \cos L & 0 \\ -\cos L \sin B & -\sin L \sin B & \cos B \\ \cos L \cos B & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_{84} \\ Y_{84} \\ Z_{84} \end{vmatrix} \tag{16}$$

Следующий реальный путь получения координат в системе WGS-84 – это пересчет координат с использованием специализированных программ типа BERNESE, разработанной и используемой научным сообществом, в том числе для функционирования сервисной службы IGS и обладающей возможностями, далеко выходящими за рамки вычисления приращений координат между пунктами.

Основными возможностями пакета BERNESE, разработанного Астрономическим Институтом Бернского Университета являются:

− обработка линий длиной более 2000 км с точностью единиц миллиметров;

− выявление деформационных смещений пунктов из длительных серий наблюдений (мониторинг землетрясений);

– уточнение орбит спутников GPS и ГЛОНАСС;
– определение параметров вращения Земли;
– определение с высокой точностью высотной составляющей, что достигается тщательным учётом вариаций фазовых центров антенн и тропосферных поправок;
– уравнивание глобальных и региональных сетей, содержащих большие массивы данных.

Другая программа позволяющая провести перерасчет координат – программа ТРАНСКОР, которая устанавливаются локальные параметры связи СК-42 и WGS-84 (рисунок 2).

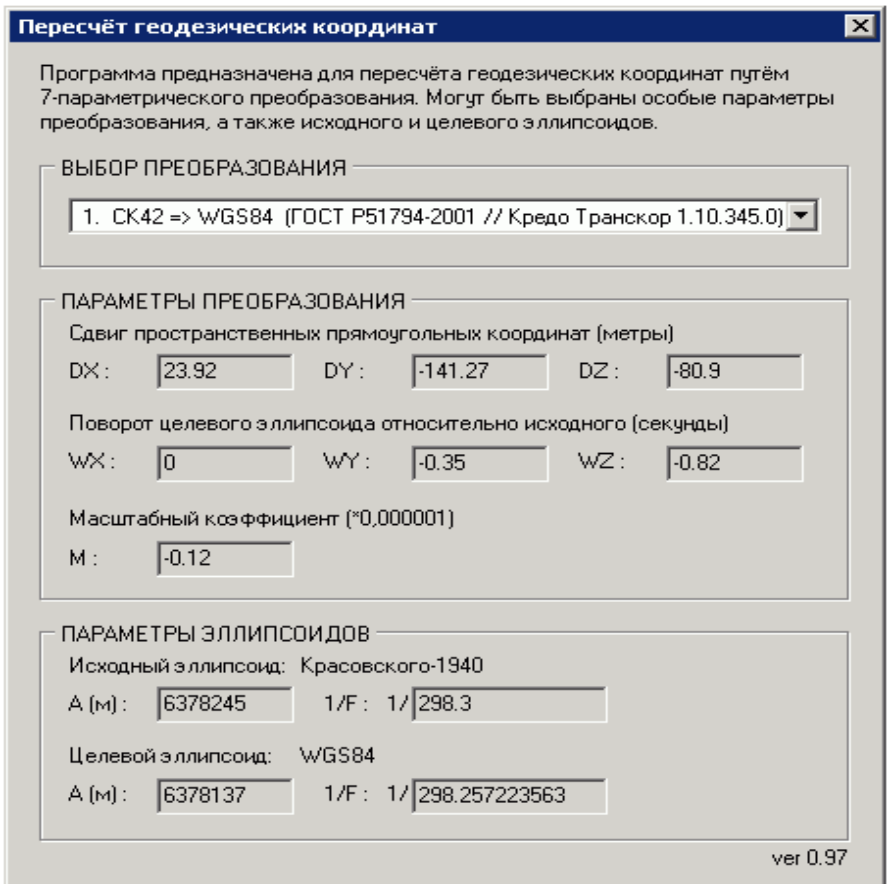

Рисунок 2 Фрагмент преобразование координат из системы СК-42 в систему WGS-84

Данная программа предназначена для: трансформации геоцентрических, геодезических и прямоугольных координат, определения параметров трансформации. Области применения: создание и реконструкция городских, межевых, фрагментов государственных опорных сетей, линейные и площадные инженерные изыскания объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства, геодезическое обеспечение строительства, маркшейдерское обеспечение работ при добыче и транспортировке нефти и газа, подготовка информации для кадастровых систем (наземные методы сбора), геодезическое обеспечение геофизических

методов разведки, маркшейдерское обеспечение добычи полезных ископаемых открытым способом.

