

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

# **ГЕО-СИБИРЬ-2005**

## **Т. 1**

**ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ**

## **Ч. 1**

Сборник материалов  
научного конгресса

Новосибирск  
СГГА  
2005

УДК 528:528.9:622.1  
С 26

Ответственный за выпуск:  
координатор направления «Геодезия, картография, маркшейдерия»,  
кандидат технических наук, профессор Сибирской государственной  
геодезической академии  
*А.П. Карник*

С 26 ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1, ч. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. материалов научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – 312 с.

ISBN 5-87693-170-5

В сборнике опубликованы материалы научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2005» направления «Геодезия, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 5-87693-170-5

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная  
геодезическая академия», 2005

## **ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Задача геодезической науки состоит в отслеживании научно-технического прогресса и определении задач геодезии на ближайшую и отдалённую перспективу исходя из потребностей общества.

Суть геодезии и геодезического обеспечения – изучение и моделирование пространственных свойств объектов геопространства в интересах решения народно-хозяйственных задач.

Основные результаты геодезического обеспечения заключаются в следующем: геодезическое обоснование (сети); информация о пространственных свойствах объектов геопространства (геоинформация) и модели пространственного образа территорий в цифровом, электронном и/или графическом виде. При этом речь идёт, во-первых, о моделях территорий, в основном, соответствующих масштабу 1:1 000 000 и крупнее топографических карт и планов. Производные модели меньшей подробности являются результатом картографического обеспечения. Во-вторых, каждая отрасль создаёт геоинформацию о «своих» объектах. Топография – о топографических объектах, кадастр – о земельных участках, лесоустройство – о выделах, сельское хозяйство – об угодьях и т. д.

Назначение геодезического обеспечения: справочно-информационное; ориентирование в пространстве (навигация): по координатам, контурам, адресам; моделирование геопространства (цифровое, электронное, графическое) в целях информационного обеспечения: планирования и управления развитием территорий; в сфере логистики; при обслуживании коммуникаций; при разведке и использовании природных ресурсов; для проектирования преобразования территории, как исходная модель; в качестве основы для специальных и отраслевых моделей территорий; для выявления пространственных изменений.

Современная база геодезии, определяющая её возможности:

1. Техника. Основой для развития технической базы геодезии является компьютеризация, космическая и лазерно-сканирующая техника.

2. Технологии. Основная тенденция формируется в соответствии с информатизацией общества. Развиваются технологии, основанные «на цифре»: от изучения геопространства и создания геоинформации до её хранения, актуализации, моделирования, анализа моделей и представления результатов. Использование геоинформационных технологий, баз данных, визуализации.

3. Тенденции: наиболее полный переход на цифровые результаты, ограниченное применение графических, тем более, тиражных, карт; стремление к совместному использованию геодезических результатов разных отраслей путём интеграции их пространственных данных на единой координатной основе.

Народно-хозяйственные задачи, определяющие современные требования к совершенствованию геодезического обеспечения: учёт и управление

недвижимостью; формирование градостроительного кадастра; управление и устойчивое развитие территорий. Все эти задачи в целом определяют одинаковые требования, которые рассмотрим на примере последней задачи.

В 90-х годах перед человечеством встала проблема устойчивого развития территорий. Для решения этой проблемы необходимо решение следующих задач информационного характера:

- Совместный анализ пространственной информации, полученной всеми отраслями для данной территории, следовательно, необходима интеграция различной информации на единой пространственной основе;

- Определение (фиксация) изменений пространственного положения объектов территории, обусловленных техногенными и природными факторами, следовательно, необходимо накопление и ведение пространственной информации о прежних состояниях территории и об ее изменениях;

- Оценка и прогнозирование будущего состояния территории в пространственном отношении под воздействием человеческой деятельности, следовательно, необходимы соответствующие методы моделирования пространственной составляющей территории, обработка больших объёмов пространственной информации разной тематики и временных состояний, что возможно только с применением компьютеров, следовательно, пространственная информация о территории должна предоставляться, сохраняться и сопоставляться с информацией о последующих состояниях территории в воспринимаемой компьютером цифровой форме.

Проблемы: недостатки геодезической и геоинформационной терминологии. Примером является предложенный к обсуждению проект национального стандарта «Географические информационные системы. Термины и определения». В нём «под пространственным объектом понимается как сам объект, так и адекватная ему цифровая модель» и многое другое. Отсутствует чёткая взаимосвязь терминов «данные» и «информация». В геоинформационных словарях есть геоинформатика, но нет геоинформации. Нами предлагается определить геодезическую информацию (сокр. геоинформацию) как информацию о пространственных свойствах предметов геопространства, включающую координированные сведения о местоположении, размерах и форме каждого объекта на определённый момент времени, а также сведения о типе предмета.

Конкретное и оперативное геодезическое обеспечение возникающих задач; взаимодействие разных отраслей, включая обмен отраслевой пространственной информации (включая геоинформацию и геоинформационные модели) и их совместимость; сокращение затрат на актуализацию геоинформации; накопление и ведение пространственной информации о прежних состояниях территории и об ее изменениях.

Задачи геодезии на ближайшую перспективу (на XXI век): совершенствование терминологии; упорядочивание применения координатных систем; формирование типов объектов и разграничение их по отраслям; создание и функционирование территориальных геодезических пространственных информационных систем, обеспечение их взаимодействия;

создание системы геодезического обеспечения как составляющей информационного обеспечения устойчивого развития территорий.

Геодезия имеет серьёзную теоретическую и практическую базу по выявлению и прогнозированию изменений пространственного состояния конструкций, агрегатов, локальных участков земной поверхности. Для выявления изменений на обширных территориях следует расширить информационную базу о территориях.

© И.В. Лесных, В.А. Середович, А.П. Карпик, 2005

УДК 378:528

*И.В. Лесных, В.Б. Жарников, А.П. Карпик*

СГГА, Новосибирск

## **ВЫСШЕЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В СИБИРИ**

Основные задачи обеспечения Урала, Сибири и Дальнего Востока инженерными кадрами геодезического профиля вот уже более полувека решает Сибирская государственная геодезическая академия (основана в 1933г. и до 1993 г. имела название Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии). В целом ряде строительных, аграрных и некоторых других вузов региона успешно работают кафедры геодезии, инженерной геодезии и маркшейдерии, выполняют оригинальные научные и научно-производственные проекты, но выпуском специалистов в области геодезии не занимаются.

В настоящее время СГГА ведет подготовку по 25 аттестованным и аккредитованным направлениям и специальностям, большая часть которых представляет геодезию, аэрофотогеодезию, картографию, землеустройство и кадастр, прикладную экономику, специальное приборостроение. Численный состав студентов всех форм обучения – около 10000, профессорско-преподавательского состава – около 550 человек, в том числе со степенями и званиями более 300 человек.

В составе Академии работают Институты: геодезии и менеджмента, дистанционного зондирования и природопользования, кадастра и геоинформационных систем, оптики и оптических технологий, дистанционного и заочного обучения; ряд филиалов и представительств, научно-исследовательский сектор, центр русского языка и культуры, другие подразделения.

Институты реализуют образовательные профессиональные программы подготовки специалистов, бакалавров и магистров. В настоящее время идет подготовка к переходу на государственные образовательные стандарты третьего поколения и активное взаимодействие с советами учебно-методических объединений по соответствующим группам специальностей: геодезия (МосГУГК), землеустройство и кадастр (Госуниверситет по землеустройству, г. Москва), экономика (Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, г. Санкт-Петербург), геоэкология (МГУ), оптика (ЛИТМО, г. Санкт-Петербург).

Многопрофильность учебной и учебно-методической работы вуза в действительности, как было отмечено, не является принципиально политехнической, по крайней мере, в нашем понимании и в нашей реализации. Скорее, это профили различной глубины и измерения близлежащих предметных областей. Поэтому, приоритетными для нас являются специальности геодезические и примыкающие к ним геоинформатика, геоэкология, картография, землеустройство и кадастр, специальное приборостроение и сопутствующая им прикладная экономика. В этой связи возможная трансформация отдельных специальностей, объединение некоторых из них целевые позиции СГГА принципиально не изменяют, а определенная «исключительность» последних ставит нашу Академию в ряд важнейших технических вузов региона. Именно такие вузы позволяют решить проблему самодостаточности научных и промышленных центров Сибири, о которых говорил полномочный представитель Президента РФ по СФО Л.В. Драчевский [1] на международной конференции по устойчивому развитию городов в 2004 г.

В последнее десятилетие Академия в большей степени учитывает проблемы и пожелания региона, выполнила и выполняет целый ряд реальных проектов образовательного, научно-внедренческого и производственного характера [2, 3].

Важнейший вопрос, постоянно требующий внимания - качество образования. На страницах печати в настоящее время обсуждается конкурентоспособность отечественной средней школы. Итоги международного исследования PISA за 2003 год знаний наших школьников по математике показали неудовлетворительность их применения в практических, нестандартных задачах. Министр образования и науки РФ А. Фурсенко по этому поводу отметил необходимость модернизации системы образования, особенно в части использования полученных знаний на практике, самостоятельно принимаемых решений, ответственности выбора, успешности в жизни. Специалисты подчеркнули существенный факт, что от учителя школьник получает лишь около 10% знаний, остальное приобретает в ходе самостоятельной работы.

Подобная ситуация тревожит нас не только с точки зрения качества набора. Похожие проблемы сопровождают высшее образование до настоящего времени. Особенно это касается федеральной компоненты в дисциплинах начального обучения: математике, физике, ряде других. При этом преподаватели указанных кафедр «бьются» за качество фундаментального образования и в большей степени формально правы. Ядром современного образования должна стать осознанная потребность к новому знанию, самостоятельность, способность к диалогу и полемике. Мы согласны с проф. Л. Г. Олехом [4], что познавательный процесс должен быть тесно связан с разрешением проблемных ситуаций в процессе лекционных занятий, частично-поисковой и исследовательской работой на семинарах и практиках. Однако для решения указанных задач необходим неординарный творческий подход и соответствующее методическое сопровождение преподавательского коллектива. Подобные и ряд других задач сегодня являются предметом живого обсуждения в ходе рассмотрения проектов

образовательных стандартов бакалавров и магистров по специальностям Академии.

Фактически перед вузами поставлена задача найти вариант оптимизации качества подготовки специалиста – бакалавра с четырехлетним сроком образования. Поскольку задача поставлена, и подготовка бакалавров станет по численности выпускников вузов преимущественной, именно бакалавр в недалеком будущем определит основное содержание и качество нашей экономики. Вот поэтому нашей Академии необходим адекватный вариант ГОСов и конкретных образовательных программ, прежде всего для наиболее сложных в научно-техническом и учебно-методическом отношении специальностей, таких как геодезия, информационные системы, оплотехника и других.

Поэтому важно определить перспективы своего развития, определить приоритеты в движении по возможным направлениям учебно-образовательной деятельности.

Институт геодезии и менеджмента развивается, на наш взгляд, в соответствии с современными воззрениями на необходимость формирования технической системы в окружении дружественной среды управленческо-экономического содержания. В портфеле института полный набор геодезических специальностей, включая свою экономику, плюс информационные системы и менеджмент.

Новый вектор развития ИГиМ включает в себя большую часть инструментария существующих специальностей, соответствует направлению «Геоинформационное обеспечение развития территорий» [5] и может быть переквалифицирован в одну из современнейших специальностей.

Институт дистанционного зондирования и природопользования сделал ставку на дистанционное зондирование с применением космических и аэросъемок с целью исследования природных ресурсов и создания тематических карт и атласов самого современного содержания. Позиция подкрепляется специальностью «Геоэкология» и ее соответствующими возможностями. Уже сегодня возникло новое направление подготовки [6], связанное с геомониторингом природной среды.

Развитие института оптики и оптических технологий обусловлено развитием и потребностями в оптико-электронных изделиях, включая их конструкторско-технологические разработки и крупносерийное производство. Важным фактором успешности такого развития является центральное положение г. Новосибирска в этой области: здесь сосредоточено почти все производство электронно-оптических преобразователей, около 65% объема прицельных и наблюдательных приборов военного значения, 70% оптических контрольно-измерительных приборов и т.д. [7]. Поэтому выпуск специалистов и реализация проектов в области оптико-электронного приборостроения будут еще долго пользоваться устойчивым спросом и создавать необходимый запас прочности институту.

Другое направление связано с возрастающим спросом на метрологическую экспертизу и испытание сложных приборов и систем, особенно в условиях

необходимости продления эксплуатационных качеств последних. Необходимость в таких специалистах очевидна и будет лишь возрастать, в т.ч. для обеспечения потребностей малого бизнеса.

Институт кадастра и геоинформационных систем, отмечающий в текущем году свое десятилетие, был образован с целью подчеркнуть возвращение к важной геодезической традиции быть в русле земельных отношений, происходящих новаций в области землеустройства, кадастра и мониторинга земель. Институт наряду с подготовкой специалистов по городскому кадастру и указанному выше более широкому и общему направлению готовит экономистов природопользования и по операциям с недвижимостью, безопасности жизнедеятельности. По рекомендации Совета УМО рассматриваются возможности (до появления специальностей) создания специализаций «Кадастр объектов недвижимости» и «Управление земельными ресурсами и недвижимым имуществом».

Движение вперед связываем с совершенствованием качества подготовки и возможностей долговременных договорных отношений с основными потребителями выпускников, а в развитии специальностей – создание условий для «Юриспруденции» со специализацией «Земельное и имущественное право».

Институт дистанционного и заочного обучения, как и подобные структуры в других вузах, методично осваивает методики и технологии дистанционного обучения. Успешно работает ряд отделений, представительств и филиалов, причем работают в условиях острой конкуренции. Наиболее устойчивыми из них являются Тогучинский, Линевский, Кемеровский и Екатеринбургский филиалы, Бердское и Карасукское представительства.

Наработан определенный опыт, в том числе по обеспечению учебного процесса необходимым методическим материалом, сформированы коллективы преподавателей, налажена студенческая научно-исследовательская работа. Надеемся, что на основе обобщения передового опыта компьютеризации учебного процесса, использования медиа-средств наше дистанционное образование не будет уступать по качеству образованию очному.

Отдельно отметим проблему подготовки экономистов в геодезическом вузе. Перспективы работы с этой группой специальностей (фактически она одна – экономика и управление на предприятии (по отраслям); отрасли следующие: геодезия и картография, машино- и приборостроение, туризм и гостиничное хозяйство, природопользование, операции с недвижимым имуществом) будут определяться фирменными «изюминками» вуза.

Большая часть экономического блока соответствует основному профилю Академии, а туризм с гостиничным хозяйством придают сложившейся системе сибирский размах и цивилизованную определенность.

Экономика недвижимости в сочетании с кадастром застроенных территорий и недвижимости, а также мощным технологическим и информационным инструментарием, в т.ч. экологических процессов может стать основным фактором развития Академии на ближайшие 15-20 лет – период



нового планируемого этапа освоения Сибири и устойчивого развития ее территории.

Важной составной частью работы Академии всегда была и есть научно-исследовательская работа, частично трансформированная за годы перестройки в реализацию научно-производственных и научно-внедренческих проектов. Академия имеет практически весь спектр лицензий на выполнение научных и производственных работ от геодезической и землеустроительной служб России, на отдельные виды работ – от Минобороны, служб строительной, метеорологической и др.

Истоки современной НИР были заложены в начале 50-х годов и успешно развивались при участии и под руководством профессоров А.И. Агроскина, К.Л. Проворова, Г.И. Знаменщикова, А.В. Буткевича, В.В. Бузука, А.И. Гридчина, В.Г. Конусова, Г.И. Конусовой, Б.Э. Шлишевского, П.Д. Гука, Б.Н. Маликова, доцентов З. М. Юршанского, С.И. Пурсакова, С.И. Родионова, В.И. Алексеева, А.Л. Ивлева, О.А. Майера, И.М. Павлова, Ф.П. Носкова, ряда других.

В настоящее время эстафету продолжают новые поколения специалистов и ученых. При Академии работают диссертационные советы по защите докторских и кандидатских диссертаций по геодезии, картографии, оптике, экономике, кадастру, геоинформатике и геоэкологии. Динамично развиваются научные исследования по классическим и новым направлениям исследований: геодезия (профессора Лесных И.В., Гуляев Ю.П., Тетерин Г.Н., Карев П.А., Жуков Б.Н., Уставич Г.А., Дементьев Ю.В., Антонович К.М., Сурнин Ю.В. Аврунев Е.И., Ловягин В.Ф.); геодинамика (профессора Каленицкий А.И., Колмогоров В.Г., Панкрушин В.К., Вовк И.Г., Ван А.В., Кузнецов Ю.И.); аэрофотогеодезия и дистанционное зондирование (профессора Антипов И.Т., Гук А.П., Зятькова Л.К., Селезнев Б.В., Трубина Л.К., Широкова Т.А.); геоинформатика и картография (профессора Лисицкий Д.В., Карпик А.П., Неволин А.Г., Падве В.А., Гаврилов Ю.В., Горбенко С.М., Топчилов М.А.); землеустройство и кадастр (профессора Гладкий В.И., Бакаев П.Н., Жарников В.Б., Гиниятов И.А., Ключниченко В.Н., Москвин В.Н.); экономика недвижимости и природопользования (профессора Шалмина Г.Г., Татаренко В.И., Робинсон Б.В., Краснов О.С., Золоторев И.И., Гагарин А.И.) оптика и оптико-электронное приборостроение (профессора Мещеряков Н.А., Шлишевский В.Б., Воронин М.Я., Малинин В.В., Соснов А.Н., Тымкул В.М., Устюгов М.Б., Ушаков О.К.); гуманитарных науки (профессора Колоткин М.Н., Осипов А.Г., Конев В.П., Марченко Ю.Г.).

Планируя будущее, определяя основные тенденции развития ВУЗа нельзя не отметить отсутствие четкой концепции развития государственной системы высшего профессионального образования. Как отметил в одном из своих выступлений Губернатор Новосибирской области В.А. Толоконский – «Мы потеряли многие традиции планирования... и сегодня в изменившихся условиях... недостаточно успешно овладеваем новыми методиками планирования» [8, с. 33]. Более 10 лет академия жила и развивалась в условиях жесточайшего социально-экономического стресса. С 2000 г. и до сегодняшнего

дня этот процесс несколько нормализовался, но новая реформа образования опять ставит на повестку дня слабо обусловленные и плохо структурированные задачи. Тем не менее, для успешного развития Академии система планирования необходима и в нашем представлении она выглядит следующим образом. В основе системы – фундаментальные факторы и предпосылки окружения. Фундамент – это предыдущее состояние вуза и все его компоненты. Материальная база существенно определяет условия работы и учебы, возможности физического развития. Второй важнейший компонент – учебные и научные школы, традиции, идеология, определяющие методологическое основание системы. Третий компонент – коллектив единомышленников, ядро преподавательского коллектива, реализующий современные научно-образовательные идеи в контексте модернизации традиций. Четвертый – общественная среда и уровень дружеских взаимоотношений в ней, что позволяет поддерживать современный уровень вузовской системы в целом (оборудование, состав ППС, реализация проектов и т.д.). Пятый компонент – система подготовки и ротации кадров, позволяющая осуществлять новый этап модернизации системы.

Что мешает сегодня развитию высшей школы Сибири вообще и геодезической в частности? Сегодня высшая школа, пережив коллизии перестройки, готова к решению практически любых задач. Нет гарантированной системы трудоустройства выпускников – вузы выстраивают такую систему самостоятельно, нет достаточного финансирования для обновления материальной базы – используются возможности зарабатывания внебюджетных средств.

Геодезическая академия сегодня в общей сумме годовых средств имеет только 30% бюджетных, позволяющих, кроме масштабного строительства, решать все текущие проблемы. Определенную настороженность вызывает реформаторский курс Минобразования РФ, целью которого является градация вузов по некоторому рейтингу и соответствующий уровень финансирования. Но и здесь наша Академия делает все возможное, чтобы постоянно подтверждать свою необходимость и свое место в высшей школе Сибирского региона.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драчевский Л.В. Роль крупных городов в реализации Сибири [Текст] / Л.В. Драчевский // Местное самоуправление и стратегия устойчивого развития крупного города, Новосибирск, НИИРУ, 2004. – С. 172-173
2. Жарников В.Б. Земля как предмет обучения и исследования [Текст] / В.Б. Жарников. Известия (неделя Сибири) от 31.01.2003 г.
3. Веремьяника Л. Экологическая карта с высоты страусинного полета [Текст] / Л. Веремьянина. Вечерний Новосибирск от 19.12.2002 г.
4. Олех Л.Г. Реформирование образования по ноосферному вектору [Текст] / Л.Г. Олех. Новосибирск, НГИ, 2002. – С. 225
5. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий [Текст] / А.П. Карпик. Новосибирск, 2004. – С. 260
6. Зятькова Л.К. Геомониторинг природной среды [Текст] / Л.К. Зятькова, И.В. Лесных. Новосибирск, СГГА, 2004. – С. 376

7. Гугучкин В.И. Интеграция предприятий оптикоэлектронной промышленности на базе ассоциации СНПКТНВ [Текст] / В.И. Гугунин. // Местное самоуправление и стратегия устойчивого развития крупного города – Новосибирск, НИИРУ, 2004. – С. 172-173

8. Толоконский В.А. Стратегические задачи Новосибирской области и Новосибирска [Текст] / В.А. Толоконский. // Местное самоуправление и стратегия устойчивого развития крупного города – Новосибирск, НИИРУ, 2004. – С. 33-37

© И.В. Лесных, В.Б. Жарников, А.П. Картик, 2005

## **СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

## **SPECTRAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF GEODETIC NETWORKS**

### Аннотация

Прежде всего необходимо определить качество геодезических сетей и дать их оценку. На одном из примеров показаны специфические проблемы протяженных инженерных сетей. Сходство эластомеханических систем и геодезических сетей ведёт к интерпретации так называемых слабых форм. Типичность поведения слабых форм показана на примере диагонального четырёхугольного ряда – типичной формы цепи для трассирования транспортных путей. На примере из области анализа актуального движения земной коры показана проблематичность сепарации слабых форм сетей с их собственной деформацией. Далее следует представление аналитической модели спектральной оптимизации сети с целью улучшения её жесткости. Результаты применения этого метода в области оптимизации конфигураций и весов наблюдения представлены в заключение.

### Introduction

The quality of a geodetic network is essentially described by the three criteria - accuracy, reliability and costs. The accuracy is normally referred to point positions or to special quantities which are derived from the point coordinates. The internal reliability means the detection of errors in the observations, the external reliability estimates the influence of non detected errors on the results of the adjustment and the sensitivity is standing for the power of detecting deformations in monitoring networks. The costs for the realisation of a network are evident. The decisive recognition is that the estimation of the quality of a network is not only possible after the measurements and the adjustment but already during the design phase. This recognition leads to the field of an optimal design of geodetic networks basing on quality criteria by special analytical optimization strategies or at least by simulation with an appropriate adjustment software. The different optimization problems have been classified into different design orders. The zero-order design (ZOD) is the search for an optimal reference system, the datum problem. The first-order design (FOD) is to be understood as the configuration problem, where the positioning of the points and the observation plan are to be optimized, provided that the precision of the observations is known a priori. The weight problem, which is the optimal distribution of observational work or precision in a fixed configuration, is called the second-order design problem (SOD). A further class is the third-order design problem, which is defined as the optimal improvement of an existing network by additional points and/or additional observations (Schmitt, 1983).

### Elastomechanical analogies

Let us have a look at the typical approach of handling high precision engineering networks. Normally such networks must be connected to the national network. For the realisation of this connection a couple of trigonometric points must be integrated into the engineering network. As model a free net adjustment is calculated, followed by a similarity transformation of the resulting system into the

national network, in order to preserve the internal geometry of the engineering network, using the trigonometric points as identical points for the calculation of the transformation parameters. The residuals in these points are normally used to interpret the regional quality of the national network. Fig. 1 shows the corresponding results for a chain of quadrilaterals (17 km length, 284 points) with distance and direction measurements as part of the basic network for the high-speed railway route between Mannheim and Stuttgart in the southwestern part of Germany (Jäger, 1988). The squares mark the trigonometric points which have been integrated into the railway network. The arrows represent the residuals after the transformation, their length goes up to 25 cm. It is obvious that the arrows in the middle part are pointing to northeast, whereas those at both ends of the chain are directing to southwest. How can this be interpreted ?

This is the point where it is useful to look at analogies between geodetic networks and elastomechanical systems, which have been analysed since long time, for example in Linkwitz (1961). The calculation of the equilibrium of an elastomechanical system and the adjustment of a geodetic network in the Gauss-Markov model is running completely similar. From the variation principle (least squares risk function) to the final equations (normal equations) all steps are running analogous, up to the cofactor matrix  $Q$  as the inverse of the normal equation matrix  $N$  and its equivalent, the flexibility matrix  $F$  as the inverse of the stiffness matrix  $K$ , see Jäger (1988).

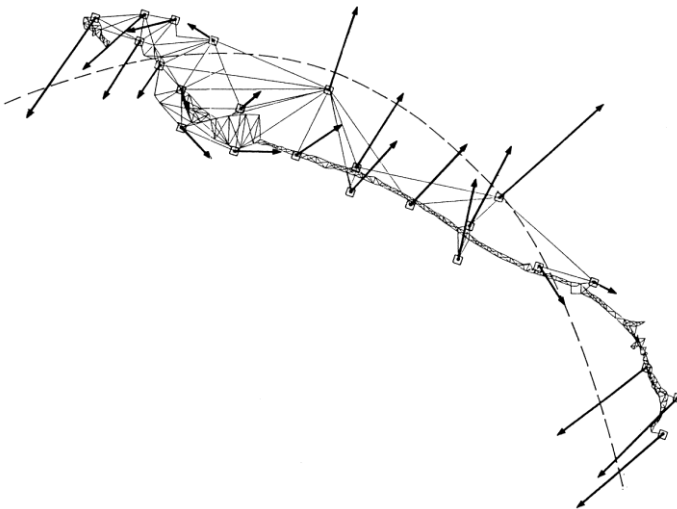


Figure 1: Residuals after the similarity transformation of the free adjusted network chain into the national net

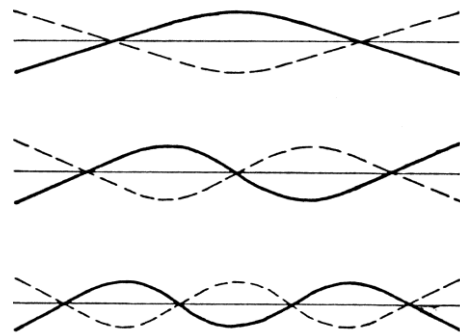


Figure 2: Free vibrating bar, vibration modes of the basic frequency and the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> overtones

Of special interest is the spectral analysis of the stiffness matrix  $\mathbf{K}$  in the context of a special eigenvalue problem (EVP):  $(\mathbf{K} - \lambda \mathbf{E}) \mathbf{m} = 0$ , with  $\lambda$  as eigen frequency and  $\mathbf{m}$  the corresponding vibration form. This vibration or eigen form is standing for the tendency of the system to leave its equilibrium if a power is attacking somewhere. As

example fig. 2 shows the three leading vibration modes (derived from the three biggest eigenvalues) of a free vibrating bar, from which the basic frequency has from its shaping a certain similarity to a long geodetic network chain.

#### Weakforms of geodetic networks

The spectral analysis of elastomechanical systems in the EVP-approach can be transferred to geodetic networks. The EVP can be related whether to the normal equation matrix itself or to its inverse, the cofactor matrix:  $(\mathbf{N} - \lambda_i \mathbf{E}) \mathbf{m}_i = 0$  resp.  $(\mathbf{Q} - \mu_i \mathbf{E}) \mathbf{m}_i = 0$ ,  $\lambda_i$  and  $\mu_i$  are the eigen-values,  $\mathbf{m}_i$  the corresponding eigenvectors (the eigenvalues of  $\mathbf{Q}$  are the reciprocal values of the eigenvalues of  $\mathbf{N}$ ). Combining the eigenvectors  $\mathbf{m}_i$  to the modal matrix  $\mathbf{M}$  and the eigen-values  $\lambda_i$  to the diagonal spectral matrix  $\mathbf{\Lambda}$ , the relation  $\mathbf{M}^T \mathbf{N} \mathbf{M} = \mathbf{\Lambda} = \text{diag } \lambda_i$  is valid. We call the eigenvectors weak forms, which show the tendency of the network to leave its geometry, if errors in the observations are occurring. The componentwise description of the  $i^{\text{th}}$  weak form is  $\sqrt{\lambda_i} \sigma_0 \mathbf{m}_i$ , where  $\lambda_i$  and  $\mathbf{m}_i$  are representing the network characteristics and  $\sigma_0$  as square root of the a priori variance factor the global network accuracy.

For the following reflections we simulate a quadrilateral chain with 42 points and distance measurements. In fig. 3a the results of a free network adjustment are demonstrated. The arrows, composed by the x- and y-components of each point of the dominant weak form, and also the point error ellipses show the same behaviour as the vibration mode of the basic frequency of the free vibrating bar in fig. 2. The main component in the componentwise description of a weak form is the square root of the eigenvalue. Fig. 2b demonstrates the domination of the biggest eigenvalue in the leading group of 10 eigenvaluea, so the formulation “dominant weak form” is justified.

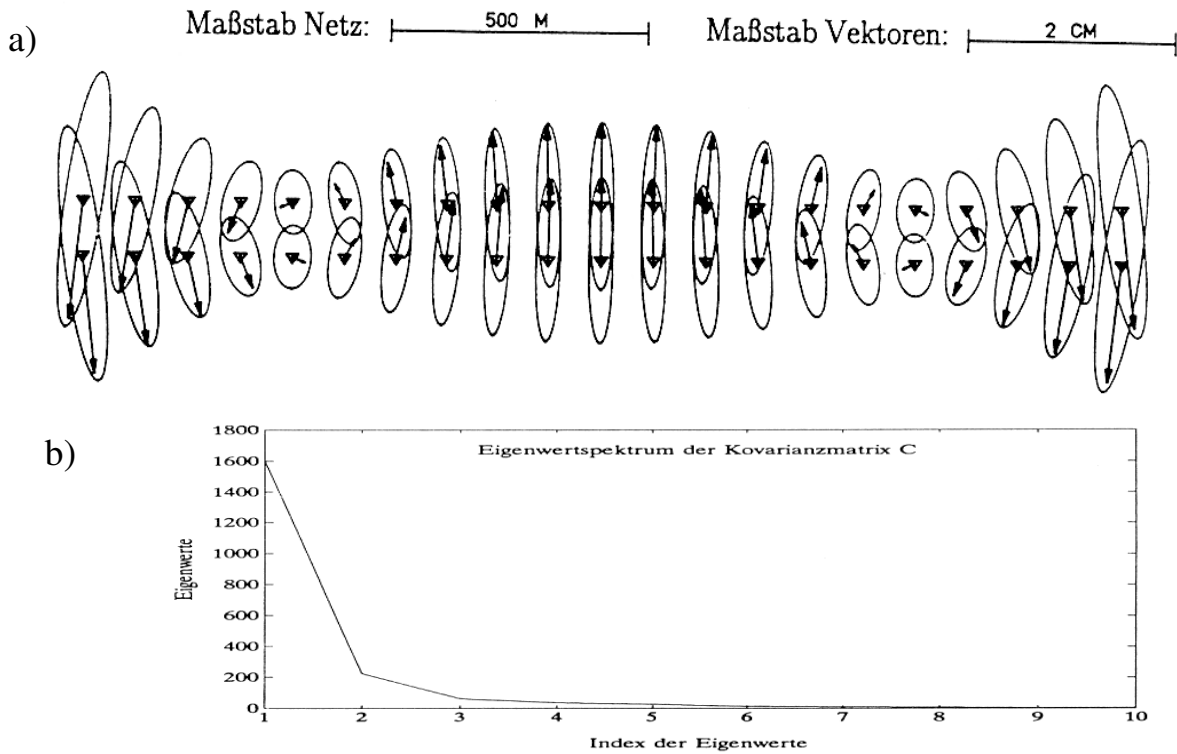


Figure 3: Free network chain of quadrilaterals with distance measurements

a) network plot with point error ellipses and arrows representing the dominant weak form

b) spectrum of the eigenvalues of the covariance matrix of coordinates

In order to avoid the problematic shown in fig.1 an alternative approach to the free adjustment and similarity transformation of the engineering network should be chosen, for example the introduction of the triangulation points as stochastic connection points (coordinates as direct observations with a stochastic modelling). A serious problem in monitoring networks is the separation of weak forms from real deformations of the object which is monitored. Schmitt et al. (1990) point to a geodynamic network in Romania, where the deformation analysis with respect to crustal movements gives nearly the same pattern of arrows as the dominant weak form of the network. Niemeier (1982) analyses similar problems in the analysis of repeated levellings.

#### Spectral optimization of geodetic networks

Considering the findings of the last investigations the optimal design of geodetic networks can be extended by a new aspect, the spectral optimization. The basic idea is the damping of at least the dominant weak form resp. a group of leading weak forms. The new additional criterion (to be added to accuracy, reliability and costs) is the stiffness of the network. General tools may be the contraction of the eigenvalue spectrum or the shifting of the vibration nodes, for the latter approach there is because of its complexity no solution until now on the market. General risk functions are the structure of the eigenvalue spectrum and the eigenvectors. A solution can be reached by handling inverse eigenvalue problems.

The complete theory is to be found in Jäger (1988), Jäger and Kaltenbach (1990) and Kaltenbach (1992) and has been extended to applications to general twodimensional networks in Schmitt (1997). The approach shall be compiled very shortly in the following.

We are restricting the considerations to the inverse eigenvalue problem of the normal equation matrix  $\mathbf{N}$ . Taking into account the configuration and the weight optimization (FOD and SOD), the design parameters  $\mathbf{c}$  – composed by the point coordinates  $\mathbf{x}$  and the observational weights  $\mathbf{p}$  – must be estimated in such a way, that  $\mathbf{N}$  gets a number of  $u$  postulated eigenvalues  $\lambda^*$ :

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{p}) = \lambda(\mathbf{x}, \mathbf{p}) - \lambda^*,$$

in the special case of  $u=1$  the approach is related only to the dominant eigenvalue  $\lambda_1$ . This problem is highly nonlinear and therefore embedded into an iterative Newton-approach. The basic problem is the linearisation of the eigenvalues with respect to the design parameters, which leads using  $\mathbf{\Lambda} = \mathbf{M}^T \mathbf{N} \mathbf{M}$  to

$$\lambda_{i,k} = \delta \lambda_i(\mathbf{x}, \mathbf{p}) / \delta c_k = \mathbf{m}_i^T(\mathbf{x}, \mathbf{p}) (\delta \mathbf{N}(\mathbf{x}, \mathbf{p}) / \delta c_k) \mathbf{m}_i(\mathbf{x}, \mathbf{p}).$$

In the centre are standing the partial derivatives of  $\mathbf{N}$  with respect to  $\mathbf{c}$  using dyadic products for the calculation of  $\mathbf{N}$  from the observation equations  $\mathbf{a}_j$  and the observation weights  $p_j$

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} = \sum p_j \mathbf{a}_j \mathbf{a}_j^T.$$

For an arbitrary number of  $u$  eigenvalues the relation between the necessary changes  $d\lambda$  of the eigenvalues and the changes  $d\mathbf{x}$  in the coordinates (FOD-part) and the weight changes  $d\mathbf{p}$  (SOD-part) is

$$d\lambda = \mathbf{V} \cdot d\mathbf{x} + \mathbf{U} \cdot d\mathbf{p}.$$

A controlled solution is possible by a hybrid norm

$$\mathbf{dx}^T \mathbf{K}_x^{-1} \mathbf{dx} + \mathbf{dp}^T \mathbf{K}_p^{-1} \mathbf{dp} \rightarrow \min ,$$

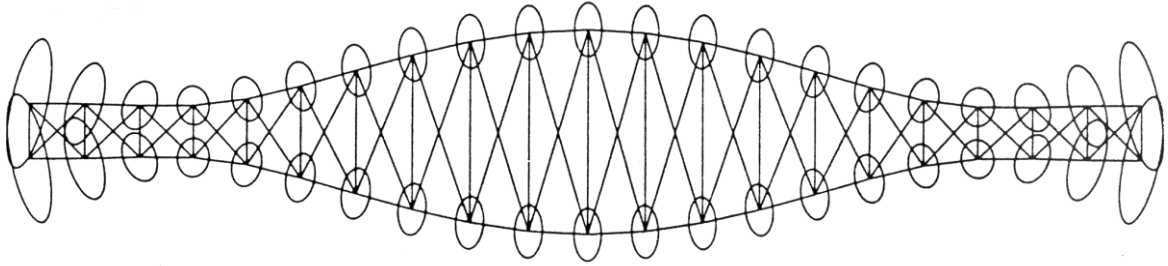
where  $\mathbf{K}_x$  resp.  $\mathbf{K}_p$  are “weight matrices” controlling the influence of the FOD- resp. the SOD-contribution to the design solution. The final equations give a solution for the changes in the design parameters based on the postulated changes in the eigenvalues:

$$[\mathbf{dx}, \mathbf{dp}]^T = [\dots\dots\dots] \mathbf{d\lambda} , [\dots] \text{ is standing for a complicated coefficient matrix,}$$

$$\mathbf{d\lambda} = \lambda^* - \lambda^v , \mathbf{dx} = \mathbf{x}^{v+1} - \mathbf{x}^v , \mathbf{dp} = \mathbf{p}^{v+1} - \mathbf{p}^v , \text{ stopping at } |\lambda^* - \lambda^{v+1}| \leq \varepsilon ,$$

$\varepsilon$  as a given convergence limit,  $(\dots)$  are iteration indices.

a)



b)

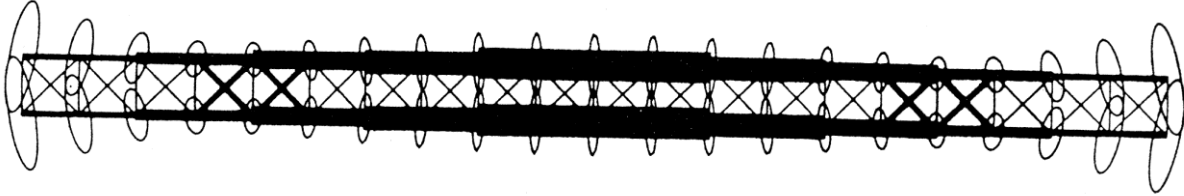


Figure 4: Results of the spectral optimization, reduction of the dominant eigenvalue by 40%

- a) 1<sup>st</sup> order design (configuration optimization), optimum shape and structure
- b) 2<sup>nd</sup> order design (weight optimization), optimum weight distribution

The network chain of fig. 3a is used to demonstrate the power of the spectral optimization approach applied for a pure FOD resp. SOD. In both cases the dominant eigenvalue (see fig. 3b) which is responsible for the dominant weak form was reduced by 40%. The optimal configuration (see fig. 4a) is obtained by a certain geometric widening of the chain in the middle part. The optimal weight distribution leads to increased accuracies for those distances in the middle part, which are parallel to the general chain direction (the bigger the observation line, the higher the accuracy!). Coming back to the analogies between geodetic networks and elastomechanical systems, it would provide a solution to interpret the chain as a steel construction for example in bridge-building. The construction is stiffened in the FOD-solution by “more material” and in the SOD-solution by “better material”.



## Conclusions

Analogies between elastomechanical systems and geodetic networks justify the consideration of weak forms as special characteristics of geodetic networks. A very critical problem is the separability of weak forms and real deformations in monitoring networks. Spectral optimization with the criterion of the stiffness of the network can help to damp weak forms and to increase the separability and therewith the network quality.

## References

- Jäger R. (1988): Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und Mechanische Analogien. Deutsche Geodätische Kommission, C-342, München.
- Jäger R. and H. Kaltenbach (1990): Spectral analysis and optimization of geodetic networks based on eigenvalues and eigenfunctions. Manuscripta Geodaetica 15, 302-311.
- Kaltenbach H. (1992): Optimierung geodätischer Netze mit spektralen Zielfunktionen. Deutsche Geodätische Kommission, C-393, München.
- Linkwitz K. (1961): Fehlertheorie und Ausgleichung von Streckennetzen nach der Theorie elastischer Systeme. Deutsche Geodätische Kommission, C-46, München.
- Niemeier W. (1982): Principal component analysis and geodetic networks – Some basic considerations. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München, Report 7, 275-291, München.
- Schmitt G. (1983): Optimization of Geodetic Networks. Reviews of Geophysics and Space Physics 20, 877-884.
- Schmitt G., Moldoveanu, T., Nica, V. and R. Jäger (1990): Deformation analysis of a local terrestrial network in Romania with respect to the Vrancea earthquake of August 30, 1986. IAG-Symposia 101 – Global and Regional Geodynamics, 211-222, Springer New York.
- Schmitt G. (1997): Spectral analysis and optimization of twodimensional networks. Geomatics Research Australasia 67, 47-66.

© Günter Schmitt, 2005

## ВЫЧИСЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГРУБЫХ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ

Для полного решения проблемы поиска грубых ошибок измерений в геодезических построениях необходимо вычислять значения грубых ошибок и оценивать их точность. Рассмотрим два возможных решения этих задач.

В работе [1] приведено описание высокоэффективного метода поиска грубых ошибок измерений в геодезических построениях – метода наложения графиков поправок (МНГП). В рамках МНГП вычисление грубых ошибок измерений производится по значениям поправок в измерения и элементов  $G$ -матрицы. Значение единственной грубой ошибки (в  $j$ -м измерении) вычисляется по формуле

$$\Delta_j = -V_j / g_{j,j}, \quad (1)$$

где  $V_j$  — поправка в  $j$ -е измерение, полученная из уравнивания;

$g_{j,j}$  — диагональный элемент  $G$ -матрицы ( $G = E - A \cdot N^{-1} \cdot A^T \cdot P$ );

$E$  — единичная матрица;

$A$  — матрица коэффициентов параметрических уравнений поправок;

$N^{-1}$  — матрица, обратная матрице коэффициентов нормальных уравнений  $N$  ( $N = A^T \cdot P \cdot A$ );

$P$  — диагональная матрица весов измерений.

Поскольку значения элементов  $G$ -матрицы зависят только от геометрии геодезической сети и назначенных весов измерений, то из формулы (1) следует, что

$$m_{\Delta_j} = m_{V_j} / g_{j,j}, \quad (2)$$

где  $m_{\Delta_j}$  — средняя квадратическая ошибка (СКО) вычисленного значения грубой ошибки  $j$ -го измерения;

$m_{V_j}$  — средняя квадратическая ошибка (СКО) поправки из уравнивания в  $j$ -е измерение.

