

На правах рукописи

Рак Ирина Евгеньевна

**Разработка и исследование методики создания
ГИС-технологий в населенных пунктах
Республики Беларусь**

Специальность - 25.00.32
«Геодезия»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2008

Работа выполнена в Московском государственном университете
геодезии и картографии

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Юрий Евгеньевич Федосеев

Официальные оппоненты доктор технических наук
Святослав Владимирович Лебедев,
кандидат технических наук
Дмитрий Евгеньевич Осипов.

Ведущая организация ФГУП «ЦНИИГАиК»

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2008г.
в _____ час. на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 в
Московском государственном университете геодезии и картографии
(МИИГАиК) по адресу: г. Москва, Гороховский пер., 4. Зал заседаний
Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2008г

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ю.М.Климов

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования определяется всё возрастающей ролью ГИС – технологий в обеспечении жизнедеятельности городов.

В настоящее время в Республике Беларусь многие организации, подчиненные различным министерствам и ведомствам, независимо друг от друга занимаются приобретением, созданием и внедрением своих банков геоинформации, сбором и обработкой информации о территории республики, созданием своих частных тематических банков пространственно–распределенных данных на интересующие их участки территорий. Это приводит к отсутствию системного подхода к вопросу по использованию картографического обеспечения. И как следствие - накопленная информация и та, которая накапливается в настоящее время, недоступна для множества ее потенциальных потребителей. Поэтому вся информация, созданная и создаваемая в различных стандартах различными организациями, должна быть унифицирована в единую. Один из путей решения возникшей проблемы - создание комплексной топографо-геодезической модели города, которую можно рассматривать как многоцелевую базу данных.

Для создания и ведения такой базы данных необходима современная, точная цифровая топографическая и картографическая информация. Но из-за того, что в городах имеется несколько систем координат, из-за того, что сети неравноточные, не согласованны друг с другом, совместно не уравниены формировать единое равноточное пространство территории города невозможно. Поэтому и встает вопрос о создании единой системы координат города, которая бы учитывала особенности уже существующих систем и обеспечивала бы свободный доступ исполнителям, не противореча в то же время действующему законодательству о сведениях, составляющих государственную тайну.

Особенно остро вопрос создания и ведения банков простран-

ственно–распределенных данных на сегодняшний день стоит в малых городах и районных центрах, которые, с одной стороны, являются сложными инженерными комплексами, а с другой - не имеют средств на единовременное финансирование перехода на новые технологии. Один из путей решения данной проблемы – использование архивной информации о топографическом обеспечении территории. До недавнего времени источником топографо-геодезической информации служили планшеты, созданные в 50-70 годы ГУГК СССР и переданные для хранения в управления архитектуры города. Сегодня использование так называемых «бумажных» технологий для получения и хранения информации перестало всех устраивать. Поэтому должен быть осуществлен переход от бумажных карт и планов к цифровым. Наиболее эффективным методом получения цифровой информации о местности является сканирование и трансформирование архивного материала (планшетов). Проблема заключается в том, что нет четких рекомендаций по учету возможных ошибок исходных материалов, возникающих под влиянием нелинейных деформаций основы, на которой отпечатан исходный материал.

К тому же, для того чтобы создаваемая ГИС неслась с собой достоверную и полную топографо-геодезическую информацию возникает необходимость в исследовании соответствия содержания топографических карт современному состоянию территорий. Даже если видимых изменений на местности не произошло, следует учесть, что средства и методы, когда создавался планшет, были другими. Поэтому нужны методики, которые позволили бы оценить точность соответствия содержания топографических карт современному состоянию.

Целью диссертационной работы является разработка вопросов, связанных с созданием комплексной модели города и ее одной из основных частей – топографической основы.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Разработать структурную схему комплексной модели города.
2. Исследовать методику анализа результатов геодезических наблюдений за деформациями городской геодезической сети.
3. Исследовать линейные искажения в пределах изображаемой области, с целью определения вида проекции для новой местной системы координат.
4. Выполнить подбор местной системы координат с учетом индивидуальных особенностей системы координат, используемой в настоящее время.
5. Экспериментальным путём исследовать точность трансформирования растрового изображения.
6. Экспериментальным путём разработать методику для оценки точности соответствия растрового изображения современному состоянию.