Для перехода из WGS-84 в СК-42 и обратно можно рассчитать эти параметры для своего региона, воспользовавшись таблицей Excel – SK42toWGS84.xls. Данная программа применяется в основном для вычисления параметров преобразования данных. Данное преобразование не является точным, особенно если системы координат развернуты друг относительно друга. Программа действительна только для ограниченной территории. Для разных стран и их систем ошибки могут достигать 30 м, но для принятого в России и Казахстане датума Пулково-1942 обычно не превышают единиц метров. Этого вполне достаточно, если учесть, что сама система СК-42 имеет локальные деформации до 10 м, а объекты местности на доступных нам картах зачастую нанесены с ошибками от 50 до 100 м.

Основные функции:

− преобразование геоцентрических, геодезических координат по задаваемым параметрам связи референцных и геоцентрических систем;

− преобразование прямоугольных координат из системы в систему:

а) в разных геоцентрических (референцных и общих) системах - по задаваемым параметрам проекции и параметрам связи референцных и геоцентрических систем;

б) в одной геоцентрической (референцной или общей) системе и одной картографической проекции из зоны в зону (СК-42, СК-95, UTM84 и др.) или произвольную (СК-63, местную) систему координат;

− определение параметров связи прямоугольных систем координат в афинном, конформном, Хельмерта, нелинейном преобразованиях с оценкой и контрольной оценкой точности, отбраковкой и комбинацией методов поиска параметров по совмещенным пунктам;

− определение параметров связи общеземных и референцных геоцентрических систем координат;

− восстановление (расчет) ключа местной системы координат, расчет масштабного коэффициента;

− расчет среднего радиуса кривизны эллипсоида для территории;

− расчет Гауссова сближения меридианов;

− расчет аномалии высоты для выбранной модели геоида.

Таким образом, получить координаты в системе WGS-84 можно двумя способами:

1) при помощи специализированных программ для перерасчета координат;

2) с помощью обычной наземной съемки с использованием GPS-приемника.

Заключение

Спутниковые технологии в геодезии прошли путь длиной в четверть века и продолжают динамично развиваться. Прогресс в технологиях

приводит в итоге к изменениям в организации и управлении, которые оказывают огромное влияние на профессии геодезиста, топографа, маркшейдера, а также на общество в целом. Возможно, самая очевидная тенденция – расширение диапазона применений GPS технологий, которая привела к образованию функциональных (специализированных) локальных, региональных и глобальных систем.

В магистерской диссертации исследованы и разработаны методики координирования препятствий на приаэродромной территории, которые в дальнейшем рекомендуется применить для выполнения работ на территории аэропорта г. Усть-Каменогорск. В ходе выполнения диссертации были изучены:

- основные системы координат и времени используемые в спутниковых технологиях;
- принцип работы спутниковых радионавигационных систем;
- дифференциальные методы съемки;
- технология проведения полевых работ со спутниковой аппаратурой;
- основные направления деятельности ИКАО по разработке, совершенствованию и внедрению стандартов и рекомендаций, применяемых в международной гражданской авиации;
- способы координирования препятствий и методика выполнения данной работы;
- способы пересчета координат из СК-42 в WGS-84.

Для перевода навигационного и геодезического обеспечения аэродрома на современный уровень, в соответствии с рекомендациями ИКАО, предлагается сделать перерасчет координат из системы СК-42 во всемирную геодезическую систему – WGS-84, которая была принята в качестве стандартной геодезической системы отсчета для гражданской авиации, либо провести геодезическую съёмку АНО в системе координат WGS-84.

Пересчет координат рекомендуется выполнять с помощью уже разработанных программ BERNESE или Credo Транскор, которые получили широкое применение в области аэронавигации. В случае выполнения пересчета, рекомендуем использовать программу BERNESE, так как она производит более точные расчеты.

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.

Однако следует отметить, что никакой пересчет координат из одной системы в другую не сможет повысить точность, возможно только непосредственное определение координат в системе WGS-84 с использованием приемников спутниковых систем позиционирования ГЛОНАСС или GPS. Несмотря на то, что данный метод требуются больших финансовых вложений на приобретение современного геодезического оборудования, обучению либо приему на работу высококвалифицированных

специалистов, а так же сравнительно большие затраты времени на выполнение работ, в результате проведения геодезической съёмки аэронавигационных объектов аэропорта в системе координат WGS-84 будет обеспечен необходимый уровень требований, предъявляемых ИКАО к точности, разрешающей способности и целостности аэронавигационной информации.

В рамках работ будут получены профили для каждой взлётно-посадочной полосы, выявлены и определены координаты всех высотных объектов в I-IV зонах, которые могут быть препятствиями и оказывать влияние на безопасность полётов.