Согласно теории МНК-уравнивания  $m_{V_j}$  выражается формулой

$$m_{V_j} = \mu_{ур} \cdot \sqrt{q_{V,j,j}}, \quad (3)$$

где  $\mu_{ур}$  — ошибка единицы веса из уравнивания;

$q_{V,j,j}$  — диагональный элемент корреляционной матрицы поправок  $Q_V$ .

Связь матрицы  $Q_V$  и  $G$ -матрицы, как известно, выражается формулой

$$Q_V = G \cdot P^{-1}. \quad (4)$$

Поскольку матрица обратных весов измерений  $P^{-1}$  является диагональной, то

$$q_{V,j,j} = g_{j,j} / p_j, \quad (5)$$

где  $p_j$  — вес  $j$ -го измерения.

Формула (2) с учётом формул (3) и (5) запишется в виде

$$m_{\Delta_j} = \frac{\mu_{yp}}{\sqrt{g_{j,j}} \cdot \sqrt{p_j}}. \quad (6)$$

Значение  $\mu_{yp}$  должно быть получено при уравнивании геодезической сети после удаления из неё грубых ошибок измерений. По идеологии алгоритма МНГП значение  $\mu_{yp}$  должно быть очень близко к проектному значению ошибки единицы веса  $\mu_0$ , так как поиск грубых ошибок продолжается до тех пор, пока не будет выполняться условие

$$\mu_{yp} \leq \mu_0. \quad (7)$$

Заменив в формуле (6)  $\mu_{yp}$  на  $\mu_0$  и учтя, что  $\frac{\mu_0}{\sqrt{p_j}} = m_j$  (где  $m_j$  — СКО  $j$ -го измерения), получим окончательную формулу СКО вычисленного значения грубой ошибки  $j$ -го измерения

$$m_{\Delta_j} = \frac{m_j}{\sqrt{g_{j,j}}}. \quad (8)$$

Применим эту формулу для анализа геодезической сети на стадии проектирования. Пусть это будет равноточная сеть, в которой количество избыточных измерений равно количеству определяемых неизвестных ( $r = t$ ). Сумма диагональных элементов  $G$ -матрицы, как известно, равна количеству избыточных измерений в сети; а поскольку количество измерений равно удвоенному количеству избыточных измерений ( $n = 2r$ ), то в среднем по сети  $g_{j,j} = r/n = 0,5$ ; подставим это значение  $g_{j,j}$  в (8) и получим

$$m_{\Delta_j} = 1,4 \cdot m_j. \quad (9)$$

Само значение грубой ошибки должно быть примерно в три раза больше своей средней квадратической ошибки  $m_{\Delta_j}$ , следовательно

$$\Delta_j \approx 4 \cdot m_j. \quad (10)$$

Формула (10) показывает, что, применяя метод наложения графиков поправок, можно реально обнаружить грубую ошибку измерения на уровне четырёхкратной ошибки самого измерения. Этот множитель, конечно, может незначительно меняться в зависимости от геометрии сети и соотношения весов измерений.

Если в геодезической сети больше одной грубой ошибки, то их значения вычисляются из решения системы уравнений; количество уравнений при этом равно количеству вычисляемых грубых ошибок. В этом случае СКО вычисленных значений грубых ошибок получаются несколько меньше, чем по формуле (8), так как формула (8) характеризует, строго говоря, проектную СКО значения грубой ошибки и может применяться на стадии проектирования для выбора оптимального варианта геодезической сети.

С другой стороны, возможность прямого вычисления грубых ошибок измерений и оценки их точности заложена в самой теории параметрического МНК-уравнивания. Действительно, зная номера грубоошибочных измерений, можно объявить истинные ошибки этих измерений дополнительными

неизвестными; затем нужно выполнить стандартный цикл обработки (составление параметрических уравнений поправок, составление нормальных уравнений параметров, решение этих уравнений, получение уравненных значений неизвестных и их корреляционной матрицы, являющейся обратной матрицей по отношению к матрице коэффициентов нормальных уравнений). Предварительные значения дополнительных неизвестных можно принять равными нулю; однако, при больших грубых ошибках (так называемых "выбросах" на уровне  $20 \cdot m$  и более) лучше принять их равными тем значениям, которые получились при предварительном анализе.

По этой методике при уравнивании геодезической сети параметрическим способом влияние грубых ошибок на результаты уравнивания исключается, и для каждой грубой ошибки вычисляются её значение  $\Delta$  и обратный вес  $q$ , равный соответствующему диагональному элементу  $q_{i,i}$  корреляционной матрицы неизвестных  $N^{-1}$ , а средняя квадратическая ошибка вычисленного значения грубой ошибки, как и любого другого неизвестного, вычисляется по формуле

$$m_{\Delta_i} = \mu_{ур} \cdot \sqrt{q_{i,i}}. \quad (11)$$

Следует отметить, что в этом варианте счёта значение СКО единицы веса  $\mu_{ур}$  получается несколько большим по сравнению с вариантом, когда в геодезической сети нет грубых ошибок, так как количество избыточных измерений в рассматриваемом нами случае уменьшается на число дополнительных неизвестных.

Понятно, что для реализации этой методики нужно сначала установить номера грубоошибочных измерений с помощью МНГП.

Тестирование нескольких геодезических сетей на грубые ошибки измерений (в том числе и нивелирной сети из [2]) показало, что значения грубых ошибок, вычисляемые при применении МНГП, совпадают со значениями грубых ошибок, вычисляемыми при применении стандартной методики параметрического способа уравнивания, а величины их СКО различаются не более, чем на 10%, что, по нашему мнению, вполне удовлетворительно.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дьяков, Б.Н. Поиск грубых ошибок измерений методом наложения графиков поправок [Текст] / Б.Н. Дьяков, Ю.В. Родионова // Геодезистъ. – 2002. - № 4. – С.22-24.
2. Дьяков, Б.Н. О контроле, поиске и учете грубых ошибок измерений [Текст] / Б.Н. Дьяков, М.П. Рудикова // Геодезия и картография. - 1997. - № 6. - С.21-24.

© Б.Н. Дьяков, Ю.В. Родионова, 2005

## **РОЛЬ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (ГК) ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Надежность и безопасность являются основными требованиями к качеству эксплуатации технических объектов, к которым в первую очередь относятся здания, сооружения и оборудование промышленных предприятий и гражданских комплексов.

Анализ аварий зданий и сооружений свидетельствует, что основными причинами их являются:

1. Некачественное проектирование (ошибки расчетных схем; ошибки выбора материала; слабой достоверностью инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий; неверным учетом природно-климатических, силовых и других воздействий; ошибки в обеспечении жесткости и устойчивости системы при принятии проектных решений);

2. Ошибки строительства (низкое качество строительно-монтажных работ: ослабление сечений элементов конструкций, узлов, сварных швов; замены стали с более низкими прочностными характеристиками; утяжеление конструкций при устройстве покрытий; низкое качество бетона; уменьшение количества арматуры; нарушение технологии бетонирования и др.);

3. Нарушения конструкций при эксплуатации (повреждения от силовых воздействий, приводящие к трещинам, разрывам, потери устойчивости, расшатыванию соединений; повреждения от механических воздействий, приводящие к прогибам, вмятинам, искривлениям, истираниям; повреждения от физических воздействий, приводящие к короблению и трещинам при низких и высоких температурах; повреждения от химических воздействий, приводящие к коррозии металла и разрушению бетона).

Многократное увеличение числа аварий в настоящее время связано не только с техническими причинами, показанными выше, но и с социально-экономическими условиями, присущими нашему обществу: экономия, небрежность, невежество, нанесение вреда путем взрывов и пожаров, и особенно, снижение уровня контроля на всех стадиях строительства и эксплуатации, а также разрушение системы планово-предупредительных ремонтов.

В последнее время в качестве основных причин выдвигаются неучтенные в проектах природные факторы – цунами, наводнения и подтопления территорий, силовые воздействия ураганов, селей и оползней и т.п.

Проблема увеличения надежности и продления срока службы конструкций является актуальной хозяйственной задачей, так как эффективность вытекающих из ее решения мероприятий по предотвращению отказов и аварий не подлежит сомнению.

Решение этой проблемы достигается правильно поставленной технической диагностикой и эксплуатацией его зданий, сооружений и оборудования.

Техническая эксплуатация здания или сооружения - использование здания или сооружения по функциональному назначению с проведением необходимых мероприятий по сохранению конструкций, при котором они способны выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Для надежной эксплуатации зданий и сооружений большое значение имеют оценки их технического состояния, в которых большая роль отводится геодезическому контролю положения и деформации конструкций.

Техническим состоянием называется совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризующая в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект. Признаками технического состояния объекта могут быть качественные и количественные характеристики его свойств.

Для оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в отраслях промышленности на основе опыта работ разработаны категории состояний конструкций зданий и сооружений.

Для каждой категории состояний разработаны уровни основных дефектов и повреждений, пользуясь которыми специалист производит диагностирование конструкций и по совокупности измеряемых параметров технического контроля (а геодезист - по геометрическим параметрам) сможет сделать заключение о состоянии контролируемого объекта.

Система диагностирования реализует некоторый алгоритм. Этот алгоритм состоит из определенной совокупности элементарных проверок объекта, а также правил, устанавливающих последовательность реализации элементарных проверок, и правил анализа результатов последних. В качестве единичных диагностических признаков для зданий и сооружений в общем случае должны проверяться:

- Соответствие (несоответствие) исполнительной схемы объекта диагностирования или конструкций, изделий, материалов и прочего проектным данным и требованиям нормативно-технической документации;
- Отклонения конструкций или их составных частей от проектного положения по горизонтали, в плане и по вертикали;
- Деформация конструкций;
- Ослабление сечений конструкций, изделий и деталей крепления болтовых или сварных соединений;
- Снижение прочности стали;
- Снижение прочности бетона;
- Влажность материалов ограждающих конструкций;
- Ослабление (разрушение) противокоррозийного и пароводоизоляционного покрытий.

Как видно из перечисления, одними из важнейших проверок являются проверки отклонения конструкций от проектного положения и их деформации

(контроль геометрических параметров), которые определяются на основе геодезических измерений.

Геодезический контроль геометрических параметров, характеризующих техническое состояние объекта, является частью технического контроля технических состояний зданий и сооружений промышленных предприятий, должен базироваться на основных принципах и понятиях системы технического контроля, изложенных в машиностроении и строительстве и других сферах деятельности, с учетом специфики решаемых задач, объектов и условий контроля.

В СГГА, на основе научных исследований и практического опыта в работах [1] и [2] обобщены теоретические основы построения системы ГК, включающие принципы, структуру, элементы системы и их взаимосвязь. Изложены основные положения проектирования и производства ГК, включающие детальную проработку вышеназванных процессов, начиная от сбора исходной информации для проектирования ГК на предприятии до анализа состояния конструкций объекта по геометрическому признаку.

Наиболее важными факторами проектирования системы геодезического контроля (СГК) являются комплексный подход к решению проблемы, а также применение принципов системности, стандартизации, оптимальности, динамичности, преемственности, адаптации.

Комплексный подход предусматривает максимальное удовлетворение интересов всех организаций и предприятий, использующих результаты геодезического контроля (ГК) технических состояний - проектировщиков, строителей, эксплуатационников зданий и сооружений, а также учет всех основных факторов, влияющих на оценку технического состояния объектов.

Системный подход заключается в том, что геодезический контроль технического состояния должен разрабатываться как единая система, основные элементы которой - объект, метод, средства, документация и условия контроля.

Принцип оптимальности при разработке системы геодезического контроля заключается в том, что каждый элемент системы обеспечивает решение поставленных задач при минимальных затратах на её разработку и максимальном эффекте от её функционирования.

Принцип стандартизации состоит в том, что основные функции, задачи и требования к СГК должны обеспечиваться стандартами. Стандарты являются базой системы, позволяющей внедрять ГК по определению технического состояния объектов на всех промышленных предприятиях и гражданских комплексах.

Принцип динамичности заключается в том, что в СГК должна предусматриваться возможность её совершенствования и развития с учетом требований технического прогресса.

Принцип преемственности заключается в максимальном использовании передового опыта разработки СТК в машиностроении, приборостроении, строительстве с учетом специфики эксплуатации строительных объектов и проведения геодезических работ.

Принцип адаптации состоит в разработке и введении в СГК элементов, обеспечивающих быструю приспособляемость СГК к специфике объектов контроля.

Исходя из выше изложенных принципов, построение СГК должно осуществляться с позиций системного подхода. Основываясь на системном подходе, СГК технического состояния конструкций зданий и сооружений определяют, как и систему технического контроля в машиностроении, через функцию  $F_{ГК}$ , вход  $X_{ГК}$ , выход  $Y_{ГК}$ , структуру  $S_{ГК}$  и связь с окружающей средой  $H_{ГК}$ , т.е.

$$СГК = ( F_{ГК}, X_{ГК}, Y_{ГК}, S_{ГК}, H_{ГК} ). \quad (1.1)$$

Структура включает совокупность элементов, свойства элементов и взаимосвязь элементов. Элементами ГК являются объекты контроля и их геометрические параметры, методы, средства измерений, исполнитель и документация. Результатами взаимодействия элементов СГК является технологический процесс геодезического контроля.

Система геодезического контроля функционирует по определенным правилам, установленным в технической документации контроля. Структура и взаимосвязь элементов приведены на рисунке.

Входами СГК служат здания и сооружения промышленного предприятия и управляющая документация в виде технических заданий на проектирование, проектная и исполнительная документация на строительство и эксплуатацию. Сюда следует отнести также современную нормативную документацию по диагностике, техническому и геодезическому контролю конструкций.

Выходами является документация, отражающая техническое состояние объектов по геометрическому признаку. Эту информацию используют для управления технической эксплуатацией зданий, сооружений и оборудования предприятия.

К окружающей среде отнесены внешние и внутренние воздействия и нагрузки на здания и сооружения, возникающие в процессе эксплуатации и приводящие к изменению геометрических параметров конструкций зданий и сооружений; система организации и управления технической эксплуатацией и качество технологической документации на технический и геодезический контроли.

Взаимодействие окружающей среды и системы ГК представляется в виде связей и выходов системы.

Функция СГК состоит в предотвращении, на основе проверки геометрических параметров, брака в определении фактического технического состояния конструкций зданий, сооружений и технологического оборудования.

Система геодезического контроля характеризуется различными свойствами: точностью, стоимостью, достоверностью, полнотой и др. Все свойства СГК можно разделить на связанные со свойствами будущего объекта (достоверность определения параметров, характеризующих техническое состояние объектов) и с экономическими показателями (стоимостью и трудоемкостью контроля).





Рис. Структура и взаимосвязь элементов SGK

Подробное описание системы и процессов ГК приводятся в работах [1] и [2]. В них также на конкретных примерах приводятся особенности проектирования и производства ГК для характерных объектов и присущих им видам геометрических параметров. Обширные приложения [2] содержат справочный материал технического и нормативного характера, позволяющий

обеспечить качественное проектирование и выполнение геодезического контроля по оценке технического состояния инженерных объектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуков Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. –356 с.

2. Жуков Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. – Новосибирск: СГГА, 2004. –376 с.

© Б.Н. Жуков, 2005

УДК 528.089

*И.В. Лесных, А.В. Скрипников*

СГГА, Новосибирск

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В настоящее время одной из актуальных задач топографо-геодезического обеспечения хозяйственной деятельности на территории городов является создание, либо коренная реконструкция городских геодезических сетей.

Создание геоинформационных систем (ГИС) различного назначения требует топографических планов, точность которых во многом определяется точностью планового обоснования.

В ближайшее время наиболее перспективным методом для создания опорных плановых сетей на застроенных территориях является метод, основанный на спутниковых технологиях. Этот метод требует выполнения одного важного условия – обеспечения беспрепятственного приёма радиосигналов со спутниковых навигационных систем. В условиях застроенных территорий создание геодезических сетей сгущения по плотности пунктов соответствующих полигонометрическим сетям 1 и 2 разряда может вызвать большие затруднения. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать опорные геодезические плановые сети, по своим параметрам соответствующие полигонометрии 4 класса.

Проектирование городских геодезических сетей необходимо выполнять в несколько ступеней [1]. Первая ступень сети создаётся в виде каркаса не менее чем из 4-х пунктов. Эти пункты должны быть определены от 4-х ближайших пунктов Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС). Не рассматривая методику измерений и их обработку, следует отметить, что при уравнивании каркасной сети необходимо рассматривать все варианты схем привязки определяемых пунктов к пунктам ФАГС. Это необходимо для более ясного представления о взаимной точности пунктов и точности выполненных измерений.

Вторая ступень городской геодезической сети создаётся, в зависимости от формы территории города, либо в виде сети элементарных фигур, либо в виде вытянутых ходовых линий, замыкающихся, например, через две линии хода. Конечные пункты точек фигур, либо ходовых линий должны опираться на пункты первой ступени.

Для наглядности проектирования сетей предлагается использовать электронные карты, созданные на территории городов. При отсутствии электронной карты крупного масштаба при проектировании каркасной сети может применяться и мелкомасштабные электронные карты.

Алгоритм первого программного приложения к MapInfo предлагает ввести координаты пунктов ФАГС и координаты пунктов каркасной сети. Разработанный алгоритм рисует схему сети, подсчитывает количество измеряемых базисных линий. На втором этапе проектирования необходимо определить примерное количество пунктов или проектные расстояния. Задав площадь проектирования, выбираем метод проектирования (цепочки треугольников или вытянутые траверсы). Алгоритм программы строит сеть в виде регулярной сети пунктов, равномерно покрывающей всю территорию. Созданная на выбранном слое электронной карты регулярная сеть пунктов может использовать либо как основа при уточнении местоположения пунктов, либо в качестве подложки. Проект сети не должен содержать базисных линий, затрудняющих чтение проекта, он должен быть наглядным для проектирования сеансов наблюдений.

Существует много видов программного обеспечения, которое позволяет планировать наилучшее время для GPS-наблюдений с учётом препятствий. Но в тоже время при проектировании остаётся нерешённым вопрос об автоматизации выбора наилучшего места установки спутниковой аппаратуры в некоторой области с учётом ситуации на местности.

Для решения поставленной задачи была разработана методика, позволяющая автоматически получать наилучшие точки стояния спутниковой аппаратуры в некоторых областях. При разработке данной методики были использованы программные продукты Trimble Geomatics Office, версия 1.5, MapInfo 7.0, MapBasic 7.0, средства Windows («Блокнот»).

При проектировании использовалась цифровая карта созданная в ГИС MapInfo (рис. 1). Цифровая карта создавалась с учётом современных требований и действующих инструкций [2-5] и представляется собой векторную карту с семантической информацией, присоединённой к объектам.

За объект принимался элемент местности природного или искусственного происхождения, имеющий кроме геометрических характеристик, т. е. пространственного расположения на местности, и смысловые характеристики, представляющие собой информацию о функциональных, технических или природных качествах объекта. Для структурирования информации об объектах местности была выполнена генерализация классификатора топографической информации.

В программе Trimble Geomatics Office генерировался файл прогноза числа спутников и величины PDOP на конкретную дату наблюдений и определённое место наблюдений «\*. REP» с заданной маской по углу возвышения. Средствами Windows («Блокнот») этот файл конвертируется в «\*. txt» для удобства при дальнейшем использовании программным приложением, написанном на языке программирования MapBasic 7.0.

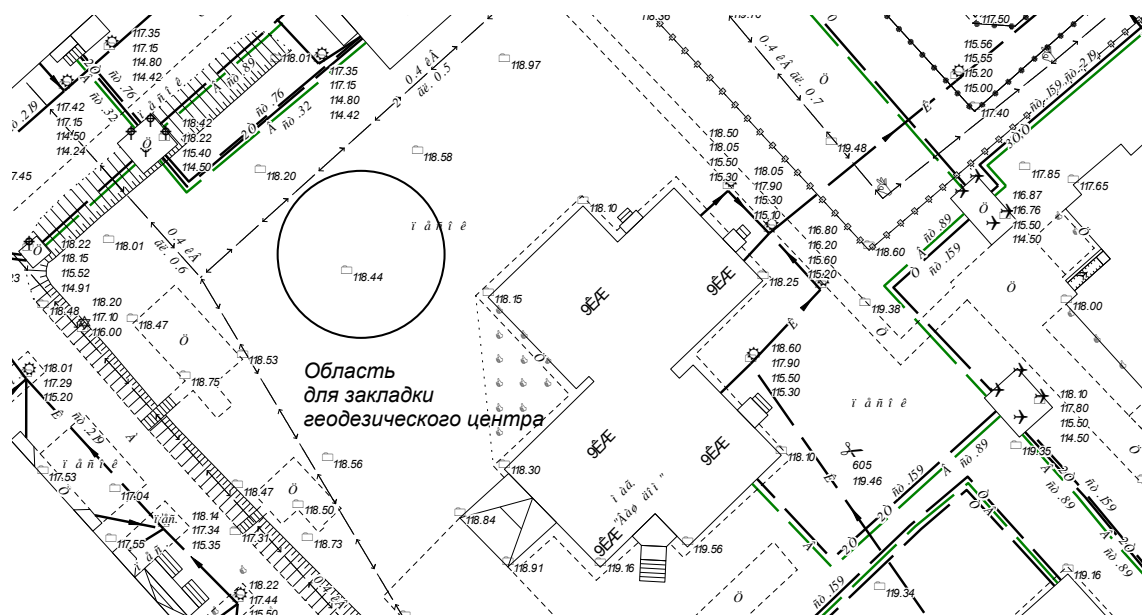


Рис. 1. Фрагмент цифровой карты

В файле «\*.txt» с дискретностью 10 минут указываются видимые спутники, азимут, угол возвышения каждого спутника и PDOP для созвездия спутников (рис. 2).

Дата: 29 Март 2005 Маска по углу возвышения: 15 (град.) Часовой пояс: PP1 6:00  
 28 видимых спутников: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 17 18 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31  
 Дискретность: 10 мин.

| Время                                       | El | Az  | El | Az  | El | Az  | El | Az  | El | Az  | El | PDOP |
|---------------------------------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|------|
| ***** Изменение созвездия на 7 спутн. ***** |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |      |
| Спутники                                    | 6  |     | 10 |     | 22 |     | 23 |     | 25 |     |    |      |
| 0:00                                        | 26 | 84  | 29 | 311 | 36 | 201 | 23 | 203 | 37 | 86  | 28 | 3.1  |
| 0:10                                        | 27 | 80  | 30 | 306 | 40 | 201 | 19 | 202 | 33 | 88  | 32 | 2.8  |
| ***** Изменение созвездия на 6 спутн. ***** |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |      |
| Спутники                                    | 6  |     | 10 |     | 22 |     | 25 |     | 28 |     |    |      |
| 0:20                                        | 28 | 75  | 32 | 302 | 45 | 201 | 29 | 90  | 37 | 199 | 65 | 3.5  |
| ***** Изменение созвездия на 7 спутн. ***** |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |      |
| Спутники                                    | 3  |     | 6  |     | 10 |     | 22 |     | 25 |     |    |      |
| 0:30                                        | 17 | 143 | 29 | 70  | 33 | 297 | 50 | 200 | 25 | 92  | 42 | 2.7  |
| ***** Изменение созвездия на 8 спутн. ***** |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |      |
| Спутники                                    | 3  |     | 6  |     | 10 |     | 22 |     | 25 |     |    |      |
| 0:40                                        | 21 | 141 | 29 | 66  | 33 | 291 | 55 | 200 | 21 | 94  | 47 | 2.5  |
| 0:50                                        | 25 | 138 | 29 | 61  | 32 | 286 | 60 | 198 | 17 | 95  | 51 | 2.4  |

Рис. 2. Фрагмент текстового файла из Trimble Geomatics Office

Далее в ГИС MapInfo указывается (создаётся) предполагаемая область для установки спутниковой аппаратуры и запускается разработанное программное приложение «Планирование.mbx» на языке MapBasic.

Область разбивается на элементарные участки параллельными прямыми (рис. 3). В каждом элементарном участке вычисляется его центральная точка.

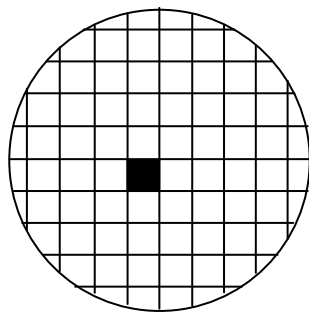


Рис. 3. Разбивка области на элементарные участки

Для сооружений и других объёмных объектов искусственного происхождения задаются уравнения граней их плоскостей [6]

$$x_1 \cos \alpha_1 + x_2 \cos \alpha_2 + x_3 \cos \alpha_3 = p \quad (p \geq 0), \quad (1)$$

где  $v = \{\cos \alpha_1, \cos \alpha_2, \cos \alpha_3\}$  - единичный вектор, задающий направление радиус-вектора  $a$ ,  $p = |a|$  - длина вектора  $a$ ,  $X(x_1, x_2, x_3)$  - произвольная точка принадлежащая плоскости.

Для одиночных объектов растительного происхождения задаются уравнения цилиндрической поверхности [10]:

$$\frac{X - x}{l} = \frac{Y - y}{m} = \frac{Z - z}{n}, \quad (2)$$

где  $x, y, z$  - координаты точки направляющей,  $l, m, n$  - координаты направляющего вектора образующей;  $X, Y, Z$  - текущие координаты точки образующей.

Траектория прохождения сигнала от спутника к приёмнику считается идеальной и принимается за прямую. Уравнение прямой задаётся в виде [10]:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{a} \cdot t \quad (3),$$

где  $\vec{r}\{x, y, z\}$  - радиус-вектор любой точки прямой;  $\vec{r}_0\{x_0, y_0, z_0\}$  - радиус-вектор центральной точки элементарного участка;  $\vec{a}$  - направляющий вектор прямой, вычисляемый по азимуту и углу возвышения, считываемых из текстового файла;  $t$  - параметр, принимающий всевозможные значения.

Все необходимые данные считываются с цифровой карты и из семантических таблиц, на их основе вычисляются необходимые параметры для построения плоскостей и прямых.

Далее решаются совместно уравнения плоскостей и прямых. Если при решении уравнений находится хотя бы одна точка пересечения плоскостей объекта и прямой, то данный спутник, по углу возвышения которого была смоделирована прямая, исключается на данную эпоху. После выполнения анализа по всем спутникам на все эпохи, делается вывод о наилучшем месте наблюдения в некоторой области.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. [текст] - М.: ЦНИИГАиК, 2003.

2. 2 ОСТ 68-3.5-99 Карты цифровые топографические. Обменный формат. Общие положения. - М.: ЦНИИГАиК, 1999.
3. ГОСТ Р 51605 – 2000 Карты цифровые топографические. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
4. ГОСТ Р 51606 – 2000 Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
5. ГОСТ Р 51607 – 2000 Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
6. А.А. Гусак. Аналитическая геометрия и линейная алгебра. Справочное пособие к решению задач, Минск, ТетраСистеме, 1998.

© И.В. Лесных, А.В. Скрипников, 2005

УДК 528.11

Ю.В. Родионова

СГГА, Новосибирск

### **МЕТОД НАЛОЖЕНИЯ ГРАФИКОВ ПОПРАВOK – ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКА ГРУБЫХ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЯХ**

В последнее время одной из актуальных проблем математической обработки геодезических измерений является проблема контроля, поиска и учета грубых ошибок измерений.

По происхождению грубые ошибки являются случайными, так как грубая ошибка в конкретном измерении может либо появиться, либо нет. Причины их появления различны: промахи и просчеты наблюдателя, резкие изменения внешних условий измерений, некорректный ввод информации о результатах измерений в соответствующее программное обеспечение ЭВМ и так далее.

Однако, в теории обработки измерений грубые ошибки нельзя считать случайными, так как они не подчиняются статистическим закономерностям случайных ошибок и обладают свойствами, отличными от свойств случайных ошибок:

а) По абсолютной величине грубые ошибки превышают предел, установленный для случайных ошибок измерений;

б) Математическое ожидание грубой ошибки  $M(\Delta_{\text{груб}})$  равно самой грубой ошибке  $\Delta_{\text{груб}}$  ( $M(\Delta_{\text{груб}}) = \Delta_{\text{груб}}$ );

в) Вероятность появления грубой ошибки  $P_{\text{груб}}$  зависит от принятого уровня доверительной вероятности  $P_{\text{случ}}$ , для которого определен предел абсолютных значений случайных ошибок измерений, и вычисляется по формуле

$$P_{\text{груб}} = 1 - P_{\text{случ}}. \quad (1)$$

Согласно [1] "контроль грубых ошибок — это набор тестов, позволяющих устанавливать наличие в  $n$  измерениях хотя бы одного грубого".

В качестве таких тестов могут выступать следующие общеизвестные признаки наличия грубых ошибок измерений в геодезическом построении:

– Наличие одной или нескольких невязок условных уравнений, превышающих допустимые значения, при уравнивании геодезического построения коррелятным способом метода наименьших квадратов;

– Наличие одного или нескольких свободных членов избыточных измерений, превышающих допустимые значения, при уравнивании геодезического построения рекуррентным способом;

– Наличие недопустимых значений поправок измерений, вычисляемых при уравнивании геодезического построения параметрическим или коррелятным способом метода наименьших квадратов;

– Увеличение ошибки единицы веса  $\mu_{yp}$  после уравнивания по сравнению с ее проектным значением  $\mu_0$ ;

– Увеличение после уравнивания значений среднеквадратических ошибок неизвестных и функций от них по сравнению с проектными значениями;

– Нарушение условия [2]

$$\sum_{i=1}^n (p_i \cdot V_i^2) \leq \mu_0^2 \cdot \chi_{p_0, r}^2, \quad (2)$$

где  $n$  — количество измерений в геодезическом построении;

$p_i$  — вес  $i$ -го измерения;

$V_i$  — поправка в  $i$ -е измерение;

$\mu_0$  — проектное значение ошибки единицы веса;

$\chi_{p_0, r}^2$  — коэффициент, значение которого зависит от принятой доверительной вероятности и числа степеней свободы (или количества избыточных измерений в геодезическом построении).

Согласно [1] "поиск грубой ошибки — это комплекс мероприятий по локализации ошибки с точностью до подгруппы из  $k$  измерений, ( $k \ll n$ , в предельном случае  $k=1$ )".

Данное понятие необходимо расширить и считать поиском грубых ошибок измерений комплекс мероприятий по решению следующих задач:

- Обнаружение всех возможных комбинаций грубых ошибок измерений;
- Вычисление значений грубых ошибок измерений;
- Выполнение оценки точности вычисленных значений грубых ошибок;
- Выявление всех комбинаций измерений, в которых принципиально невозможно обнаружить грубые ошибки.

В результате выполненных исследований установлено, что наиболее перспективными для решения перечисленных задач являются методы, в которых используются уравнения, связывающие поправки в измерения с истинными ошибками измерений. Такие уравнения есть только в теории параметрического способа МНК-уравнивания; их количество равно количеству измерений, что дает возможность тестировать на грубые ошибки все измерения без исключения. Эти уравнения служат основой для поиска грубых ошибок в методике Коугия В.А. [3], [4], в методике Дьякова Б.Н. и Фёдоровой Н.В. [5] и в некоторых других.

Однако среди известных методов до недавнего времени не было ни одного, позволяющего решать всю совокупность обозначенных задач, и существовала острая необходимость разработки нового полифункционального метода.

В 2001 году данная проблема была успешно решена — разработан новый автоматизированный метод поиска грубых ошибок измерений, характеризующийся высокой эффективностью и универсальностью, — метод наложения графиков поправок (сокращенно — МНГП) [6].

Теоретической основой МНГП является матричное уравнение, связывающее вектор поправок в измерения  $V$  с вектором истинных ошибок измерений  $\Delta$  [7]

$$V = -G \cdot \Delta, \quad (3)$$

где  $G$  — матрица, вычисляемая по формуле  $G = E - A \cdot N^{-1} \cdot A^T \cdot P$ ;

$E$  — единичная матрица;

$A$  — матрица коэффициентов параметрических уравнений поправок;

$N^{-1}$  — матрица, обратная матрице коэффициентов нормальных уравнений  $N$  ( $N = A^T \cdot P \cdot A$ );

$P$  — диагональная матрица весов измерений.

Используя уравнение (3), поправку  $V_i$  каждого измерения можно представить в виде линейной комбинации истинных ошибок измерений

$$V_i = -\sum_{j=1}^n (g_{i,j} \cdot \Delta_j), \quad (4)$$

где  $g_{i,j}$  — элементы  $i$ -той строки  $G$ -матрицы;

$\Delta_j$  — истинная ошибка  $j$ -го измерения.

При отсутствии в геодезическом построении грубых ошибок измерений истинные ошибки  $\Delta_j$ , произведения  $g_{i,j} \cdot \Delta_j$  и поправки  $V_i$  являются случайными величинами, и их математические ожидания равны нулю.

Если среди измерений есть одно грубое с истинной ошибкой  $\Delta_j$ , то одно слагаемое в формуле (4) будет иметь ненулевое математическое ожидание, так как  $M(\Delta_j) = \Delta_j$  и  $M(g_{i,j} \cdot \Delta_j) = g_{i,j} \cdot \Delta_j$ . Тогда формулу (4) можно переписать в виде

$$V_i = -g_{i,j} \cdot \Delta_j + \varepsilon_i, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_i$  — суммарное влияние случайных ошибок остальных измерений.

Поскольку  $M(\varepsilon_i) = 0$ , то из формулы (5) при  $\varepsilon_i = 0$  и  $i = j$  можно вычислить истинную ошибку  $\Delta_j$  по формуле

$$\Delta_j = -V_j / g_{j,j}. \quad (6)$$

Идея метода наложения графиков заключается в наложении графика величин  $(-g_{i,j} \cdot \Delta_j)$  на график поправок из уравнивания  $V_i$ . Так как несовпадение графиков в каждой точке равно величине  $\varepsilon_i$ , можно вычислить среднее квадратическое отклонение этих графиков

$$\delta_j = \sqrt{(\sum (p_i \cdot \varepsilon_i^2)) / n}, \quad (7)$$

где  $p_i$  — вес  $i$ -го измерения;

$n$  — количество измерений в геодезическом построении.



Величина  $\varepsilon_i$  является случайной составляющей поправок  $V_i$  и её реальные значения могут отличаться от нуля, поэтому для  $\delta_j$  необходимо вычислять предел  $\delta_0$

$$\delta_0 = \mu_0 \cdot \sqrt{r/n}, \quad (8)$$

где  $\mu_0$  — проектное значение ошибки единицы веса;

$r$  — количество избыточных измерений в геодезическом построении.

В общем случае местонахождение грубой ошибки неизвестно, поэтому значения  $\Delta$  и  $\delta$  нужно вычислить для всех измерений, а затем сравнить полученные значения средних квадратических отклонений со значением  $\delta_0$ . Поскольку грубая ошибка  $\Delta_j$  содержится только в  $j$ -том измерении, то величина  $\varepsilon$  любого другого измерения будет включать влияние грубой ошибки  $\Delta_j$ , и величина  $\delta$  для него будет превышать предел  $\delta_0$ . Для грубого измерения значение  $\delta$  будет меньше значения  $\delta_0$ .

Если в геодезическом построении имеется два грубых измерения с истинными ошибками  $\Delta_j$  и  $\Delta_l$ , то в этом случае формула (4) запишется в виде

$$V_i = -g_{i,j} \cdot \Delta_j - g_{i,l} \cdot \Delta_l + \varepsilon_i. \quad (9)$$

При поиске двух грубых ошибок выполняется наложение графика величин  $(-g_{i,j} \cdot \Delta_j - g_{i,l} \cdot \Delta_l)$  на график поправок из уравнивания  $V_i$  и подсчитывается среднее квадратическое отклонение этих графиков по формуле (7).

Значения истинных ошибок  $\Delta_j$  и  $\Delta_l$  следует получить из решения системы двух уравнений [5]

$$\begin{aligned} g_{j,j} \cdot \Delta_j + g_{j,l} \cdot \Delta_l &= -V_j, \\ g_{l,j} \cdot \Delta_j + g_{l,l} \cdot \Delta_l &= -V_l. \end{aligned} \quad (10)$$

В общем случае истинные ошибки и величина  $\delta$  вычисляются для всех комбинаций пар измерений. Значение  $\delta$  для комбинации двух грубоошибочных измерений будет меньше предела  $\delta_0$ .

Тестирование на грубые ошибки можно осуществлять и для комбинаций из трех, четырех и так далее измерений, пока не будет найдена искомая комбинация, содержащая грубые ошибки. Теоретически наибольшее количество грубых ошибок в геодезическом построении не должно превышать  $(r-1)$ , однако, практически оно не должно быть больше одной трети от  $r$ .

Вследствие геометрических параметров конкретного геодезического построения вектору поправок  $V$  может соответствовать не одна, а несколько равновозможных комбинаций грубых ошибок измерений. В результате применения любого из известных методов поиска грубых ошибок будет обнаружена только одна, не обязательно верная, комбинация грубых ошибок измерений. В результате же применения МНГП будут обнаружены все возможные комбинации грубых ошибок измерений, соответствующие вектору поправок  $V$ , так как условие  $\delta < \delta_0$  будет выполняться в отношении каждой из них. Обнаружение всех возможных комбинаций грубых ошибок измерений является несомненным преимуществом МНГП.

В отличие от других методов поиска грубых ошибок МНГП позволяет выявить и все комбинации измерений, в которых принципиально невозможно обнаружить грубые ошибки. Необходимым и достаточным признаком принципиальной невозможности обнаружения грубых ошибок в определенной комбинации измерений является близкое к нулю значение определителя системы уравнений типа (10).

Следует отметить, что все задачи поиска грубых ошибок при применении МНГП решаются за один цикл уравнивания геодезического построения.

Алгоритм МНГП реализован в соответствующем модуле программного продукта NAL\_GR. Программный продукт NAL\_GR является универсальным и применяется для тестирования на грубые ошибки измерений различных видов геодезических построений: линейно-угловых ходов и систем ходов, триангуляции, нивелирных сетей, спутниковых измерений приращений координат и так далее.

Программный продукт NAL\_GR в настоящее время успешно используется на производстве, в научных исследованиях. В результате выполнения научных исследований и производственных работ подтверждена высокая эффективность МНГП, а также установлены возможности и закономерности обнаружения грубых ошибок измерений в геодезических построениях различного вида; данный материал частично приведен в работах [8], [9], [10].

Обобщая результаты исследований возможностей поиска грубых ошибок измерений в различных геодезических построениях необходимо отметить, что эффективность поиска грубых ошибок измерений определяется не только возможностями применяемого метода. Существенное значение имеет и геометрия геодезического построения. Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании геодезических сетей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дьяков Б.Н. О контроле, поиске и учете грубых ошибок измерений [Текст] / Б.Н. Дьяков, М.П. Рудикова // Геодезия и картография. - 1997. - № 6. - С. 21-24.
2. Гудков В.М. Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений [Текст]: учеб. для вузов / В.М. Гудков, А.В. Хлебников - М.: Недра, 1990. - 335 с.
3. Коугия В.А. Обнаружение грубых ошибок измерений по результатам уравнивания [Текст] / В.А. Коугия // Геодезия и картография. - 1995. - № 6. - С.14-19.
4. Коугия В.А. Сравнение методов обнаружения и идентификации грубых ошибок измерений [Текст] / В.А. Коугия // Геодезия и картография. - 1998. - № 5. - С.23-28.
5. Дьяков Б.Н. Пошаговый поиск грубых ошибок измерений [Текст] / Б.Н. Дьяков, Н.В. Федорова // Геодезия и картография. - 2001. - № 3. - С.16-20.
6. Дьяков Б.Н. Поиск грубых ошибок измерений методом наложения графиков поправок [Текст] / Б.Н. Дьяков, Ю.В. Родионова // Геодезистъ. - 2002. - № 4. - С.22-24.
7. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений [Текст] / Ю.В. Линник – М.: Физматгиз, 1962. – 352 с.
8. Родионова Ю.В. Поиск грубых ошибок в разомкнутом линейно-угловом ходе [Текст] / СГГА.–Новосибирск, 2002–Деп. В ОНТИ ЦНИИГАиК, № 748-гд 2002.
9. Родионова Ю.В. Тестирование плановых геодезических построений на грубые ошибки измерений [Текст] // Соврем. проблемы техн. наук: Тез. док. Новосиб. межвуз. науч. студ. конф., 16-17 мая 2002 года. - Новосибирск: НГАСУ, 2002.- С. 9.

10. Дьяков Б.Н. Тестирование линейно-угловых ходов на грубые ошибки измерений [Текст] / Б.Н. Дьяков, Ю.В. Родионова // Геодезия и картография. – 2003. - № 7. – С.21-24.

© Ю.В. Родионова, 2005

УДК 528.4

*Е.М. Сапронов*

Спецстрой, Санкт-Петербург

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА ПЛОЩАДКЕ АЭС В ПЕРИОД РАСКОНСЕРВАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И ДОСТРОЙКИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАРУБЕЖНОЙ АЭС)**

В последние 15-20 лет в связи со свертыванием программ строительства объектов атомной энергетики на территории бывшего СССР (на ряде зарубежных АЭС этот срок достигает больших величин) ряд энергоблоков был законсервирован.

Сейчас в Российской Федерации и ряде зарубежных стран наметилась тенденция возрождения строительного комплекса по сооружению объектов атомной энергетики. В период реконструкции и достройки на расконсервируемых АЭС на геодезические службы выпадает большой объем сложных и ответственных работ. Особенностью этих работ является то, что исходная геодезическая основа частично деформирована или уничтожена, а часть исполнительной документации утеряна или недостаточно надежна. Поэтому в традиционный комплекс работ добавляются работы по воссозданию исходной планово-высотной геодезической основы, определению фактического положения существующих строительных конструкций и ранее смонтированного оборудования, восстановлению исполнительного генерального плана площадки.

К настоящему времени накопленного опыта работ на аналогичных объектах крайне недостаточно. Отсутствуют нормативная база по организации геодезических работ в строительстве и официальная регламентирующая документация на реконструкцию и достройку энергоблоков. В этой ситуации опыт работы геодезических подразделений, решающих указанные задачи, весьма полезен.