Объектом исследований являются технологии и методики преобразования существующих картографо-геодезических данных и их актуализации для создания ГИС-технологий на территории населенных пунктов Республики Беларусь.

Методы исследований. Анализ существующего состояния вопроса, численное моделирование, математическая обработка экспериментальных и производственных данных, математическая статистика, тензорный анализ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана структурная схема комплексной модели города;
- разработана схема создания и пополнения базовой модели об-новлённой информацией;
- разработана технология получения деформационных характеристик существующей городской сети на основе использования тензорного анализа;

- разработана технология подбора местной системы координат с учетом индивидуальных особенностей используемых в настоящее время местных систем координат;

-исследованы методы преобразования (аффинный, полиномиальный 2 и 3 степеней) для установления точности трансформирования растрового изображения издательского оригинала на пластике;

-выполнены исследования зависимости точности преобразования растрового изображения издательского оригинала на пластике от числа опорных точек;

-отработана технология создания ранее не существовавшего топографического продукта - «План твердых контуров» (ПТК);

-выполнен анализ соответствия контуров исходной основы одноименным контурам плана твёрдых контуров на основе использования математического аппарата среднеквадратического прогноза Колмогорова-Винера.

Практическая ценность работы может быть определена перечнем практических задач, решенных в интересах производства с использованием разработанных в диссертации новых методик. К таким задачам можно отнести следующее:

1. Для ГУП «МОСГОРГЕОТРЕСТ», при участии автора, была отработана технология создания плана твердых контуров на локальном участке г. Москвы.

2. Для УП «Проектный институт Белгипрозем», при непосредственном участии автора диссертации, была разработана методика трансформирования растрового изображения издательского оригинала на пластике.

3. Результаты выполненных экспериментальных исследований были использованы в Федеральном Агентстве Геодезии и Картографии РФ при разработке «Проекта положения о порядке установления и принятия местных систем координат».

Кроме того, разработанные новые методики и технологии позволят создать единую топографо-геодезическую модель города, на ос-

нове которой можно будет принимать инженерные и управленческие решения. В том числе:

- Оценивать топографо-геодезическую информацию с точки зрения её использования при создании ГИС.

- Оценивать сохранность взаимного положения пунктов геодезической основы.

- Научно обосновано подбирать проекцию, обеспечивающую минимум искажений на оговоренной территории.

- Надежно определять связь местной системы координат с государственной системой координат.

Личный вклад соискателя. Исследования, представленные в диссертационной работе, выполнены лично автором. Структурная схема комплексной топографо-геодезической модели населенного пункта разработана совместно с руководителем.

Апробация результатов научных исследований. Изложенные в диссертации материалы научных исследований докладывались и обсуждались:

- на международной конференции «Автоматизированные технологии изысканий и проектирования» (г. Москва, ноябрь 2004 г.),

- на научно-технической конференции (г. Новополоцк, декабрь 2004г.),

- на третьей международной конференции «Наука и образование – производству» (г. Минск, май 2005 г.),

- на научно-технической конференции (г. Новополоцк, ноябрь 2006г.),

- на научно-технической конференции (г. Новополоцк, декабрь 2006г.),

- на четвертой международной конференции «Наука и образование – производству» (г. Минск, май 2006 г.),

- на 62-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК (г. Москва, апрель 2007 г.),

-на пятой международной конференции «Наука и образование – производству» (г. Минск, май 2007 г.),

-на конференции «Автоматизированные технологии изысканий и проектирования» (г. Волгоград, сентябрь 2007 г.),

-на 63-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК (г. Москва, апрель 2008 г.).

Публикация результатов исследований. Основные положения и результаты исследований опубликованы в 2005-2008 годах в 7 научных статьях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Общий объем работы составил 127 страниц, в том числе 105 страниц основного текста, 16 таблиц, 19 рисунков, 8 приложений. Список использованной литературы включает 71 наименование.

Основное содержание работы.

Введение содержит обоснование выбора темы, показана ее актуальность.