Геодезические и картографические данные, полученные в ходе проекта, могут быть с успехом востребованы и для решения ряда других задач, например, таких как:

- подготовка паспорта аэродрома в соответствии с международными стандартами;
- создание баз аэронавигационных данных по аэропортам и воздушным трассам;
- подготовка правоустанавливающих документов на территорию аэропорта и постановка её на кадастровый учёт;
- создание электронного плана аэропорта для диспетчеризации воздушных судов и транспортных средств;
- разработка трёхмерной модели приаэродромной территории для управления воздушным движением, оценки экологического воздействия авиации на окружающую среду.

Обобщая опыт проведения геодезической съемки АНО на территории аэродромов можно сделать следующий вывод. Наличие у аэродромных служб Республики Казахстан геодезических данных, представленных в системе координат WGS-84 и отвечающих по полноте, качеству и точности стандартам ИКАО позволит:

- повысит точность и надёжность самолётовождения за счёт использования спутниковых технологий;
- внедрить схемы неточного захода на посадку с помощью спутниковых навигационных;
- внедрить системы наземных функциональных дополнений, обеспечивающей посадку по минимуму 1 категории ИКАО;
- использовать систему раннего предупреждения столкновения с землёй.
- развить инфраструктуру аэропортов Казахстана для повышения качества обслуживания транзитных рейсов.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1 Куимова Т.А, Горобец А.С. Современные GPS-приемники // Материалы VII Республиканская студенческая научно-техническая

конференция «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана».

2 Куимова Т.А, Горобец А.С. Геоинформационные системы массового применения // Материалы VIII Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 50-летию ВКГТУ им. Д. Серикбаева «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана».

3 Хасенов К.Б, Горобец А.С. Геодезические работы по определению аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием спутниковых технологий // Материалы X Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых.

АННОТАЦИЯ
к магистерской диссертационной работе Горобец Алёны Сергеевны
на тему: «Разработка методики определения аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием спутниковых технологий»
6N0711 – Геодезия и картография

В диссертационной работе обоснована актуальность проблемы координирования препятствий на территории аэропорта, а именно: определение аэронавигационных ориентиров и препятствий с использованием спутниковых технологий.

В работе подробно рассмотрены спутниковые системы, технология полевых работ со спутниковой аппаратурой и методика координирования препятствий. Проведены работы по пересчету координат из Пулково 1942 в WGS-84, при помощи программы ТРАНСКОР (SK42toWGS84.xls).

То есть, получить координаты в системе WGS-84 можно двумя способами: при помощи специализированных программ для перерасчета координат и с помощью обычной наземной съемки с использованием GPS-приемника.

SUMMARY
of the master's thesis by Gorobets Alyona Sergeevna on the subject:
"Development of methods of air navigation marks and obstructions location using satellite technologies"
6N0711 – Geodesy and Cartography

The master's thesis substantiates an actuality of the problem of obstructions coordination on the territory of the airport, i. e. air navigation marks and obstructions location using satellite technologies.

There are satellite systems, fieldwork technology using satellite facilities and obstructions coordination technique being considered in this work. The operations on coordinate recalculation from Pulkovo 1942 to WGS-84 using TRANSCOR software were realized (SK42toWGS84.xls).

Thus, there are two ways of getting coordinates in WGS-84: using specialized program for coordinate recalculation and with the help of usual terrestrial survey using GPS-receiver.

Горобец Алена Сергеевнаның «Жер серігі технологиясын пайдалану арқылы аргонавигациялық бағдарлар мен кедергілер әдістемесін анықтауды зерттеу» тақырыбы бойынша магистрлік диссертациялық жұмысына
6N0711 – Геодезия және картография
АҢДАТПА

Диссертациялық жұмыста әуежай аумағында кедергінің үйлестіру мәселесінің өзектілігі негізделген. Атап айтқанда: жер серігі технологиясын пайдалану арқылы аэронавигациялық бағдарлар мен кедергілерді анықтау мәселесі сөз болады.

Бұл жұмыста жер серігі жүйесі, жер серігі аппаратурасымен дала жұмыстары технологиясы және кедергіні үйлестіру әдістемесі нақты қарастырылған.

ТРАНСКОР (SK42toWGS84.xls) бағдарламасы көмегімен Пулково 1942-ден WGS-84-ке дейінгі координаттарды қайта есептеу жұмыстары жүргізілген.

WGS-84 жүйесінің координаттарын екі әдіспен алуға болады: өлшемдерді қайта есептеу үшін арнайы бағдарламалар көмегі әдісімен және GPS-қабылдағышын пайдаланып қарапайым жер бетінде түсіру көмегі әдісімен алуға болады.