В 1995 году российская сторона приступила к реконструкции и достройке энергоблока зарубежной АЭС, где в 70-80-х годах строительство АЭС было приостановлено, и станция 20 с лишним лет была законсервирована. Проектирование и строительство АЭС до 1980 года выполнялось одним из европейских государств. Исполнительная документация на строительную часть утеряна.

Все геодезические работы, которые выполнялись на вышеназванной АЭС условно можно поделить на 2 этапа:

1. Подготовительный - 1 год
2. Основной - 2-7 лет

### Подготовительный этап.

Все геодезические работы на площадке АЭС выполнялись в основном силами геодезической службы Управления строительства (УС). Состав геодезической службы в этот период:

1. Старший инженер-геодезист - 1 чел.
2. Реечник - 2 чел.

Геодезическая группа подчинялась Главному инженеру УС.

В этот период геодезической службой выполнялись работы:

- Изучение и анализ сохранившейся документации;
- Натурное обследование внешнего планово-высотного обоснования площадки;
- Натурное обследование внутреннего планово-высотного обоснования реакторного отделения (РО) и турбинного отделения (ТО) энергоблока;
- Разбивка временных подъездных автодорог, площадки стройбазы, временных сетей;
- Инвентаризационная съемка жилого поселка строителей;
- Передача площадок под строительство объектов строительной базы подрядным организациям;
- Контрольные съемки на строящихся объектах строительной базы;
- Выдача исходных данных.

Приборная база на этом этапе состояла из теодолита, нивелира, стальной 50-ти метровой рулетки.

#### Основной этап.

На этом этапе на площадке АЭС работы осуществлял ряд геодезических подразделений (представителей различных организаций), участвующих в строительстве.

#### Заказчик:

- Передал Генподрядчику пункты внешней каркасной сети, выполненной до периода консервации;
- Передал Генподрядчику пункты внутренней планово-высотной геодезической сети одного из монтажных горизонтов РО;
- Выполнил закладку глубинных реперов и осадочных марок на зданиях и сооружениях;
- Осуществлял наблюдения за осадками зданий и сооружений.

#### Генеральный проектировщик (АЭП):

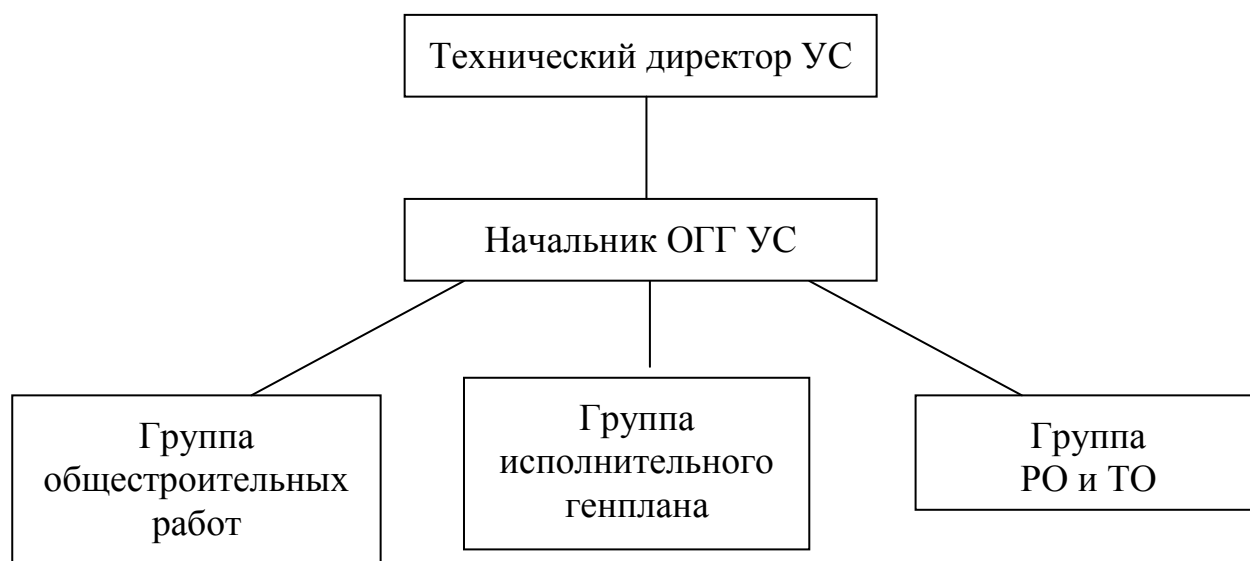
- Выполнил комплекс работ по обслуживанию изыскателей;
- Произвел топографическую съемку подземных сетей площадки АЭС;
- Разработал для Заказчика методику и программу наблюдений за осадками зданий и сооружений;

#### Государственный проектный институт (ГСПИ):

- Оказывал методическую и консультационную помощь ОГГ;
- Осуществлял метрологическое обеспечение приборов и инструментов;
- Выполнил проект и установку полевого компаратора.

Отдел главного геодезиста (ОГГ) УС выполнял основной объем геодезических работ, а также осуществлял накопление и систематизацию информации, координацию и взаимодействие всех геодезических служб на площадке.

ОГГ имел следующую структуру:



Численный и кадровый состав формировался и видоизменялся в соответствии с перспективным планом работ УС и генеральным графиком строительства. Для работы в ОГГ подбирались специалисты, имеющие 20-25 лет опыта работы на АЭС.

В нижеприведенных таблицах отражен численный состав в период максимального разворота работ (табл. 1) и основные виды работ, выполняемые группами (табл. 2).

Трудоемкие работы и контроль поступающей проектной документации выполнялись совместно специалистами всех групп ОГГ УС.

В процессе работы были отработаны системы и формы заявок на выполнение работ и установлены сроки выполнения работ.

*Таблица 1*

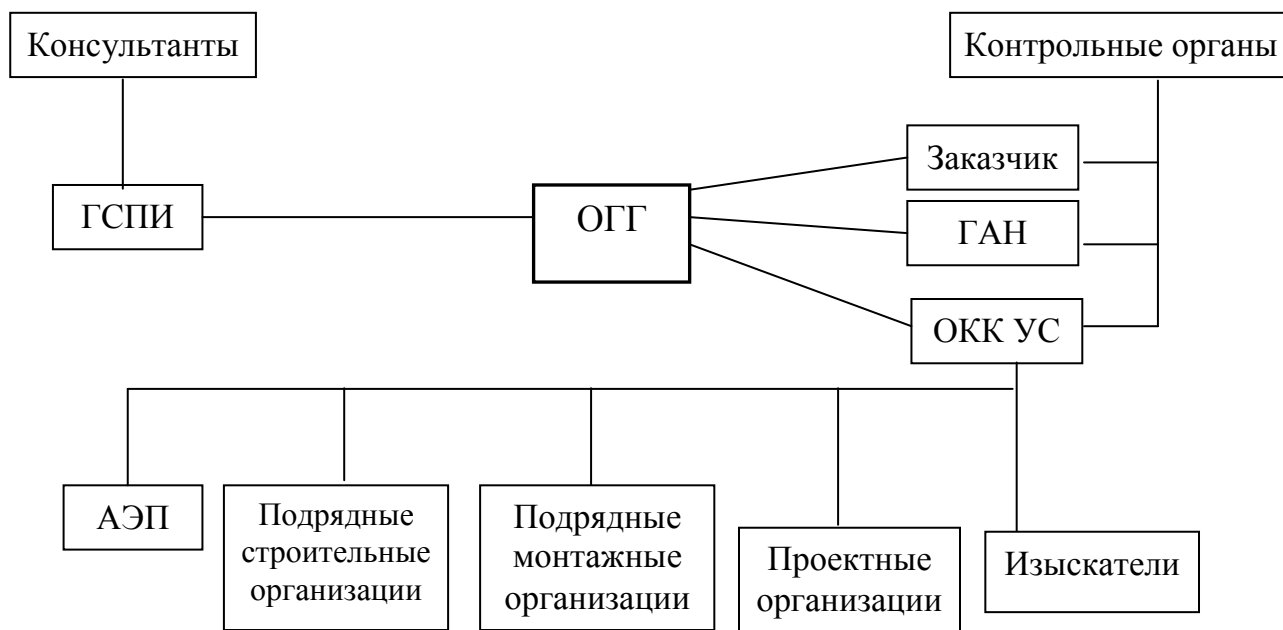
| Наименование групп              | Численный состав групп         |                      |                          |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------|
|                                 | ИТР РФ                         | ИТР страны Заказчика | Рабочие страны Заказчика |
| Группа РО и ТО                  | Ст. инженер – 1<br>Инженер – 2 | Техник – 1           | Реечник – 3              |
| Группа общестроительных работ   | Ст. инженер – 1<br>Инженер – 2 | Техник – 1           | Реечник – 2              |
| Группа исполнительного генплана | Инженер – 1                    | Техник – 1           | Реечник – 1              |

Таблица 2

| Виды работ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Группа РО и ТО                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Группа общестроительных работ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Группа исполнительной документации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Восстановление планово-высотного обоснования РО и ТО;</li> <li>- Передача планово-высотного обоснования РО и ТО подрядным организациям;</li> <li>- Разбивочные работы для строительно-монтажного комплекса УС;</li> <li>- Контрольные съемки на работах, выполняемых подрядными организациями РФ и страны Заказчика;</li> <li>- Подготовка и выдача исходных данных Генпроектировщику;</li> <li>- Входной контроль поступающего оборудования;</li> <li>- Сгущение планово-высотного обоснования РО и ТО;</li> <li>- Заполнение паспортов помещений;</li> <li>- Определение фактического положения смонтированного оборудования;</li> <li>- Подготовка тендерной документации</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Создание каркасного внешнего обоснования;</li> <li>- Восстановление внутреннего планово-высотного обоснования зданий (в т.ч. спецкорпуса и блочно-насосной станции);</li> <li>- Передача обоснования подрядным организациям;</li> <li>- Контрольные съемки на работах, выполняемых подрядными организациями РФ и страны-Заказчика;</li> <li>- Съемки подкрановых путей;</li> <li>- подготовка и выдача исходных данных;</li> <li>- Съемки ранее смонтированного оборудования и конструкций;</li> <li>- Подготовка тендерной документации.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ведение исполнительного генплана площадки в масштабе 1:500;</li> <li>- Выдача исходных данных;</li> <li>- Подготовка и передача обоснования подрядным организациям (сети);</li> <li>- Определение фактического положения <math>\pm 0</math> зданий;</li> <li>- Подготовка тендерной документации;</li> <li>- Составление графика приливов-отливов залива;</li> <li>- Ведение генплана жилого поселка специалистов.</li> </ul> |

Учитывая тот факт, что на площадке работало несколько геодезических групп (10-12) с численным составом от 1 до 3 инженеров), ОГГ осуществлял единую техническую политику в области геодезических работ посредством постоянного контроля подрядных организаций и оперативной передачи получаемой информации в виде исходных данных Генеральному проектировщику. Взаимодействие групп, работающих на площадке (см. схему) осуществлялось в соответствии со сложившимися условиями, должностными инструкциями и требованиями контролирующих органов – Госатомнадзора

(ГАН) и отдела контроля качества (ОКК) УС, соответствующей службы Заказчика и консультанта ГСПИ.



Все организации, приступившие к работам на площадке, получали в ОГГ исходную геодезическую основу в соответствии с утвержденной в тендерной документации процедурой.

В ОГГ был создан банк данных по исполнительному генплану, фактическому положению сооружений, их частей,  $\pm 0$  зданий.

Своевременная систематизация информации о выполнении всех видов работ позволяла быстро принимать правильные проектные и технологические решения. И как следствие – избегать финансовых потерь.

Техническая база отдела Главного геодезиста управления строительства в этот период представляет собой парк из приборов и оборудования:

1. Тахеометры «Topcon GPT-1000»
2. Теодолиты типа «Theo-010B»
3. Приборы вертикального проектирования «PZL»
4. Нивелиры типа «Wild», «Ni-007»
5. Рулетки стальные «30» и «50м»
6. Лазерные рулетки «Disto»
7. Компьютеры
8. Программное обеспечение (в т.ч. специальное)
9. Специальное оборудование и приспособления.

Выбранное направление работы с центром координации в лице отдела главного геодезиста управления строительства позволило разработать методики и процедуры для управления процессом геодезических работ на площадке АЭС; а также положения об структуре отделов, служб, групп, их должностных обязанностях; произвести подбор кадров; создать современный парк приборов; накапливать и умело использовать информационную базу данных о выполняемых работах. Как показала практика, это создало условия для правильной организации

работ и полного взаимодействия всех геодезических служб, находящихся на площадке, в период расконсервации, реконструкции и достройки блоков АЭС.

© Е.М. Сапронов, 2005



## **НОВЫЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ В СОЗДАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Обычно выбор площадок под строительство промышленных предприятий осуществляется на основе данных фундаментальных и прикладных геодинамических исследований. В процессе эксплуатации, в особенности на начальной его стадии, ведутся регулярные наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений. При наблюдении за состоянием технологического оборудования и несущих конструкций используются различные методы геодезического контроля, которые играют важную роль в рамках технической диагностики по обеспечению технологической безопасности эксплуатации объектов.

Охарактеризуем необходимость в создании новых более точных и эффективных методов и средств измерений. Значимость методов геодезического контроля существенно возросла в связи с повышением требований к безопасности эксплуатации крупных промышленных объектов, таких как ускорители частиц, атомные станции, ГЭС и т.п. Из года в год наблюдается увеличение числа техногенных катастроф. Так, согласно данным МЧС России количество последних в 2004 году, по сравнению с предыдущим годом, возросло в 1,5 раза и составило около 600. Важную роль при этом предстоит сыграть точному геодезическому мониторингу. Наибольшую значимость точный мониторинг приобретает у предельного состояния, когда объекты испытывают хаотические микродеформации. Отсюда важное внимание должно уделяться, главным образом, разработке высокоточных автоматизированных методов, которые позволили бы организовать непрерывные наблюдения за состоянием несущих конструкций.

Кроме того, эксплуатация сооружений во многом связана и зависит от наличия возмущающих факторов природного и техногенного происхождения. К ним, в первую очередь, относятся резкий перепад температур, сильные электромагнитные поля, радиационный фон, вибрация, высокая плотность оборудования, дефицит времени и т.п. Условия эксплуатации становятся всё более сложными, которые можно определить как жёсткие для производства геодезических измерений, в особенности высокоточных. В этих условиях известные методы измерений, которые хорошо себя зарекомендовали на ряде объектов, не всегда отвечают требованиям поставленных задач. Возникает необходимость в разработке новых методов и средств, которые были бы наиболее эффективными и в условиях жёсткого режима эксплуатации.

Для этих целей автором были разработаны новые принципиальные подходы в создании методов и средств геодезического контроля по обеспечению технологической и экологической безопасности эксплуатации крупных сооружений у предельного состояния в условиях жёсткого режима эксплуатации. Разработанные методы базируются на трех основополагающих принципах:

- Синтезирование методов, приборов, технологий и т.д.;
- Суперпозиция физических явлений, законов, свойств и т.д.;
- Селекция выходных геодезических данных через измерение физических величин – объёма, массы, времени и т.д.

Разработанные на этих принципах, а также их сочетаний, методы позволили разрешить ряд противоречий, наиболее важными из которых в геодезии являются «точность - среда», «диапазон - точность», «точность - простота». Устранение указанных противоречий приводит к разрешению главного противоречия «точность - эффективность». Основными показателями эффективности созданных методов и средств являются:

- Высокий уровень автоматизации;
- Простота и надёжность измерительного процесса;
- Возможность управления точностью;
- Высокая точность и эффективность измерений;
- Возможность исключения влияния внешних переменных, таких как температура, вибрация и т.д.;
- Высокая производительность;
- Низкая себестоимость.

Кратко остановимся на рассмотрении новых методов и средств измерений, которые основаны на применении сочетания принципов, сформулированных выше. В частности, отметим сущность, особенности и некоторые качественные показатели, созданных методов и средств, их реализующих, на ряде примеров.

Пример 1. На основе использования принципов синтеза и селекции разработан метод динамико-статического нивелирования, который позволил разрешить противоречия «точность - среда», «диапазон - точность». Сущность метода заключается в перераспределении жидкости из контрольных сосудов в опорный, как при динамическом нивелировании, и в фиксации уровня, как при статическом. Особенностью приборов и систем, реализующих метод, является то, что они обладают значительным диапазоном и сохраняют при этом высокую точность. Данные приборы отличают простота, высокая точность и возможность ослабления влияния внешних переменных, таких как температура, вибрация и т.п. Использование сочетания фотоэлектрического датчика числоимпульсного типа и, так называемого, «капельного» способа повышения уровня жидкости позволило разработать динамико-статический нивелир, который является простым по конструкции и обладает при этом высоким уровнем автоматизации, точности и низкой себестоимостью.

Пример 2. Используя принципы суперпозиции и селекции, создан бижидкостный метод статического нивелирования, позволяющий разрешить противоречия «точность - среда», «диапазон - точность», «точность - затраты». Сущность метода заключается в том, что в нём реализовано сочетание двух и более несмешивающихся жидкостей с различными удельными плотностями. Метод реализовывался на основе применения преобразователей массы. В устройствах, реализующих метод, в качестве измеряемой величины может служить вес перераспределившейся жидкости. Выполненные

экспериментальные исследования и апробирование в производственных условиях показали высокую надёжность и достоверность получаемых результатов. Характерными особенностями метода и средств, его реализующих, являются: высокий уровень автоматизации, простота и непрерывность измерительного процесса, возможность ослабления влияния температуры и вибрации.

Пример 3. На принципах синтезирования и суперпозиции разработан метод лазерной гидростатики. Он обеспечивает разрешение противоречий «точность - среда», «точность - простота». Этот метод реализовывался двумя путями.

Первый путь заключается в использовании сочетания основного закона гидростатики и законов отражения и преломления света. Выполненные лабораторные исследования и производственные испытания нивелиров показали их высокую точность и эффективность. На основе этого метода возможно создание приборов, которые способны существенно ослабить влияние градиента температуры.

Другим направлением разработки в методе лазерной гидростатики является путь, в котором используется сочетание явления интерференции света и основного закона гидростатики. Реализация этих принципов привела к разработке высокоточных уровней, нивелиров и кренометров интерференционного типа. Данные приборы отличаются простотой, высокой точностью и возможностью управления точностью.

Пример 4. На основе принципов синтезирования и суперпозиции создан лазерный метод многоцелевого назначения. Он позволяет разрешить противоречия «точность - среда», «диапазон - точность», «точность - простота». Устройства, реализующие данный метод, обладают расширенными возможностями. Они позволяют вести выверку прямолинейности, параллельности или перпендикулярности одновременно по нескольким направлениям. Этим обеспечивается повышение производительности и эффективности измерений в целом. Эффективное разрешение противоречия «диапазон - точность» может быть достигнуто посредством сочетания типовых угломерных приборов и лазерных устройств, например, теодолита и лазерного створораздатчика.

Следует отметить также, что использование выше указанных принципов позволило разработать ряд способов, ослабляющих влияние внешних переменных, таких как температура, вибрация и т.п. В частности, созданы способ температурной компенсации в приборах гидростатического нивелирования, способ определения уровня жидкости по измерению временного интервала, способ пространственно-временной стабилизации положения лазерного пучка и др.

В заключение можно отметить, что разработанные подходы в создании методов и средств, которые базируются на использовании сочетания предложенных принципов, открывают новые широкие возможности в области геодезического приборостроения.

## ПОГРЕШНОСТИ НИВЕЛИРОВАНИЯ I КЛАССА ВЫСОТНОЙ ОСНОВЫ РОССИИ

Как известно, оценка точности нивелирования I класса производится по известным разностям  $d_1 \dots d_6$  [1]. По разностям  $d_5$  и  $d_6$  подсчитываются средние квадратические случайные ошибки на 1 км хода  $\eta_5$  и  $\eta_6$  [2] по формулам

$$\eta_5^2 = \frac{1}{4n} \sum \frac{d_5^2}{r}; \quad (1)$$

$$\eta_6^2 = \frac{1}{4n} \sum \frac{d_6^2}{r}, \quad (2)$$

где  $n$  – число секций в ходе, а  $r$  – длина секции в км.

По этим же разностям  $d_5$  и  $d_6$  подсчитываются и средние квадратические систематические ошибки  $\sigma_5$  и  $\sigma_6$  по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{4 \sum L} \sum \frac{S^2}{L}, \quad (3)$$

где  $S$  – величины, выбираемые с графиков однообразного накопления соответственно разностей  $d_5$  и  $d_6$  на участках протяженностью  $L$ .

Формулы (1), (2) и, особенно (3) неоднократно подвергались в нашей литературе [3,4] критике. Не останавливаясь в данной работе на спорности и несовершенстве этих формул, приведем значения случайных и систематических погрешностей в линиях нивелирования I класса по территории нашей страны.

Так сложилось, что в последние годы в нашей печати не было сведений обобщенного анализа точного нивелирования. Последняя публикация была в 1972 г. в трудах ЦНИИГАиК, выпуск 169 [5], включающая линии нивелирования до 1966 года. Из технических отчетов по отдельным линиям нивелирования I класса, выполненным разными Аэрогеодезическими предприятиями, нами была собрана значительная по объему информация.

В табл. 1 приведены значения случайных  $\eta$  и систематических  $\sigma$  погрешностей, вычисленных по разностям  $d_5$  и  $d_6$  за период 1970-2003 гг. по разным регионам страны.

Таблица 1

| Регион                   | Протяженность<br>линии $L$ , км | Случайные СКО,<br>мм/км |          | Систематические<br>СКО, мм/км |            |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------|-------------------------------|------------|
|                          |                                 | $\eta_5$                | $\eta_6$ | $\sigma_5$                    | $\sigma_6$ |
| Дальний Восток           | 11459                           | 0,27                    | 0,71     | 0,03                          | 0,08       |
| Забайкалье               | 13171                           | 0,25                    | 0,68     | 0,03                          | 0,07       |
| Восточная Сибирь         | 14379                           | 0,28                    | 0,70     | 0,04                          | 0,13       |
| Западная Сибирь, Урал    | 12035                           | 0,21                    | 0,63     | 0,03                          | 0,07       |
| Европейская часть России | 17778                           | 0,24                    | 0,66     | 0,02                          | 0,09       |
| В целом                  | 68822                           | 0,25                    | 0,68     | 0,03                          | 0,09       |

Все погрешности для огромной территории нашей страны независимо от исполнителей оказались весьма близкими. Несколько большие значения их для Восточной Сибири обусловлены тем, что в анализ включены линии Крайнего Севера, такие как Дудинка-Волочанка, Волочанка-Хатанга, Таймыра-Диксон-Дудинка и другие, проложенные в почвенно-климатических условиях несопоставимых с обычными.

Для сравнения приведем значения аналогичных погрешностей, вычисленных Мещерским И.Н. и Энтиным И.И. [5] по линиям нивелирования I класса, общей протяженностью 17672 км, исполненным по «новой программе».

$$\eta_5 = 0,26 \text{ мм/км}, \eta_6 = 0,66 \text{ мм/км}, \sigma_5 = 0,02 \text{ мм/км}, \sigma_6 = 0,05 \text{ мм/км}.$$

Среднеквадратические случайные ошибки  $\eta_5$  и  $\eta_6$  практически совпали, а систематические погрешности  $\sigma_5$  и  $\sigma_6$  несколько возросли, что вполне объяснимо перемещением в 70-80-е годы прошлого столетия значительных объемов нивелирования в более сложные почвенно-климатические условия Сибири и Дальнего Востока.

Другой характеристикой качества нивелирования являются невязки замкнутых полигонов. И как еще было отмечено А.С. Чеботаревым [6], что с «инженерной точки зрения, из величин, используемых в геодезии для оценки точности (невязок, отклонений от среднего, разности двойных измерений, поправок из уравнивания), наиболее полно ошибки измерений отражаются в невязках».

По всей имеющейся в нашем распоряжении статистике были вычислены по невязкам замкнутых полигонов средние квадратические ошибки на 1 км хода по формуле (2)

$$\eta^2 = \frac{\sum \frac{W^2}{P}}{N}, \quad (4)$$

где  $W$  – невязки полигонов,  $P$  – их периметр, а  $N$  – число полигонов.

В табл. 2 приведены значения  $\eta$ , подсчитанные отдельно для регионов. Значения  $\eta$  различаются по регионам от 1,86 мм/км до 3,72 мм/км. В среднем для всей территории России получена  $\eta = 2,37$  мм/км (см. табл. 2, графа 4).

Таблица 2

| Регион                   | Все полигоны |                      |              | Исключая с невязкой выше допуска |                      |              |
|--------------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------------------|----------------------|--------------|
|                          | Количество   | Средний периметр, км | $\eta$ мм/км | Количество                       | Средний периметр, км | $\eta$ мм/км |
| 1                        | 2            | 3                    | 4            | 5                                | 6                    | 7            |
| Дальний Восток           | 21           | 2270                 | 1,94         | 20                               | 2266                 | 1,69         |
| Забайкалье, Якутия       | 20           | 2027                 | 3,72         | 15                               | 1811                 | 1,67         |
| Восточная Сибирь, Якутия | 23           | 3287                 | 3,38         | 16                               | 3014                 | 1,56         |
| Западная Сибирь, Урал    | 33           | 2280                 | 2,90         | 27                               | 2194                 | 1,81         |
| Европейская часть России | 66           | 1531                 | 1,86         | 59                               | 1543                 | 1,36         |
| В целом                  | 163          | 2082                 | 2,37         | 137                              | 1978                 | 1,56         |

Ранее в работе [8] из уравнивания замкнутых полигонов нивелирования I класса для Европейской части России были получены  $\eta = 1,6$  мм/км, а для Среднеазиатского района, бывшего частью СССР,  $\eta = 2,1$  мм/км.

В работе [9] автором для нивелирных линий I класса южных районов Сибири и Забайкалья по разностям  $d$  были определены среднеквадратические случайные ошибки  $\eta_6 = 0,60 \dots 0,74$  мм и систематические  $\sigma_6 = 0,10 \dots 0,18$  мм т.е. оказались того же порядка, что и для всего региона. А вот для замкнутых полигонов получена  $\eta = 4,6$  мм/км, явившаяся следствием больших невязок отдельных полигонов, значительно превосшедших допустимые.

Следует сразу оговориться, что в статистику включены все полигоны, и часть из них имеет невязки, значительно превосходящие допуск [1] вычисляемый как

$$W_{\text{доп}} = \pm 3 \text{ мм} \sqrt{L}. \quad (5)$$

К примеру, на Дальнем Востоке это полигон Тында-Томмот-Чюльбю-Горный-Тында ( $W = -228,2$  мм,  $W_{\text{доп}} = \pm 145,2$  мм).

По северу Забайкалья, включая Якутию, полигон Витим-Олекминск-Якутск-Усть-Нюкжа-Спицино-Витим ( $W = -615,1$  мм,  $W_{\text{доп}} = \pm 190,8$  мм).

Восточная Сибирь. Полигон Тура-Дудинка-Волочанка-Хатанга-Ессей-Тура ( $W = +453,3$  мм  $W_{\text{доп}} = \pm 263,6$  мм), Абалаково-Подкаменная Тунгуска-Байкит-Оскоба-Заледеево-Абалаково ( $W = +408,9$  мм,  $W_{\text{доп}} = \pm 153,6$  мм).

Западная Сибирь. В полигоне Омск-Тобольск-Сургут-Парабель-Барабинск-Омск получена  $W = -280,5$  мм, при  $W_{\text{доп}} = \pm 170,6$  мм.

В Европейской части России в полигоне Ярославль-Казань-Самара-Ярославль получена  $W = +197,1$  мм, при  $W_{\text{доп}} = \pm 166,6$  мм, а в полигоне Вязьма-Столбовая (Москва)-Горбачево-Вязьма  $W = -208,5$  мм, при  $W_{\text{доп}} = \pm 170,6$  мм.

Все полигоны с невязкой, превосшедшей допустимую, требуют специального анализа, на чем мы не будем останавливаться в данной работе. В идеальном случае было бы перенаблюдение особенно сомнительных линий, что практически неосуществимо по финансовым соображениям. В таких полигонах кроме преобладания односторонних погрешностей по большей части ходов или значительной систематической погрешности по одной из линий, сказываются погрешности при переходах через значительные водные преграды, и кроме того, поскольку замыкание полигона иногда растягивается на 10-20 лет, возможны высотные изменения фундаментальных реперов, обусловленные как современными вертикальными движениями земной поверхности (СВДЗП), так и их локальными перемещениями.

Исключив из статистики все полигоны с невязками, превосшедшими допустимые, были вычислены  $\eta$  по регионам и в целом по стране (см. табл. 2, графа 7). Для линий Европейской части России, прокладываемых в относительно благоприятных условиях, средняя квадратическая километровая ошибка составила 1,36 мм, для Азиатской части  $\eta = 1,56 \dots 1,81$  мм/км. К тому же средний периметр полигона для Европейской части страны в 1,6 раза меньше, чем в Азиатской.

Значительное превалирование ошибок, получаемых по невязкам полигонов по отношению к ошибкам, получаемым по разностям  $d$ , было давно замечено в мировой практике. Так в Северо-Американских Соединенных Штатах в 1912 г. после очередного 4-го по счету уравнивания 84 полигонов была получена  $\eta = 2,66$  мм/км. Средняя квадратическая километровая ошибка по расхождениям превышений получена  $\eta = 0,8$  мм/км. На основании чего было сделано заключение о присутствии значительных систематических погрешностей, источники которых неизвестны [7].

Что же принимать во внимание при расчете точности нивелирования I класса, предрасчете погрешности передачи отметок, определении величин скоростей СВДЗП?

Значения  $\eta_5$  и  $\sigma_5$ , рассчитываемые по разностям  $d_5$ , практически в 3 раза оказались меньше соответствующих значений  $\eta_6$  и  $\sigma_6$  (см. табл. 1), что и неудивительно.

Разности

$$d_5 = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (6)$$

по существу являются недокомпенсацией различий превышений правых и левых линий нивелирования в прямом и обратном ходе. Для примера приведем в табл. 3 только пять линий нивелирования I класса, где накопления разностей  $d_1 \dots d_4$  достигают 100 и более мм, а разности  $d_6$  и особенно  $d_5$  невелики

Таблица 3

| Линия            | Годы нивелирования | L, км | Накопление разностей, мм |        |        |        |       |       |
|------------------|--------------------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                  |                    |       | $d_1$                    | $d_2$  | $d_3$  | $d_4$  | $d_5$ | $d_6$ |
| Беломорск-Чудово | 1969-1970          | 784   | -96,8                    | -104,3 | -160,7 | +40,4  | +2,7  | -59,8 |
| Ачинск-Туруханск | 1969-1972          | 1491  | -94,5                    | -82,9  | -11,8  | +164,7 | -5,9  | +76,4 |
| Тайшет-Усть-Кут  | 1970               | 746   | -112,0                   | -107,8 | -83,7  | +136,6 | -2,3  | +26,  |
| Тобольск-Омск    | 1982-1983          | 894   | -102,3                   | -59,9  | +6,7   | +171,6 | -23,5 | +90,2 |
| Шолково-Котлас   | 1997               | 608   | -75,6                    | -107,8 | -111,0 | +72,4  | +16,1 | -19,3 |

Очевидно, что  $\eta_5$  и  $\sigma_5$  будут иметь заниженные значения, а точность нивелирования по ним завышенной.

Для полноты качества нивелирования по линии мы рекомендуем вычислять  $\eta$  через все разности  $d$ , тем более, что это не сложно при компьютерной обработке результатов. Для примера в табл. 4 подсчитаны  $\eta_1 \dots \eta_6$ , для тех же линий приведенных в табл. 3 и оказалось что в среднем  $\eta_5$  меньше значений  $\eta_1$  и  $\eta_2$  в 2,2 раза, а  $\eta_6$  – меньше  $\eta_3$  и  $\eta_4$  в 1,2 раза.

Таблица 4

| Линия            | Случайные средние квадратические ошибки мм/км |          |          |          |          |          |
|------------------|-----------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                  | $\eta_1$                                      | $\eta_2$ | $\eta_3$ | $\eta_4$ | $\eta_5$ | $\eta_6$ |
| Беломорск-Чудово | 0,60                                          | 0,51     | 1,02     | 0,83     | 0,30     | 0,80     |
| Ачинск-Туруханск | 0,38                                          | 0,59     | 0,79     | 0,90     | 0,30     | 0,76     |
| Тайшет-Усть-Кут  | 0,70                                          | 0,75     | 1,09     | 1,80     | 0,32     | 0,86     |
| Тобольск-Омск    | 0,62                                          | 0,42     | 0,73     | 1,08     | 0,21     | 0,79     |
| Шолково-Котлас   | 0,63                                          | 0,72     | 0,80     | 0,96     | 0,26     | 0,63     |

Хаимовым З.С. предложено для оценки точности нивелирования I класса вычислять разность  $d_0$  [3]

$$d_0 = \frac{d_5 + d_6 + d_9}{3}, \quad (7)$$

где кроме традиционных разностей  $d_5$  и  $d_6$  находится разность  $d_9$  [3]

$$d_9 = 1/2[(h_{\text{п}} + h'_{\text{л}}) - (h_{\text{л}} + h'_{\text{п}})], \quad (8)$$

где нижние индексы у превышения  $h$  «п» и «л» соответствуют правой и левой линиям, а верхний индекс «'» - превышениям обратного хода.

Не останавливаясь на анализе формул (7) и (8) скажем, что  $d_9$  подсчитываются по тем же самым превышениям правой и левой линий нивелирования, что и  $d_6$ , только в другой комбинации и ничего принципиально нового в оценку качества не вносят. А поскольку выше приводилось, что  $\eta_5$  и  $\sigma_5$  в 2...3 раза меньше  $\eta_6$  и  $\sigma_6$ , то и разность  $d_0$  по отношению к разности  $d_6$  дает преуменьшенное значение.

Разности  $d_1$  и  $d_2$ , вычисляются через превышения, определяемые при одной постановке прибора, одним исполнителем, в одно время, при одних и тех же почвенно-погодных условиях. Разности  $d_3$ ,  $d_4$  и  $d_6$  более независимы, так как сравниваются превышения, разнесенные по времени обычно от половины дня до нескольких дней, при несколько различных почвенно-погодных условиях и главное - разных постановках прибора на станции в прямом и обратном ходе.

Вычисленные значения  $\eta_6$  и  $\sigma_6$  через разность  $d_6$  полнее характеризуют точность нивелирования I класса. Точность нивелирования II классов и ниже фактически оценивается через разность  $d_6$ , как различие средних превышений прямого и обратного ходов.

В свою очередь, разности  $d_6$  так же не полно отражают все изменения в процессе нивелирования хода, в том числе и изменения положения реперов по высоте, вследствие, как их возможной неустойчивости по времени, так и влияния солнечно-лунных приливов в земной коре и других факторов. Высотные изменения самих реперов дают дополнительно, неучитываемую разностями  $d$ , погрешность и это находит отражение в невязке при замыкании полигонов.

Выводы:



1. За несколько десятилетий отечественного нивелирования со времени введения в производство «новой программы» наблюдения [1], несмотря на переход от нивелиров старой конструкции Цейсс А, НА-1, НБ, Н1, Ni004 к более совершенным Н05, Ni002, Ni005а и другим, не произошло качественного повышения точности. Средние квадратические случайные километровые погрешности  $\eta_5$  и  $\eta_6$  остались на уровне 0,25-0,26 мм/км и 0,66-0,68 мм/км. Средние квадратические систематические погрешности  $\sigma_5$  и  $\sigma_6$  даже несколько возросли соответственно с 0,02 до 0,03 мм/км и с 0,05 до 0,09 мм/км, что обусловлено в первую очередь перемещением работ по нивелированию в сложные почвенно-климатические условия севера Сибири, Якутии и Северо-Востока страны.

2. Во всех публикациях, учебниках, инструкциях, как, например [1] качество нивелирования I класса у нас в стране оценивается средней квадратической случайной ошибкой 0,8 мм/км и средней квадратической систематической ошибкой 0,08 мм/км и умалчивается о средней квадратической ошибке получаемой по невязкам замыкания полигонов.

По нашим расчетам по 137 замкнутым полигонам, исключив при этом из статистики 26 полигонов с невязкой, превышающей допустимую по всем регионам страны получена  $\eta = 1,56$  мм/км, что вдвое превысило  $\eta_6$ , вычисляемую по разностям  $d$ .

При оценке качества высотной сети России, передаче высот на значительные расстояния, при вычислении скоростей и составлении карт современных вертикальных движений земной поверхности должна приниматься во внимание средняя квадратическая ошибка, вычисленная по невязкам замкнутых полигонов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
2. Инструкция по вычислению нивелировок. – М.: Недра, 1971. – 108 с.
3. Хаимов З.С. Определение действительной точности высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. – 2000. - № 9. – С. 19-27.
4. Хаимов З.С. Закон арксинуса и оценка точности высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. – 1999. - № 10. – С. 7-14.
5. Мещерский И.Н., Энтин И.И. Анализ результатов нивелирования I и II классов. // Тр. ЦНИИГАиК, вып. 169. – М.: Недра. 1972. – 72 с.
6. Чеботарев А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. – М.: Геодезиздат, 1958. – 606 с.
7. Точные нивелировки в Северо-Американских Соединенных Штатах – М.: Картографический отдел корпуса ВТ. – 1921. – 23 с.
8. О нивелирной сети СССР / Под ред. Л.А. Кашина, Л.С. Хренова. – М.: Недра, 1979. – 144 с.
9. Иванов В.Г. Высотная сеть Приангарья и Прибайкалья и ее точность // Геодезия, картография, кадастр земель Прибайкалья. Докл. Региональной научно-практической конференции. – Иркутск: ИрГТУ, 2004, - С. 33-35.

© В.Г. Иванов, 2005

# ВЕЛИЧИНЫ И ХАРАКТЕР НАКОПЛЕНИЙ РАЗНОСТЕЙ $d$ В НИВЕЛИРНЫХ ХОДАХ I КЛАССА ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ ИХ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ

Поскольку в нашей печати, начиная с 1972 г. [4] не было как обобщенных, так и региональных статистических материалов по точному нивелированию I и II классов, считаем необходимым привести сведения, которыми мы располагаем о накоплениях разностей  $d_1...d_6$  [1] по территории нашей страны (табл. 1).

Преимущественно отрицательные накопления разностей  $d$  в 40-60-е годы прошлого столетия, отмечаемые многими исследователями [5,6], сохранились и в последующие десятилетия.

Таблица 1

| Период | Годы             | Общая длина ходов, км | Накопление разностей $d$ , мм |         |          |         |        |         |
|--------|------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|----------|---------|--------|---------|
|        |                  |                       | $d_1$                         | $d_2$   | $d_3$    | $d_4$   | $d_5$  | $d_6$   |
| I      | 1945-1949        | 10752                 | -1220,8                       | -790,1  | -2203,4  | -374,0  | -217,4 | -1284,5 |
| II     | 1950-1959        | 16523                 | -100,1                        | -536,3  | -1865,0  | -1265,4 | +222,5 | -1564,1 |
| III    | 1960-1969        | 18175                 | -481,6                        | -218,4  | -963,4   | -260,9  | -125,1 | -610,2  |
| IV     | 1970-1979        | 22361                 | -1223,1                       | -706,7  | -548,8   | +1359,4 | -260,6 | +403,1  |
| V      | 1980-1989        | 37925                 | -851,9                        | -1415,1 | -1960,1  | +275,4  | +282,4 | -836,9  |
| VI     | 1990-2003        | 20539                 | -562,1                        | -877,3  | -743,8   | +686,8  | +163,1 | -23,8   |
|        | $\Sigma_{I-VI}$  | 159271                | -5167,8                       | -5879,3 | -10060,1 | +686,5  | +370,9 | -4665,8 |
|        | $\Sigma_{II-VI}$ | 148519                | -3947,0                       | -5089,2 | -7856,7  | +1060,5 | +588,3 | -3381,3 |

Поскольку в разные десятилетия выполнялся разный объем работ, сложно зрительно воспринять динамику изменения величин разностей  $d$ , приведем в табл. 2 эти накопления на 100 км нивелирного хода.

Значительные величины  $d$  в период I были обусловлены программой наблюдения того времени. Назовем ее «старой программой». В начале 50-х годов перешли на новую программу наблюдения [1], которая позволила резко уменьшить величины накоплений разностей  $d$ .

Таблица 2

| Период                  | Накопление разностей $d$ на 100 км нивелирного хода, мм |       |       |       |       |       |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | $d_1$                                                   | $d_2$ | $d_3$ | $d_4$ | $d_5$ | $d_6$ |
| I                       | -11,3                                                   | -7,3  | -20,5 | -3,5  | -2,0  | -11,9 |
| II                      | -0,6                                                    | -3,2  | -11,3 | -7,6  | +1,3  | -9,5  |
| III                     | -2,6                                                    | -1,2  | -5,3  | -1,4  | -0,7  | -3,3  |
| IV                      | -5,5                                                    | -3,2  | -2,4  | +6,1  | -1,2  | +1,8  |
| V                       | -2,2                                                    | -3,7  | -5,2  | +0,7  | +0,7  | -2,2  |
| VI                      | -2,7                                                    | -4,3  | -3,6  | +3,3  | +0,8  | -0,1  |
| периоды II-VI в среднем | -2,6                                                    | -3,4  | -5,3  | +0,7  | +0,4  | -2,3  |

Но к осредненным значениям их следует подходить весьма осторожно, так же как к «средней» температуре пациентов в больнице. Если в большинстве линии нивелирования в совокупности преобладали отрицательные разности  $d$ , то в других происходило значительное накопление положительных разностей.

Причины накопления как существенных отрицательных, так и положительных разностей  $d$  исследователи по каждой линии пытались объяснить поразному: особенностями трассы, климатическими условиями, подбором исполнителей и т.д. Так, к примеру, на фоне общих значительных отрицательных разностей  $d$  Мещерский И.Н. и Энтин И.И., анализируя линию Куйбышев-Киров, занивелированную в 1957-1959 гг. исполнителем Алексеевым пишут на стр. 7 [4]:

«Большинство разностей  $d_3$ ,  $d_4$  и  $d_6$  положительные, причем разности  $d_4$  больше разностей  $d_3$ . Это значит, что для данного нивелирования характерно оседание костылей (особенно левого) во время перехода со станции на станцию и выпирание штатива во время работы на станции».