Первая глава «Обзор и анализ существующих методов решения поставленных задач» посвящена результатам исследования вопроса состояния ГИС в Республике Беларусь, а также обоснованию выбора направления дальнейшего развития в этой области. На основании проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. До настоящего времени разработка комплексных моделей геопространственных данных не проводилась ни на теоретическом, ни на практическом уровне. Рассматривались только отдельные фрагменты.

2. Узким местом в современных ГИС является качество городской геодезической сети.

3. В связи с необходимостью включения современных высокопроизводительных измерений, отличающихся высокой точностью, в существующую геодезическую основу с целью ее модернизации и для надлежащего топографо-геодезического обеспечения

геоинформационных систем управления требуется определить наилучшую геодезическую проекцию, которая давала бы минимально возможные искажения для интересующей территории.

4. Не разработаны рекомендации по выполнению трансформирования и учету возможных ошибок исходных материалов, возникающих под влиянием нелинейной деформации основы.

5. Нет четких технических приемов, которые позволили бы оценить точность соответствия архивного картографического материала современному состоянию.

Вторая глава «Комплексные топографо-геодезические модели» посвящена анализу задач, которые возникают перед органами, планирующими и обеспечивающими жизнедеятельность городов. Все решаемые задачи можно разделить на три уровня:

- решение текущих проблем в условиях сохранения неизменности городских инфраструктур;
- расширение, строительство, реконструкция и капитальный ремонт инженерных сооружений;
- эксплуатация городских инфраструктур, обеспечение безопасности жизнедеятельности.

Для решения перечисленных задач необходимы базы данных многократного использования. Создание комплексной топографо-геодезической модели города можно рассматривать, как создание и поддержание многоцелевых баз данных. Для этого необходим исходный материал, который обеспечивал бы координатное единство информационных полей. Совокупность таких материалов есть базовая топографо-геодезическая модель города. Информационной базой для принятия решения в интересах той или иной отрасли городского хозяйства является пользовательская модель. Основой пользовательской модели является ограниченный фрагмент базовой модели, достаточный для координатной привязки пространственно распределенных данных. В диссертации предложена структурная

схема комплексной топографо-геодезической модели населенного пункта.

Работы, направленные на создание и поддержание топографической основы комплексной модели для такого обширного объекта как город, в данной работе были разделены на три уровня:

Региональный уровень - весь город и прилегающая часть пригородов.

Локальный уровень - отдельные микрорайоны и прилегающие поселки, образующие городскую агломерацию.

Уровень специальных площадок отдельных сооружений – отдельные здания и их комплексы, промышленные площадки, территории и т.п.

Решение задач на каждом уровне предполагает построение своих специфических топографо-геодезических моделей города, которые можно объединить в класс пользовательских моделей. Создание их общих частей придется проводить путем создания базовых моделей, которые можно рассматривать как фундамент для формирования пользовательских моделей. Структурная схема создания модели приведена на рис.1.

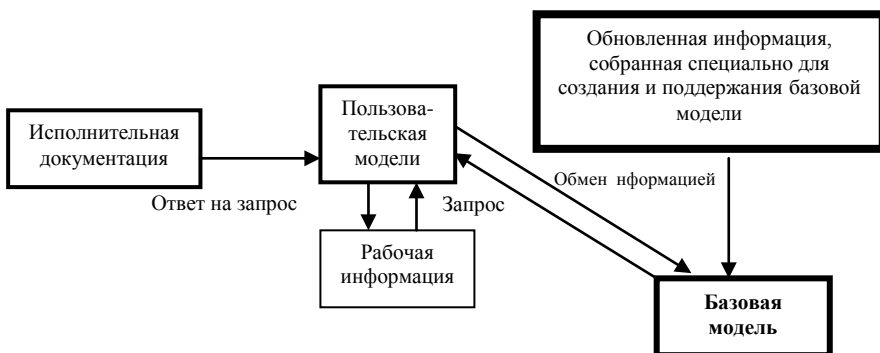


Рис.1. Процесс топографо-геодезического обеспечения городского хозяйства

Так как первым шагом в организации работ по созданию банка топографических данных должен стать выбор программного

продукта, который являлся бы платформой базы данных, то в этой главе рассмотрены возможности различных программных продуктов, которые могли бы участвовать в создании банка топографических данных базовой модели ГИС. Использование для этой цели системы CREDO-ТОПОПЛАН позволяет:

- обеспечить адекватное соответствие цифровой модели рельефа ее топографической реальности;

- выполнить пространственное представление подземных и наземных коммуникаций;

- использовать многослойность модели рельефа и ситуации, модели проекта;

- сопроводить информацией тематические объекты модели;

- управлять большими объемами данных цифровой модели местности (ЦММ), выполнять фрагментацию ЦММ, объединение фрагментов в единое целое;

- выполнить генерализацию топографической информации.

Третья глава «Системы координат для топографо-геодезической модели города». В ней рассматривается иерархическая схема топографо-геодезического обеспечения страны и исследуются причины, которые способствовали развитию и реконструкции местных систем координат.

С одной стороны, созданные топографо-геодезические модели городов в местной системе координат являются неоспоримым благом; с другой стороны, вызывает порождение конфликтов различного рода. Устранить это противоречие возможно только при создании новых местных систем координат и реконструкции эксплуатируемых систем с опорой на СК-95, но при условии минимума расхождений со старыми системами координат. Это особенно важно в городах и на урбанизированных территориях, где инженерные инфраструктуры юридически зафиксированы в старых координатных системах.

Сегодня создание новых местных систем координат – достаточно

редкое явление. В тоже время, проблема реконструкции местных систем координат является актуальной современной задачей, и ее роль будет только возрастать. Реконструкция местной системы координат, почти безусловно, подразумевает качественные изменения координат пунктов геодезических сетей разного уровня, вслед за этим, влияние этих изменений может сказаться на топографических материалах, что должно привести к созданию на данной территории системы пользовательских топографо-геодезических моделей и соответствующих баз данных и ГИС, ориентированных на запросы конкретных пользователей.

В этой же главе выполнен расчет деформационных характеристик городской геодезической сети и анализ полученных результатов на основе использования тензорного анализа. Рассматриваемый объект – модель городской сети, которая состоит из сети пунктов триангуляции 3 и 4 класса и сети пунктов полигонометрии 4 класса. Используя систему GPS, были определены новые координаты тех же пунктов сети. По имеющимся данным была составлена схема векторов смещений. Далее весь объект был разбит на сеть треугольников и вычислены деформационные характеристики для каждого треугольника:

-максимальный сдвиг γ_m ;

-дилатация ρ , то есть относительное изменение площади участка;

-угол разворота всего участка ω .

Для каждого треугольника были получены значения максимального E1 и минимального E2 векторов растяжения-сжатия. После нанесения векторов сжатия и растяжения на схему, стало видно, что некоторые смежные треугольники имеют подобные вектора E1 и E2. Далее эти треугольники были объединены и деформационные характеристики были вычислены для более обширного участка. На основании полученных результатов были сделаны следующие выводы:

-так как изменение расстояния по направлению векторов растяжения минимально, то направление, которое будет являться «хранителем» масштаба системы координат, должно располагаться вдоль направления векторов растяжения;

-так как смещения в направлении, перпендикулярном вектору сжатия, минимально, то направление, которое будет являться «хранителем» дирекционного угла, должно располагаться вдоль направления вектора сжатия.

Четвертая глава «Выбор проекции для местной системы координат». В этой главе рассматривается алгоритм выбора геодезической проекции для топографо-геодезической модели города. Так как на выбор проекции влияют особенности картографируемой территории, содержание и назначение создаваемой ГИС и желаемые свойства определяемой проекции, то выбор следует осуществлять в два этапа: на первом устанавливается совокупность проекций (или их свойства), из которых целесообразно производить выбор; на втором – определяют искомую проекцию.

В геодезических проекциях наиболее значимыми являются искажения, и, следовательно, поправки линейных величин, обусловленные частным масштабом длин; поправки же в угловые и линейные величины, обусловленные кривизной отображения геодезической линии эллипсоида на плоскости, всегда менее значимы. Это характерно для конформных отображений регулярных поверхностей. Достичь минимизации линейных искажений в пределах изображаемой области, при изыскании наилучшей проекции, можно, если выбор проекции осуществлять с учетом формы изображаемой области.