Преимущественно положительные накопления разностей  $d$  по линии Красноводск-Чарджоу эти же авторы объясняют: ... «на отдельных секциях отмечались значительные (положительные) накопления разностей  $d_3$ ,  $d_4$  и  $d_6$  (исп. Воробьев). На трех секциях длиной 54,4 км у этого исполнителя накопления разностей  $d_6$  достигает +37,0 мм. Эти секции были исполнены в декабре 1962 – январе 1963 гг. в период неустойчивой погоды и сильных ветров...

Далее ... «У первых трех исполнителей (Алексеев, Воробьев, Меньков) накопления (положительные) разностей  $d_3$ ,  $d_4$  и  $d_6$  вызвано оседанием костылей, а у двух последних (Волошинов, Климахин) – их выпиранием во время перехода исполнителей со станции на станцию».

По линии Оймякон-Якутск (1964-65 гг.) в итоге все шесть разностей  $d$  получились положительными. Отмечая значительные положительные накопления у исполнителя Грозновского на участке 3, превысившие допуск инструкции приходят к выводу:

«К недостаткам работ на этих линиях следует отнести то, что многие наблюдатели первым на своих участках прокладывали всегда прямой ход. Это не позволяет надеяться на существенную компенсацию систематических

ошибок на этих участках, так как затраты времени на проложение первого хода, как правило, на 10-20% больше, чем второго».

На фоне преимущественно значительных отрицательных накоплений разностей  $d$  по линиям Курган-Новосибирск (1960-1962 гг.), Новосибирск-Красноярск (1963 г.), Красноярск-Иркутск (1963-1964 гг.), Иркутск-Чита (1965-1966 гг.), проложенных вдоль железной дороги, по линии Обозерская-Беломорск (1966-1967 гг.), проложенной по полотну железной дороги при вполне удовлетворительных условиях получены за исключением  $d_4$  значительные положительные накопления остальных пяти разностей.

Не отрицая индивидуальных особенностей нивелирования каждой трассы, обусловленных климатическими условиями, временем наблюдения, характером грунтов, применяемыми приборами и другими, попытаемся установить общие закономерности накопления разностей  $d$ , связанные с регионом производства работ, направлением линии относительно частей света и подбором исполнителей.

Нашими исследованиями было установлено, что при разделении направления линий по географическому признаку проявились существенные и закономерные различия в величинах и знаках накоплений разностей  $d$  в линиях меридионального, субширотного и широтного направлений [2], а так же при разделении территории России на северную и южную зоны [3].

В данной работе проанализируем накопления разностей  $d$  по климатическим зонам и по температурному состоянию грунтов. Для этого всю территорию страны разделим на 3 зоны.

I зона. Умеренно-теплого климата с неглубоким примерзанием грунтов, обычно не превышающем 1-1,5 м.

II зона. Более сурового климата, со значительной мощностью промерзания грунтов в зимнее время 1,5-2 и более м; поздней весной, а следовательно и поздним протаиванием грунтов в разгар полевого сезона, а так же наличием участков островной мерзлоты.

III зона. Сурового климата со сплошной мерзлотой или мерзлотой с таликами.

К первой зоне отнесем всю Европейскую часть России за исключением Кольского полуострова и ее Северо-Восточной части, Средний и Южный Урал, Южную часть Западной Сибири. По Восточной Сибири все линии нивелирования, проходящие по трассе железной дороги Ачинск-Красноярск-Тайшет-Усть-Кут и южнее. По Забайкалью - южные районы Бурятии и Читинской области. По Дальнему Востоку - южные районы Амурской области, Хабаровского края и Приморье.

Ко второй климатической зоне отнесем Кольский полуостров, север Архангельской области, территорию Коми, Северный Урал, Север Западной Сибири с условной границей по среднему течению реки Оби. По Восточной Сибири - северные районы Приангарья и территории по Подкаменной Тунгуске. Все линии, идущие вдоль трассы БАМ от Усть-Кута через Уоян, Тынду до Ургала. Прибрежье Охотского моря от Тугура и Аяна до Охотска, Камчатку.

К третьей климатической зоне отнесем весь север Красноярского края, от Нижней Тунгуски включая Таймыр, всю территорию Якутии и весь Северо-Восток страны включая Магаданскую область и Чукотку.

В первой зоне по нашей информации оказалось 113 линий нивелирования общей протяженностью 70232 км, во второй – 55 линий протяженностью 33274 км и в третьей – 47 линий протяженностью 35250 км.

Накопления разностей  $d$  по этим зонам как суммарные, так и на 100 км хода приведем в табл. 3.

Таблица 3

| Зона | Суммарная<br>протяженность линий,<br>км | Накопление разностей $d$ , мм |         |         |         |        |         |
|------|-----------------------------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
|      |                                         | $d_1$                         | $d_2$   | $d_3$   | $d_4$   | $d_5$  | $d_6$   |
| I    | 70232<br>на 100 км                      | -2011,5                       | -2539,9 | -5260,7 | -789,7  | +270,4 | -3023,3 |
|      |                                         | -2,9                          | -3,6    | -7,5    | -1,1    | +0,4   | -4,3    |
| II   | 33274<br>на 100 км                      | -1182,5                       | -1192,7 | -1355,2 | +1015,4 | +15,1  | -165,6  |
|      |                                         | -3,6                          | -3,6    | -4,1    | +3,1    | 0,0    | -0,5    |
| III  | 35250<br>на 100 км                      | -243,4                        | -599,1  | +1339,1 | +2159,5 | +178,2 | +1749,2 |
|      |                                         | -0,7                          | -1,7    | +3,8    | +6,1    | +0,5   | +5,0    |

Для лучшей наглядности накопления разностей  $d$  на 100 км хода по зонам покажем графически (рис. 1) Четко просматривается переход от отрицательных разностей  $d$  к положительным. По разностям  $d_1$ ,  $d_2$  это различие проявилось незначительно, что и понятно, так как эти разности есть ни что иное, как расхождение превышений на каждой станции между правой и левой линиям нивелирования соответственно в прямом ходе ( $d_1$ ) и в обратном ( $d_2$ ). Поскольку наблюдения по правой линии следуют сразу за наблюдениями по левой (или наоборот), то за это время изменения условий наблюдения происходят незначительные.

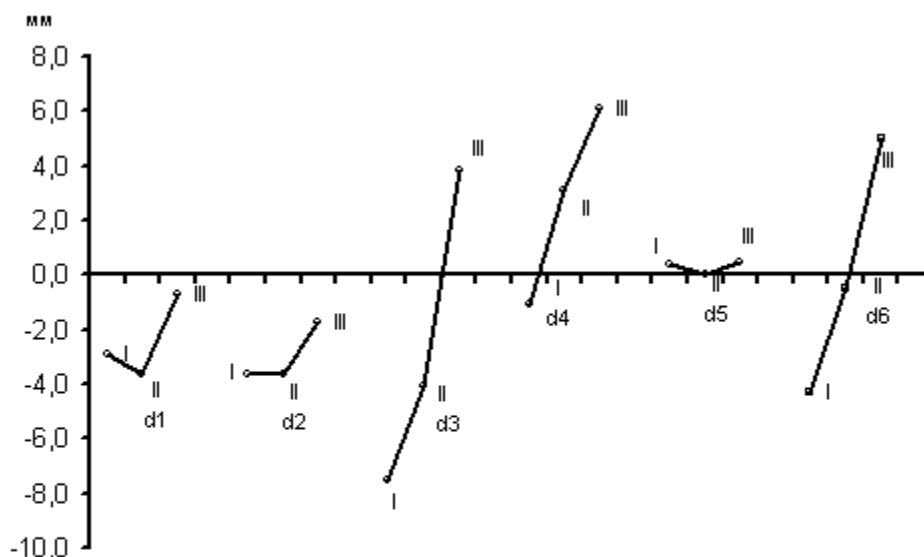


Рис. 1 Накопления разностей  $d$  на 100 км хода по зонам  
 I - зона умеренно теплого климата  
 II - зона прохладного климата  
 III - зона сурового климата

А вот различия в разностях  $d_3$ ,  $d_4$  и  $d_6$  проявились резкие, что тоже неудивительно, ибо разности  $d_3$  представляют собою расхождения превышений измеренных в ходе прямо и в ходе обратно по правой линии нивелирования, а  $d_4$  соответственно по левой. В этих разностях сказываются, прежде всего, изменения в положении связующих точек (костылей, кольев) за время перехода наблюдателя со станции на станцию и за все время наблюдения секции от одного репера до другого. Обычно это несколько дней.

Разность  $d_6$  представляет собою среднее значение из разностей  $d_3$  и  $d_4$  и графически подобна их линиям (см. рис. 1).

Анализ возможных причин резкого перехода от преимущественно отрицательных разностей  $d$  в зонах I и II к значительным положительным в зоне III является предметом последующих исследований и публикаций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226с.
2. Иванов В.Г. Разделение линий нивелирования I класса относительно меридиана. // Геодезия и картография. – 2003, - № 5. – С. 17-20.
3. Иванов В.Г. Разделение линий нивелирования I класса по широтному признаку // Геодезия и картография. – 2003, - № 6. – С. 11-16.
4. Мещерский И.Н., Энтин И.И. Анализ результатов нивелирования I и II классов. // Тр. ЦНИИГАиК, вып. 169. – М.: Недра. 1972. – 72 с.
5. Синягина В.И. Анализ результатов нивелирования I класса Советского Союза. // Тр. ЦНИИГАиК, вып. 114, - М.,: Геодезиздат, 1957.
6. Энтин И.И. Анализ результатов нивелирования I и II классов. // Тр. ЦНИИГАиК, вып. 135, - М.,: Геодезиздат, 1960. – 52с.



**СОВРЕМЕННОЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАСС ИНЖЕНЕРНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Решения задач исследования и проектирования сложных технических систем (инженерных сооружений) взаимосвязаны. Очевидно, решения тех и других задач должны иметь общую методологическую основу исследования сложных систем, включающую системно-структурный, объектно-ориентированный и другие подходы [1]. Поэтому данная статья включает подходы к решению проблемы инженерных изысканий и проектирования сложных инженерных сооружений, в частности, сооружений линейного типа (линий электропередачи и связи, нефте- и газопроводов, авто - и железных дорог и т. п.) на иной методологической основе.

Процесс проектирования представляется в виде иерархической системы. В её подсистемах (уровнях и блоках) присутствуют такие основные операции, как изобретательство, инженерный анализ, оптимизация и принятие решений.

Одной из основных задач инженерной геодезии является создание геодезических построений для обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации промышленных инженерных сооружений. При этом в единой системе координат должны быть определены на земной поверхности или вынесены в натуру положения точек и направления осей в соответствии с пространственной или пространственно-временной структурой инженерного сооружения.

Традиционно при инженерных изысканиях и проектировании трасс сооружений линейного типа большая роль в определении оптимального пространственного положения сооружения принадлежит геодезистам. Результаты геодезических работ в значительной степени определяют эффективность проектных работ, строительства и эксплуатации будущего сооружения.

Приходится констатировать, что в традиционной технологии инженерных изысканий и проектирования указанного типа инженерных сооружений имеет место противоречивая ситуация, когда трасса выносится в натуру до процесса определения мест установки опор линий электропередачи (ВЛ) или площадок нефтеперекачивающих станций в нефтепроводах. Это искусственно ограничивает область проектирования, так как не позволяет рассматривать всё многообразие возможных проектных вариантов, что, в конечном счете, ведет к неоправданному расходу различных ресурсов, т. е. к неоптимальному решению задачи. Причиной тому является раздельная, т. е. не системная, организация производственного процесса, осуществляющего технологическую формулу «сбор, обработка информации о местности – камеральная разработка трассы – вынос в натуру оси сооружения – проектирование». Цена такого разделения труда между процессами инженерных изысканий и проектированием, в



частности, в электросетевом строительстве приводит, по некоторым источникам, к омертвлению капитала до 15% от общих капитальных затрат.

Таким образом, для предотвращения негативных явлений в использовании различных ресурсов при проектировании и строительстве, актуальной является проблема осуществления многовариантного моделирования и оптимизации компоновочных решений по размещению проектируемого объекта на местности по критерию минимизации затрат на его строительство.

Традиционная технология слишком упрощена и, вследствие этого, не оптимальна для условий непрерывно возрастающей сложности искусственной среды, и если эффективность традиционных методов размещения на местности проектируемого объекта в основном зависит от интуиции и прошлого опыта проектировщика, то теперь картина резко изменилась [2]: «на передний план выдвинулась задача теоретического обоснования и планирования, моделирования программы эксперимента, начиная от формулировки задачи и кончая процедурой интерпретации ожидаемых опытных данных». Наступившая эра геоинформационных технологий позволяет эффективно влиять на процесс принятия решения путем оперативного создания аналоговых, электронных и цифровых карт местности в нужном месте и в нужный момент и удобном для потребителя масштабе.

Соответствие геоинформационных технологий современным требованиям автоматизированного проектирования (АП) заключается в том, что создаваемая геоинформационная среда позволяет в интерактивном режиме проектировать в вариантах компоновку элементов будущего сооружения и осуществлять их привязку к местности, где намечено строительство, т. е. позволяет вести многовариантное проектирование в пределах пространства управляемых параметров.

Такая концепция проектирования инженерных сооружений линейного типа связана с реализацией формулы «сбор, обработка и интерпретация информации о среде – проектирование – оптимизация решений – вынос трассы в натуру». Это вызывает принципиальное разделение технологических потоков в традиционных производственных процессах собственно проектирования и инженерных изысканий с эффективным качественным изменением существа задач указанных процессов.

В качестве методологической основы решения рассматриваемой комплексной проблемы ряда технических наук, в которых большую роль играет геодезия, принимаем следующие концептуальные положения.

Система геодезических, геофизических и других наблюдений, их обработки, интерпретации и принятия решений является системой с распределенными природными компонентами. Природными компонентами (объектами) являются как физическая поверхность Земли, так и геофизическая среда (гидросфера, атмосфера, гравитационное поле и т. п.). Сложность системы с природными компонентами определяется сложностью проблемы; сложностью управления процессом разработки; сложностью обеспечения гибкости конечного информационного продукта и сложностью описания отдельных подсистем. Характерные особенности сложных систем с

природными компонентами обуславливают большую сложность решения проблемы оптимизационного проектирования технических систем, в частности, трасс линейных инженерных сооружений.

При проектировании трасс инженерных сооружений, очевидно, необходимо предусмотреть влияние на такие сооружения геодинамических процессов как локальных, так и региональных. В связи с этим математические модели проектируемых трасс и геолого-геофизической среды, а также систем разнородных комплексных наблюдений и их обработки рационально строить в пространстве состояний [2]. Из существующих методов, которые направлены на решение растущей сложности систем (метод структурного проектирования или метод организации потоков данных и т. д.) метод объектно-ориентированного проектирования (ООП) наиболее полно отвечает решению проблемы оптимизации трасс инженерных сооружений [2]. В основе объектно-ориентированного подхода лежит представление о том, что сложные системы необходимо проектировать как совокупность взаимодействующих друг с другом объектов, рассматривая каждый объект как экземпляр определенного класса, причем классы при этом образуют иерархию. Проектирование объектно-ориентированной системы (ООС) предполагает эволюционный путь развития системы на базе небольших подсистем. Создание такой модели ООС, которая основывается на объектах (объектах окружающей среды), принадлежащих проблемной области, и сформулировано как результат применения объектно-ориентированной декомпозиции. От того, насколько правильно будет разделена ООС на подсистемы, зависит эффективность отладки (настройки) каждой из этих систем и в какой степени конечный продукт функционирования системы будет свободен от ошибок. Таким образом, ООС рассматривается как упорядоченная совокупность объектов на различных иерархических уровнях, которые в процессе взаимодействия друг с другом обеспечивают функционирование системы как единого целого.

Методологической базой ООП является системно-структурный подход (ССП). В СПП главными понятиями являются «система и структура», «система и модель», рассматриваемые как парные категории. Выделяя оперативно-целевой аспект СПП, система имеет быть определена как некоторый фрагмент объективной реальности, выполненный исследователем для достижения определенной цели, при этом выделяемый фрагмент является объектом системы, т. е. учитывается структурно-функциональный аспект системы. СПП включает в себя субъективный элемент – человека. Таким образом, «вход» СПП к решению системных задач включает в себя и субъективный фактор, связанный с так называемым целеполаганием (например, с уяснением цели оптимального проектирования трассы конкретного линейного сооружения. Но результат на «выходе» СПП основывается на трех объективных методах теоретических исследований, математического моделирования и экспериментальных исследований. Морфологическая сторона структурного аспекта связана с характеристиками строения системы, а организационная – со способами взаимодействия объектов системы. Представление структуры объекта в форме графов приводит к рассмотрению иерархических многоуровневых

систем. Таким образом, на языке математики, структура системы – это задание отношения на множестве элементов системы, удовлетворяющих некоторому набору аксиом. Системы, для которых имеется возможность описания их структуры, называются структурированными.

Принципиально важным моментом является то, что моделирование состояния динамической системы выполняется в пространстве состояний теории динамических систем и управления. При этом концептуальная модель такой системы строится в виде трехуровневой иерархической структуры [1].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ловягин В.Ф. Методологические аспекты постановки задачи оптимизации трасс с позиций системно-структурного подхода // Вестник Сибирской государственной геодезической академии / СГГА. - Вып.8. - Новосибирск, 2002. - С. 60 - 68.
2. Середович В.А., Панкрушин В.К., Кузнецов В.И., Мазуров Б.Т., Ловягин В.Ф. Идентификация движения и напряженнодеформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям. – Новосибирск: СГГА. - 2004. – 320 с.

© В.Ф. Ловягин, 2005

УДК 528.28

В.А. Середович, Д.А. Ферулев

СГГА, Новосибирск

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОЛЕВОГО КОДИРОВАНИЯ

##### 1. Введение

Научно-технический прогресс и высокие темпы развития различных отраслей науки привели к автоматизации методов выполнения крупномасштабных съёмок.

На современном уровне развития наземных топографических съёмок наивысшей степенью автоматизации является способ электронной тахеометрии, который позволяет применять кодирование объектов.

Кодирование – это описание объектов с помощью кодов, соответствующих классификатору топографических объектов.

Усложнение задач инженерно-геодезических изысканий, непрерывный рост объёмов крупномасштабных съёмок и других инженерно-геодезических работ, интенсивное использование электронно-вычислительной техники и различных ГИС в последние десятилетия вызвало необходимость создания цифровых моделей местности для сбора, хранения, анализа и отображения информации.

Цифровая модель местности – совокупность топографо-геодезических объектов и информации по ситуации и рельефу местности.

После создания цифровой модели местности выделяются следующие типы объектов:

1. Точечный объект - отдельная пара координат  $X, Y$ . Определяет объект, локализованный в пункте, чьи размеры слишком малы, чтобы можно было отразить его форму (границы, площадь) в масштабе карты. Может также

представлять некий условный объект, не имеющий размеров, например, отметку высот;

2. Линейный объект - объект, локализованный в виде линии, чья ширина не выражается в масштабе карты - река, дорога и т.д. Может также представлять некий условный объект, не имеющий размеров, например, границу;

3. Полигональный (площадной) объект - объект, имеющий площадь, выражающуюся в масштабе карты. Определяется замкнутой границей и определяемой ей внутренней областью, например, лес, озеро;

4. Текстовый объект.

## **2. Кодирование, как метод совершенствования выполнения крупномасштабных съемок**

Для совершенствования выполнения и обработки крупномасштабной съемки местности, наряду с автоматизированными системами электронной тахеометрии и всевозможными ГИС, можно также назвать кодирование объектов.

Кодирование применяется в электронных тахеометрах для большей автоматизации обработки полевых материалов в камеральных условиях.

Система полевого кодирования представляет собой набор команд, параметров и атрибутов, предназначенных для ввода и накопления информации о топографических объектах при съемке, с помощью которой можно:

- Установить связь объекта и его описание в классификаторе;
- Осуществить привязку объектов к снимаемым точкам на местности;
- Сформировать описание геометрии сложных линейных и площадных объектов;
- Задать семантическое описание объектов;
- Определить параметры снимаемых пунктов (тип координат и отношение к рельефу);
- Управлять процессом съемки труднодоступных или недоступных объектов в случае, когда программное обеспечение прибора не поддерживает такое управление.

## **3. Требования к системе классификации объектов**

Кодирование – это описание объектов с помощью кодов, соответствующих классификатору топографических объектов.

Классификатор объектов – документ, представляющий систематизированный свод наименований и кодовых обозначений объектов местности, подлежащих включению в состав цифровых топографических карт.

1. Система классификации объектов должна охватывать все подлежащие классификации объекты.

2. Система классификации должна разрабатываться с учётом принципов, которые использовались при формировании содержания топографических карт, включая их математическую основу, условные знаки и справочную информацию.

3. Система классификации и созданные в соответствии с ней классификаторы должны однозначно определять принадлежность всех подлежащих классификации объектов к классификационным группировкам.

4. Классификаторы должны быть гибкими, то есть допускать включение новых объектов или исключение существующих без изменения классификации других объектов.

5. Каждый классифицируемый объект должен входить только в одну классификационную группировку. Объекты классифицируются в соответствии с присущими им признаками.

#### **4. Требования к системе кодирования объектов**

Требования к системе кодирования объектов следующие:

1. Система кодирования должна обеспечивать преобразование объекта в соответствующее ему уникальное кодовое обозначение при помощи исполнителя.

2. Способ кодирования объектов основывается на принятой системе классификации;

3. Символами, используемыми для кодирования, являются:

- Арабские цифры 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9;
- Буквы латинского алфавита от А до Z;
- Точка, пробел, минус. (Возможны и другие.)

4. Каждая классификационная группировка должна иметь свой собственный уникальный код.

#### **5. Виды полевого кодирования**

##### **5.1. Алфавитно-цифровое кодирование**

В программе CREDO применяется система кодирования двух видов – алфавитно-цифровая и цифровая. Выбор кодировки определяется возможностями используемого электронного тахеометра (регистратора) и привычками пользователя при работе в полевых условиях.

В поле код топографического объекта и необходимые команды управления записывается в соответствующую графу тахеометрического журнала “Код” электронного прибора (регистратора) в процессе съемки.

В алфавитно-цифровом кодировании используются буквы латинского алфавита от А до Z, цифры от 0 до 9 и символы (Точка, пробел, минус).

В качестве кодов в классификаторе CREDO используются трехзначные цифровые коды. В табл. 1 приведен пример фрагмента классификатора.

*Таблица 1*

| Наименование             | Код объекта | Слой в ЦММ | Номер условного знака внутри |
|--------------------------|-------------|------------|------------------------------|
| Геодезические пункты:    |             |            |                              |
| пункты геод. сети        | 100         | 1          | 1                            |
| пункты сети сгущения     | 110         | 1          | 2                            |
| съёмочные точки постоян. | 120         | 1          | 3                            |
| съёмочные точки времен.  | 121         | 1          | 4                            |

Основная роль классификатора – связать код с соответствующим условным знаком из библиотеки условных знаков CREDO.

##### **5.2. Цифровое кодирование**

Команды, задающие порядок построения и формы сегментов линейных или площадных объектов следующие: 8 – окончание объекта с замыканием, 9 – окончание объекта.

Признак принадлежности к рельефу (“0” – точка принадлежит рельефу, “1” – точка не принадлежит рельефу, “2” – точка не принадлежит рельефу и не обрабатывается).

Топографический код объекта, выбирается в соответствии с классификатором.

В качестве идентификатора объектов используются цифры от 0 до 9.

Это делает цифровое кодирование менее удобным для чтения, но зато более универсальным и пригодным для кодирования на основе полевых накопителей со слабыми возможностями ввода.

Применение цифрового кодирования дает возможность более быстрого запоминания необходимых кодов из-за их меньшего количества, чем при алфавитно-цифровом.

## **6. Элементы кодовой строки**

Кодовая строка – это одно или несколько текстовых полей, содержащих коды, команды, параметры или атрибуты системы полевого кодирования. Одни и те же элементы кодовой строки могут иметь разное представление в стандартном и компактном форматах, но выполняют при этом одинаковые функции. Кодовая строка включает следующие элементы:

- Команда. Код команды управления съемкой или команды, задающие порядок построения и формы сегментов линейных или площадных объектов таких как: начало объекта, конец объекта, конец объекта с замыканием, соединение с задаваемой точкой (BEG, END, CL, JMP)

- Признак принадлежности к рельефу – отметка принадлежит или не принадлежит рельефу, отметка не отображается и не обрабатывается (r, s, n). Признак служит одновременно разделителем команды и кода в кодовой строке. Когда в признаке нет необходимости, вместо него ставится пробел.

- Код. Топографический код объекта, с помощью которого осуществляется связь объекта с его описанием в классификаторе (кодовая таблица).

- Идентификатор объекта, используемый при одновременной съемке нескольких одинаковых линейных или площадных объектов. Если на объекте идет такая съемка, то пользователь дает объектам дополнительно буквенный или цифровой номер по своему усмотрению.

## **7. Достоинства и недостатки стандартных методов кодирования.**

Достоинства:

1. Возможно исправление кодов в текстовом файле, если были ошибки при вводе в момент съемки;

2. При правильной кодировке основные моменты съемки будут нарисованы самой ЭВМ в программе CREDO;

3. При необходимости можно в программе CREDO в библиотеке кодов ввести свои коды, более удобные для применения.

Недостатки:

1. Приходится иметь с собой список необходимых кодов для ввода в тахеометр;
2. При большом объеме работ невозможно запомнить пропущенные пикеты одного объекта снятые с разных точек стояния, которые необходимо отметить соответствующими командами (замыкание, соединение с предыдущим пикетом). (Когда три угла здания снимают с одной точки, а четвертый с другой, при этом необходимо, чтобы они соединились).

© В.А. Середович, Д.А. Ферулев, 2005

## **АНАЛИЗ ДВУХ СЪЕМОК РАЗНЫХ ЛЕТ**

### **1. Введение**

В период с мая по сентябрь 2003 года инженерами и студентами СГГА проводилось обновление и корректировка микрорайонов А, Г, Д-1, Учебного центра города Ноябрьска Тюменской области, Ямало-Ненецкого автономного округа.

Обновление топографической съемки выполнялось в целях эффективного управления и рационального использования земель в муниципальном образовании г. Ноябрьска и приведения содержания картографического материала в соответствие с современным состоянием местности. Одновременно с этим создавалась цифровая модель местности на территорию этих микрорайонов путем обработки результатов растрового сканирования расчлененных оригиналов отражающих состояние местности на момент 1987года.

### **2. Технология обновления**

#### **2.1. Сбор геодезических, картографических материалов**

Были получены документы, разрешающие выполнение данного вида работ в городе, каталоги координат для создания съемочного обоснования, исходные материалы в виде растрового изображения обновляемой территории.

#### **2.2. Создание съемочного обоснования**

Имеющаяся геодезическая основа была следующая: два ственных знака 1 разряда, пункт полигонометрии 1 разряда № 1685, 4 класса № 1568 и пункт полигонометрии 1 разряда с плановыми координатами для привязки хода на конечном пункте.

Съемочное обоснование выполнялось тахеометром “Topcon” GTS-229 в виде хода полигонометрии, опирающегося на два исходных пункта. Длина хода 1700 м. Угловая невязка составила 60 сек., относительная погрешность 1/8000, абсолютная погрешность 0.220 м. По всем характеристикам проложенный ход соответствовал полигонометрии 2 разряда. Невязка нивелирного хода составила 39 мм, что соответствует ходу технического нивелирования. Затем для сгущения съемочного обоснования прокладывались теодолитные ходы с предельной относительной погрешностью 1/3000.

#### **2.3. Обновление**

Затем с точек геодезического обоснования выполнялась съемка твердых контуров местности (углы домов, опоры ЛЭП, кромка асфальта и т. д.). Также использовалась 50 метровая металлическая рулетка для измерения расстояний. Выполнялся поиск новых подземных коммуникаций при помощи трассоискателя и их координирование тахеометром. Все приборы прошли метрологическое исследование и соответствовали требованиям, предъявляемым к ним.



## 2.4. Обработка результатов

В камеральных условиях полевые данные импортировались в ЭВМ. С их помощью определялась необходимость корректировки предыдущей съемки. По разности в плане и по высоте одних и тех же точек двух съемок зависело - нужна ли корректировка съемки 1987 года. Для удобства и наглядности общей картины местности, пикеты, набранные в поле, соединили по абрисам. На экране ЭВМ было видно, как контуры площадных объектов не совпадают, линейные и точечные - повернуты и сдвинуты.

### 3. Возникшая проблема

Было решено, для полной убежденности в том, что материалы двух съемок одной местности различаются, провести съемку участка для более детального сравнения. Отсняли часть микрорайона, используя при этом полевое кодирование. Загрузили съемочные точки в компьютер, создали по ним цифровую модель местности (ЦММ). Создавали цифровую модель местности операторы с высоким уровнем профессиональной подготовки картографической и в области ГИС. При этом обеспечивался многоступенчатый контроль ЦММ в процессе ее создания.

Вместе с ЦММ открыли материалы растрового изображения данной территории. Контуры площадных объектов не совпадали, линейные и точечные были повернуты и сдвинуты. Никакого систематического сдвига заметно не было. Общая площадь сравниваемой территории составила 16,4 га. Встала необходимость узнать среднее расхождение точек съемки в плане и по высоте, для того, чтобы узнать в пределах допуска находятся расхождения съемок или нет. И какими причинами это могло быть вызвано. В табл. 1 и 2 указаны плановое и высотное расхождение точек съемок.

Таблица 1. Ведомость планового сравнения съемочных точек

| №   | Номер съемочной точки | Расхождение съемочной точки с точками растрового изображения в плане (м) | Среднее расхождение в плане (м) | Примечание                               |
|-----|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 1.  | 1026                  | 0,29                                                                     | 0,4                             | Углы дома по адресу ул. Магистральная 43 |
| 2.  | 222                   | 0                                                                        |                                 |                                          |
| 3.  | 772                   | 0,61                                                                     |                                 |                                          |
| 4.  | 179                   | 0,68                                                                     |                                 |                                          |
| 5.  | 882                   | 0,4                                                                      | 0,42                            | Углы дома по адресу ул. Магистральная 41 |
| 6.  | 881                   | 0,55                                                                     |                                 |                                          |
| 7.  | 947                   | 0,47                                                                     |                                 |                                          |
| 8.  | 911                   | 0,28                                                                     |                                 |                                          |
| 9.  | 953                   | 0,25                                                                     | 0,52                            | Углы дома по адресу ул. Магистральная 39 |
| 10. | 806                   | 0,45                                                                     |                                 |                                          |
| 11. | 785                   | 0,73                                                                     |                                 |                                          |
| 12. | 780                   | 0,65                                                                     |                                 |                                          |
| 13. | 66                    | 0,47                                                                     | 0,47                            | Центр люка колодца                       |
| 14. | 65                    | 0,46                                                                     | 0,46                            | Центр люка колодца                       |
| 15. | 179                   | 0,69                                                                     | 0,69                            | Центр люка колодца                       |

|     |                              |      |      |                                                  |
|-----|------------------------------|------|------|--------------------------------------------------|
| 16. | 107                          | 0,72 | 0,72 | Центр люка колодца                               |
| 17. | 171                          | 0,6  | 0,47 | Углы дома по адресу Дружбы 6                     |
| 18. | 482                          | 0,61 |      |                                                  |
| 19. | 491                          | 0,48 |      |                                                  |
| 20. | 920                          | 0,19 |      |                                                  |
| 21. | 487                          | 0,57 | 0,32 | Углы дома по адресу ул. Дружбы 8                 |
| 22. | 1918                         | 0,27 |      |                                                  |
| 23. | 1966                         | 0,08 |      |                                                  |
| 24. | 1250                         | 0,35 |      |                                                  |
| 25. | 505                          | 0,82 | 0,82 | Опора ЛЭП<br>Опора ЛЭП<br>Опора ЛЭП<br>Опора ЛЭП |
| 26. | 503                          | 0,12 |      |                                                  |
| 27. | 456                          | 0,29 |      |                                                  |
| 28. | 1112                         | 0,61 |      |                                                  |
| 29. | 1382                         | 0,42 | 0,31 | Углы дома по адресу ул. Дружбы 10                |
| 30. | 1972                         | 0,57 |      |                                                  |
| 31. | 1988                         | 0,09 |      |                                                  |
| 32. | 1308                         | 0,15 |      |                                                  |
|     | Среднее значение расхождений |      | 0,47 |                                                  |

Таблица 2. Ведомость высотного сравнения съёмочных точек

| №   | Номер съёмочной точки | Отметка съёмочной точки (м)  | Отметка точки растрового изображения (м) | Среднее расхождение по высоте (м) | Примечание                           |
|-----|-----------------------|------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1.  |                       | 118,11                       | 118,16                                   | -0,05                             | Угол забора                          |
| 2.  | 2622                  | 118,56                       | 118,37                                   | 0,19                              | Углы дома по адресу ул. Дружбы 8г    |
| 3.  | 357                   | 118,34                       | 118,41                                   | -0,07                             |                                      |
| 4.  | 358                   | 118,15                       | 118,13                                   | 0,02                              |                                      |
| 5.  | 359                   | 118,21                       | 118,06                                   | 0,15                              |                                      |
| 6.  | 1142                  | 118,29                       | 118,50                                   | -0,21                             | Угол забора                          |
| 7.  | 984                   | 119,24                       | 119,32                                   | -0,08                             | Углы трансформаторного пункта №324   |
| 8.  | 985                   | 119,25                       | 119,32                                   | -0,07                             |                                      |
| 9.  | 234                   | 118,44                       | 118,46                                   | -0,02                             | Отметка земли у опоры ЛЭП            |
| 10. | 156                   | 118,29                       | 118,33                                   | -0,04                             | Кромка асфальта                      |
| 11. |                       | 117,71                       | 117,29                                   | 0,42                              | Угол дома по адресу ул. Советская 20 |
| 12. | 1382                  | 117,22                       | 117,53                                   | -0,31                             | Уголы дома по адресу ул. Дружбы 10   |
| 13. | 1972                  | 117,62                       | 117,47                                   | 0,15                              |                                      |
| 14. | 487                   | 117,75                       | 117,15                                   | 0,30                              | Уголы дома по адресу ул. Дружбы 8    |
| 15. | 1918                  | 117,41                       | 116,91                                   | 0,25                              |                                      |
| 16. | 1966                  | 117,14                       | 117,36                                   | -0,22                             |                                      |
|     |                       | Среднее расхождение значений |                                          | 0,41                              |                                      |

Для сравнения результатов пикеты брались из разных частей съёмки, чтобы избежать возможных грубых ошибок на одной станции.

Среднее значение расхождения в плане составило 0.47 м, по высоте 0.41 м. Нижеуказанные факторы оказали влияние на расхождение съёмок.

#### 4. Факторы, повлиявшие на разность результатов

1. За прошедшее время был проведен пересчет исходных пунктов полигонометрии, что привело к разности координат пунктов в миллиметрах, от которых создавалась геодезическая основа.

2. Временной промежуток между съемками составил 16 лет, что вызвало осадку и сдвиг пунктов №1685 1разряда, а особенно - №1568 4 класса, расположенного на склоне полотна железной дороги. Также произошла осадка и сдвиг здания, в стене которого находились два стенных знака 1разряда.

3. Съемка 2003 года проводилась тахеометром GTS-229 фирмы Topcon и вешкой с отражателем, а съемка 1987 года с помощью кипрегеля, мензулы, ориентир-буссоли, центрировочной вилки и рейки. Точность измерения углов тахеометром GTS-229 равна 9". Точность измерения расстояния равна  $\pm(3\text{мм}+3\text{мм/км})$ . Вертикальный и горизонтальный угол определяется кипрегелем с точностью 1'. Расстояние измеряется по рейке с точностью 10 см. Вследствие этого расстояния и углы измеряемые, мензулой получаются грубее, чем тахеометром.

4. Ошибки центрирования. Точность центрирования мензулы, на которую устанавливается кипрегель 3 см, у тахеометра с оптическим центриром 1 см.

5. Ошибки наблюдателя. Ошибка взятия отсчета в тахеометре исключена, в отличие от кипрегеля.

6. Ошибки нанесения съемочных точек и линий. При нанесении ситуации и рельефа местности на бумажный носитель, закрепленный на мензульном столике, ошибка составляет 0.1 мм. Для масштаба 1:500 эта ошибка составляет 5 см.

7. Ошибки чертежника при оформлении картографического материала. Графическая точность составляет 0.1 мм в масштабе плана.

8. Ошибки при сканировании картографического материала, по которым происходило сравнение результатов.

Исходные карты и планы на бумажных (лавановых и др.) носителях неоднородны внутри каждого листа. Различные объекты отображены на них с разной точностью и их состояние зафиксировано на разные моменты времени. Возможно, при сканировании не учитывались такие параметры, как сдвиг раstra относительно начала координат, проекция раstra и другие или какой-либо из них.

Все эти пункты в какой-то мере повлияли на разность результатов съемок. Также остаются те факторы, которые могли оказать влияние как на съемку 1987, так и 2003 года:

1. Точность проложения ходов.
2. Точность закрепления точек съемочной сети.
3. Горизонтирование прибора.
4. Ошибки наведения.
5. Влияние внешних условий среды.

## 5. Выход из ситуации

Выходом из сложившейся ситуации было то, что заказчик решил не производить полную пересъемку территории микрорайонов, для чего потребовались бы дополнительные материальные затраты, а продолжать обновление с возможной корректировкой. Решив, что такая точность предыдущей съемки достаточна для дальнейших работ в этих микрорайонах.

## 6. Выводы

Проводимые работы в городе Ноябрьске еще раз подтверждают превосходство новых средств и методов измерений над старыми.

Для успешного проведения любого вида работ необходимо соблюдать некоторые правила.

1. Выбор правильной и последовательной технологии, по которой выполняется съемка или обновление.

2. Перед началом работ необходимо метрологическое исследование приборов, проведение поверок и юстировок.

3. Выполнение контроля на всех уровнях проведения работ. На этапе сбора исходных материалов необходима проверка наличия всех документов. При создании съемочного обоснования необходим контроль качества его выполнения, заключающийся в методике и материале закрепления съемочных точек и характеристик ходов (при невозможности выполнения съемочного обоснования GPS-технологиями из-за плотной городской застройки). Во время проведения съемки или обновления контроль заключается в ведении абриса, взятии пикетов в перекрытиях между разными точками стояния и после создания конечного материала визуальное сравнение его с местностью.

4. Проведение отбора инженеров, техников и операторов, которые должны соответственно иметь высокий уровень знаний по данному виду выполняемой работы и профессиональную картографическую подготовку и знания в области ГИС.

5. Выполнение контроля качества цифровой модели местности операторами и редакторами в момент ее создания и до возможной печати. Так как картографический материал должен обладать полнотой, современностью и точностью.

© В.А. Середович, Д.А. Ферулев, 2005

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ СЪЕМКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

Железная дорога является сложнейшим инженерным сооружением, включающим в себя множество различных объектов, положение каждого из которых определяется с высокой точностью. Контроль геометрических параметров и динамики изменения положения объектов в пространстве являются первостепенной задачей для обеспечения функционирования железной дороги и безопасности движения.

Проведение съемочных геодезических работ на железнодорожных станциях существенно отличается от съемки магистрального пути. Это связано с наличием определенных сложностей:

- Ограниченная прямая видимость;
- Множество точечных объектов;
- Наличие кривых малых радиусов.

Все эти факторы накладывают определенные требования и специфику к детализации съемки. Применение в таких условиях классических геодезических инструментов (теодолиты, тахеометры и т.д.) является трудоемкой задачей.

В мире разрабатываются специализированные системы и устройства, облегчающие и упрощающие процесс измерений на железной дороге. Одним из представителей таких систем является немецкая разработка GEO++® GNBAHN Track Survey System. Принцип работы заключается в Real-time измерениях спутниковой аппаратурой, установленной на ходовой тележке. В систему входит программное обеспечение, позволяющее в режиме реального времени отслеживать текущее положение, анализировать различные измерения по одному и тому же участку. Большим плюсом системы является получение всех материалов измерений в реальном времени, а большим недостатком является отсутствие полного набора измерений, для корректного анализа положения пути.

В научно-инженерном дорожном центре (НИДЦ) Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) разработаны различные комплексы по автоматизации процесса съемочных работ. Использование того или иного комплекса зависит от конечного результата. Применение аппаратно-программного комплекса (АПК) «Профиль» при съемке железнодорожных станций значительно упрощает и ускоряет процесс получения конечного продукта – плана станции с характеристиками элементов станционных путей.

Конструкция и состав АПК «Профиль» позволяет проводить полную съемку пути. В набор измерений входит получение следующих данных:

- Пространственные координаты (оси пути) GPS-аппаратурой – через 1-2 метра;

- Условные координаты гироскопической системой – через 1.5 см;
- Междурельсовое расстояние;
- Продольный, поперечный углы наклона ходовой тележки;
- Угол изменения положения в плоскости (условный азимут);
- Пройденное расстояние.

При этом производится синхронизация измерений между спутниковыми данными и остальными устройствами.

К особенностям съемки можно отнести тот факт, что антенна приемника находится на вешке, закрепленной на ходовой тележке и расположенной над осью железнодорожного пути. Таким образом, решается проблема видимости спутников, в случае присутствия железнодорожных составов на соседних путях, и добавляется проблема несовпадения положения вешки с отвесности линией. Ошибки, вносимые таким не совпадением, при высоте антенны 2,0 м могут достигать следующих величин:

- За продольный уклон (при величине уклона 20 ‰) - 4 см;
- За поперечный уклон (при возвышении рельса 150 мм и ширине пути 1520 мм) – 19,7 см.

Приведенные значения свидетельствуют о необходимости учета угла наклона вешки при точных геодезических измерениях.

Эта проблема решается путем внесения корректировки в координаты за наклон вешки. Учитывая тот факт, что все измерения синхронизированы между собой, поправки рассчитываются по результатам измерений гироскопической аппаратурой. Зная все углы наклона, ширину колеи и высоту крепления спутниковой антенны на каждые GPS-измерение, рассчитывается поправка за наклон вешки, и проводится проецирование координат на каждую головку рельса. После корректировки спутниковых данных выполняется совместная обработка всех полученных измерений. Проведение всех вычислений осуществляется программным обеспечением (ПО), разработанным для АПК «Профиль». ПО позволяет выполнять полную обработку всех материалов, и представлять их в утвержденных формах, как в табличном, так и графическом видах.

Такой комплексный подход к получаемым материалам, позволяет получить следующие преимущества:

- Все полученные данные имеют координатную привязку,
- Возможность полного анализа состояния пути, как отдельного объекта, так и в комплексе с граничащими инженерными сооружениями,
- Возможность мониторинга.