Для территории Минского района были выполнены исследования линейных искажений, возникающих в цилиндрической, конической и азимутальной проекциях. Результаты исследований показали, что наилучшие показатели присутствуют в поперечно-цилиндрической

проекции, причем учет предвычисленного значения t_0 позволил вдвое уменьшить максимальные линейные искажения внутри изображаемой области.

В этой же главе выполнен расчет местной системы координат на территорию Минского района, при этом была поставлена задача – подобрать такую систему координат, в которой погрешности перехода от измеренных величин к величинам на плоскости составляли порядка 1:1000000.

Поскольку территория Минского района имеет прямоугольную форму и вытянута вдоль линии с азимутом 348° , то в качестве проекции для местной системы координат района была применена косая проекция Меркатора, относящаяся к классу конформных цилиндрических проекций. Так как косая проекция подразумевает переход на плоскость со сферы, то в качестве поверхности относимости была выбрана сфера такого радиуса, чтобы геодезические высоты были близки к нулю.

За координаты района были взяты широта и долгота в крайних точках севера, юга, запада и востока (см. табл.1).

Таблица 1

Координаты точек Минского района

Точка	Широта	Долгота
С	$54^\circ 15'$	$27^\circ 26'$
Ю	$53^\circ 30'$	$27^\circ 32'$
З	$53^\circ 33'$	$27^\circ 03'$
В	$53^\circ 48'$	$27^\circ 58'$

За центр проекции для территории Минского района была взята точка с координатами $B_0=53^\circ 48' 15''$ и $L_0=27^\circ 29' 45''$, которая была получена как среднее арифметическое из координат крайних точек данной территории. Радиус сферы равен $R = \sqrt{M_0 N_0} = 6370763.644 \text{ м}$. Чтобы минимизировать поправки за высоту при редуцировании

измеренных величин на сферу, радиус сферы был увеличен на 200 м (величину, равной средней геодезической высоте на территории): $R=6370963,644$ м. Тогда постоянные геодезической проекции будут равны: $\alpha=1,000409698$; $k=0,99573413864$.

Вычисленные сферические координаты точек представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сферические координаты точек			
Точка	U	W	m
О	53°46'19,61"	27°30'25,55"	1,0000000000000
С	54°13'02,70"	27°26'40,46"	0,999999999910
Ю	53°35'05,39"	27°32'40,60"	1,000000000007
З	53°31'05,67"	27°03'39,89"	1,000000000017
В	53°46'04,62"	27°58'41,24"	1,000000000000

Далее был выполнен переход от эллипсоидальных координат (В, L) к плоским (X, Y).

В результате вычислений для крайних точек района были получены постоянные проекции и координаты точек в косоугольной проекции Меркатора, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Координаты точек, полученные в косоугольной проекции Меркатора			
	X (м)	Y (м)	m
С	86535,550	26812,729	1.00000060
Ю	3053,373	33375,549	1.00000019
З	8710,261	1335,306	1.00001426
В	36546,712	61911,389	1.00001175

Результаты вычислений показали, что редукции в косоугольной проекции Меркатора с использованием в качестве промежуточной поверхности сферы и при конформном отображении эллипсоида на эту сферу будут составлять порядка 14 мм на 1 км в худшей точке.

Пятая глава «Оценка точности существующего картографического материала». В ней изложены экспериментальные исследования

по определению точности трансформирования раstra и определению соответствия содержания топографических карт современному состоянию.

В процессе исследования точности трансформирования растровых копий решались следующие задачи:

-какой метод использовать для трансформирования растровой топографической основы;

-сколько исходных (опорных) точек должно быть и где они должны быть расположены;

-каковы допустимые значения остаточных расхождений координат исходных и контрольных точек.

Экспериментальные работы по исследованию точности трансформирования производились для растровых копий издательского оригинала на пластике и выполнялись с помощью программных средств ГИС ArcGis и реализованных в ней методов аффинного преобразования и полиномиальных преобразований второй и третьей степеней.

При выполнении экспериментальных работ в качестве основы использовались растровые копии издательских оригиналов В-1 и Б-4 на пластике в системе координат 1963 года, полученные путем сканирования с геометрическим разрешением 85,3 мкм (300 dpi). На первом этапе для оценки точности преобразования дискретных точек исходных оригиналов были вычислены средние (\bar{v}) и средние квадратические ошибки (m).