Возможности аппаратуры также позволяют заносить дополнительную атрибутивную информацию о наблюдаемых объектах. При съемке станций такой информацией являются технические характеристики объектов станционных путей (светофоры, остановочные платформы, мачты и т.д.) и расстояние до них от головки рельса.

Полученные результаты хранятся в базе данных и передаются в ГИС, где предоставляются множество возможностей по формированию стандартных и

нестандартных отчетов. Заказчику предоставляются все материалы в соответствии с требованиями нормативной документации.

© В.М. Жидов, 2005

**SMARTSTATION - НОВЫЙ ПОЛЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ КОМПАНИИ LEICA GEOSYSTEMS**

Идея объединить GPS приемник и электронный тахеометр не нова. Спутниковая система глобального позиционирования (GPS), появившись в конце прошлого столетия и обладая известными преимуществами перед традиционными оптическими средствами измерений, предоставила геодезистам совершенно новые возможности по определению пространственных координат. Вместе с тем спутниковые системы, рассматриваемые как средства наземных полевых измерений, имеют и недостатки, в числе которых необходимость наличия «видимости» спутников системы, т.е. спутниковый радиосигнал должен быть постоянно доступен для антенны спутникового приемника. Поскольку сигналы спутников легко могут быть перекрыты густой кроной деревьев и не проходят сквозь перекрытия зданий и сооружений, выполнить спутниковые измерения порой представляется трудным или невозможным. Несмотря на предсказания, что с появлением GPS технологии традиционные оптические инструменты будут заменены спутниковыми приемниками, этого не произошло. В настоящее время оптикоэлектронные инструменты, к которым относятся электронные тахеометры, широко используются и продолжают совершенствоваться. Но использование, как впрочем, разработка и создание, электронных тахеометров и GPS приемников до сих пор велось отдельно в силу их различных технологических принципов. Как правило, GPS оборудование используют для создания и сгущения опорного обоснования, а электронные тахеометры для детальной съемки ситуации и рельефа. Применение двух различных типов инструментов требует дополнительных затрат на обучение персонала, представляет неудобства при выполнении комплексных геодезических измерений на местности, когда возникает необходимость посещать пункты измерений по два раза для определения координат и выполнения съемки. Порой это является причиной возникновения ошибок при совместной обработке результатов измерений.



Еще в 1983 году на Симпозиуме DOD в своем докладе «GPS в 2000 году» господин Т. Stansell предсказывал, что геодезисты пожелают объединить традиционные геодезические инструменты с GPS для выполнения полевых съемок. А в 1998 году на международном конгрессе FIG-98 в Брайтоне шведской компанией Spectra Precision был представлен прототип интегрированного прибора. Попытка объединить тахеометр и GPS приемник с целью создания универсального полевого инструмента, умоляющего



недостатки двух технологий, удобного и эффективного при выполнении съемок, является вполне логичной и обоснованной, но до сих пор оставалась до конца не реализованной.

SmartStation – новая стадия развития тахеометров и GPS приемников.

Компания Leica Geosystems в прошлом году предоставила геодезистам новую серию полевых инструментов Системы 1200. Серия включает самые совершенные на рынке электронные тахеометры TPS1200 класса high-end и спутниковые приемники GPS1200 с выдающимися возможностями отслеживания GPS сигналов в сложных полевых условиях (технология SmartTrack) и получения быстрого и надежного результата (технология SmartCheck) при выполнении съемок в режиме реального времени (RTK) и с постобработкой результатов. Следующим шагом развития Системы 1200 явилось создание универсального интегрированного полевого инструмента SmartStation, сочетающего превосходные технические характеристики и мощные функций предыдущих поколений геодезических приборов компании.

SmartStation представляет собой комбинацию электронного тахеометра TPS1200 и геодезического двухчастотного GPS приемника, созданного с использованием технологий SmartTrack и SmartCheck. Антенна GPS приемника (SmartAntenna) крепится в верхней части тахеометра на специальном адаптере вместо стандартной ручки для переноски. Снизу адаптера крепится модем для приема RTK поправок. Управление тахеометром и GPS приемником осуществляется посредством клавиатуры тахеометра. Все данные выводятся на экран инструмента и сохраняются в едином формате на стандартную карту памяти CompactFlash.

Питание нового инструмента осуществляется с помощью одного внутреннего аккумулятора. Таким образом, не используются кабельные соединения, дополнительные аккумуляторы и внешние накопители данных. SmartStation устанавливается на один штатив и весит всего на 1 кг тяжелее обычного тахеометра. Обмен данными с внешними устройствами осуществляется с использованием встроенного модуля беспроводной связи Bluetooth.

Возможности SmartStation.

Новая геодезическая система компании Leica Geosystems, в которой объединены электронный тахеометр и спутниковый приемник, позволяет до 80% сократить время на подготовку к съемке. Перед выполнением съемки или разбивки пикетов, пользователю не нужно искать опорные пункты на местности. Необходимо просто установить SmartStation в любом удобном месте района работ, где нет препятствий для приема спутниковых сигналов. Интегрированный в SmartStation GPS приемник позволяет определять координаты текущего местоположения станции с использованием RTK технологии. Таким образом, координаты места установки прибора могут быть определены и сразу использованы как исходные для выполнения измерений положения пикетов.

Точность определения местоположения составляет 10мм+1ppm в плане и 20мм+1ppm по высоте при удалении от базовой станции до 50 км. Во время

спутниковых измерений на экран прибора выводится вся необходимая информация, включая состояние спутниковой геометрии, геометрические факторы снижения точности, определяемые координаты и оценка точности RTK решения. После определения координат точки стояния прибор переключается в режим работы электронного тахеометра и можно приступить к традиционным измерениям. При этом ориентирование можно проводить на другую точку, координаты которой определяются либо до, либо после завершения съемки. Как было сказано выше все данные сохраняются в едином формате и едином проекте, что удобно при их дальнейшем применении.

Новый инструмент принимает RTK поправки в форматах Leica, CMR и CMR+ от региональных базовых станций или отдельных GPS приемников различных производителей. Кроме того, компания Leica Geosystems для работы со SmartStation предлагает новый базовый GPS приемник GRX LightBase или стандартный GPS приемник GX1230.

#### Гибкость системы SmartStation

Особенностью системы SmartStation является ее конструктивная гибкость. При желании пользователь может использовать GPS компоненты SmartStation отдельно для GPS измерений. SmartAntenna может быть использована в комбинации с контроллером Leica RX1210 и новым приемником Leica GTX1230 в качестве самостоятельной мобильной GPS станции для съемок в режиме "реального времени" или с постобработкой результатов.

Если пользователь не имеет достаточно средств для покупки полной системы, он может сначала приобрести стандартный электронный тахеометр Leica Системы 1200, а потом докупить необходимые компоненты и в итоге получить универсальный полевой инструмент SmartStation. Это также удобно для тех пользователей, которые в настоящий момент уже используют тахеометры Leica TPS1200 и желают расширить свои возможности.

#### Эффективность использования SmartStation.

SmartStation позволяет значительно повысить эффективность полевых измерений. При использовании интегрированного полевого инструмента нет необходимости в наличии опорного обоснования, прокладке длинных ходов и выполнении обратных засечек. Это особенно актуально при измерениях на обширных площадях, а также в населенных пунктах и на строительной площадке, где существующие опорные пункты могут быть закрыты или заграждены техникой, строительными материалами и временными конструкциями. На местности в зоне приема поправок базовой станции, съемка выполняется легче, быстрее и с меньшим количеством перестановок инструмента. Одним инструментом можно выполнить определения координат пунктов измерений и съемку или разбивку, не затрачивая время на обработку данных и их перенос с GPS устройства на электронный тахеометр. С применением SmartStation средняя экономия времени по сравнению с раздельным использованием GPS приемников и тахеометров составляет более 30%! Таким образом, новый инструмент компании Leica Geosystems является очень удобным и эффективным средством выполнения комплекса геодезических работ, включающего сгущение геодезического обоснования и

топографическую съемку, особенно там, где обоснование недостаточно развито или отсутствует.

© О.В. Евстафьев, 2005

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАЗБИВКИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Электронные тахеометры, спутниковые приборы позволяют находить координаты пунктов в реальном масштабе времени. Выбор способа разбивки определяется формой разбивочной сети и особенностями разбиваемого сооружения. Если видны два или больше опорных пункта, то на определяемой точке используют программу нахождения координат точки, где установлен тахеометр, прибор измеряет расстояния до точек и угол между направлениями на них. Микропроцессор вычисляет искомые координаты точки. При наличии трех опорных пунктов целесообразно проводить измерения «во всех комбинациях», т.е. базируясь последовательно на точки 1,2; 2, 3, и 1,3. Строгое уравнивание по способу наименьших квадратов в полевых условиях очень сложно, поэтому достаточно из трех значений координат по осям X и Y. взять среднее арифметическое значение. Это дает незначительное понижение точности. По расхождениям координат точки из трех определений можно судить о влиянии погрешностей исходных данных. Способ удобен при разбивке центров мостовых опор. Тахеометр ставится на опоре вблизи ее центра, на вспомогательной точке, после определения ее координат, откладывают элементы редукиций для перехода к проектному центру опоры.

Другой путь основан на измерениях на одном пункте опорной сети, должна быть еще одна опорная точка. На опоре выбирается вспомогательная точка, определяются ее координаты, центр опоры находится отложением редукиций. Рассмотренные способы целесообразны в условиях, когда требуется высокая точность измерений. Например, при заданиях направлений тоннельных выработок, строительстве мостов, определении центров стрелочных переводов и т.п.

Контроль выноса центров мостовых опор целесообразно делать разными способами. Целесообразно использовать программу определения неприступных расстояний методом «во всех комбинациях».

На центрах опор ставятся отражатели. В процессор тахеометра загружается нужная программа, определяются расстояния между опорами 1-2, 1-3, 1-4 .....2, 3. 2.4... 3.4... По простому, известному правилу вычисляют окончательные значения расстояний между опорами.

Окончательное значение длины пролета равно весовому среднему из неравноточных его определений: непосредственно измеренному значению приписывается вес 2, а значениям, полученным как сумма или разность двух значений – единица.

Если по условиям погоды нельзя измерить все расстояния между опорами одинаковым числом приемов, то допустимы небольшие отклонения. При этом можно пользоваться отмеченным правилом, что, как показали расчеты, даст достаточную точность результатов. С целью предварительного направления измерений рекомендуется алгоритм расчета предполагаемых погрешностей вноса точек численным методом на персональном компьютере. Переменные

последовательно получают приращения, равные средним квадратическим погрешностям, вычисляется корень квадратный из суммы квадратов изменений функций, он приравнивается находимой средней квадратической погрешности,. Алгоритм универсален, применим к любым геодезическим измерениям, позволяет избежать математических преобразований, которые могут быть сложными для уравниваемых сетей произвольной формы.

© А.А. Визгин, 2005

## **TMS и GRP – СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТУННЕЛЕЙ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Границы открываются, центры экономической активности растут, потребности в переездах увеличиваются, путешествия становятся более частыми, с большей скоростью и комфортом. Железные дороги привлекают все больше внимания как наиболее массовый вид транспорта. На сегодняшний день стоит задача сделать эти поездки безопаснее, быстрее, чаще, экономически выгоднее.



Экономическая эффективность эксплуатации железных дорог это не только увеличенная скорость поездов и частота рейсов, но максимальная безопасность, уменьшение затрат на обслуживание железнодорожных путей, связанных с заменой и выравниванием рельсов, заменой балласта, линий электрификации и многого другого.

Для геодезистов это означает, что измерения геометрии пути, расстояния и разности высот между рельсами, определения координат других элементов дороги должны быть выполнены с точностью не хуже 1-2мм или точнее. Для этих целей Leica предлагает новую систему GRP FX для измерений всех параметров железной дороги в режиме реального времени.

Система GRP FX позволяет создавать картографический материал и отчеты о состоянии железной дороги, а также дает возможность на месте устранять неисправности или передавать информацию в специально подготовленном формате для путевых машин.

Вот краткие технические характеристики системы:

Конструкция состоит из легкой, высокоточной алюминиевой рамы, что позволяет быстро устанавливать и снимать систему с дорожного полотна. Тележка сбалансирована для удобства поднятия одним человеком.

Автоматические тормоза (срабатывают при отжатой ручке) не позволяют тележке самопроизвольно сдвинуться с места.

Встроенный блок питания обеспечивает не менее 8 часов непрерывной работы.

Подготовка к измерениям занимает менее 5 минут.

С помощью различных калиброванных проставок можно изменять рабочее межрельсовое расстояние от 1000 мм до 1676 мм

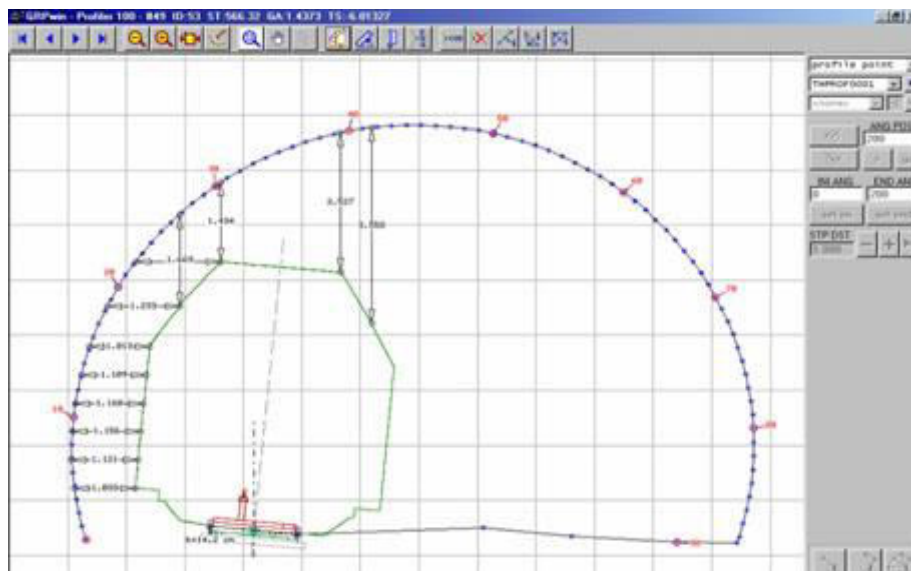
Точность измерений:

- Наклона между рельсов  $\pm 0,5$  мм;
- Межрельсового расстояния  $\pm 0,3$  мм;
- Пикетаж пройденного расстояния  $< 0,5$  о/оо (с разрешением 5 мм).

Абсолютные координаты траектории пути измеряются с помощью тахеометров LEICA TPS1200 / TPS1100 / TPS1000 с точностью 1мм.

GRP FX может быть укомплектована либо дополнительной системой измерения точек поперечного профиля PROFILER 100 MX с безотражательным лазерным дальномером, либо лазерным сканером HDS4500.

PROFILER 100 MX предназначен для моторизованного автоматического измерения профилей. Скорость измерения до 50 точек в минуту. Диапазон работы от 0,3 до 30 м. Точность измерений  $\pm 1,5$  мм. Точное наведение осуществляется с помощью ручного управления или пониженной скоростью изменения угла наклона. Большое удобство – это видимое лазерное пятно. Вы всегда можете точно навестись на нужную точку.



Лазерный сканер Leica HDS4500 позволяет работать со скоростью непрерывного движения 1-4 км/час. Это достигается за счет высокой скорости сканирования – до 33 профилей в секунду. Каждый профиль содержит до 20'000 точек. Максимальная скорость измерений 625'000 точек в секунду.

Точность профилей 10 мм. Диапазон от 1 м до 53 м. Кинематические измерения, обычная скорость 1-4 км/час.

Вывод информации осуществляется в виде настраиваемых текстовых или графических отчетов или в цифровом формате для использования в путевых машинах.

© М.Ю. Дружинин



**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТА БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ СО СКАЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ОСАДОК ПОПЕРЕЧНЫМИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМИ НИВЕЛИРАМИ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПЛОТИНЕ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС)**

Нарушения сплошности в системе «бетонная плотина-скальное основание» возникают, как правило, со стороны верховой грани плотины вблизи ее примыкания к основанию. Горизонтальные трещины со стороны верховой грани вблизи контакта плотины со скальным основанием были зафиксированы и в арочно-гравитационной плотине Саяно-Шушенской ГЭС.

Плотина Саяно-Шушенской ГЭС арочно-гравитационного типа [1]. Напорная грань - цилиндрическая поверхность с вертикальной образующей, радиус цилиндрической поверхности в русловой части плотины 600 м. Каньон трапецеидальный. Высота плотины 242 м (отметка гребня 542 м, отметка подошвы 302-308 м), длина плотины по гребню 1074м, по подошве - 400м, толщина плотины по гребню 25 м, максимальная толщина по подошве - 105м. Вдоль потока плотина разделена на четыре столба толщиной 25 м каждый, поперек потока плотина разделена на 68 секций протяженностью 15 м каждая. Межсекционные и межстолбчатые швы омоноличены.

Горизонтальные трещины в скальном основании непосредственно вблизи контакта были зафиксированы в конце 80-х годов XX века при наполнении водохранилища до отметок выше 530 м (на 10м ниже НПУ). В 1991 году УВБ достиг НПУ отм. 540 м, и плотина вышла на проектный режим работы. В период с 1991 по 1995 г. происходило развитие и продвижение трещин вглубь плотины [1]. К 1996 году глубина проникновения контактных трещин в тело плотины достигала 30м (около трети сечения плотины), протяженность трещин по фронту составляла 400-450 м. Кроме контактных трещин были зафиксированы горизонтальные трещины меньшей глубины и протяженности на отметках 350-359 м (на 40-50 м выше контакта).

Трещинообразование в скале основания и в бетоне плотины привело к нарастанию необратимых перемещений плотины, резкому увеличению фильтрационных расходов и потребовало выполнения ремонтных работ. В 1996 году были заинъецированы трещины в бетоне плотины между отметками 350-359м, а в период с 1997 по 2002 год – трещины в скале основания. Вопросам оценки состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС и ее основания с учетом возникших трещин и описанию технологии ремонтных работ посвящена обширная литература, см., например, [1-4]. В результате успешно выполненных ремонтных работ фильтрация через бетон плотины была полностью подавлена, а фильтрационные расходы в дренаже основания сократились в 4-5 раз. Для обеспечения сохранности омоноличенных трещин НПУ водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС был понижен на 1м. После ремонта плотина вышла на квазиупругий режим работы, однако, опасность раскрытия заинъецированных

трещин и образования новых сохраняется и требуется тщательный контроль состояния контакта плотины с основанием.

Ниже рассматривается параметрический контроль состояния контакта плотины с основанием с использованием двух диагностических показателей:

- Углов поворота горизонтальных сечений плотины  $\varphi$ ;
- Приращений консольных макронапряжений на верховой грани плотины  $ds_y$ .

#### 1. Углы поворота горизонтальных сечений плотины

Одним из наиболее эффективных средств контроля состояния плотины и скального основания вблизи контакта является анализ данных натурных измерений относительных осадок поперечными гидростатическими нивелирами.

В радиальных галереях шести секций плотины (секции 18, 25, 32, 33, 39, 45) на отметках 308м (подошва плотины), 332м, 344м, 413м установлено 35 гидростатических нивелиров, с помощью которых измеряются относительные (относительно первой марки) осадки (вертикальные перемещения). Оси гидронивелиров горизонтальны и совпадают с нормальными к цилиндрической поверхности верховой грани плотины. Под углом поворота горизонтального сечения плотины (оси гидронивелира)  $\varphi$  понимается угол поворота прямой, наименее уклоняющейся (в смысле среднего квадратического) от замеров относительных осадок.

Вычисление  $\varphi$  производится по стандартной процедуре метода наименьших квадратов: по данным замеров осадок  $Y_i$  ( $i$  – номер марки гидронивелира) строится прямая  $Y=ax+b$  (здесь  $x$  – расстояние от начальной марки до текущей точки на оси гидронивелира). Коэффициенты  $a, b$  прямой находятся из условия минимума суммарного квадратического отклонения точек с координатами  $x_i$  на прямой  $Y$  от значений  $Y_i$  (здесь  $x_i$  – координаты  $x$  марок гидронивелира). В силу малости угла  $\varphi$  он принимается равным  $a$  – угловому коэффициенту прямой  $Y$ .

В табл. 1 приведены максимальные и минимальные (по годам) значения углов  $\varphi$  (сек) для двух поперечных гидростатических нивелиров. Под углом поворота  $\varphi$  будем понимать их приращения по отношению к начальному (нулевому) циклу измерений. В качестве начала отсчета принят цикл измерений, соответствующий дате 04.05.94. Начальный цикл измерений соответствует началу ветви наполнения 1994 г., УВБ при этом был равен УМО (отм.500м). Ежегодно максимум  $\varphi$  имеет место в начале мая при УВБ=УМО=500м. Минимум  $\varphi$  приходится на октябрь месяц и реализуется при максимальных УВБ=НПУ=540 (539)м.

Как видно из табл. 1, размах колебаний  $\varphi$  при изменении УВБ от УМО до НПУ превосходит 40 секунд. Можно показать, что средняя квадратическая погрешность измерения (и вычисления) угла  $\varphi$  не превышает 1 секунды. Как будет показано ниже, для угла  $\varphi$  удастся построить долгосрочную (на несколько лет) прогнозную модель, среднеквадратическая погрешность которой не более 1 секунды. Таким образом, углы поворота  $\varphi$  отвечают всем необходимым требованиям, предъявляемым п.2.11 Методики [5]:

- Размах (двойная амплитуда) изменения  $\varphi$  при нормальной эксплуатации многократно превосходит погрешность его измерения и вычисления;

- Угол  $\phi$  реагирует на изменение внешних воздействий;
- Угол  $\phi$  поддается прогнозу (см. Ниже).

Таблица 1. Углы поворота поперечных гидронивелиров  $\phi$  (сек)

| Год  | ГН секция 33, отм. 308 м |            |          | ГН секция 33, отм. 344 м |            |          |
|------|--------------------------|------------|----------|--------------------------|------------|----------|
|      | Max $\phi$               | Min $\phi$ | d $\phi$ | Max $\phi$               | Min $\phi$ | d $\phi$ |
| 1991 | 5,9                      | -36,7      | 42,6     | 7,0                      | -42,8      | 49,8     |
| 1992 | 3,2                      | -39,2      | 42,4     | 3,8                      | -44,5      | 48,3     |
| 1993 | 1,5                      | -43,7      | 45,2     | 1,6                      | -49        | 50,6     |
| 1994 | 0,0                      | -42,5      | 42,5     | 0,0                      | -47,5      | 47,5     |
| 1995 | 0,38                     | -42,7      | 43,1     | 0,5                      | -48        | 48,5     |
| 1996 | -7,5                     | -47,9      |          | -9                       | -53,5      |          |
| 1997 | -6,5                     | -43,2      |          | -7,3                     | -50,7      |          |
| 1998 | -7,8                     | -36,2      |          | -8,3                     | -43,4      |          |
| 1999 | -6,3                     | -45,3      | 39       | -7,6                     | -52,5      | 44,9     |
| 2000 | -11,0                    | -46,7      | 35,7     | -11,4                    | -53,9      | 42,5     |
| 2001 | -16,1                    | -47,8      | 31,7     | -16,2                    | -54,6      | 38,4     |
| 2002 | -15,5                    | -42,3      |          | -15,0                    | -48,3      |          |
| 2003 | -16,5                    | -48,4      | 31,9     | -17,1                    | -55,7      | 38,6     |

По данным табл. 1 можно проследить особенности эксплуатации плотины в 1991-2003 гг. Этот период можно разделить на несколько этапов.

Этап 1: 1991-1995гг (до начала ремонта). УВБ стабильно менялся от УМО на отм.500м (в начале мая) до НПУ на отм 540 м (октябрь). Этап характерен наличием незаиницированных трещин, монотонным нарастанием необратимых углов поворота  $\phi$  (до 6 секунд за 1991-95 гг.) и высокими фильтрационными расходами. Этап характерен наибольшим размахом значений углов поворота горизонтальных сечений (42,4-45,2 сек для гидронивелира на отм.308м и 47,5-50,6 сек для гидронивелира на отм.344м).

Этап 2: 1996-97 гг. – время наивысших техногенных воздействий на плотину. В этот период производилось инъецирование в трещины бетона плотины на отметках 350-359 м, что привело к подавлению фильтрации в бетоне плотины, однако, при этом скачкообразно (на 7-8 секунд) выросли необратимые углы поворота (при низких УВБ возвращению плотины в исходное состояние препятствовал затвердевший в трещинах раствор). Регулирование УВБ отличалось от проектного графика наполнения-сработки водохранилища, и было подчинено нуждам проведения ремонтных работ.

Этап 3: 1998-2000 гг. На этом этапе были выполнены основные инъекционные работы в скалу основания под верховой гранью плотины. Техногенное вмешательство было не столь интенсивным, как в 1996-97 гг., что обусловило постепенное нарастание необратимых углов поворота (с 8 до 15 секунд). Возврату плотины в исходное состояние при низких УВБ препятствовало заполнение трещин в скале инъекционными растворами.

Этап 4. 2001-2003 гг. На этом этапе плотина вышла на квазиупругий режим работы. Необратимые повороты горизонтальных сечений плотины практически прекратились. Размах колебаний углов при росте УВБ от УМО по сравнению с первым этапом уменьшился примерно на 25%.

Примечание. Годы 1998 и 2002 были маловодными, УВБ в эти годы достиг отметки 535 м (на 5м ниже НПУ). Однако, если данные этих лет проэкстраполировать, то они укладываются в общую схему четырех перечисленных выше этапов.

В «Декларации безопасности гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС» углы поворота  $\varphi$  девяти горизонтальных сечений плотины (осей девяти поперечных гидронивелиров) были приняты в качестве диагностических показателей состояния плотины, характеризующих, в первую очередь, состояние контакта плотины с основанием. Взяты по три гидронивелира в секциях ss=18 (левобережная), ss=33 (ключевая), ss=45 (правобережная), расположенных на трех отметках ууу=308м (контакт с основанием), ууу=344м, отм.359м (окрестность зоны трещинообразования бетона плотины). В дальнейшем будем пользоваться обозначением  $\varphi(ssuyu)$ , где ss – номер секции, ууу-отметка расположения гидронивелира.

Чтобы, по возможности, обеспечить преемственность с обозначениями, принятыми при проведении натурных измерений, будем пользоваться следующими обозначениями:

- Система координат – цилиндрическая, радиальная ось Ох, вертикальная ось Оу, тангенциальная ось Оz;
- Перемещения – радиальные X, вертикальные Y, тангенциальные Z;
- Напряжения – вертикальные (консольные) Sy, горизонтальные (арочные) Sz.

По мере необходимости будем пользоваться, как неподвижной системой цилиндрических координат, так и подвижной (триедром Дарбу).

Прогнозная модель для углов  $\varphi$  строилась на основе статистической обработки данных натурных измерений за период с мая 2000 года по октябрь 2003 года. Поскольку в это время необратимые перемещения и углы поворота практически затухли, то эмпирические зависимости для вычисления  $\varphi$  принимались в виде аддитивных функций от двух аргументов – УВБ и Т, где Т – температура бетона плотины.

На основе обширного численного эксперимента был принят следующий вид эмпирической зависимости, прогнозирующей углы поворота горизонтальных сечений (осей поперечных гидронивелиров) при любых УВБ и температурах бетона:

$$\varphi_{\text{прог}} = A + B(y-500) + C(y-500)^2 + Dt \quad (1)$$

В (1) обозначено: y - отметка УВБ; t – температура бетона, измеренная датчиком, установленным в секции 33, отм.462м на расстоянии 2,85 м от низовой грани. Отличительной особенностью эмпирической зависимости (1) является выбор одной базовой точки, температура в которой задает общую тенденцию охлаждения (нагрева) плотины и определяет влияние изменения температур на общие перемещения и наклоны плотины. Численный

эксперимент выявил, что базовыми точками для плотины Саяно-Шушенской ГЭС могут быть точки, расположенные на глубине 2,5-3,5м от низовой грани плотины.

Водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС годового регулирования. Поэтому УВБ ( $y$ ) и  $t$  представляют собой периодические функции с периодом в 1 год, смещенные по фазе. Минимум УВБ достигается в конце апреля – начале мая, максимум - в октябре, а минимум  $t$  достигается в начале марта, а минимум – в конце августа (начале сентября). То есть сдвиг по фазе координатных функций  $y$ ,  $t$  составляет 1,5-2 месяца. Углы поворота горизонтальных сечений плотины  $\varphi$  также представляют собой периодические функции с периодом 1 год, максимум которых в зависимости от колебаний УВБ ( $y$ ) и  $t$  находится в интервале октябрь-ноябрь рассматриваемого года.

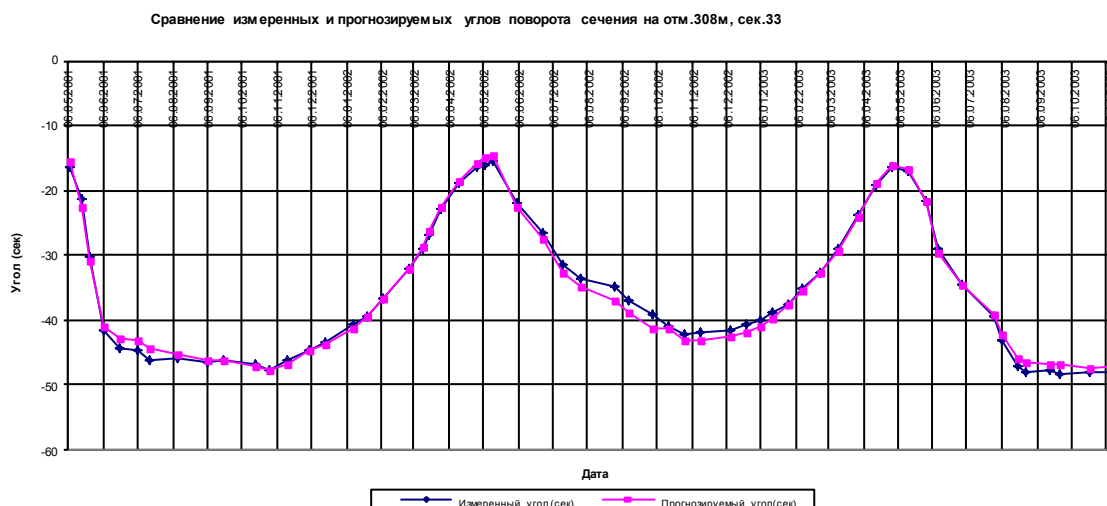
Рациональный выбор координатных функций обеспечил приемлемую аппроксимацию углов поворота при малом количестве членов в эмпирической формуле.

Ниже, в табл. 2, приведены величины коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и средние квадратические погрешности прогноза  $\sigma$  на элементах базовой (обучающей) последовательности. В качестве обучающих последовательностей бралась выборка из данных натурных измерений во временном интервале май 2000 г. – октябрь 2003 года. Число элементов (замеров) в обучающих последовательностях равнялось 60-70.

Таблица 2. Коэффициенты эмпирических формул (1)

| Местоположение |      | A       | B      | C       | D     | $\Sigma$ |
|----------------|------|---------|--------|---------|-------|----------|
| Секция         | Отм. |         |        |         |       |          |
| 33             | 308  | -16.544 | -0.710 | -0.0054 | 0.444 | 0.93     |
| 33             | 344  | -17.643 | -0.795 | -0.0088 | 0.622 | 0.84     |
| 33             | 359  | -24.953 | -0.920 | -0.0111 | 0.895 | 1.08     |
| 45             | 308  | -6.01   | -0.349 | -0.0027 | 0.128 | 0.61     |
| 45             | 344  | -12.35  | -0.534 | -0.0082 | 0.561 | 0.76     |
| 45             | 359  | -16.52  | -0.645 | -0.0087 | 0.705 | 0.95     |
| 18             | 308  | -9.972  | -0.497 | -0.0037 | 0.277 | 1.03     |
| 18             | 344  | -10.91  | -0.646 | -0.0044 | 0.468 | 0.79     |
| 18             | 359  | -16.617 | -0.754 | 0.0065  | 0.640 | 0.77     |

Сравнение измеренных углов  $\varphi_{\text{изм}}$  с прогнозируемыми величинами  $\varphi_{\text{прог}}$ , вычисленными по эмпирическим формулам (1) с коэффициентами таблицы (2), показало, что разница между измеренными и вычисленными значениями углов на элементах базовой последовательности не превосходит 1,5 секунд. Некоторые результаты сравнения измеренных и прогнозируемых значений углов приведены в таблице 3 и на фиг.1.



Фиг. 1

Таблица 3 Сравнение измеренных и прогнозируемых значений углов.  
Секция 33 (ключевое сечение), отметка 308 м (подошва)

| Дата     | УВБ    | Т     | $\Phi_{\text{изм}}$ | $\Phi_{\text{прог}}$ |
|----------|--------|-------|---------------------|----------------------|
| 06.05.01 | 500,85 | 3,63  | -16,45              | -15,5                |
| 24.05.01 | 520,55 | 5,59  | -30,4               | -30,9                |
| 05.09.01 | 539    | 14,3  | -46,5               | -46,1                |
| 30.10.01 | 538,9  | 10,1  | -47,8               | -47,8                |
| 14.11.01 | 537,4  | 8,7   | -46,3               | -46,8                |
| 04.12.01 | 534,8  | 7,15  | -44,6               | -44,6                |
| 01.03.02 | 519,9  | 1,62  | -32,16              | -32,1                |
| 15.04.02 | 504,2  | 2,59  | 18,96               | 18,5                 |
| 07.05.02 | 500,5  | 4,2   | -16                 | -15                  |
| 27.06.02 | 519,3  | 10,8  | -26,5               | -27,5                |
| 31.07.02 | 528,1  | 13,6  | -33,7               | -34,7                |
| 16.10.02 | 534,9  | 11,7  | -41,1               | -41,2                |
| 13.11.02 | 534    | 8,4   | -41,8               | -43,2                |
| 29.01.03 | 525,4  | 1,1   | -37,6               | -37,6                |
| 14.03.03 | 515,6  | -0,86 | -29,1               | -29,3                |
| 30.04.03 | 500,5  | 1,85  | -16,5               | -16,1                |
| 14.05.03 | 502,5  | 3,7   | -17,1               | -16,7                |
| 10.06.03 | 519,7  | 6,9   | -29,1               | -29,6                |
| 29.07.03 | 531,9  | 12,5  | -39,5               | -39,1                |
| 20.08.03 | 538,2  | 13    | -47,0               | -45,8                |
| 16.09.03 | 539    | 12,8  | -47,8               | -46,7                |
| 21.10.03 | 538,4  | 9,8   | -48,1               | -47,4                |
| 14.11.03 | 537,3  | 7,6   | -48,2               | -47,2                |
| 16.12.03 | 533,6  | 3,7   | -46,4               | -44,9                |

Как видно из табл. 2, 3, точность прогнозных формул такова, что разность между измеренными и прогнозируемыми значениями углов поворота горизонтальных сечений плотины меньше двойной средней квадратической

погрешности их измерения (вычисления по замерам). Поэтому нет необходимости в уточнении эмпирических формул (1).

Использование прогнозных зависимостей (1) для определения критериальных значений углов поворота, задающих границы между возможными состояниями плотины [5], описано в п.3 настоящей статьи.

С помощью прогнозных формул (1) можно существенно уточнить анализ необратимых перемещений (углов поворота). Строго говоря, под необратимыми понимаются перемещения, которые остаются в конструкции после полного снятия нагрузки. Для эксплуатируемых плотин полностью разгрузить плотину не представляется возможным (например, невозможно полностью опорожнить водохранилище). Поэтому при выявлении необратимых перемещений приходится прибегать к некоторым условностям. В простейшем варианте под необратимыми перемещениями (углами поворота), накопленными за один годовой цикл наполнения-сработки, понимают разность измеренных перемещений в начале предыдущего и текущего циклов наполнения, когда нагрузки близки к минимальным эксплуатационным. Например, ниже, в табл. 4, имеются данные трех циклов измерений, выбранные из табл. 3 и соответствующие началу ветвей наполнения 2001, 2002 и 2003 гг.

Таблица 4. Гидронивелир 33308 (секция 33, отметка 308)

| Дата     | УВБ    | t    | Физм   | Фприв(y <sub>0</sub> ,t <sub>0</sub> ) |
|----------|--------|------|--------|----------------------------------------|
| 07.05.01 | 500,85 | 3.63 | -16,45 | - 15,9                                 |
| 07.05.02 | 500,5  | 4.2  | -16,0  | -15,5                                  |
| 14.05.03 | 502,1  | 3.6  | -17,1  | -15,5                                  |

Как видно из табл. 4, углы поворота горизонтальных сечений физм весной 2001-2003гг при минимальных (примерно одинаковых УВБ) мало отличаются, см. предпоследний столбец табл. 4. На этой основе была принята гипотеза о том, что необратимые перемещения (углы поворота) в 2001-2003гг практически затухли. Однако, различия в величине внешних воздействий (УВБ и t) при проведении измерений все же имеют место. Выявление наличия или отсутствия необратимых перемещений можно уточнить, введя понятие приведенного замера (замера, приведенного к одному УВБ и температуре t).

Пусть имеется замер угла физм(y,t), выполненный при некоторых текущих значениях УВБ и t. Замером фприв(y<sub>0</sub>,t<sub>0</sub>), приведенным к УВБ (y=y<sub>0</sub>) и t=t<sub>0</sub>, будем называть реальный замер с поправкой на разницу температур и УВБ, вычисленную по прогнозной зависимости:

$$\text{фприв}(y_0, t_0) = \text{физм}(y, t) + \text{фпрог}(y_0, t_0) - \text{фпрог}(y, t). \quad (2)$$

Согласно зависимости (1) и табл. 2 для гидронивелира, установленного на отм. 308 м (подошва плотины) в ключевой секции 33, имеем:

$$\text{фпрог}(y, t) = -16,544 - 0,710(y-500) - 0,054(y-500)^2 + 0,444 t \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим зависимость для вычисления приведенного угла для гидронивелира в секции 33 на отметке 308м:

$$\text{фприв}(y_0, t_0) = \text{физм}(y, t) - 0,710(y_0 - y) - 0,054(y_0^2 - y^2) + 0,444(t_0 - t) \quad (4)$$

В рассматриваемом примере примем за условия приведения  $y_0=0$  (УВБ=500м),  $t_0=4^0$ . Приведенные углы, вычисленные при  $y_0=0$  и  $t_0=4^0$  по формуле (4), даны в последнем столбце таблицы 4. Данные последнего столбца таблицы 4 подтверждают гипотезу о затухании необратимых углов поворота, так как величины углов в последнем столбце таблицы различаются не более чем на 0,4 секунды при среднеквадратической погрешности прогноза и измерения в 1 секунду.

## 2. Приращения консольных напряжений на верховой грани плотины

В механике сплошных сред под напряжением в точке понимается интенсивность внутренних сил взаимодействия, действующих на бесконечно малой площадке среды [6]. Однако, на практике определение напряжений осуществляется не в точке. Численные расчеты и натурные измерения производят осреднение напряжений в точке на базах различной длины. В зависимости от базы осреднения будем различать микронапряжения, мезонапряжения и макронапряжения.

Под микронапряжениями будем понимать напряжения, осредненные на базе, соизмеримой с размерами несплошностей материала. В бетоне плотины Саяно-Шушенской ГЭС несплошности (размеры крупного заполнителя) составляют 5-10 см. Система контроля напряженно-деформированного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС построена на использовании датчиков струнного типа с базой осреднения 20-40 см. Поэтому напряжения в плотине, определенные с помощью струнных датчиков, отнесем к классу микронапряжений.

На стадии проектирования напряжения в плотине, как правило, оцениваются в рамках конечно-элементных расчетов. База осреднения этих напряжений соизмерима с размерами конечных элементов. Для плотины Саяно-Шушенской ГЭС расчеты производились на сетках, где линейные размеры конечных элементов составляли 5-15 м. Напряжения, определенные в рамках конечно-элементных расчетных моделей, будем называть мезонапряжениями.

В [7, 8] предлагалось использовать данные натурных измерений перемещений и углов поворота геодезическими методами для оценки напряженного состояния плотин. Предложение основывалось на том, что напряжения, деформации и перемещения связаны между собой уравнениями механики сплошных сред. Перемещения и деформации связаны геометрическими уравнениями Коши, а напряжения и деформации связаны физическими уравнениями состояния (в простейшем варианте законом Гука).

Расстояния между точками, в которых измеряются перемещения геодезическими методами, соизмеримы с размерами сооружения. Так расстояния между поперечными гидростатическими нивелирами на Саяно-Шушенской по высоте составляет 15-25 м. Поэтому напряжения, вычисленные по данным геодезических измерений (с базой осреднения 15-25 м), назовем макронапряжениями.

Примечания. 1. Для определения макронапряжений могут использоваться только высокоточные геодезические измерения, так как деформации являются линейными комбинациями производных по координатам от перемещений, и процедура их определения связана с численным дифференцированием



перемещений. Как известно, при численном дифференцировании происходит потеря точности.

2. В последние годы (2000-2003 гг.) плотина и основание Саяно-Шушенской ГЭС была оснащена длиннобазными деформометрами с базой 10-30м. Показания этих приборов в настоящей статье не анализируются.

Между микронапряжениями, мезонапряжениями и макронапряжениями имеется очевидная связь (аналогичная связи между мгновенными, среднедекадными и среднемесячными температурами), однако, в силу существенно различающихся баз осреднения, эти величины могут существенно различаться. Поэтому будут различаться и их критериальные значения.

Используемое ниже вычисление консольных макронапряжений  $S_{\text{верх}}$  на верховой грани плотины по данным измерений углов  $\varphi$  базируется на схематизации плотины в рамках теории оболочек средней толщины (типа теории Э. Рейсснера), см., например, [9].

Рассмотрим два поперечных гидростатических нивелира, установленных в одной секции  $ss$  плотины на отметках  $y_v$  и  $y_n$  (нижний индекс «в» означает, что гидронивелир на отметке  $y_v$  расположен выше второго гидронивелира).

Можно показать, что в рамках теории оболочек средней толщины (с некоторыми дополнительными допущениями) консольные макронапряжения на верховой грани плотины  $S_{\text{верх}}$  в секции  $ss$  на отметке  $(y_v + y_n)/2$  вычисляются по данным измерений углов поворота  $\varphi_{\text{верх}}$  и  $\varphi_{\text{ниж}}$  верхнего и нижнего гидронивелиров по формуле:

$$S_{\text{верх}} = E h d\varphi / 2L \quad (5)$$

$V(5)$  обозначено

$S_{\text{верх}}$  – консольные макронапряжения на верховой грани плотины в секции  $ss$  на отметке  $(y_v + y_n)/2$ ; (база осреднения  $L$ ),

$L = y_v - y_n$  – разность отметок верхнего и нижнего гидронивелиров (расстояние между осями поперечных гидронивелиров по вертикали);

$d\varphi = \varphi_{\text{верх}} - \varphi_{\text{ниж}}$  – разность углов поворота верхнего и нижнего гидронивелиров;

$\varphi_{\text{верх}}$  – угол поворота верхнего гидронивелира, ось которого на отметке  $y_v$ ;

$\varphi_{\text{ниж}}$  – угол поворота нижнего гидронивелира;

углы в формуле (5) измеряются в радианах (в 1 секунде  $0,4848 \cdot 10^{-5}$  радиан);

$E$  – модуль деформации бетона плотины;

$h$  – толщина плотины на отметке  $(y_v + y_n)/2$ .

Примечания.

1. При получении формулы (5) в уравнениях теории оболочек средней толщины было введено допущение о пренебрежимости (равенстве нулю) влияния коэффициента Пуассона.

2. Для вычисления первой производной от угла поворота по направлению  $y$  в (5) была использована простейшая разностная формула (центральная разность первого порядка).

3. Для прогноза величины  $d\varphi = \varphi_{\text{верх}} - \varphi_{\text{ниж}}$  можно воспользоваться прогнозными формулами (1) для углов  $\varphi_{\text{верх}}$ ,  $\varphi_{\text{ниж}}$ . Однако прогнозная формула будет несколько точнее, если взять в качестве элементов базовой

последовательности разности измеренных углов, то есть вычислить  $d\varphi$  и построить эмпирическую формулу непосредственно для  $d\varphi$ .

В качестве диагностического показателя принято приращение величины  $S_{\text{верх}}$ , отсчитываемое от некоторого начального (нулевого) цикла измерений:

$$dS_{\text{верх}} = Eh(d\varphi - d\varphi_0)/2L \quad (6)$$

В качестве примера рассмотрим два гидростатических нивелира, установленных в секции 33 на отметках  $y_{\text{н}}=308\text{м}$  и  $y_{\text{в}}=344\text{м}$ .

Преобразуем зависимость (6) применительно к рассматриваемым гидронивелирам. Приращения консольных напряжений на верховой грани плотины  $dS_{\text{верх}}(y)$  определяются на отметке  $y=(344+308)/2=326\text{м}$ , то есть примерно на 20 м выше контакта плотины с основанием. База осреднения  $L=344-308=36\text{м}$ . Модуль деформации бетона плотины  $E=4 \cdot 10^4\text{МПа}$ . Толщина плотины на отметке 326м  $h=94\text{м}$ . Подставив соответствующие значения в (6), получим:

$$dS_{\text{верх}}(326) = 4 \cdot 10^4 (d\varphi - d\varphi_0) \cdot 0,4848 \cdot 10^{-5} / 72 = 0,304 \cdot (d\varphi - d\varphi_0) \quad (7)$$

(7) углы поворота в секундах.

Ниже, в табл. 5 приведены некоторые данные натурных измерений углов и их приращений между отметками 344м и 308м, УВБ и температуры  $t$ , при которых проводились измерения, а также вычисленные по формуле (7) измеренные приращения консольных напряжений  $dS_{\text{изм}}$ .

В табл. 5 и на фиг. 2 дано сравнение измеренных и прогнозируемых значений приращений консольных напряжений.

Таблица 5

| Дата     | $\varphi(344)$ | $\varphi(308)$ | $d\varphi_{\text{физм}}$ | УВБ | $t$  | $d\varphi_{\text{прог}}$ | $dS_{\text{изм}}$ | $dS_{\text{прог}}$ |
|----------|----------------|----------------|--------------------------|-----|------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 06.05.01 | -16,45         | -16,1          | 0,35                     | 501 | 3,5  | -0,201                   | 0,021             | -0,062             |
| 05.09.01 | -46,47         | -53,01         | -6,54                    | 539 | 14,3 | -6,77                    | -2,07             | -2,06              |
| 07.05.02 | -16,00         | -15,72         | 0,28                     | 500 | 4,2  | 0,002                    | 0                 | 0                  |
| 30.10.02 | -42,3          | -48,3          | -6                       | 535 | 10,1 | -6,33                    | -1,91             | -1,93              |
| 14.05.03 | -17,1          | -17,1          | 0                        | 503 | 2,5  | -0,42                    | -0,09             | -0,13              |
| 21.10.03 | -48,1          | -55,4          | -7,3                     | 538 | 9,8  | -7,37                    | -2,30             | -2,24              |

Сравнение измеренных и прогнозируемых консольных макронапряжений(МПа)



Фиг. 2

Прогнозная зависимость для вычисления  $d\text{фпрог}$  отыскивалась в виде:

$$d\text{фпрог} = A + B(y - 500) + C(y - 500)^2 + Dt \quad (8)$$

Здесь  $y$  – отметка УВБ,  $t$  – температура бетона, измеренная базовым термометром (секция 33, отметка 462 м).

Коэффициенты эмпирической формулы (8) определялись по данным натурных измерений. В обучающую последовательность входили 40 циклов измерений за период май 2001 г. – октябрь 2003 года. Регрессионный анализ применительно к рассматриваемой точке (секция 33, отм. 326 м) дал:

$$d\text{фпрог} = 0,0395 - 0,25(y - 500) + 0,00086(y - 500)^2 + 0,1337t \quad (9)$$

Средняя квадратическая погрешность прогнозной формулы (9) составила:  
 $\sigma = 0,36$  сек.

Из табл. 5 и фиг. 2 видно, что при годовых колебаниях УВБ от УМО отм. 500 м до НПУ отм. 539 м размах приращений консольных макронапряжений со стороны верховой грани на отметке 326 м в секции 33 составил 2,1-2,2 МПа.

Сопоставим полученные значения введенного диагностического показателя с данными натурных измерений микронапряжений с помощью струнных датчиков. Ближайшей к рассматриваемой точке исправной розеткой является розетка, расположенная в секции 33, на отм. 325 м, отстоящей от напрной грани на 11 м (розетка 35). Данные измерений экстремальных значений консольных напряжений  $S_y$  в розетке 35 за 2001-2003 гг. приведены в табл. 6.

Таблица 6. Розетка 35 (секция 33, отм. 325 м, РОНГ 11 м)

Консольные напряжения  $S_y$ 

| Минимальное значение |             | Максимальное значение |             | Годовой размах<br>$dS_{изм}$ |
|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|------------------------------|
| Дата                 | $S_y$ (МПа) | Дата                  | $S_y$ (МПа) |                              |
| 10.05.01             | -6,64       | 22.10.01              | -4,54       | -2,1                         |
| 14.05.02             | -6,70       | 09.12.02              | -4,39       | -2,31                        |
| 07.05.03             | -6,54       | 05.11.03              | -4,76       | -1,78                        |

Данные табл. 6 и графика фиг. 2 свидетельствуют о близости годовых размахов колебаний консольных напряжений, определенных по показаниям струнных датчиков в розетке 35, и размахов макронапряжений, определенных по данным измерений относительных осадок поперечных гидронивелиров, установленных на отметках 308 м и 344 м в секции 33.

### 3. Определение критериальных значений диагностических показателей

В соответствии с «Методикой» [5] плотина может находиться в одном из трех возможных состояний: нормальном, потенциально опасном и предаварийном. Границу между нормальным и потенциально опасным состояниями задают критериальные значения диагностических показателей  $K1$ . Границу между потенциально опасным и предаварийным состояниями задают критерии безопасности  $K2$ . Согласно п.2.7 «Методики» количественные критериальные значения  $K1$  и  $K2$  следует устанавливать на основе оценок реакции сооружения при основном и особом сочетаниях нагрузок соответственно.

Оценку реакции сооружения на внешние нагрузки и воздействия будем оценивать с помощью эмпирических зависимостей типа (1), (6).

В нашем случае основное сочетание нагрузок соответствует уровню верхнего бьефа равному НПУ ( $y_1=539$ м) и температуре  $t_1=8^0$ . Особое сочетание нагрузок соответствует уровню верхнего бьефа равному ФПУ ( $y_2=541,5$ м) и температуре  $t_1=8^0$ . Температура  $t_1=8^0$  соответствует минимальной температуре бетона в базовой точке (секция 33, отметка 462м, расстояние от низовой грани 2,85 м), достигнутой до 10 ноября за период 1993-2003 гг. (за 10 лет наблюдений). Дата 10 ноября выбрана из тех соображений, что в нормальном эксплуатационном режиме экстремальные значения рассматриваемых диагностических показателей достигаются в период с 10 сентября по 10 ноября.

Пример 1. Вычислим критериальные значения  $K1(\varphi)$ ,  $K2(\varphi)$  для угла поворота горизонтального сечения плотины на отметке 308м в ключевой секции 33, используя эмпирическую формулу (3):

$$\text{фпрог}(y,t) = -16,544 - 0,710(y-500) - 0,054(y-500)^2 + 0,444 t \quad (3)$$

Средняя квадратическая погрешность формулы (3), см. табл. 2:  $\sigma=0,93$  сек.

$K1(\varphi) = \text{фпрог}(y_1,t_1) - 2\sigma = -16,544 - 0,710 \cdot 39 - 0,054 \cdot 39^2 + 0,444 \cdot 8 - 2 \cdot 0,93 = -51$  сек;

$$K2(\varphi) = \text{фпрог}(y_1,t_1) - 2\sigma = -16,544 - 0,710 \cdot 41,5 - 0,054 \cdot 41,5^2 + 0,444 \cdot 8 - 2 \cdot 0,93 = -54 \text{ сек.}$$

Пример 2. Вычислим критериальные значения  $K1(dS_{\text{верх}})$ ,  $K2(dS_{\text{верх}})$  для приращений консольных макронапряжений на верховой грани плотины в

секции 33 на отметке 326м, пользуясь зависимостью (7) и эмпирической формулой (9)

$$d_{\text{Сверх}}(326) = 0,304 \cdot (d\varphi - d\varphi_0) \quad (7)$$

$$d\varphi_{\text{прог}} = 0,0395 - 0,25(y-500) + 0,00086(y-500)^2 + 0,1337t \quad (9)$$

Средняя квадратическая погрешность эмпирической зависимости для  $d\varphi_{\text{прог}}$ :

$$\sigma = 0,36 \text{ сек.}$$

В качестве начального (нулевого) примем цикл измерений, соответствующий 07.05.02, при котором  $y=500,5\text{м}$ ;  $t=4,2^0$ .

Подставляя в (9) значения  $y$  и  $t$ , соответственно для нулевого цикла, основного сочетания и особого сочетания получим:

$$d\varphi_0 = -0,0395 - 0,25 \cdot 0,5 + 0,00086 \cdot 0,5 \cdot 0,5 + 0,1337 \cdot 4,2 = 0,397;$$

$$d\varphi_{0\text{сн}} = -0,0395 - 0,25 \cdot 39 + 0,00086 \cdot 39 \cdot 39 + 0,1337 \cdot 8 = -7,412$$

$$d\varphi_{0\text{соб}} = -0,0395 - 0,25 \cdot 41,5 + 0,00086 \cdot 41,5 \cdot 41,5 + 0,1337 \cdot 8 = -7,864$$

Согласно (7) имеем:

$$dS_{\text{сн}} = 0,304 (-7,412 - 0,397) = -2,37 \text{ МПа};$$

$$dS_{\text{соб}} = 0,304 (-7,864 - 0,397) = -2,51 \text{ МПа.}$$

Таким образом

$$K1 = dS_{\text{сн}} - 2 \cdot 0,304 \cdot 0,36 = -2,58 \text{ МПа};$$

$$K2 = dS_{\text{соб}} - 2 \cdot 0,304 \cdot 0,36 = -2,72 \text{ МПа.}$$

4. Оценка состояния плотины по выбранным диагностическим показателям

В соответствии с «Методикой» [5] состояние плотины нормальное, если:

– Измеренное значение диагностического показателя  $F_{\text{изм}}$  попадает в прогнозируемый интервал

$$F_{\text{прог}} + 2\sigma < F_{\text{изм}} < F_{\text{прог}} - 2\sigma; \quad (10)$$

– Измеренное значение диагностического показателя  $F_{\text{изм}}$  меньше предупреждающего критериального значения  $K1$

$$F_{\text{изм}} < K1. \quad (11)$$

В (10) обозначено:  $F_{\text{прог}}$  – прогнозируемое значение угла  $\varphi$  (приращение консольного напряжения  $dS_y$ ), которое вычисляется по эмпирическим формулам типа (1);  $\sigma$  – средняя квадратическая погрешность прогнозной зависимости;  $K1$  – критериальное значение диагностического показателя, соответствующее реакции сооружения на нагрузки и воздействия основного сочетания (предупреждающий критерий).

Пример. В ноябре-декабре 2003 года сработка водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС проходила очень медленно. Относительно высокие УВБ имели место в холодное время года при низких температурах бетона плотины. Соответственно перемещения и углы поворота плотины в ноябре-декабре 2003 года были больше, чем обычно в это время года. Относительно большие перемещения и углы поворота горизонтальных сечений вызывали определенное беспокойство и требовали ответа на вопрос, являются ли относительно большие перемещения следствием новых нарушений сплошности (возникновением и раскрытием трещин) или являются лишь следствием редкого сочетания нагрузок (относительно высоким УВБ при низких температурах бетона

плотины). Ниже, в табл. 7 приведены данные двух циклов натурных измерений угла поворота горизонтального сечения в ключевой секции 33 на отметке 308 м.

Таблица 7. Угол поворота сечения (секция 33, отм. 308 м)

| Дата     | УВБ    | Т    | Физм  | Фпрог  | Невязка |
|----------|--------|------|-------|--------|---------|
| 08.12.03 | 535,12 | 5,5  | -47,3 | -45,71 | -1,59   |
| 16.12.03 | 533,6  | 3,73 | -46,4 | -44,85 | -1,55   |

Критериальные значения углов  $K1(\varphi)=-51\text{сек}$ ,  $K2(\varphi)=-54\text{сек}$  для этого сечения были получены в Примере 1 п.3 настоящей статьи. В таблице 7 (предпоследний столбец) приведены также прогнозируемые значения угла фпрог, вычисленные по эмпирической формуле (3); средняя квадратическая погрешность формулы (3) равна 0,93 сек.

Выполним оценку состояния плотины по данным измерения углов поворота рассматриваемого сечения 08.12.03 и 16.12.03, пользуясь зависимостями (9), (10). Легко видеть, что состояние плотины можно классифицировать как нормальное, так как:

- Измеренные значения попадают в прогнозируемый интервал (невязка между измеренными и прогнозируемыми значениями менее 1,6 сек при допустимой невязке  $2\sigma=1,86\text{сек}$ );

- Измеренные значения меньше по абсолютной величине критериального значения  $k1=-51\text{сек}$ .

## 5. Выводы и рекомендации

Рациональный выбор аргументов (УВБ и температуры бетона плотины в одной базовой точке) позволил построить весьма простые и достаточно точные эмпирические зависимости для вычисления углов поворота горизонтальных сечений высокой бетонной плотины.

Наряду с углами поворота  $\varphi$  предложен диагностический показатель  $dSy$ , позволяющий контролировать не только величину угла  $\varphi$ , но и его производную по координате  $y$  (скорость изменения угла по высоте).

При наличии на поперечных гидростатических нивелирах достаточного количества марок в пределах первого столба плотины можно предложенную схему контроля состояния контакта плотины со скальным основанием уточнить, взяв в качестве диагностического показателя угол поворота не всего гидронивелира, а его части, расположенной в пределах первого столба.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.И. Брызгалов. Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций. – Красноярск, 1999 г, 559 с.
2. В.И. Брызгалов, А.П. Епифанов, В.А. Булатов и др. Опыт инъецирования фильтрующих трещин в напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС.- Гидротехническое строительство, 1998, № 2, с. 2-8.
3. В.И. Брызгалов, Н.А. Вульфович, А.И. Ефименко. Состояние основания плотины Саяно-Шушенской ГЭС в зоне разуплотнения под первыми столбами. – Гидротехническое строительство, 1997, № 8, с.15-21.

4. В.И. Брызгалов, Е.Ю. Шахмаева. Оценка суммарного раскрытия трещин в контактной зоне основания плотины Саяно-Шушенской ГЭС при наборе водохранилища от УМО до НПУ. - Гидротехническое строительство, 1998, № 9, с. 72-78.
5. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. – М.: 2001, 22 с.
6. В.В. Новожилов. Теория упругости. Л: Судпромгиз, 1958, 370 с.
7. Л.А. Гордон, И.К. Соколовский. Схема диагностического контроля состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС. – Известия ВНИИГ, 1988, № 204, с. 104-113.
8. Л.А. Гордон, А.С. Френкель. Диагностика бетонных плотин по данным натурных измерений относительных осадок. – Известия ВНИИГ, 1989, т. 214.
9. Корсакова Л.В. Методика расчета арочных плотин как многослойных оболочек. - Известия ВНИИГ, 1986, т. 194, с. 22-30.

© Н.И. Стефаненко, 2005

УДК 358.39: 528(07)

*Н.Н. Бардачевский, И.С. Новиков*

НВВКУ МО РФ, Новосибирск

### **АНАЛИЗ ТАКТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ НА БАЗЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Мы полагаем, что социальные и политические перемены, произошедшие в стране и в мире после распада СССР, приведшие к кардинальному изменению в геополитической ситуации, не только не являются началом необратимого распада страны, а напротив дают шанс повторить традиционный для нашего Отечества путь всесторонней модернизации общественно-экономического устройства, лежащий через глубокий и всесторонний кризис. Обновление коснется всех областей деятельности и в первую очередь военной области, поскольку есть все основания полагать, что резкое усиление позиций нашего государства может вызвать попытки силового противодействия.

Бурное развитие информационных технологий, совпавшее по времени с завершением периода информационной изоляции нашей страны позволяет резко повысить оперативность и качество информации о тактических свойствах различных ландшафтов. Под тактическими свойствами подразумеваются свойства, влияющие на ведение боевых действий и их обеспечение. Ландшафт образуется сочетанием рельефа земной поверхности, геологии поверхностных образований, климатом и растительностью. Первые два параметра взаимосвязаны и определяются тектоникой и геологической историей конкретных территорий. Климат и растительность взаимосвязаны, контролируются широтой, долготой и высотой (а соответственно и рельефом) конкретных территорий. Если рассматривать районирование территории бывшего СССР по характеру геологического и тектонического строения, то наиболее крупными подразделениями будут платформы и мобильные пояса. Платформы делятся на древние и молодые. К древним (высоким) платформам относятся Восточно-Европейская и Восточно-Сибирская. В рельефе они выражены одноименными равнинами. Для них характерны значительные высоты, существенное расчленение дренажной сетью и закономерная смена с юга на север и с запада на восток степных, лесных и тундровых ландшафтов (а

в Восточной Сибири и ландшафтов полярных пустынь). Для древних платформ наряду с общим равнинным характером местности характерны значительные остаточные возвышенности, а наряду с преобладанием рыхлых грунтов – выходы скальных пород, особенно в долинах рек и в районах выхода на поверхность фундамента – щитах (скандинавском в пределах Восточно-Европейской платформы и алданского и анабарского в пределах Восточно-Сибирской). Молодые платформы представлены в рельефе Туранской и Западно-Сибирской равнинами. Для них характерна смена с юга на север пустынных, степных, лесных и тундровых ландшафтов. Мобильные пояса представлены складчатыми и глыбовыми горными системами. Типичным примером складчатых гор может служить Кавказ, а глыбовых гор – Тянь-Шань и Алтай. В их пределах климат и растительность подчиняются высотной зональности и снизу вверх степные ландшафты сменяются горно-таежными, альпийско-луговыми и альпийскими ледниковыми. Складчатые горы возникли на месте сравнительно недавних осадочных бассейнов и в их пределах слабо литифицированные и рыхлые породы часто встречаются на значительных высотах. Глыбовые горы сложены исключительно скальными породами с ограниченным распространением рыхлых грунтов во впадинах и долинах рек.

Все наиболее масштабные боевые действия мировых войн, в которых принимала участие Россия, происходили в пределах Восточно-Европейской равнины, перейдя в последнем этапе Второй Мировой войны на Западно-Европейскую. Много меньшие по количеству задействованных войск, но не по значению и важности, боевые действия происходили во время мировых войн на Кавказе. Все это, а на Кавказе и две войны 90-х годов прошедшего века, позволили накопить огромный опыт ведения боевых действий в этих ландшафтах. Опыт применительно к Восточно-Европейской равнине получил широкое освещение в специальной и учебной литературе. Опыт боевых действий в пределах горных сооружений, особенно полученный в последнее десятилетие, еще ждет своего обобщения. Однако здесь мы затронем вопросы тактических свойств не складчатых, а глыбовых гор, поскольку они все еще остаются совершенно не разработанными, поскольку военные бури XX века обошли Алтай и Тянь-Шань стороной.

Среди тактических свойств местности основными являются условия проходимости (дорожная сеть и что особенно важно, проходимость вне дорог), условия ориентирования (наличие естественных ориентиров, которые приобретают исключительное значение при подавлении спутниковых систем навигации), условия маскировки (определяемые рельефом, микрорельефом, растительностью) защитные свойства (от оружия массового поражения), условия наблюдения и ведения огня, а также условия инженерного оборудования и водоснабжения. Необходимо оценивать также пригодность местности для длительного пребывания (влажность, температура атмосферное давление, содержание кислорода) и прочие условия (включающие самые разные аспекты вплоть до сейсмической опасности, наличия опасных инфекций, насекомых). На уровне крупных районов отдельных ландшафтных провинций оценка тактических свойств местности, влияющих на действия воинских



соединений и объединений, давно проведена в ходе специальных работ. На повестке дня стоит детальное изучение тактических свойств местности в масштабах действий тактических подразделений (батальон, рота, взвод). До последнего десятилетия исследования этого рода сдерживались трудностью совместного анализа больших массивов пространственных данных в рамках имевшихся технических возможностей. Все изменилось после широкого распространения компьютеров и геоинформационных технологий (ГИС). В рамках работ высокой детальности, главным фактором, контролирующим тактические свойства местности, становится ее рельеф.

Хотя увлеченность перспективами, открывающимися в области наук о Земле в связи со стремительным развитием вычислительной техники и ГИС к настоящему времени стала заметно ослабевать, применительно к геоморфологии это определенно не так. Связано это с тем, что если в рамках большинства геологических дисциплин выявилось резкое несоответствие объема имеющихся фактических данных и новых технологических возможностей, геоморфология страдала как раз от несовершенства технологий. Если в областях с преобладанием пространственно фиксированных данных (например, в топографии) ГИС-технологии уже прочно вошли в практику, то во многих отраслях геологии выявилась острая нехватка хорошо структурированных и пространственно привязанных данных, делающая невозможной сколько-нибудь полное использование возможностей мощного аналитического аппарата современных программ. На этом фоне геоморфология оказывается в исключительном положении. Дело в том, что она на протяжении последней четверти XX века, испытывала сильнейший системный кризис, вызванный как раз огромным несоответствием между теорией геоморфологического картографического моделирования и имевшимися тогда реальными технологическими возможностями построения и особенно анализа геоморфологических моделей. В конце 50-х годов в недрах Мингео СССР вызрела новая концепция построения моделей геоморфологического строения, до сих пор практически не имеющая мировых аналогов. «Практически», потому, что она все же имеет некоторое распространение в странах Восточной Европы с основным центром в Институте географии в Брно. Данная концепция была основана на том, что при анализе рельефа земной поверхности в масштабе 1:25000 – 1:50000, она по ряду формальных признаков разбивается на отчетливо-дискретные элементы, имеющие элементарное историко-генетическое объяснение. Основным признаком для выделения элементов рельефа является характер склоновых процессов, угол наклона поверхности, а вспомогательным – микрорельеф. Важно отметить, что как при увеличении, так и при уменьшении масштаба исследований данная элементарная делимость утрачивается, поскольку в первом случае весь исследуемый объект оказывается в пределах одной элементарной поверхности рельефа, а во втором – в результате генерализации, «теряются» границы между элементами рельефа. Однако сами результаты анализа легко поддаются генерализации и могут быть приведены к любому более мелкому масштабу. Поскольку новые технологические возможности полностью решили проблемы воплощения на практике геоморфологических моделей,

послужившие в свое время препятствием для широкого применения метода, перед геоморфологией в настоящее время открываются отличные перспективы.

В рамках реализации программы перехода картографического моделирования на новый уровень качества модельного объекта нами была выбрана территория Горного Алтая. На выбор территории повлияли: хорошая геологическая и геоморфологическая изученность, наличие необходимых топографических и аэрофотографических материалов. В постановке задач мы себя решили не ограничивать. В качестве основных задач были определены: полная историко-генетическая интерпретация строения рельефа и рыхлых поверхностных отложений, сопровождающаяся построением модели современного состояния (базовая модель – основа для производных моделей) и перспективных (прогнозных) и ретроспективных картографических моделей; объяснение особенностей распределения шлиховых ореолов территории с выявлением источников сноса, выявление новейших разрывных нарушений и сейсмогенных структур с определением вероятностно-значимой потенциальной сейсмической опасности территории. В ходе работы выяснилось, что в рамках проводимых исследований можно построить также прикладные инженерно-геологические модели (районирование по степени пригодности для военного строительства с учетом распределения и динамики поверхностных отложений, изменения их состояния в случае сильных землетрясений и распределения многолетнемерзлых пород). Некоторые из открывшихся возможностей были также реализованы.

Остановимся на некоторых технических вопросах: во-первых на исходных материалах, необходимых для создания полноценного исследовательского ГИС проекта. Необходима топографическая карта на всю территорию в масштабе исследования или вдвое крупнее. На ее основе строится трехмерная модель рельефа (в нашем случае достаточно разрешения 50 м) и тематические слои, связанные с гидросетью (обычно три слоя: реки, выражающиеся и не выражающиеся по ширине в масштабе, и озера). В дальнейшем топографическая карта используется для привязки элементов рельефа и геологических данных, в сам проект не входит и это снимает ограничения в его дальнейшем использовании в связи с режимом секретности, распространяющемся на топографические материалы крупных масштабов. Необходимы аэрофотоснимки с разрешением не более 5 м, для определения характера поверхностных отложений по текстурным признакам (по этой причине большинство доступных космических снимков не могут служить основными материалами и играют вспомогательную роль). Геоморфологические карты приемлемого качества в крупных масштабах практически не встречаются, поэтому геоморфологическая карта должна быть построена на основе методических разработок по картированию генетически однородных поверхностей, использования вышеперечисленных материалов, а также результатов полевых наблюдений. Модель рельефа земной поверхности, построенная одновременно с учетом морфологических и историко-генетических характеристик элементов является точкой связности всех слоев проекта, без которой ни одна из заявленных задач не может быть решена. Она

включает в себя легенду, в которой определяется морфология (угол наклона и микрорельеф), поверхностные отложения (генетический тип, литология, динамика) и возраст каждого из элементов (геологический, абсолютный или относительно смежных элементов); тему полигонов где выделены все элементарные поверхности, темы линий: в нашем случае это границы между поверхностями (гребни, бровки, тальвеги, тыловые швы), немасштабные знаки (моренные валы, линии новейших разрывов, плечи трогов, береговые линии). Геологическая карта крупного масштаба обычно недоступна, но стандартные геологические карты желательны как вспомогательный материал для определения роли влияния скальных пород на морфологию элементов рельефа (строение рыхлых образований на них обычно показано неудовлетворительно).

После сбора и обработки вышеперечисленных материалов и построения базовой геоморфологической модели дальнейшее решение поставленных задач превращается в техническую проблему. Прогнозные модели строятся путем изменения соотношения разновозрастных генетически-однородных поверхностей, путем объединения и поглощения или, напротив, разделения. Современные технические средства, при наличии достаточных данных о возрасте, позволяют строить динамические модели, демонстрирующие изменения, происходящие при заданных пошаговых тектонических или климатических изменениях, если только эти изменения лежат в пределах, не разрушающих целостность системы. Для построения специализированных моделей из базовой легенды выбираются необходимые характеристики с объединением полигонов сходных по рассматриваемому параметру. При этом может понадобиться организация сбора дополнительных данных, которая облегчается точной географической привязкой места, на которое требуется новая информация. Учитывая, что речь идет о дополнительных характеристиках типов элементов, число которых не превышает первые десятки, такой сбор данных в полевых условиях не встречает серьезных проблем: всегда есть выбор из ряда однотипных элементов, позволяющий оптимизировать маршрут по сложности и протяженности.

Таким образом, построенная средствами ГИС геоморфологическая модель является не столько описательной, сколько базовой исследовательской историко-генетической моделью. Она фиксирует не только современное состояние природной среды в части рельефа земной поверхности и формирующих его отложений, но информацию об истории его развития на последних этапах, т.е. можно говорить о явлении, называемом «памятью системы» что позволяет на ее базе реконструировать как обстановки прошлого в той мере, в какой позволяют сохранившиеся в рельефе и отложениях следы древних процессов, а также строить прогнозные модели развития природной среды в рамках различных сценариев. Ведь даже при резком изменении структуры рельефообразующих процессов, в рельефе еще длительное время будут сохраняться, постепенно сокращаясь в объеме и количестве, элементы существующей системы. Кроме того, она имеет огромное предсказательное значения в рамках определения современного состояния менее изученных территорий, позволяя прогнозировать на основе резко недостаточных данных наиболее вероятное геоморфологическое

строение территорий принадлежащих к той же геоморфологической формации (т.е. имеющих сходную историю развития рельефа). Для прогнозных моделей, которые могут реализоваться под воздействием антропогенно-техногенных факторов в ходе хозяйственного использования территорий (в сельскохозяйственных и промышленных целях) или боевых действий, как частного случая в пределах глыбовых горных сооружений имеется несколько актуальных сценариев. Например: 1 – ядерный взрыв большой мощности в условиях среднегорья, сопровождающийся значительными изменениями рельефа, 2 – ядерный взрыв большой мощности в условиях высокогорья, сопровождающийся таянием ледников, прорывом озер и катастрофическими паводками в долинах, 3 – возникновение единичного катастрофического сейсмического проявления с заданным эпицентром, сочетание этих сценариев между собой и т.д. Их разработка будет следующим этапом наших исследований.

Рассматриваемые модели выводят целую группу исследований в области наук о Земле на качественно новый уровень, как в отношении точности, так и в отношении доказательности и, вне всякого сомнения, в ближайшем будущем не просто найдут широкое применение в этих исследованиях, а станут обязательным базовым элементом при их проведении. Рассмотренный подход, основанный на моделировании на базе ГИС - технологии, представляет собой отнюдь не развитие одной только геоморфологии и военной топографии. По существу, в его рамках происходит интеграция геоморфологии, физической географии, общей и четвертичной геологии с динамической геологией и ландшафтоведением, при которой происходит взаимное методологическое обогащение и, что очень важно, независимая проверка исходных фактов. Это позволяет говорить об истинной интеграции, а не о механическом объединении, которым ее часто пытаются подменить.

© Н.Н. Бардачевский, И.С. Новиков, 2005

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В настоящее время одной из первоочередных мер по решению экологических проблем рек, улучшению их гидрологического режима и санитарно-гигиенического состояния является выделение водоохранных зон и прибрежных защитных полос (ВЗ и ПЗП) с установлением в их пределах специального режима хозяйствования. Однако единых методических указаний по их выделению, утверждённых государственными органами, на сегодняшний день не существует. Проектирование осуществляется на основе нормативов, определённых Водным кодексом РФ [1] и Положением о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полос [2], при этом используются утратившие или не имеющие законодательной силы методические указания МПР РФ [3, 4], а также собственные методики [5, 6].

В современных условиях проектирование ВЗ и ПЗП необходимо проводить с использованием геоинформационных технологий. С одной стороны, это упрощает работу за счёт автоматизации труда, с другой – повышает точность и информативность проекта. Использование геоинформационных технологий позволяет создавать ГИС "Водоохранные зоны", которая согласуется с ранее разработанными для Алтайского края геоинформационными системами, такими как: ГИС "Водные ресурсы", ГИС "Реестр водных объектов", ГИС "Гидротехнические сооружения". ГИС "Водоохранные зоны" содержит обширную базу данных, в ней интегрирована разнородная информация, она имеет удобный интерфейс и ряд других преимуществ, облегчающих работу пользователей с проектом.

ГИС-технологии используются на всех этапах проектирования, начиная от полевого и заканчивая камеральным. При этом основными программами являются: OziExplorer, MapInfo, ArcView.

Во время полевого этапа с использованием спутникового навигационного приёмника Garmin GPS 12 (ручной, 12-ти канальный) проводится координатная привязка расположенных на прибрежных территориях объектов (границы русел рек, границы существующей застройки, места выхода грунтовых вод, прорывы коллекторов, ливневые стоки, источники хозфекальных вод, утечки из водопровода, свалки хозбытового и строительного мусора и прочее).

Точность определения координат на местности составляет в среднем 4,5-5 м. В памяти GPS фиксируется номер точки, её координаты и время их определения. На рабочие топографические карты масштаба 1:10 000, 1:5 000 наносится местоположение точек, которые в дальнейшем используются для корректировки карт, изданных в 1970-1980 гг.

Для переноса данных, зафиксированных GPS, используется программа OziExplorer. Одной из функций этой программы является возможность перевода полученного с GPS массива точек в shape-файл ГИС ArcView.

На этапе камеральной работы на основе полевого обследования составляется карта ВЗ и ПЗП в ГИС MapInfo6.5. Данная ГИС предлагает широкие возможности по созданию высококачественных картографических произведений, её отличает надежность в работе, скромные требования к техническим ресурсам компьютера и хорошая совместимость с современными операционными системами и другими распространенными ГИС. MapInfo обеспечивает решение многих задач, связанных с проектированием ВЗ. Кроме того, она подходит для работы с крупномасштабными топографическими картами и имеет встроенную поддержку адресной схемы. Важнейшим качеством MapInfo также является простота и естественность интерфейса для пользователей.

При проектировании ВЗ на слабозастроенных территориях в качестве растровой основы используются крупномасштабные карты, а на урбанизированных – Генеральные планы городов. Растры привязываются к географическим координатам, при этом наиболее удобной является проекция Меркатора (UTM84). С помощью GPS фиксируются координаты точек, охватывающих участок проектирования по периметру. Точность привязки составляет 3-3,5 м. Повысить этот показатель возможно, используя высокоточные геодезические системы GPS-съёмки, например Trimble.

Помимо GPS-привязки корректировка топографических карт может осуществляться с использованием космоснимков высокого пространственного разрешения получаемых, например, со спутников Landsat или Метеор 3М (рис. 1).

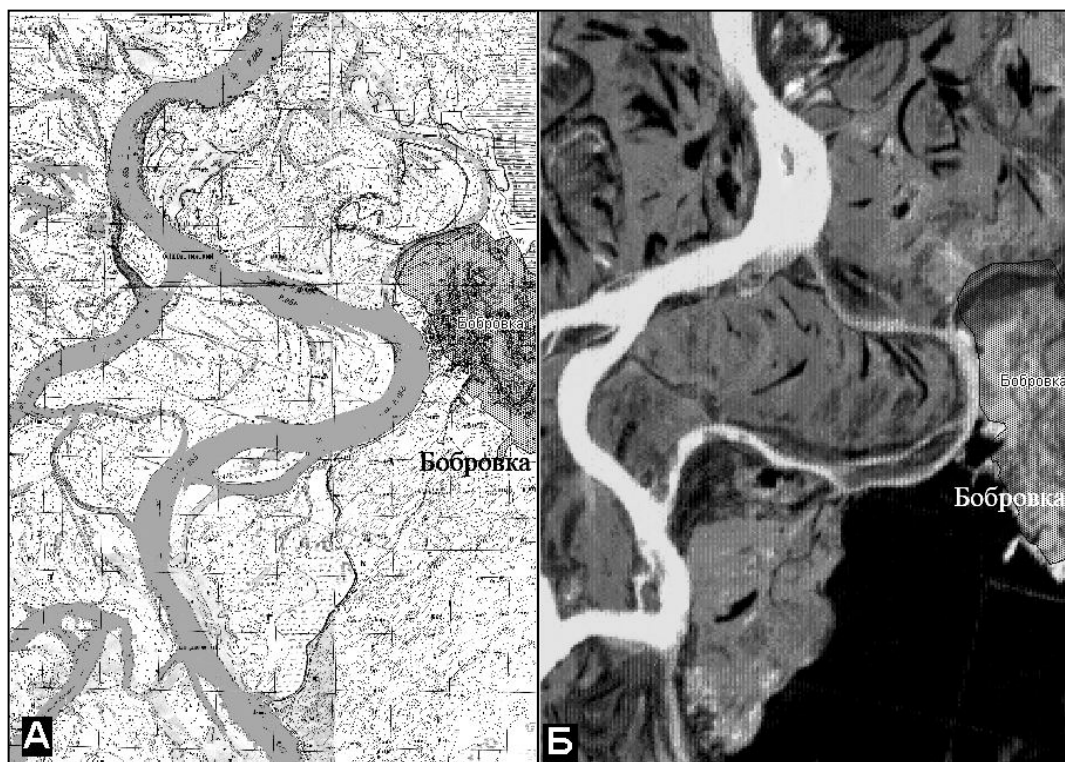


Рис. 1. Сопоставление рисунка гидросети (А – топографическая карта, 1978 г., Б – космический снимок, 2003 г. (Метеор 3М))

На основе привязанного и откорректированного растра создаются базовые векторные слои – гипсометрия, гидрография, сеть высотных отметок, контуры ландшафтов, кварталы, улицы, зеленые насаждения, строения. Последующий импорт точек из GPS на созданную векторную основу показал, что несовпадение реального объекта с измеренным составляет около 1-2 м. Таким образом, тематические слои, созданные после обработки полевых данных, включили в себя источники загрязнения, объекты рекреации, территории оврагообразования, оползневые зоны, водоохранные зоны, прибрежные защитные полосы, водоохранные знаки и аншлаги (рис. 2).

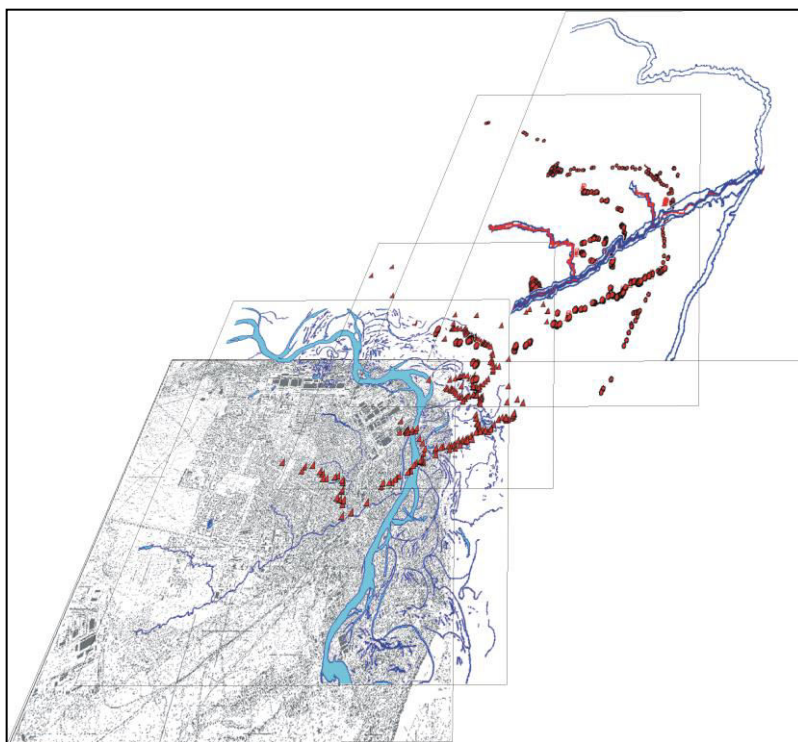


Рис. 2. Тематические слои ГИС "Водоохранная зона"

Тематические и базовые слои включают в себя объекты: полигональные (ВЗ и ПЗП, оползневые зоны), линейные (гипсометрия, гидрография, границы оврагов и контуры ландшафтов), точечные (источники загрязнения, родники, водоохранные знаки и аншлаги). Объекты на тематических слоях имеют числовое значение-идентификатор. Например: 1 – утечки из водопровода, 2 – прорывы коллекторов, 3 – свалки хозяйственных отходов, 4 – свалки строительного мусора, 5 – ливневые сбросы. Это позволяет проводить выборку, рассчитывать статистические показатели и создавать тематические карты.

Следует отдельно отметить процедуру создания ВЗ и ПЗП. Для этого используются слои гидрографической сети, гипсометрии, ландшафтных контуров и кварталов застройки. Границы ВЗ и ПЗП проводятся с помощью встроенной в ГИС MapInfo операции создания буферных зон. Затем они корректируются с учётом особенностей рельефа, ландшафтной структуры территории и застройки.

В перспективе ГИС "Водоохранные зоны" может пополняться за счёт включения в неё дополнительных тематических слоёв (затопление и подтопление территорий, загрязнение подземных вод, хозяйственное зонирование прибрежных территорий и др.).

Одним из примеров расширения возможностей ГИС "Водоохранные зоны" является её дополнение трёхмерной триангуляционной моделью рельефа территории, создаваемой в среде ArcView (рис. 3). Анализ этой модели по углам наклона и экспозиции позволяет проводить расчёт стока с прибрежных территорий, имеющих наибольшую гидрологическую значимость на водосборе.