Так как сканирование издательских оригиналов выполнено с геометрическим разрешением 0,085 мм, то ошибка измерения растровой копии, соответственно, увеличивается. Поэтому суммарную ошибку положения точки на исходном оригинале и ошибку измерения ее координат по растру можно полагать равной $\sqrt{(0,100)^2 + (0,085)^2} \approx 0,131$ мм. С учетом этого средняя ошибка преобразования составит 1,3 м, а предельная – 2,6 м. В этот допуск уло-

жились все выполненные измерения, что свидетельствует об их достаточно высоком качестве.

Результаты, полученные на первом этапе, позволили сделать следующие выводы:

1. Установленные по контрольным точкам погрешности преобразования во всех вариантах близки между собой, а различия между ними не превышают 15-30% от их величины.

2. Исключение из обработки контрольных точек с остаточными расхождениями, превышающими 0,3 мм в масштабе плана, улучшило средние и средние квадратические погрешности на 15-20%.

3. Во всех случаях средние квадратические ошибки планового положения на 15-20% больше средних, что подчеркивает незначительность влияния ошибок систематического характера и свидетельствует в пользу нормального распределения.

4. Все измерения выполнены с надлежащей точностью, так как заметного влияния систематических ошибок не обнаружено, следовательно, результаты обработки данных могут быть использованы для выработки обоснованных рекомендаций.

5. При использовании полиномов второй и тем более третьей степени и размещении опорных точек по периметру изображения величины остаточных расхождений координат точек существенно уменьшаются.

На втором этапе для выявления случайности погрешностей измерений, оценки достоверности найденных критериев, обоснованности используемых или предлагаемых технологических допусков и правомерности применения метода наименьших квадратов для определения вероятнейших значений параметров трансформирования исходной картографической основы были выполнены статистические исследования остаточных расхождений координат контрольных точек.

Были вычислены математическое ожидание (M), начальные моменты первого – четвертого порядков ($v_1 - v_4$), центральные моменты второго – четвертого порядков ($\mu_2 - \mu_4$), асимметрия (S), эксцесс

(Е), дисперсия (σ), отношение (z) средней погрешности к средней квадратической

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= \frac{1}{n} \sum \Delta_i, & v_3 &= \frac{1}{n} \sum \Delta_i^3, \\ v_2 &= \frac{1}{n} \sum \Delta_i^2, & v_4 &= \frac{1}{n} \sum \Delta_i^4 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_2 &= \sigma^2 = v_2 - v_1^2, \\ \mu_3 &= v_3 - 3v_2v_1^2 + 2v_1^3, \\ \mu_4 &= v_4 - 4v_3v_1 + 6v_2v_1^2 - 3v_1^4 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} S_k &= \frac{\mu_3}{\sigma^2} = \frac{\mu_3}{\mu_2}, \\ E_k &= \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \\ z_k &= \frac{v}{m} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

где Δ_i – погрешность измерений (элемент исследуемого ряда);

v , m – средняя и средняя квадратическая погрешности.

Так как исследуемое (эмпирическое) распределение может отличаться от нормального с заданной степенью приближения к нему, то были вычислены их допустимые значения.

Выводы, сделанные после выполнения второго этапа:

- во всех случаях уклонения асимметрии и эксцесса от их теоретических значений не превышают утроенных значений стандартов соответствующих ошибок и должны быть признаны несущественными;

- значения математических ожиданий во всех случаях соответствуют систематическим погрешностям, составляющим несколько сантиметров, что никак не может признаваться существенным;

- во всех случаях значение дисперсии, и значение соответствующей средней квадратической погрешности mS , отличаются на величину, не превышающую стандарта среднего квадратического отклонения σ_σ .

Выводы, полученные на первом и втором этапах, позволили сделать заключение о том, что вычисленные значения асимметрии и

эксцесса не противоречат нормальному распределению исследуемых погрешностей.

Для проверки нормальности распределения были построены графики «спрямлённых диаграмм», которые так же подтвердили, что ни в одном из исследованных рядов измерений гипотеза о нормальности исследуемых выборок не опровергается.