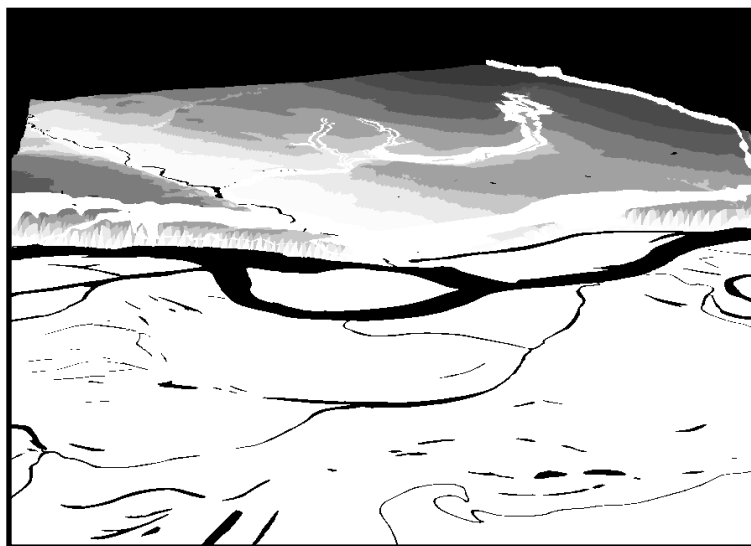


Рис. 3. 3D вид территории г. Барнаула

При работе с ГИС "Водоохранные зоны" на рабочих местах пользователей перспективно использование программы MapInfo ProViewer. Это простое и удобное приложение для открытия, отображения и осуществления ограниченного круга действий с таблицами и рабочими наборами MapInfo. Оно позволяет специалисту просматривать необходимые слои данных и автоматизировано производить разнообразные статистические и математические расчеты (площади, периметры, оверлейные операции).

Рассмотренные технологические приёмы были использованы при проектировании ВЗ и ПЗП рек Обь (в границах Алтайского края), Катунь (Чемальский район Республики Алтай), Киргизка (ЗАТО Северск Томской области). Данные проекты прошли экологическую экспертизу и утверждены органами государственной власти.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водный кодекс Российской Федерации. Официальный текст. – М: Изд. группа "ИНФРА-М КОДЕКС", 1996. – 112 с.
2. Об утверждении Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах: Пост. Прав. РФ от 23 ноября 1996 г. № 1404 // Рос. газ. – 1996. – 11 дек. – С. 4.



3. Об утверждении Методических указаний по проектированию водоохранных зон водных объектов и их прибрежных защитных полос: Приказ МПР России от 21.08.1998 г. № 198.

4. Макет проекта водоохраной зоны водного объекта и его прибрежной защитной полосы // ГАРАНТ – справочная правовая система

5. Антипов А.Н., Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. – Новосибирск, 2000. – 254 с.

6. Кормаков В.И., Жерелина И.В., Стоящева Н.В., Поляков А.А. Методические подходы к проектированию водоохранных зон и прибрежных защитных полос на урбанизированных территориях (на примере г. Барнаула) // Использование и охрана природных ресурсов в России: Бюллетень МПР. – 2004. – №2. – С. 55-60.

© А.А. Поляков, И.В. Жерелина, Н.В. Стоящева, 2005

УДК 631.4

*Н.В. Гонн, В.М. Назарюк, В.В. Смирнов*

ИПА СО РАН, ИВТ СО РАН, Новосибирск

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ САЛАИРСКОГО КРЯЖА**

Цель исследований – показать возможность использования прикладных аспектов геоинформационных систем для изучения основных морфометрических показателей рельефа, способствующих развитию водно-эрозионных процессов и оказывающих негативное воздействие на почвенный покров, вызывая тем самым изменение плодородия почв.

Объектом исследования в данной работе являются предгорья и низкогорья Салаирского кряжа, занимающие в правобережной части Новосибирской области значительную территорию. Территория исследования характеризуется сложной орографией, обуславливающей многообразие климатических условий и, как следствие, определяющая биоразнообразие растительного покрова. Такие орографические условия способствуют развитию эрозионных процессов, приводящих к нарушению почв. В частности, в правобережной части Новосибирской области в эрозионноопасных районах таких, как Болотнинский, Искитимский, Сузунский, Тогучинский, Маслянинский доля эродированных почв достигает 30-50% от общей площади пашни, а в отдельных хозяйствах Маслянинского района - 60-70%. Развитие эрозионных процессов приводит к снижению содержания гумуса, что служит причиной падения биопродуктивности почв сельхозугодий [1]. За последние 15-17 лет произошло уменьшение содержания гумуса в почве в среднем на 0,3%. Оно вызвало снижение урожая на эродированных почвах от 36 до 47%.

Существующие проблемы сохранения плодородия эродированных почв требуют для научно обоснованного решения привлечения новых методов и технологий. В данной проблеме ГИС – технологии и математическое моделирование состояния почвенного покрова для решения поставленных задач являются незаменимым инструментом, так как они позволяют совместить большие объемы разнородной информации и провести сравнительный анализ данных. С экономической точки зрения, ГИС – технологиям нет другой альтернативы, которая позволяла бы в период рыночных отношений экономить значительные денежные средства при проведении экологического мониторинга.

Основу почвенного покрова предгорий и низкогорий Салаирского кряжа составляют серые лесные, дерново-подзолистые почвы, черноземы выщелоченные и оподзоленные, горно-лесные дерново-подзолистые [2]. Значительная площадь почв занимает территорию с пересеченным рельефом, что в большинстве случаев приводит к нарушению технологии обработки пахотного слоя, повсеместно приводящей к усилению эрозии и оврагообразованию.

Среди лесов правобережной части Новосибирской области можно выделить черневую тайгу Салаирского кряжа. Лесные сообщества в этой тайге характеризуются совместным доминированием пихты и осины, и приурочены к наиболее влажным и теплым районам. Они представляют собой уникальное явление, встречающееся только в горах юга Сибири. Благодаря влагозадерживающему влиянию Салаирского кряжа, на его склонах выпадает большее количество осадков, чем в окружающих районах.

Для идентификации мест, потенциально подверженных эрозионным процессам, одних данных о рельефе – недостаточно, так как контролирующими факторами этого процесса является не только рельеф, но и геологическое строение, растительность, климатические составляющие. На самом деле контролирующих факторов конечно больше, но в силу нашей материальной ограниченности при проведении этой работы мы использовали только доступные для нас данные о рельефе и растительности, расчеты их важных параметров, характеризующих их состояние, что уже является значительным вкладом при изучении эродированных почв.

Так как эрозия почв является в основном результатом нескольких гетерогенных, разномасштабных и разнонаправленных процессов, а изучаемый объект – эродированная почва, конечным продуктом деятельности этих воздействий, то, следовательно, изучать объект необходимо с разделения действующих процессов на составляющие. На разных эродированных участках изменения в почвенном покрове проявляются в разной мере и с неодинаковой интенсивностью, учитывая эти обстоятельства, в данном случае для решения поставленной задачи прекрасно подходит математический аппарат и ГИС – технологии. Они позволяют не только скоординировать имеющиеся материалы, но и произвести необходимые расчеты составляющих параметров эрозионного процесса, как для локальных участков, так и для обширных территорий. Эти данные в последующем могут служить основой для классификации территории по степени устойчивости экосистем при воздействии неблагоприятных факторов, ведущих, прежде всего, к снижению содержания гумуса, что оказывает влияние на агрофизические свойства почв (влагоёмкость, строение пахотного слоя, микроагрегатный, структурно-агрегатный состав, плотность твердой фазы и др.).

В качестве исходного материала для построения цифровой модели рельефа, в работе используются данные радиолокационного зондирования сенсора SIR-C/X-SAR, полученные в результате проведения проекта Shuttle Radar Topography Mission [3]. Радиолокационные снимки имеют разрешение 90 м (Level-1, 3 arcseconds). Цифровая модель рельефа, соответствует

топографической карте масштаба 1:150000, система координат данных - WGS84. Распределение и состояние растительности, в зависимости от смывости почв, оценивалось по космическим снимкам Landsat TM, Mosaic/Landsat 7 Circa 2000 (разрешение 30 м).

Идентификация эродированных почв и установление примерных границ на исследуемой территории проводится в камеральный период с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования земли. К преимуществам такого подхода, можно отнести следующее: 1) возможность привязки к единой системе координат, что позволяет отстраивать положение в пространстве почвенных контуров; 2) отображение в трёхмерном виде, позволяет выявить закономерности, которые не удастся увидеть на плоскости; 3) возможности оперирования разнородной информацией позволяют повышать репрезентативность научных исследований и т.д.

В ходе проведения камеральных работ устанавливаются местоположение эродированных почв (рис. 1), примерная площадь и состав угодий. Можно найти местоположение, позволяющее, оценить на каких формах рельефа залегает данная почва. Дополнительно рассчитываются тематические карты крутизны (рис. 2), экспозиции склонов (рис. 3), поверхностного переноса веществ (см. рис. 1), которые позволяют выявлять участки с относительной аккумуляцией и денудацией почвенных частиц.

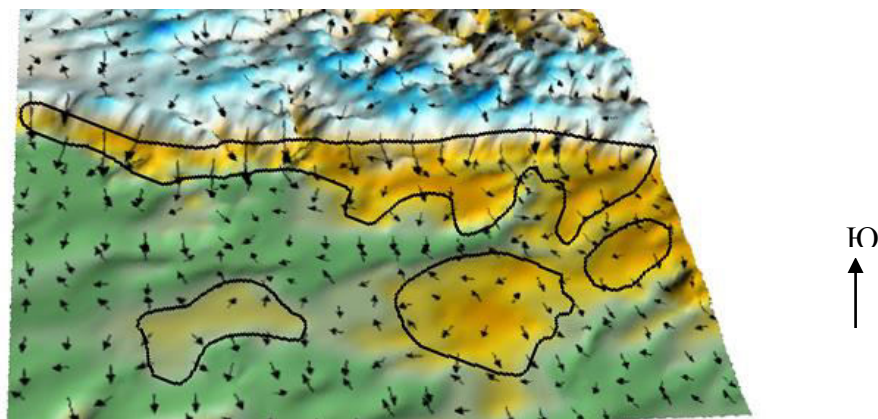


Рис. 1. Местоположение возможных эродированных участков почв на трехмерной модели рельефа и карта-схема поверхностного переноса вещества (предгорья и низкогорья Салаирского кряжа)

Обычно уклонам  $5-8^{\circ}$  соответствует сильная степень смывости почв, уклонам  $4-3^{\circ}$  - средняя, уклонам  $1-2^{\circ}$  - слабая, а при уклонах менее  $1^{\circ}$  смыв почв почти отсутствует [4]. При прочих равных условиях смыв почв усиливается с увеличением длины склона. Форма склона и его отдельных участков обуславливает распределение процессов смыва и аккумуляции.

Крутизна склонов в градусах

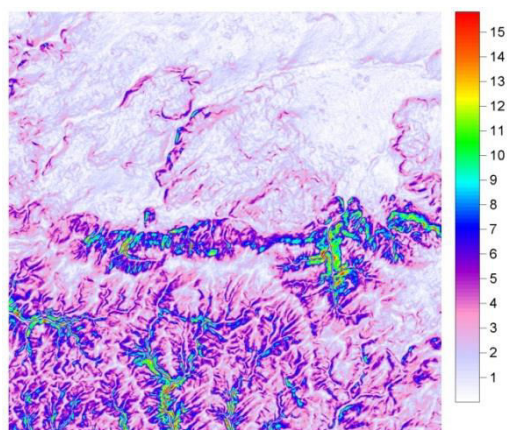


Рис. 2. Карта-схема крутизны склонов (предгорья и низкогорья Салаирского кряжа)

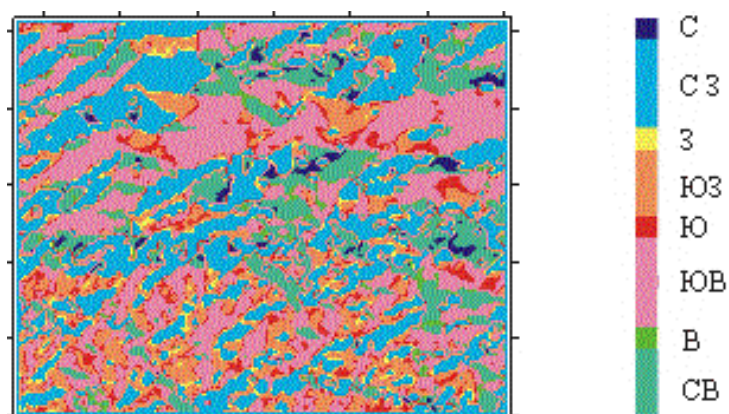


Рис. 3. Карта экспозиции склонов (предгорья и низкогорья Салаирского кряжа)

Совместное использование космических снимков позволяет выявлять артефакты. Так, северо-восточный склон Салаирского кряжа имеет крутизны склонов  $> 13^{\circ}$ , можно уже считать потенциально опасными территориями, где возможно проявление эрозионных процессов, но на этом участке имеется хорошее покрытие растительностью, которая хорошо дешифрируется по космоснимку. Это позволяет сделать вывод о том, что растительность на таком склоне сдерживает развитие эрозионных процессов. Полевое обследование в данном случае уточнит предварительное заключение.

Параметры рельефа, оказывающие влияние на развитие процессов эрозии, описываются не только выше упомянутыми величинами, но и величиной вертикального расчленения (рис. 4). Этот показатель представляет собой разницу между максимальной и минимальной высотами или относительное превышение в пределах выбранной элементарной площади [5].

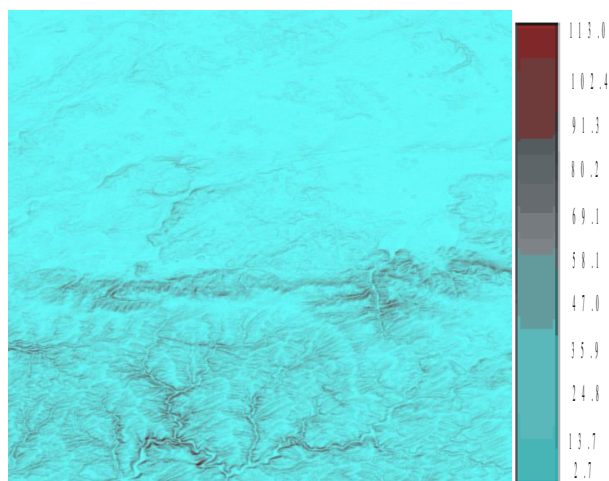


Рис. 4. Величина вертикального расчленения территории (м), предгорья и низкогогорья Салаирского кряжа

Большая расчленённость местности речной и овражно-балочной сетью способствует стоку поверхностной воды, которая в весенний период достигает максимума [6], [7]. В этот период разрушительная сила поверхностно стекающих вод наносит непоправимый вред почвенному покрову. По карте расчленённости территории, на наш взгляд, эффективно выделять территории, где эрозионный процесс захватывает участки естественных природных экосистем покрытых растительностью. По данным описываемой карты можно сделать вывод, что на этой территории развито интенсивное придолинное расчленение, а водораздельные пространства характеризуются относительно невысокими значениями расчленённости.

После проведения серии подготовительных работ по составлению тематических карт проводят сравнительный анализ, в ходе которого выделяются территории и примерные границы участков, наиболее подверженные процессам эрозии. Одновременно закладываются трансекты, по которым уже в полевых условиях уточняются результаты камеральных исследований. Так, на карте, составленной по результатам сравнительного анализа (см. рис. 1), выделены участки, на которых необходимо провести полевое обследование, и установить контроль за протекающими эрозионными процессами.

Таким образом, ГИС-технологии, работающие с геопривязанными данными, позволяют составлять достаточно точные карты эродированных почв. Точность их повышается после проведения второго – полевого этапа обследования почв. Это основано на требованиях методических рекомендаций по выявлению эродированных почв. Вся разнородная информация, полученная в ходе обработки данных, организуется по слоям в ГИС - программах и служит для создания универсальной геоинформационной системы, которая позволяет не только проводить объективные научные исследования, но и может использоваться в сельскохозяйственной отрасли для оперативного принятия решений с целью успешной реализации системы земледелия в производстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назарюк В.М., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Обоснование и оценка параметров плодородия почв и продуктивности растений для моделирования цикла азота в агроэкосистемах // Сибирский экологический журнал. 2004. № 3.
2. Атлас Новосибирской области, М., 2002, 56 с.
3. SRTM Documentation. NASA/JPL SRTM: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/>
4. Сильвестров С.И. Рельеф и земледелие в эрозионных районах. М., 1955.
5. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности. Л., Недра, 1991, 340 с.
6. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 176 с.
7. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. – 239 с.

© Н.В. Гонн, В.М. Назарюк, В.В. Смирнов, 2005



## **ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ГИС ОТ ESRI И ДАТА+**

ArcGIS 9 – семейство программных продуктов нового поколения

Разработано компанией ESRI (Environmental Systems Research Institute, США), признанным лидером в создании и продвижении ведущих Геоинформационных Систем, с учетом передовых тенденций развития информационных технологий и растущих требований многочисленных пользователей. Платформа ArcGIS 9 является оптимальным решением для построения корпоративной ГИС, фундамента информационной системы эффективного управления крупными государственными и коммерческими организациями.

ArcGIS 9 построена на основе стандартов компьютерной отрасли, включая объектную архитектуру COM,+.NET, Java, XML, SOAP, что обеспечивает поддержку общепринятых стандартов, гибкость предлагаемых решений, широкие возможности взаимодействия. Фундаментальная архитектура ArcGIS 9 обеспечивает ее использование во многих прикладных сферах и на разных уровнях организации работы: на персональных компьютерах, на серверах, через Web, или в «полевых» условиях.

### **Технологии ESRI**

#### ***База геоданных***

Уникальная черта базы геоданных как технологии хранения географической информации – сочетание в едином хранилище геометрических описаний, систем координат, характеристик объектов, их взаимосвязей (топология), автоматического контроля их корректности, правил их автоматического изменения (поведение). Включены все основные модели данных – объектно-ориентированная, векторно-топологическая, растровая, сетевая, триангуляционная, а также некоторые специальные.

База геоданных может быть персональной (один локальный файл) или многопользовательской – в этом случае поддерживается параллельное редактирование и коррекция конфликтов, ведение нескольких версий данных и их согласование, открепление фрагментов для автономного редактирования с возвратом правок. В одной карте ArcGIS можно использовать данные из многих источников – файлов, локальных и удаленных баз геоданных, веб-служб.

Архитектура базы геоданных учитывает стандарты ISO, OpenGIS Consortium, FGDC, WWW Consortium.

#### ***Геообработка***

Геообработка - это анализ географической информации, одна из основных функций ГИС. ArcGIS 9 содержит более 450 инструментов: для проведения анализа, конвертации, управления данными, геокодирования, динамической сегментации, картографии, работы с растрами; от оверлейных операций, построения буферных зон, инструментов для выявления пространственных закономерностей и управления данными до расширенных возможностей

обработки растров, методов интерполяции и оценки качества данных, зональной фильтрации, многофакторного анализа, растровой алгебры, построения и проверки топологии, построения графических схем.

Пользователь выбирает удобный для себя способ выполнения операций геообработки: диалоговые окна инструментов; командную строку (быстрый и эффективный доступ к инструментам); скрипты (поддерживаются Python, Perl, VBScript, JavaScript); модели (блок-схемы, позволяющие автоматизировать рабочий процесс, сохранять и документировать методологии); СОМ объекты для разработки новых инструментов геообработки и типов данных.

### ***Визуализация***

Производство качественных картографических продуктов со всеми необходимыми элементами зарамочного оформления, использованием прозрачности, собственных или уже готовых стандартных условных знаков, штриховок, градуированных символов, картограмм и диаграмм. Автоматическая генерация схем сетевых объектов, представление данных, изменяющихся во времени, а также возможность 3D визуализации, расширяющая области применения ГИС.

В ArcGIS можно быстро создать реалистичную виртуальную 3D сцену на основе пространственных данных, как локального уровня, так и в масштабе всей Земли, с использованием цифровых моделей рельефа, космических и аэроснимков, любых векторных данных и фотореалистичных моделей объектов.

Работать с трехмерными объектами можно так же, как и со стандартными ГИС-слоями – делать выборки, получать атрибутивную информацию, оформлять сцены в соответствии с поставленными задачами.

## **Программные продукты ESRI**

### ***Настольные ГИС***

Решают задачи локального и корпоративного уровня. Настольные продукты ESRI семейства ArcGIS (ArcView, ArcEditor, ArcInfo) объединяет общая архитектура и интерфейс; базовые приложения ArcMap (решение картографических задач), ArcCatalog (доступ и управление пространственными данными в интранет/интернет) и ArcToolbox (геообработка пространственных данных), но различаются по функциональности, количеству инструментов геообработки и пространственного анализа.

**ArcGIS ArcView** – базовый продукт семейства ArcGIS, полнофункциональная ГИС с набором мощных инструментов для создания, управления, анализа и визуализации пространственных данных.

**ArcGIS ArcEditor** – сочетает функциональность ArcView с возможностями создания и моделирования баз геоданных (БГД). Уникальный механизм обеспечивает поддержку целостности и многопользовательского редактирования БГД, управление версиями, построение топологии и геометрических сетей.

**ArcGIS ArcInfo** – расширяет функциональность вышеперечисленных продуктов (ArcView, ArcEditor) набором мощных инструментов для пространственного анализа и геообработки данных.



### ***Серверные ГИС***

**ArcGIS Server** предназначен для создания корпоративной ГИС с неограниченным числом полнофункциональных рабочих мест: клиентом может быть как настольное, так и веб-приложение. ArcGIS Server предоставляет инструментарий для создания веб-приложений, веб-служб и других корпоративных приложений, работающих под управлением стандартных .NET и J2EE веб-серверов, обеспечивает централизованное управление географическими ресурсами: картами, службами геокодирования и программными объектами.

**ArcIMS** – продукт для публикации пространственных данных и картографической продукции в интранет/интернет с возможностью геокодирования, анализа и поиска данных по различным критериям. Служит основой для порталных решений, работает под управлением стандартных веб-серверов.

**ArcSDE** обеспечивает хранение пространственных данных в СУБД (Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 и Informix). Для представления и хранения информации используется объектно-реляционная модель – база геоданных, описывающая не только геометрию объектов, но и их поведение, правила, взаимосвязи с другими классами объектов и объектами базы геоданных. Поддерживается работа с различными версиями данных, длительные сеансы редактирования и автономное редактирование. ArcSDE обеспечивает интеграцию ArcGIS с другими ГИС и САПР системами.

### ***Инструменты разработчиков ГИС***

**ArcGIS Engine** – это набор библиотек встраиваемых компонентов и инструментов для создания пользовательских ГИС-приложений. ArcGIS Engine позволяет реализовать все функции настольных ГИС в разрабатываемых приложениях.

### ***Мобильные ГИС***

**ArcPad** позволяет проводить оперативный сбор, автономное редактирование пространственных данных в полевых условиях с использованием приемников GPS, цифровых фотокамер и других устройств. ArcPAD интегрирован с настольными продуктами ArcGIS (ArcView, ArcEditor, ArcInfo), работает на мобильных устройствах Windows CE, Pocket PC.

### ***Дополнительные модули ArcGIS 9***

Построены по одной технологии с настольными продуктами семейства ArcGIS, добавляют более 200 инструментов геообработки и пространственного анализа.

**ArcGIS Spatial Analyst** содержит набор функций для пространственного моделирования и анализа: интерполяция различными методами, создание растровых данных, пространственная фильтрация и растровая алгебра, гидрологический анализ, построение профилей, зон видимости и объемов. Решение множества аналитических задач: выявление пространственных взаимосвязей, построение стоимостных поверхностей, многофакторный анализ и определение подходящих местоположений.

**ArcGIS 3D Analyst** предоставляет пользователям функции моделирования и анализа поверхностей, а также приложения для создания и трехмерного отображения моделей местности как локального (приложение ArcScene), так и глобального (приложение ArcGlobe) масштаба. Информация о рельефе и двумерные пространственные данные, составляющие основу трехмерной модели местности, могут быть дополнены реалистичными моделями объектов, надписями и анимацией.

**ArcGIS Geostatistical Analyst** содержит набор инструментов для геостатистического анализа пространственных данных и построения статистически достоверных поверхностей, выявления глобальных и локальных трендов, аномалий и взаимосвязей между наборами данных.

**ArcGIS Schematics** позволяет автоматически создавать и отображать схемы, построенные на основе геометрических сетей, хранящихся в базе геоданных. Встроенный механизм дает возможность оперативно создавать схемы сетей в различных графических представлениях, которые определяются пользователем, и обеспечивает интерактивную связь схемы и пространственных данных.

**ArcPress for ArcGIS** – программный растеризатор, позволяющий выводить картографический материал в стандартных для печати форматах. Решает задачи цветоделения, подготовки и вывода на печатающие устройства.

**ArcGIS Publisher** - публикация проектов, созданных в настольных продуктах, для просмотра в бесплатном приложении ArcGIS ArcReader. ArcGIS Publisher обеспечивает защиту проектов от несанкционированного использования и тиражирования, производит архивацию данных для дальнейшего распространения.

**ArcGIS Survey Analyst** улучшает традиционные технологические процессы по сбору и обработке геодезической информации. Все необходимые инструменты тесно интегрированы с функционалом настольных ГИС, что позволяет обеспечить непрерывный процесс работы в многопользовательском режиме.

**ArcGIS Tracking Analyst** позволяет отображать и изучать динамику развития различных событий или явлений, создавать системы слежения за объектами в режиме реального времени, планировать ход развития событий, обеспечивать управление и координацию оперативных действий.

**ArcGIS Data Interoperability** обеспечивает работу с пространственными данными в 70 форматах (GML, XML, DWG/DXF, Microstation Design, MapInfo MID/MIF и TAB, Oracle и Oracle Spatial, Intergraph GeoMedia Warehouse и др.). Создание описаний собственных форматов для чтения, импорта и экспорта из ArcGIS, перевод данных из стандарта в стандарт.

**Maplex for ArcGIS** снижает трудоемкость подготовки картографического материала. Уникальный механизм автоматической расстановки надписей в соответствии с заданными правилами, функции для решения конфликтных ситуаций, переноса и использования аббревиатур.

**ArcScan for ArcGIS** – программный векторизатор. Преобразует отсканированные бумажные карты в векторные слои. Интегрирован в среду

ArcGIS, использует все предоставляемые ею возможности для редактирования растровых и векторных данных.

**Production Line Tool Set (PLTS) for ArcGIS** (для ArcEditor и ArcInfo) – программная среда для создания автоматизированного производства картографической продукции. Полный набор простых в использовании инструментов контроля качества данных. Позволяет создавать базы знаний картографических спецификаций и производить картографическую продукцию в цифровом и печатном виде.

**«ДАТА+»** – официальный представитель компаний ESRI и Leica Geosystems (поставщик профессионального фотограмметрического оборудования и программного обеспечения для обработки, анализа, моделирования пространственных данных) в России и большинстве стран СНГ.

«ДАТА+» была основана в 1992 году Институтом географии РАН и Институтом исследования систем окружающей среды (ESRI, США). Наряду с другими компаниями, она стояла у истоков формирования российского рынка геоинформационных технологий. Сегодня «ДАТА+» занимает лидирующие позиции в этой отрасли.

«ДАТА+» предлагает своим пользователям локализованные версии программных продуктов, адаптированные с учетом специфики рынка, а также интегрированные решения для создания и развития комплексных информационных систем, базирующихся на пространственной информации.

Учебный центр «ДАТА+» осуществляет подготовку и сертификацию специалистов по работе с новейшими программными продуктами компании ESRI.

Центральный офис «ДАТА+»: 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д.10

Телефоны: (095) 254-93-35, 254-65-65, 254-98-88, факс: (095) 254-88-95

Адрес в интернете: <http://www.dataplus.ru>

© А.Л. Леонов, 2005

## **АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА**

Точность, положение и плотность первоначальных данных непосредственно влияет на точность цифровую модель рельефа (ЦМР). Главная задача - получить данные высшего качества, которые устраивали бы поставленные требования для модели рельефа (DeLoach, Leonard, 2000). Высотные точки должны быть достаточной плотности, их было достаточно не только для модели рельефа, но и для контролирования точности. Качественные и количественные характеристики данных, экономические показатели зависят от выбранного метода измерения точек высот.

Сейчас в мире широко используются цифровые модели рельефов, полученные из векторизированных горизонталей. Популярность использования этих моделей определяет обилие аналогических карт, из которых векторизируются горизонталей. Полевые измерения для цифровых моделей рельефов не используются, потому что дорого. Полевые измерения используются только для контроля ЦМР. Главное место занимают методы дистанционного измерения, которые можно разделить на прямые измерения (LiDAR, InSAR) и фотограмметрические (Brock и др., 2002; Sandwell и др., 2001; Small, 1998; Gens, 1999). И прямые и фотограмметрические измерения имеют один и тот же недостаток: из воздуха не всегда видна поверхность земли, поэтому в таких местах точно измерить поверхность не возможно.

Автор объектом своей работы выбрала Литву, потому что на этой территории для ЦМР можно использовать все ниже изложенные методы. Автор сделала дополнительные стереофотограмметрические измерения на территории Литвы. Все анализируемые методы отличаются друг от друга методом создания, точностью, детальностью, резолуцией модели.

### **Оценка точности модели рельефа, созданной InSAR методом**

Из 50 м резолуции космического изображения ЦМР был создан InSAR методом по программе NASA. Этим методом была измерена поверхность суши всей Европы. Методом InSAR можно точно измерить высотные точки ровной или несильно высокохолмистой поверхности. В местах, где на поверхности земли есть растительность, земная и растительная поверхность измеряется частями, в зависимости от плотности растительности. В местах, где есть большая наклонность, измерение InSAR методом не всегда возможно.

Анализ ЦМР выполненный автором работы, показал, что эта модель имеет много недостатков исходящих из метода измерения поверхности.

Замечено, что при измерении, выполненном InSAR методом цифровой модели рельефа, осталось немало неизмеренных одиночных площадей глубины речных долин. Как видно с рис. 1, остались неизмеренные площади (белым цветом отмеченная территория), находящиеся в крутых долинах рек. На территории Литвы не измеренная площадь составляет 53,56 км<sup>2</sup>.

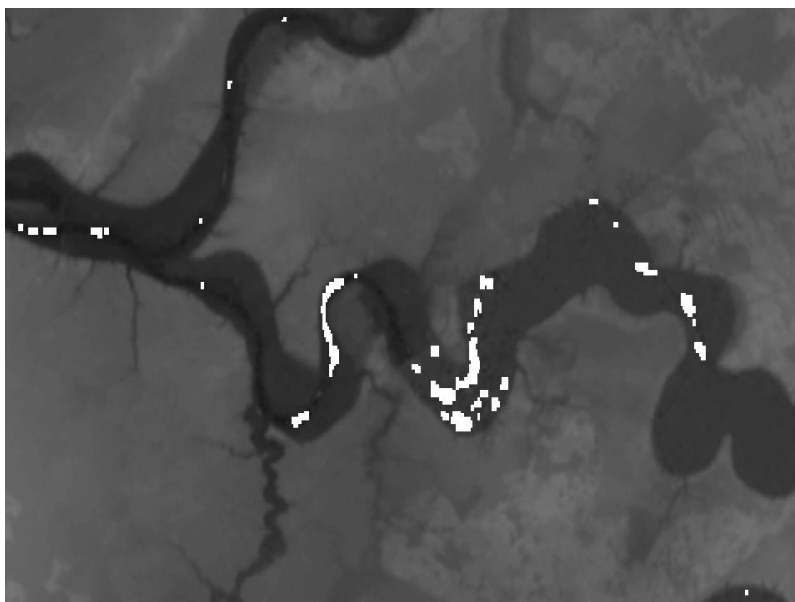


Рис. 1. InSAR методом созданная цифровая модель рельефа

В этой местности данные о поверхности могут быть получены, выполнив интерполяцию имеющихся точек, или используя дополнительные высотные точки. Выполнив анализ цифровой модели рельефа, созданной InSAR методом сравнивая с ЦМР, используя сеть нерегулярных треугольников, преобразовав в прямоугольный растр (Вильнюс99), выяснилось, что эта цифровая поверхностная модель - малenькой детальности, не отражает мелкие детали рельефа (рис. 2 контуром 1 и 2 отмеченные места в графике). Мелкие неровности рельефа, которые видны, используя поверхность модели, созданной из горизонталей или высотных точек, часто остаются не измерены. Также часто пропускаются углубления рельефа, местами видны несуществующие неровности поверхности (рис. 2 контуром 3 отмеченные места в графике). По мнению автора, эти неточности могли появиться из-за неточных измерений на поверхности рельефа.

Внизу графика, кривая показывает зоны, через которые идут номера профиля рельефа. Чем короче отрезок, тем меньше площади занимает указанная зона.

Точность модели рельефа созданного методом InSAR  $\sigma = 4,57$  м (табл. 1).

Таблица 1. Статистические данные ЦМР

| Статистические данные                         | 50 м / InSAR |
|-----------------------------------------------|--------------|
| Количество контрольных точек, шт.             | 3115         |
| Средняя разница высот $\Delta h$ , м          | 2,26         |
| Стандартное отклонение $\sigma$ , м           | 4,57         |
| Наибольшая разница высот $\Delta h_{max}$ , м | 25,17        |

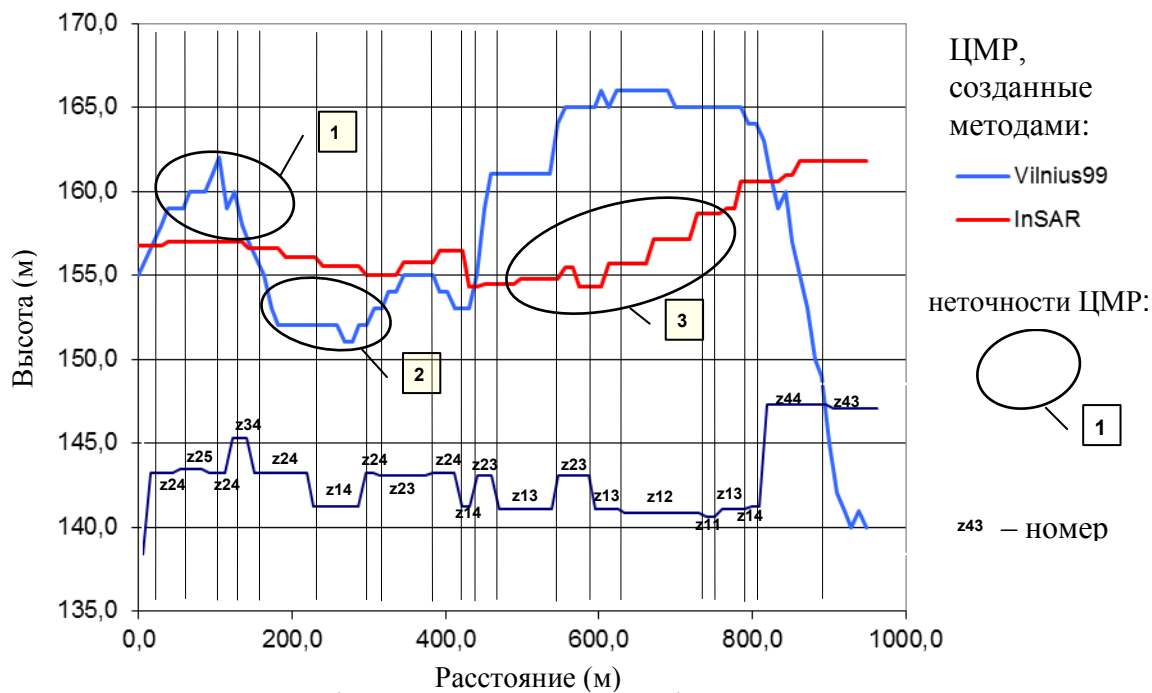


Рис. 2. Анализ цифровой модели рельефа, созданной методом InSAR

### Оценка точности модели рельефа, полученной из горизонталей

Цифровая модель рельефа 50 м резолуции (DEM50) территории Литвы составлена методом Anudem из горизонталей. Для моделирования поверхности как дополнительная информация используются высотные точки и линейные гидрографические данные. Для интерполяции данных высоты используется метод крайгинга. Сетевая модель состоит из массива клеток (5985 рядов и 7775 столбцов) - всего 46533375 клеток. DEM50 неточный по нескольким факторам (Kumetaitis, 2000):

- Нет верных первоначальных данных для создания ЦМР;
- Недостатки, обусловленные используемым методом моделирования.

До этого времени картографический материал, используемый в координированной системе 1942 г. начерченных горизонталей. Сравнив высотные и стереодигитализированные точки, выяснилось, что в некоторых местах горизонтальные данные недостоверные.

Анализ поверхности профиля показал, что из горизонталей выполненный ЦМР не отражает небольшие изменения рельефа. В среднем изменения рельефа тоже детально не отражаются. Это может быть, потому что неточно начерчены горизонталы или из-за того, что устарели данные рельефа. Другой недостаток ЦМР зависит от метода формирования поверхности. Поверхность, сформированная из горизонталей, получается ступенчатая. Это можем видеть из гистограммы (рис. 3).

Пик гистограммы соответствуют целые значения высот горизонталей, которые были использованы для выполнения ЦМР. Таким образом, значительно увеличивается значения, соответствующие горизонтальным линиям. Это может иметь влияние на использование рельефа для различных целей. Расчет,

применяемый в процессах, происходящих на поверхности почвы: эрозии, гидрографии и др., используемый для применения наклонности, не будет точным, потому что из сети горизонталей полученная поверхность будет кривой. Этот недостаток, хотя и не полностью, можно устранить (Аткинсон, 1999).

Число клеток (тыс.)

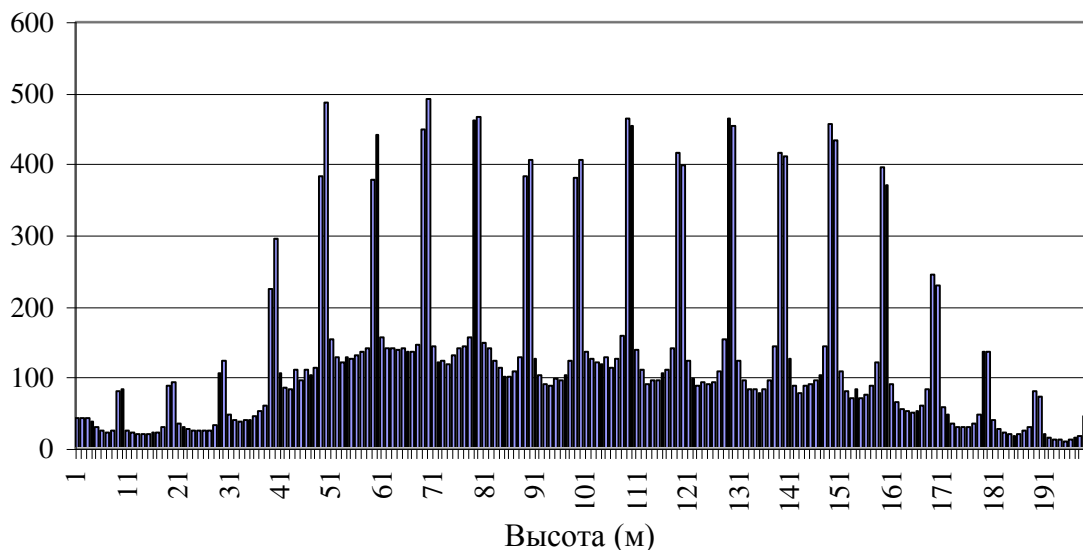


Рис. 3. Гистограмма цифровой модели рельефа, полученной из горизонталей

Моделируя рельеф, нужно обязательно обратить внимание на край линии гидрографических объектов. В противном случае поверхность источника воды будет „волнистая“. Это очень хорошо отражено на территории Курской косы и Балтийского моря. Края линии таких поверхностей объектов можно исправить, используя их как горизонталь, которую можно поправить, выравнивая поверхности источников воды. Наибольшая разница точек высоты ( $\geq 5$  м) скапливается на модели, где большой наклон рельефа (табл. 2). Это свойственно и лесным пересеченным местам рельефа.

Таблица 2. Статистические данные ЦМР

| Статистические данные                         | 1996 г. ЦМР |
|-----------------------------------------------|-------------|
| Количество контрольных точек, шт.             | 64451       |
| Средняя разница высот $\Delta h$ , м          | -0,8        |
| Стандартное отклонение $\sigma$ , м           | 3,0         |
| Наибольшая разница высот $\Delta h_{max}$ , м | 29,0        |

**Оценка точности модели рельефа, полученной автоматическим стереофотограмметрическим методом**

Составление ортофотографической карты состоит из этапов: сканирования аэрофотографий, цифровой аэротриангуляции, составления ЦМР, составления ортофотографической карты и исправлению по составлению ЦМР (Kaczinski, Ziobro, 1998). Один из обязательных этапов процесса производства ортофотографической карты – это составление ЦМР автоматическим стереофотограмметрическим методом. Моделируя рельеф этим методом, используются перекрывающие друг друга аэрофотографии. Теоретическая точность высоты этого метода составленного ЦМР,  $0,1\text{ ‰ }H - 0,2\text{ ‰ }H$  ( $H$  – высота полета) в открытой местности, и  $1\text{ ‰ }H - 2\text{ ‰ }H$  в лесистой территории (Kaczinski, 2000).

Этот метод очень перспективный, потому что ортофотографическая карта страны постоянно обновляется, а ЦМР может быть получен в производстве ортофотографической карты как дополнительный продукт, которому не надо дополнительной аэрофотографии. Этот метод может быть использован для того, чтобы быстро получить цифровую модель рельефа большой территории. Таким способом полученная модель, охватывает не только земную поверхность, но и наземные объекты, возвышенные поверхности: здания, леса, одиночные деревья, кустарники. Поверхность модели составленная автоматическим стереофотографическим методом наиболее детальная и отражает мелкие неровности поверхности. Для моделирования гидрографии и др. наземных явлений (такие как эрозия почвы), такая модель не используется, потому что охватывает много наземных объектов, которые искажают вид земной поверхности.

Желая из ЦМР создать цифровую модель рельефа надо устранить наземные объекты. Это можно сделать вручную, используя дополнительную информацию высот в тех местах, где большую площадь занимает растительность. Так - как оператор может точно измерить поверхность земли, где растительность растет редко, в этих местах рекомендуется дополнительно использовать стереодигитализированные точки высоты.

Так - как стереофотограмметрические измерения в городе Каунас не были выполнены, точность ЦМР была использована, сравнивая с большой точностью. ЦМР (размер клеток  $2 \times 2$  м), полученный из 1:10 000 масштаба карты горизонталей. Для контроля использовано 7100 высотных точек (табл. 3).