Проведенные исследования координатных преобразований растрового изображения позволили сделать следующие заключения и рекомендации:

1. При сканировании исходных материалов размер пикселя растрового оригинала должен 30-40 мкм, или 500 – 600 dpi.

2. В качестве исходных и контрольных опорных точек желательно принимать углы рамки трапеции, точки пересечения линий координатной сетки и ее выходы на рамку.

3. При большом числе исходных опорных точек, равномерно размещенных по рамке трапеции, все исследованные способы координатных преобразований обеспечивают получение результатов одинаковой точности, не зависящей от положения контролируемой точки.

4. При использовании в качестве исходной основы составительских оригиналов на пластике допустимо использование аффинных преобразований по четырем точкам, совмещенным с углами трапеции. Контроль результатов такого преобразования можно выполнить по четырем – пяти точкам, расположенным по серединам северной, восточной, южной и западной рамок трапеции.

5. Полиномы второй и третьей степеней целесообразно использовать в случаях, когда есть основание предполагать возможность наличия неравномерной или случайной деформации исходного оригинала. Исправить ее влияние можно не менее чем по восьми точкам, размещенным по углам рамки и ее на серединах. В этом случае контрольные точки можно располагать в центре трапеции и вблизи ее рамки.

6. Применение полиномиальных преобразований при размещении исходных точек с нарушением их симметрии относительно центра листа, может привести к искажениям.

7. Точность координатных преобразований может быть установлена по четырем – пяти контрольным точкам, размещенным в местах, наиболее удаленных от исходных точек.

8. Для определения параметров растровых оригиналов, полученных с рекомендованным в п. 1 геометрическим разрешением, величина остаточной невязки на исходных точках не должна превышать 0,1 мм, а предельная – 0,2 мм в масштабе плана. Средняя невязка, найденная по контрольным точкам, не должна превышать 0,12 – 0,17 мм в масштабе плана.

9. Трансформирование растрового изображения должно выполняться возможно меньшими фрагментами, хотя это и требует дополнительных затрат времени.

В этой же главе изложены экспериментальные исследования по определению соответствия содержания топографических карт современному состоянию. Один из способов оценки точности содержания архивного материала - создание плана твёрдых контуров (ПТК).

Экспериментальные работы по созданию ПТК проводились на локальном участке г. Москвы и были искусственно разделены на четыре технологических процесса: полевые работы, камеральные работы, выполнение контрольных съемок, анализ результатов.

В результате выполнения первых трех этапов был получен план твёрдых контуров (ПТК). Полученный ПТК был совмещен с растровым изображением плана масштаба 1:2000 на этот же участок, который был создан в 1985-87 годах с использованием аэрофотосъемки и который в настоящее время используется в различных производственных и проектных организациях г. Москвы.

На первом этапе анализа по имеющемуся растру были определены координаты точек однозначно идентифицированных на

ПТК. Полученные результаты показали, что расхождения во многих случаях существенны и превосходят технические допуски.

На втором этапе анализа рассматривались не отдельные точки, а контуры.

Для решения задачи соответствия контуров в работе был использован математический аппарат среднеквадратического прогноза Колмогорова-Винера.

Совместив изображение контура на растровой основе с контуром на плане твердых контуров, были получены два массива точек:

множество l точек контура, полученных с плана твердых контуров

и множество s тех же точек, которые были считаны с растрового изображения

$$s = [s_1 s_2 \dots s_m]^T. \quad (5)$$

Линейная оценка вектора s имеет вид:

$$\hat{s} = H l, \quad (6)$$

где H – некоторая матрица линейного преобразования вектора s в вектор l . Вектор ошибок ε будет иметь вид:

$$\varepsilon = \hat{s} - s. \quad (7)$$

Ковариационная матрица вектора ε

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = (\hat{s} - s)(\hat{s} - s)^T \quad (8)$$

является характеристикой степени согласования вектора s и его оценки \hat{s} .

Матрица $C_{\varepsilon\varepsilon}$ есть сумма двух матриц A и B .

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = A + B, \quad (9)$$

где A – мера несоответствия анализируемых массивов друг другу

$$A = C_{ss} - C_{sl} C_{ll}^{-1} C_{ls}. \quad (10)$$

По главной диагонали этой матрицы располагаются суммы квадратов рассогласований соответственно по оси X и по оси Y .

Составляющая B описана следующем соотношением:

$$B = (H - C_{sl} C_{ll}^{-1}) C_{ll} (H - C_{sl} C_{ll}^{-1})^T \quad (11)$$

Для того чтобы матрица $C_{\varepsilon\varepsilon} = A + B = \min$, необходимо чтобы $B = 0$.

Тогда

$$H = C_{sl} C_{ll}^{-1} \quad (12)$$

Подставив в формулу (6) формулу (12), будем иметь:

$$\hat{s} = C_{sl} C_{ll}^{-1} l \quad (13)$$

Выражение (13) есть формула среднего квадратического прогноза, поскольку она - точный аналог формулы прогноза Колмогорова-Винера.

Сравнив s и \hat{s} , можно вычислить смещения пунктов Δs и найти оценки f , которые следует сравнить с допустимым значением $f_{\text{доп}}$.

Таким образом было обследовано 70 контуров.

На основе полученных результатов объекты были объединены в три группы по критерию точности.

Данные анализа приведены в таблице 4.

Таблица 4

Погрешности объектов

	Группы объектов, по критерию точности (средние погрешности по замкнутому контуру (м))		
	< 1	1 – 2	> 2*
Количество объектов	24	32	14
%	34,3	45,7	20
Среднее из средних погрешностей в положении контуров на карте (м)	0,47	1,25	3,1
Максимальные погрешности характерных контурных точек	2,10		5,70
Средние из максимальных	1,34		3,54

* К данной группе отнесены объекты, точность которых, трудно оценить, так как они не соответствуют растру, а также такие, которых вообще нет на растре.

По результатам проделанной работы был сделан следующий вывод:

65% элементов карты находятся за порогом точности, оговоренной в нормативных документах. Кроме того, на местности за двадцать лет, прошедших с момента проведения аэросъемочных работ, произошли существенные изменения, и поэтому исходный картографический материал устарел и нуждается в пересоставлении.

Заключение

Основные результаты диссертационной работы, полученные по ходу ее выполнения, заключаются в следующем:

1. Разработана структурная схема комплексной топографо-геодезической модели населенного пункта и схема пополнения базовой модели обновленной информацией [4, 6].

2. Разработана методика вычисления деформационных характеристик городской геодезической сети на основе использования метода тензорного анализа [7].

3. Экспериментальным путем исследованы линейные искажения в пределах изображаемой области и установлен вид проекции для новой местной системы координат Минского района [1].

4. Разработана технология подбора местной системы координат на территорию Минского района с учетом индивидуальных особенностей системы координат, используемой в настоящее время [1].

5. Разработаны рекомендации по исследованию точности трансформирования растрового изображения.

6. Разработаны технические приёмы, которые позволяют оценить точность соответствия растрового изображения современному состоянию [2, 3, 4, 5, 6].

Список публикаций соискателя

1. Рак И.Е. Использование архивных данных при создании цифровых карт для информационного обеспечения городского хозяйства// Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2005. -№2. – с.37-38.

2. Рак И.Е. Использование устаревших архивных данных для создания базовых карт в геоинформационных системах// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. – 2005. - №9. – с.82-83.

3. Рак И.Е. Выбор картографических проекций для создания базовых карт ГИС: Материалы третьей международной конференции - Минск: БНТУ. - 2006. – с.407-409.

4. Рак И.Е. Использование плана твёрдых контуров для анализа точности растровой подложки: Материалы четвертой международной конференции. - Минск: БНТУ. - 2006. – с. 401-403.

5. Рак И.Е. Применение фильтра Колмогорова-Винера для оценки точности архивных материалов: Материалы пятой международной конференции.- Минск: БНТУ. - 2007. – с.440-442.

6. Федосеев Ю.Е. Рак И.Е. Некоторые проблемы и технологии создания топоосновы для комплексной модели населенного пункта //Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. - №3. – с. 41-56.

7. Рак И.Е. Разработка и исследование методики топографо-геодезических работ для использование ГИС-технологий в средних и малых городах Беларуси//Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2008. - №3. – с.68-73.