Таблица 3. Статистические данные ЦМР

| Статистические данные                         | Автоматический стереофотограмметрический метод |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Количество контрольных точек, шт.             | 7100                                           |
| Средняя разница высот $\Delta h$ , м          | -2,94                                          |
| Стандартное отклонение $\sigma$ , м           | 6,23                                           |
| Наибольшая разница высот $\Delta h_{max}$ , м | 26,56                                          |

**Оценка точности модели рельефа, выполненной стереофотограмметрическим методом**



Достоинство стереофотограмметрического измерения - возможность расположить точки по спросу. Стереодигитализируя, в зависимости от ситуации рельефа, оператор может выбрать положение первоначальных точек так, чтобы были отображены главные качества рельефа. Недостаток этого метода состоит в том, что ручная работа требует много затрат времени, поэтому он не очень продуктивный, и сравнивая с другими методами – дорогой.

Анализируя точность использованных методов, автор работы исследовал фрагмент цифровой модели рельефа 2-ух м резолуцию города Вильнюса, созданную используя стереодигитализированные точки высоты. Точки высоты измерены стереофотограмметрическим прибором А8. Измерения проведены на территории г. Вильюса, на площади 121,86 км<sup>2</sup>. Так – как автор хотела создать очень точную ЦМР, было выполнено дополнительное стереодигитализирование, измерено 5689 характерные точки высоты местности.

Созданная стереофотограмметрическая поверхность ЦМР, в отличие от полученной при интерполяции горизонтали, меняется равномерно (рис. 4).

Число клеток

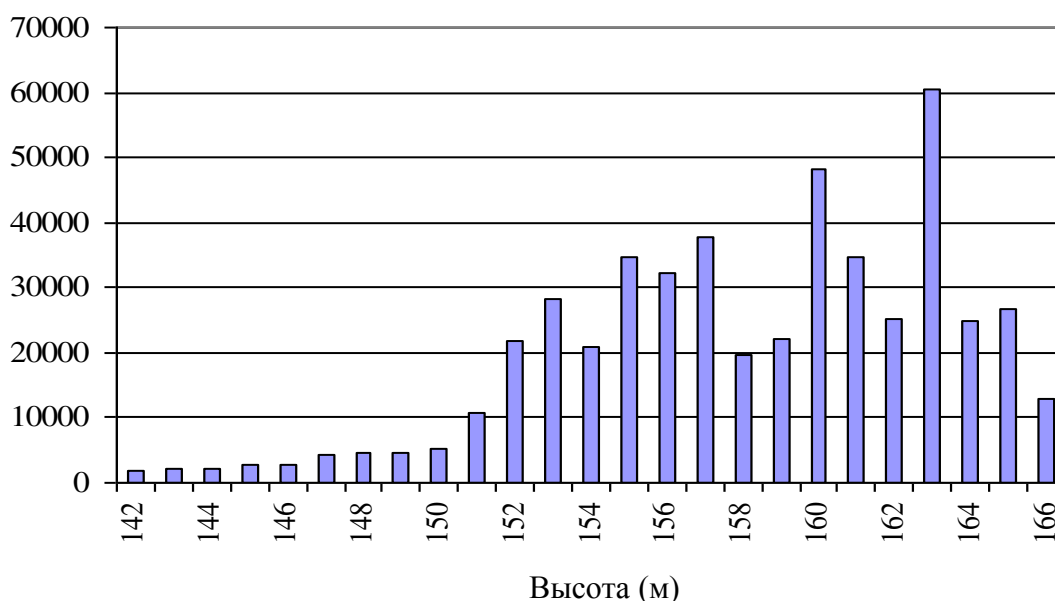


Рис. 4. Гистограмма цифровой модели рельефа, полученной из стереофотограмметрическим методом измеренных высот

Желая оценить точность ЦМР полученных из разных первоначальных источников данных, автор работы пересчитала размер клетки ЦМР с 2х2 м на 50х50 м. Так полученный ЦМР сравнен с стереофотограмметрическим методом измеренными точками высоты (табл. 4).

Таблица 4. Статистические данные ЦМР (размер клетки 50х50 м)

| Статистические данные | Стереофотограмметрический метод |
|-----------------------|---------------------------------|
|-----------------------|---------------------------------|

| Статистические данные                         | Стереофотограмметрический метод |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| Количество контрольных точек, шт.             | 3115                            |
| Средняя разница высот $\Delta h$ , м          | 0,74                            |
| Стандартное отклонение $\sigma$ , м           | 1,89                            |
| Наибольшая разница высот $\Delta h_{max}$ , м | 14,46                           |

## Выводы

1. Выполненное сравнение точности рельефных моделей, полученных из разных начальных источников. Модель поверхности, полученная из стереодигитализированных точек высоты, оценена как лучший взгляд детальности и точности. Исследованный ЦМР, созданный из стереофотограмметрически измеренных точек, точность ( $\sigma = 1,89$  м). Величина клетки ЦМР (50x50) была сравнена с данными ЦМР, полученными из InSAR и горизонталей.

2. Перспективное создание поверхности автоматическим стереофотограмметрическим методом, используя Leica и похожие автоматические рабочие станции, однако такими методами полученные поверхности бывают загрязнены надземными объектами, поэтому нужна дальнейшая коррекция модели поверхности, используя дополнительные данные высот в урбанизированных и озелененных территориях. Сравнив ЦМР, созданный автоматическим стереофотограмметрическим методом с ЦМР, созданным из горизонтали, получено стандартное отклонение  $\sigma = 6,23$  м.

3. Исследования ЦМР, созданного из горизонталей, показало, что наибольшие недостатки этого метода являются размещением поверхности “террасами” и маленькая точность модели рельефа на территориях с острыми различиями рельефа. В модели такого типа рельефа, необходимо дополнительное коррегирувание береговых линий гидрографических объектов. Точность ЦМР выполнена при 3115 контрольных точек и полученное стандартное отклонение  $\sigma = 3,92$  м.

4. Точность модели рельефа созданного методом InSAR  $\sigma = 4,57$  м. Выполненный анализ показал, что в созданной модели рельефа измеряются много надземных объектов, не измеряется поверхность в местах крутого склона рельефа. На территории Литвы неизмеренная поверхность площади составляет 53,56 км<sup>2</sup>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. DeLoach S. R.; Leonard, J. Making photogrammetric history. *Professional Surveyor* 20 (4); 2000, pp. 6, 8, 10.
2. Brock J. C.; Wright, C. W.; Sallenger, A. H.; Krabill, W. B.; Swift, R. N. Basin and methods of NASA Airborne Topographic Mapper LiDAR surveys for coastal studies. *Journal of Coastal Research* 18 (1); 2002, pp. 1–13.
3. Sandwell D. T.; Smith, W. H. F. Bathymetric estimation: Except: Satellite Altimetry and Earth Sciences. In: Fu, L. L.; Cazenave, A. (eds.), *A handbook of techniques and applications*. New York, Academic Press; 2001, pp. 441–457.
4. Small D. *Generation of Digital elevation Models Through Spaceborne SAR Interferometry*. Department of Geography, Univ. Zurich, Remote Sensing Series, 1998, 150 p.

5. Gens R. SAR interferometry – software, data format, and data quality. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65 (12); 1999, pp. 1375–1378.
6. Kumetaitis A. Skaitmeninių reljefo modelių tikslumo tyrimas. *Geodezija ir kartografija* XXVI (2); 2000, 79–83.
7. Katczinski R.; Ziobro, J. Digital aerial triangulation for DTM and ortophoto generation. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* 32 (4), Stuttgart; 1998, pp. 281–283.
8. Katczinski R. Digital aerial triangulation, DEM and ortophoto generation in IGIK. *Geodezija ir kartografija* XXVI (3); 2000, pp. 105–110.

© A. Куметаитене, 2005

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ В СТРУКТУРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»**

Важнейшей задачей проектирования геодезических работ при монтаже технологического оборудования является оптимальный выбор методов и средств измерений. Одним из путей совершенствования технологии проектирования является возможность систематизации достигнутого уровня научного и практического знаний, и хранения накопленных знаний в виде электронных баз данных.

Информационные системы являются многопользовательскими системами по своему определению, а это свойство само по себе требует наличия баз данных, с которыми могут работать пользователи. Прикладные программы также зависят от базы данных. Вывод очевиден сам по себе – надлежащий проект базы данных, который может объединить и поддерживать прикладные программы, является необходимым условием реализации информационной системой предусмотренных функциональных возможностей. Вполне естественно, что проект базы данных необходимо начинать с анализа предметной области и выявления требований к ней отдельных пользователей.

Важнейшей задачей проектирования геодезических работ при монтаже технологического оборудования крупных установок и промышленных комплексов является оптимальный выбор методов и средств измерений. При этом задачи геодезических измерений чрезвычайно разнообразны как по точности, так и методическим особенностям. Для их решения необходимы специальные меры строительного и технологического характера, которые следует предусмотреть на стадии проектирования сооружения. Поэтому дальнейшее совершенствование технологии проектирования геодезических работ должно базироваться на основе систематизации достигнутого уровня научного и практического знаний, и хранения накопленных знаний в виде электронных баз данных.

В течение последних десятилетий реляционная модель (РБД) господствует на рынке ПО баз данных. Ныне действующий стандарт для модели РБД известен как стандарт SQL92, и как следствие возник целый ряд продуктов управления базами данных (СУБД), подавляющее большинство которых соответствует этому стандарту, хотя каждый в своей собственной манере. Предложенная Э.Ф. Коддом реляционная модель данных и инструмент работы с отношениями – реляционная алгебра, позволяют использовать одну или несколько таблиц в качестве ее операндов и продуцировать в результате новую таблицу, т.е. имеется возможность «разрезать» или «склеивать» таблицы. Язык манипулирования данными, позволяющий реализовывать все операции реляционной алгебры – это структурированный язык запросов, и один из наиболее распространённых – это язык SQL, с помощью которого пользователь указывает, какие данные ему необходимо получить, не уточняя процедуру их

получения. С помощью единственного запроса можно соединить несколько таблиц во временную таблицу и вырезать из неё требуемые строки и столбцы.

Основным элементарным типом модели РБД является реляционная таблица, которая состоит из столбцов. Столбцы таблицы могут принимать только атомические значения – структурированные значения или значения коллекций не допускаются. Типы данных, которые хранятся в столбцах, относятся к встроенным или определяемым пользователем типам (доменам). Таблица может содержать произвольное количество строк (или записей). Каждая строка таблицы в реляционных базах данных уникальна, т.е. каждую строку можно рассматривать как единичную запись. Поскольку таблица есть не что иное, как математическое множество, повторяющиеся строки в таблице отсутствуют. Одним из следствий требований к модели РБД, которое состоит в недопустимости дублирования строк, является наличие у каждой таблицы первичного ключа. Ключ – это минимальное множество столбцов (возможно один) таких, что значения в этих столбцах единственным способом идентифицируют одну строку в таблице. Таблица может содержать много подобных ключей, но один из них выбирается как наиболее важный – это первичный ключ. Ключи хранятся в упорядоченном виде, что обеспечивает прямой доступ к записям таблицы во время поиска.

При проектировании реляционной базы данных решается вопрос о наиболее эффективной структуре данных. Основные цели, которые при этом преследуются:

- Обеспечить быстрый доступ к данным в таблицах;
- Исключить ненужное повторение данных, которое может являться причиной ошибок при вводе и нерационального использования дискового пространства компьютера;
- Обеспечить целостность данных таким образом, чтобы при изменении одних объектов автоматически происходило соответствующее изменение связанных с ними объектов.

Процесс проектирования базы данных начинается с проектирования инфологической модели данных, т.е. идентификации сущностей.

**Сущность** – любой различимый объект, т.е. такой, который мы можем отличить один от другого, и информацию о котором необходимо хранить в базе данных. В нашем случае сущностями могут быть геодезические приборы, методы геодезических измерений, контролируемые геометрические параметры при монтаже технологического оборудования. Необходимо различать такие понятия как *тип сущности* и *экземпляр сущности*. Понятие *тип* относится к набору однородных предметов, например, геодезический прибор – это теодолит, нивелир или контролируемая поверхность – плоская, цилиндрическая, криволинейная. *Экземпляр сущности* относится к конкретному предмету, например, теодолит - 2Т2, 4Т30.

**Атрибут** – поименованная характеристика сущности. Его наименование должно быть уникальным для конкретного типа сущности, и в тоже время может быть одинаковым для конкретного типа сущностей (например, точность и

диапазон измерений для различных средств измерений). Атрибуты используются для определения того, какая информация должна быть собрана о сущности.

**Связь** – ассоциирование двух и более сущностей. Если бы назначение базы данных было только хранение отдельных, не связанных между собой данных, то её структура была бы очень простой. Однако, одно из основных требований к организации базы данных – это обеспечение возможностей отыскания одних сущностей по значениям других, для чего необходимо установить между ними определенные связи.

Одним из вариантов моделирования реляционных баз данных является язык инфологического моделирования «Таблица-связь». В нем сущности изображаются одностолбцовыми таблицами с заголовками, состоящими из имени и типа сущности. Строки таблицы – это перечень атрибутов сущности, а те из них, которые составляют первичный ключ, располагаются рядом и обводятся рамкой. Связи между сущностями указываются стрелками, направленными от первичных ключей или их составляющих. Наличие такого множества связей и определяет сложность инфологической модели базы данных. На рис. 1 представлена инфологическая модель базы данных «Методы и средства геодезического контроля геометрических параметров при монтаже технологического оборудования», разработанная в инструментальной среде управления реляционными базами данных MS Access 2003.

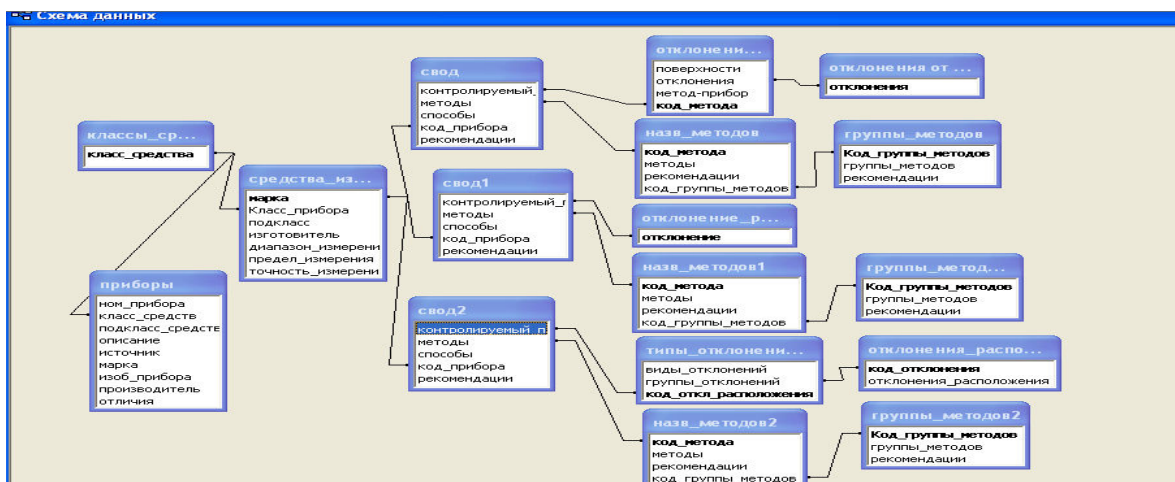


Рис. 1. Инфологическая модель базы данных «Методы и средства геодезического контроля геометрических параметров при монтаже технологического оборудования»

В соответствии с представленной на рис. 1 инфологической схемой данных были разработаны соответствующие структуры таблиц базы данных, фрагмент одной из которых приведен на рис. 2.

**Столбцы:**

| Имя              | Тип              | Размер |
|------------------|------------------|--------|
| ном_прибора      | Длинное целое    | 4      |
| класс_средств    | Текстовый        | 50     |
| подкласс_средств | Текстовый        | 50     |
| описание         | Поле MEMO        | -      |
| источник         | Поле объекта OLE | -      |
| марка            | Текстовый        | 50     |
| изоб_прибора     | Поле объекта OLE | -      |
| производитель    | Текстовый        | 250    |
| отличия          | Поле MEMO        | -      |

**Схема данных:**

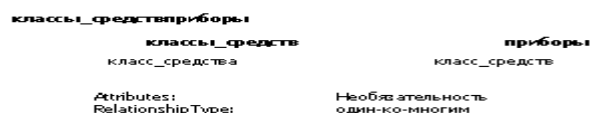


Рис. 2. Структура таблицы «Приборы» в базе данных

В соответствии с выше перечисленными концептуальными понятиями, в разработанной базе данных определены: сущности (классы средств измерений, контролируемые параметры, группы методов геодезических измерений), типы сущностей (геодезические приборы, виды контролируемых поверхностей, методы геодезических измерений), экземпляры сущностей (средства измерений, типы отклонений), атрибуты сущностей (точность, пределы и диапазон измерений), виды связей (один к одному, один ко многим). В качестве примера реализации концептуальных понятий в инфологической модели базы данных на рис. 3 представлен фрагмент базы данных.

| средства_измерений : таблица       |                               |                                                |                  |                                         |     |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-----|
| марка                              | Класс_прибора                 | подкласс                                       | изготовитель     | диапазон_измерений                      | пр  |
| + Круговые решетки                 | Дифракционные решетки         | В приборах типа "Родолит"                      |                  |                                         |     |
| + По схеме Юнга                    | Дифракционные створификсаторы | Однощелевая и двухщелевая                      | МИИГАиК (В.С. Ус | 80 - 100 м                              |     |
| + Лазерный дифракц. створификсатор | Дифракционные створификсаторы | по схеме Юнга                                  | МИИГАиК(Ямбав    | до 100 м                                | + \ |
| + Родолит                          | Дифракционные створификсаторы | Круговая дифракционная реше                    |                  | первые несколько                        |     |
| + Перекрещивающиеся зоны           | Зонные пластины               | Двухмерные                                     | МИИГАиК(Ямбав    |                                         |     |
| + С вертикальными зонами           | Зонные пластины               | Одномерные поворотные                          | МИИГАиК(Ямбав    |                                         |     |
| + Конические зоны                  | Зонные пластины               | Двухмерные                                     | МИИГАиК(Ямбав    |                                         |     |
| + Круговые зоны                    | Зонные пластины               | Двухмерные                                     |                  |                                         |     |
| + Составные зонные марки           | Зонные пластины               | Одномерные поворотные                          | МИИГАиК(Хороши   |                                         |     |
| - Индуктивный уровень-модель129-3  | Индуктивные уровни            | Маятникового типа                              | СССР (э. Калибр) | + \ - 100"                              |     |
| контролируемый                     | методы                        | способы                                        | средство         |                                         |     |
| Отклонения                         | Электронные                   | Дистанционные измерения положения оборудования | Индуктив         | Автоматизация измерений при выверке гор |     |
| * 0                                | 0                             |                                                | Индуктив         |                                         |     |
| + Индуктивный уровень-модель129-4  | Индуктивные уровни            | Маятникового типа                              | СССР (э. Калибр) | + \ - 50"                               |     |
| + Индуктивный уровень-модель152-4  | Индуктивные уровни            | Маятникового типа                              | СССР (э. Калибр) | + \ - 50"                               |     |
| + Индуктивный уровень-модель129-2  | Индуктивные уровни            | Маятникового типа                              | СССР (э. Калибр) | + \ - 240"                              |     |

Рис. 3. Фрагмент базы данных, реализующий связь концептуальных понятий

С помощью языка запросов SQL пользователь указывает, какие данные ему необходимо получить, не уточняя процедуру их получения. В результате с помощью единственного запроса, на основании визуальной информации можно извлечь нужные данные из одной или нескольких таблиц, соединить несколько таблиц во временную таблицу и вырезать из неё требуемые строки и столбцы и т.д. Фрагмент выборки по типу контролируемого параметра и выбранных средств измерений представлен на рис. 4.

| контролируемый па | методы              | способы             | средство | рекомендации                               |
|-------------------|---------------------|---------------------|----------|--------------------------------------------|
| плоские           | оптико-механические | Прямого визирования | ППС-11   | Рекомендуется для контроля прямолинейности |
| плоские           | оптико-механические | Прямого визирования | ППС-11   | Рекомендуется для контроля прямолинейности |
| плоские           | оптико-механические | Прямого визирования | ППС-11   | Рекомендуется для контроля прямолинейности |
| плоские           | оптико-механические | Прямого визирования | ППС-11   | Рекомендуется для контроля прямолинейности |

Рис. 4. Фрагмент выборки средства измерений по типу контролируемого параметра

Для удобства выборки, ограничения объема информации, отображаемой на экране и представления её в требуемом виде, используются формы. С помощью мастера можно создать форму, поместив в нее поля исходной таблицы, расположенные в соответствии с одним из заранее созданных шаблонов. С помощью конструктора форм можно создавать формы любой степени сложности. Форма позволяет правильно вводить информацию и проверяет, нет ли ошибок. Для удобства пользователей форма, как правило, за один раз отображает поля только одной записи. Форма отчёта выбранных средств измерений представлена на рис. 5.

| марка        | подкласс         | изготовитель                 | диапазон измерений         | точность измерений                          |
|--------------|------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|
| ППС-11       | Многотелескоп    | СССР (ЛОМО)                  | Прямое визирование до 30 м | $(0,01 + L \cdot 200) \text{ мм}$ , $L - r$ |
| "Аскани"     | Однокоординатный | ФРГ                          | 0 - 1000 мм                | $\pm 0,015 - 0,025 \text{ мм}$              |
| "Бити"       | Группа Т         | США (Прескотт Интернационал) |                            |                                             |
| "Вюль"       | Однокоординатный | Швейцария                    | 0 - 800 мм                 | $\pm 0,010 - 0,020 \text{ мм}$              |
| "Гартнер"    | Двухкоординатный | США                          | 100 x 150 мм               | $\pm 0,015 - 0,025 \text{ мм}$              |
| "Гартнер" -2 | Двухкоординатный | США                          | 455 x 455 мм               | $\pm 0,035 - 0,060 \text{ мм}$              |

Рис. 5. Форма отчёта для выбранных средств измерений в результате SQL запроса

Подводя итоги, отметим следующее. Проектирование базы данных является очень ответственным моментом при проектировании информационной системы. Неудовлетворительный проект базы данных нельзя компенсировать другими средствами, включая качественную разработку приложений; поэтому к процессу моделирования инфологической модели базы данных следует относиться очень тщательно, выдерживая все требования к проектированию баз данных.

© В.С. Хорошилов, Т.В. Жежко, 2005



## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Оптимальное решение задачи автоматизированного землеустроительного проектирования и задачи по разработке систем земледелия возможно при использовании ГИС-технологий.

В современной землеустроительной науке большое внимание уделяется созданию и внедрению в производство системы автоматизированного землеустроительного проектирования (САЗПР). Основной целью создания такой системы является автоматизация и координирование работ по разработке планов землеустройства между отдельными подразделениями проектных землеустроительных организаций.

В составе САЗПР выделяют: комплекс технических средств на базе ПЭВМ; комплекс методов проектирования и программных продуктов для решения конкретных задач землеустройства; банк данных, содержащий сведения для разработки проекта; систему организации и последовательности проектных работ.

Значительное место и роль в создании САЗПР играют геоинформационные системы. Геоинформационные системы позволяют автоматизировать решение отдельных задач землеустройства. Особенностью использования их является пространственная привязка географических объектов к земной поверхности, возможность оверлейных операций и последующий анализ полученной геоинформации, а также возможность работы с базами данных.

Следует отметить трудность полного процесса автоматизации разработки плана землеустройства, обусловленную комплексным подходом, сложностью формализации и алгоритмического описания требований к разработке проекта землеустройства. Например, при проектировании полей севооборотов предъявляются требования к соблюдению оптимального наклона рельефа, направлений горизонталей (для обеспечения минимального смыва почвенного слоя), требования к размерам полей, расположению к существующим объектам топографии и другие.

Примерами использования геоинформационных систем для решения землеустроительных задач является создание цифровой модели землепользования, создание трехмерных моделей рельефа на территорию землепользования, составление проекта эрозионных мероприятий.

В настоящее время ГИС-технологии для реализации задачи размещения полей и рабочих участков севооборотов производится в ручном режиме [1]. Первоначально создается цифровая модель землепользования, включающая тематические слои (топография, почвы, гидрография, карта землеустройства и др.). Затем, используя инструментальные средства ГИС-технологий, осуществляют размещение полей севооборотов. Размещение производится при оверлейном наложении цифровых карт (топографической, рельефа, существующей карты землеустройства и почвенной). При этом на карте

землеустройства отображают основные направления обработки, проектируют внутрихозяйственные проезды от полей до производственных центров, проектируют лесополосы. Оверлейное наложение карт при землеустроительном проектировании обеспечивает оптимальный учет направлений поверхностного водного стока, учет расположения топографических объектов (овраги, колки, промоины и др.). Вместе с тем почвенные условия при размещении полей севооборотов учитываются большей частью интуитивно с учетом представления о типе почв, ее плодородии.

Поэтому нами были поставлены и решены задачи по разработке подпрограммы, позволяющей в геоинформационной среде, автоматизированном режиме рассчитывать урожайности и выход валовой продукции с полей севооборотов с учетом почвенных условий местности. Величина валового сбора является одной из основных параметров, участвующих в решении экономико-математических задач землеустройства [2].

Разработанная подпрограмма Sevooborot предназначена для оформления карты севооборотов, расчета урожайностей культур, валового сбора по полям севооборотов. Первоначально предлагается создавать карту севооборотов на территорию землепользования с учетом существующего землеустройства и сложившихся систем земледелия. Так, на территорию ОПХ «Кремлевское» была составлена карта севооборотов в ГИС MapInfo согласно системам земледелия, разработанным в Сибирском научно-исследовательском институте земледелия и химизации сельского хозяйства (СибНИИЗХим) и включает три полевых пятипольных севооборота и один кормовой пятипольный севооборот.

Проектирование полей осуществлялось с учетом сложившегося землеустройства. Основным критерием размещения тех или иных сельскохозяйственных культур являлось соблюдение средней площади поля в севообороте. Семантическая БД к карте севооборотов включает сведения о типе севооборота, номере поля, номере рабочего участка, культуре, площади, валовом сборе.

При работе подпрограммы используется почвенная карта, содержащая почвенные контура с их характеристиками. При работе подпрограммы рассчитываются урожайности (ц/га) на запроектированных полях, валовой сбор (тонны). Расчет урожайностей культур вычисляется как средневзвешенная величина из урожайностей, рассчитанных по почвенным контурам. Урожайности на почвенных контурах рассчитываются по методике качественной оценки, разработанной А.И. Южаковым (СибНИИЗХим). Методика предусматривает расчет урожайностей на трех уровнях интенсификации и учитывает агроэкологические требования культур к условиям их произрастания на местности.

Подпрограммой Sevooborot предусмотрена возможность формирования отчетов в геоинформационной среде в виде отдельных таблиц, которые затем можно вывести на печать.

Отчетными таблицами являются: таблицы валового сбора по севооборотам, таблицы расчета семян, товарного зерна, или зеленой массы сельскохозяйственной продукции, таблицы расчета необходимых площадей при

имеющемся заказе на корма, таблицы расчета разностей площадей, занятых под данные культуры и необходимые для выполнения заказа. Отчеты формируются на три уровня интенсификации ведения сельского хозяйства.

Подпрограммой предусмотрена возможность расчета равновеликости полей по площадям. При разработке плана внутрихозяйственного землеустройства и систем земледелия основным требованием является соблюдение условия примерно одинаковых площадей полей в севообороте. Поскольку это связано с выходом валовой продукции с поля. Равновеликость полей обеспечивает сбалансированный севооборот при ротации культур в севообороте. По результатам расчета пользователю выдается таблица с информацией о среднем размере поля в каждом севообороте, информация об отклонении каждого поля от среднего по площади (га) и процентном отношении. Допустимым условием является, если площади запроектированного поля отличается не более, чем на 10% от средней в севообороте.

Таким образом, разработанная подпрограмма Sevooborot позволяет в геоинформационной среде MapInfo автоматизировать процесс расчета выхода валовой продукции с запроектированных полей севооборотов, оптимизировать решение задачи по разработке систем земледелия, произвести уточнение посевных площадей в хозяйстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков С.Н. Землеустройство. Системы автоматизированного проектирования в землеустройстве. Т6. - М.: Колос, 2002. – 328 с.
2. Волков С.Н. Землеустройство. Экономико-математические методы и модели. Т. 4. - М.: Колос, 2001. – 696 с.

© А.И. Ким, 2005

УДК 629.783:551.24

*В.А. Середович, Ю.В. Сурнин, К.М. Антонович, Л.Г. Куликова*  
СГГА, Новосибирск

#### МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ПОЛИГОНУ СГГА – 10 ЛЕТ

Реализации проекта эталонного пространственного полигона (ЭПП) для метрологических поверок ГЛОНАСС/GPS аппаратуры, началась в 1995 г. силами Сибирской государственной геодезической академии (СГГА), ПО "Инжгеодезия" и Сибирского государственного НИИ метрологии (СНИИМ). Для построения сети ЭПП вблизи Новосибирска был выбран район с меньшей залесенностью, и на котором не ожидалось тектонические движения. Была выполнена рекогносцировка пунктов государственной геодезической сети (ГГС). Из них были отобраны наиболее подходящие для работы со спутниковой аппаратурой. Эту работу выполняли Сурнин Ю.В., Ащеулов В.А., Кужелев С.В. Большую помощь по разработке проекта полигона оказало ПО «Инжгеодезия» (Рогов А.Л.) [5, 6].

Разработку поверочной схемы выполнили Ю.В. Сурнин, В.Д. Лизунов и Л.Г. Куликова. «Узкое место» схемы – передача эталона длинны от исходных эталонов на рабочий эталон, то есть на Эталонный пространственный полигон. Для этого было решено использовать спутниковую аппаратуру. Если она по

результатам измерений на эталонных линейных или пространственных базисах удовлетворяла критериям точности, то становилась эталонной аппаратурой. Были также разработаны методики поверки средств измерений и средства поверки [3, 4].

Одной из особенностей высокоточных спутниковых измерений является то, что они позволяют не только измерять расстояния между пунктами, но дают приращения координат в общеземной системе. Поэтому и появилась концепция пространственного полигона, на котором известны не только расстояния между пунктами, но и приращения координат в общеземной системе. Для абсолютных положений пунктов в общеземной системе была достаточной точность метрового уровня, однако были предприняты усилия по привязке сети ЭПП на сантиметровом уровне точности в расчете на развитие методов спутниковых определений, а также для геодинамических исследований.

Таким образом, была выработана концепция построения сети ЭПП. Она включала в себя:

- Выбор места и закладка пунктов ЭПП (или использование существующих пунктов государственных геодезических или нивелирных сетей),
- Измерения на эталонных пространственных базисах с целью подтверждения качества выбранной спутниковой аппаратуры,
- Получение геоцентрических координат одного из пунктов сети ЭПП в системе ITRF,
- Измерения на пунктах сети ЭПП, их обработка [5, 6].

Как создать эталон, точность которого существенно превышала бы точность обычной сети, создаваемой спутниковым методом? Классические методы построения сетей (триангуляция, полигонометрия) значительно уступают по точности спутниковым сетям. Со спутниковыми методами соизмеримы по точности измерения расстояний некоторыми типами дальномеров и нивелировки 1-2 классов. Поэтому большое внимание было уделено разработке методики измерений на сети с использованием спутниковой двухчастотной фазовой аппаратуры. В табл. 1 приводится перечень погрешностей измерений и примененные способы их ослабления.

Большой объем измерений был проведен по привязке полигона к общеземной системе. Они начались с суточного сеанса в марте 1996 г., когда была сделана привязка к пункту Международной GPS службы «Иркутск» (Сурнин Ю.В., Антонович К.М.). Впоследствии такие измерения проводились регулярно, что позволило даже определить скорость движения тектонической плиты в районе Новосибирска [2].

Благодаря проведенному комплексу измерений стало возможным в 1997 г. аттестовать построенную сеть ЭПП. Однако недостаток опыта не позволил построить запроектированную сеть с необходимой точностью. В процессе уравнивания было выяснено, что на тех пунктах, где располагались металлические пирамиды, точность измерений ухудшалась в несколько раз. И поэтому первая сеть ЭПП имела вид треугольника. В дальнейшем это упущение было исправлено, и на время измерений металлические пирамиды снимались, а после измерений – восстанавливались.

Таблица 1. Источники погрешностей и способы их ослабления

| Источник ошибок                                   | Способ исключения или ослабления                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Ошибки априорных координат пунктов сети         | Привязка к станциям Международной GPS службы (МГС, точность привязки на уровне 3 см)                                                                                                                                                      |
| 2 Ошибки эфемерид спутников                       | Использование вместо бортовых точных эфемерид МГС (точность порядка 5 см)                                                                                                                                                                 |
| 3 Ионосферная рефракция                           | Применение двухчастотной аппаратуры, решение по комбинации фазы несущей, свободной от влияния ионосферы                                                                                                                                   |
| 4 Тропосферная рефракция                          | Проектирование сети с малой разностью высот пунктов, использование при обработке файлов тропосферной задержки от ближайших пунктов МГС                                                                                                    |
| 5 Многопутность                                   | Использование аппаратуры, устойчивой к многопутности (приемники 5700 и Legacy с антеннами типа choke-ring), длительные сеансы наблюдений, выбор пунктов с открытым радиогоризонтом, удаление наружных знаков (пирамид) на время измерений |
| 6 Нестабильность фазовых центров антенн           | Использование приемников с однотипными антеннами                                                                                                                                                                                          |
| 7 Геометрия спутников                             | Наблюдения суточными сеансами, разбиваемыми на несколько подсеансов                                                                                                                                                                       |
| 8 Ошибки центрирования и измерения высоты антенны | Принудительное центрирование, специальные переходники для измерений высоты антенны штангенциркулем, измерение высоты до и после сеанса                                                                                                    |
| 9 Геометрия сети                                  | Избыточные связи и примерно равные расстояния между пунктами                                                                                                                                                                              |
| 10 Шумы измерений, ошибки моделей                 | Измерение комплектами аппаратуры разных фирм, несколькими продолжительными сеансами (более 4-х часов)                                                                                                                                     |

Опыт проверок первых лет показал, что заказчики часто приезжают с наборами из 5-10 приемников, и основная масса работ выполнялась в зимнее время. Поэтому, чтобы не зависеть от снега, и для одновременной работы с несколькими приемниками в 1998 г. были заложены туры с принудительным центрированием на крыше лабораторного корпуса СГГА (пункты NSKN, NSKW и NSKE), а в 2000 г. установлены центры в виде бетонных труб еще на трех пунктах. Большой вклад в эти работы внес доц. Шептунов Г.С. Все новые пункты были сданы по акту под охрану государства. Кроме того, в сеть ЭПП был включен очень удобный пункт «Красноглинное», заложенный ПО «Инжгеодезия». В 2004 г. в сеть ЭПП был включен Издревинский базис [7].

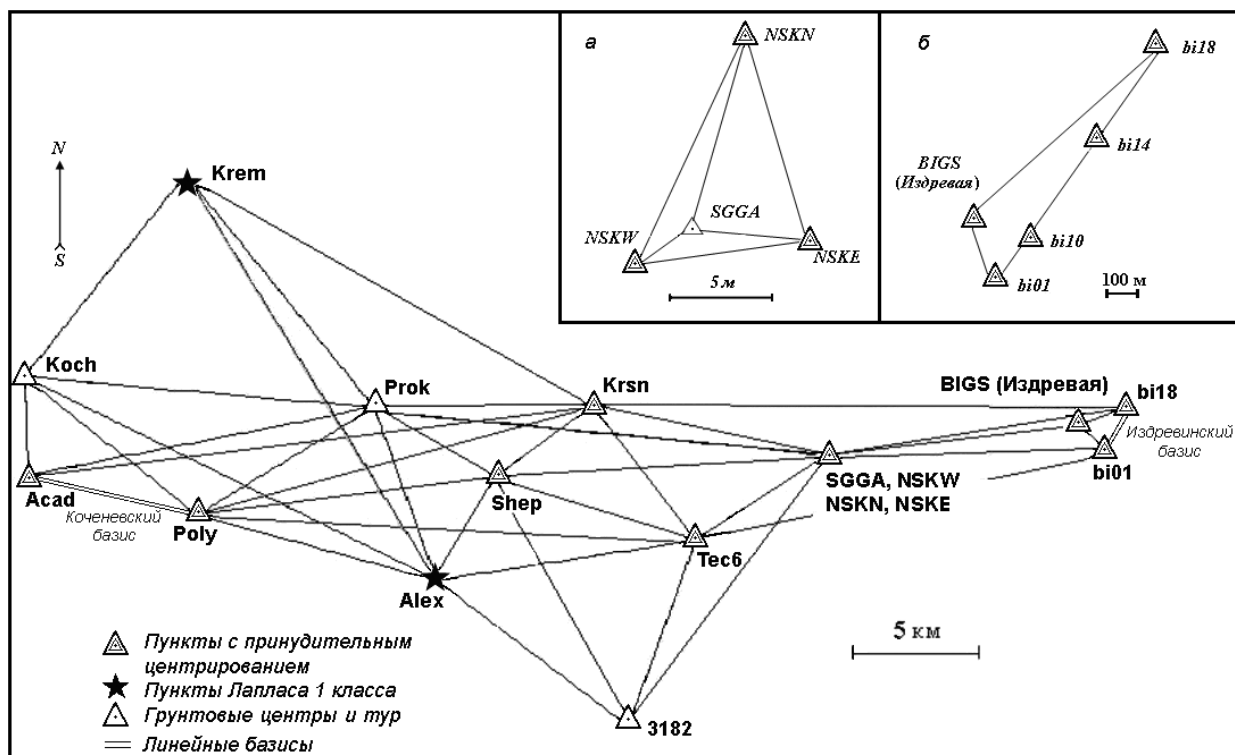


Рис. Схема сети Эталонного пространственного полигона СГГА. На вставках: (а) схема пунктов на здании СГГА, (б) схема пунктов на Издrevинском базисе

Еще до начала выполнения работ на ЭПП было ясно, что уникальную по точности сеть нужно использовать не только для метрологических проверок спутниковых приемников, но и для широкого спектра геодезической аппаратуры (теодолитов, гиротеодолитов, астроуниверсалов, дальномеров и пр.). В проект ЭПП были включены астрономические и гравиметрические пункты и нивелирные реперы. Привязка нескольких новых пунктов сети к Балтийской системе нормальных высот 1977 г. была выполнена в 1998 г. проф. Панаевым Г.А. Гравиметрические измерения на ряде пунктов, в том числе на заложенном фундаментальном гравиметрическом пункте была выполнена доц. Кузьминым В.И. в 1998-2000 гг.

Наличие полноценной геодезической информации на сети позволило создать математическую модель локального квазигеоида и осуществить внешний контроль точности ЭПП по азимутальной и экваториальной ориентировке, по высотной и плановой привязке ЭПП к ГГС и ГНС (Сурнин Ю. В., Гиенко Е.Г. [8, 9, 10]). Многоцелевой ЭПП дал возможность проводить разносторонние исследования по учету тропосферной рефракции (Фролова Е.К., Антонович К.М. [1]) и др.

Современная сеть ЭПП представлена на рисунке. В нее входит 17 основных, несколько дополнительных пунктов, а также Издrevинский и Кочневский базисы. Стержнем сети является цепь из пунктов с принудительным центрированием, с четырехугольником посередине. Длина сети в долготном направлении – 60 км. Сеть включает два астропункта 1 класса. Все пункты сети имеют координаты в системах ITRF2000, ПЗ-90, СК-42 и высоты в системе БСВ-77. Взаимное положение пунктов сети в системе ITRF2000 по

результатам минимально ограниченного уравнивания характеризуется в плане средними квадратическими погрешностями

$$M_D = 1 \text{ мм} + D \cdot 10^{-7},$$

где  $D$  – расстояние между пунктами. Погрешности по высоте примерно в два раза больше.

К началу 2005 г. на сети ЭПП были выполнены метрологические поверки 270 комплектов аппаратуры (почти 700 приемников различных фирм). На материалах ЭПП написаны десятки статей и дипломных работ, защищена кандидатская диссертация.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К.М. Об учете тропосферных поправок при построении геодезических сетей спутниковыми методами [текст] / К.М. Антонович, Е.К. Фролова // Труды III Сибирской науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы метрологии» Сибметрология - 2001. - Новосибирск: СНИИМ, 2001. - С. 76-78.

2. Антонович К.М. Определение скорости движения станции «Новосибирск» по GPS-измерениям [текст] / К.М. Антонович, А.Н.Клепиков // Современные проблемы геодезии и оптики. Межд. науч.-техн. конф., посвященная 65-летию СГГА-НИИГАиК. Материалы конф. - Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 14-17.

3. Антонович К.М. Особенности метрологической аттестации геодезических пространственных эталонных базисов и полигонов [текст] / К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, В.Д. Лизунов, Ю.В. Сурнин, О.П. Сучков // Законодательная метрология, № 4, 1998. – С. 21 – 23.

4. Антонович К.М. Отработка методик высокоточных измерений спутниковыми приемниками [текст] / К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, Ю.В. Сурнин, В.Д. Лизунов // Законодат. метрология. – 1998. – № 4. – С. 34 – 35.

5. Антонович К.М. Пространственный эталонный полигон для метрологической аттестации GPS-аппаратуры (опыт создания) [текст] / К.М. Антонович, В.А. Ащеулов, Ю.В. Сурнин, В.А. Скрипников // Вестник СГГА, вып. 4, Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 8 – 13.

6. Антонович К.М. Разработка и создание геодезического испытательного метрологического полигона для поверки GPS-приемников [текст] / К.М. Антонович, Середович В.А., Сурнин Ю.В., Куликова Л.Г., Лизунов В.Д. Современные проблемы геодезии и оптики. Межд. науч.-техн. конф., посвященная 65-летию СГГА-НИИГАиК. Материалы конф. Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 103 - 110.

7. Антонович К. М. Эталонный пространственный полигон СГГА: аттестация 2004 [текст] / К.М. Антонович, Ю.В. Сурнин, А.Н. Клепиков, Е.К. Фролова // Материалы 7-й межд. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2004, Новосибирск, 21-24 сент. 2004. Том 3. - Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 259-262

8. Гиенко Е. Г. Спутниковая технология определения астрономических координат наземного пункта и азимута земного предмета [текст] / Е. Г. Гиенко, Ю. В. Сурнин // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА–НИИГАиК. – Новосибирск, 1998. – С. 30.

9. Гиенко Е. Г. Контроль азимутальной ориентировки эталонного пространственного полигона [текст] / Е. Г. Гиенко, Ю. В. Сурнин // Тез. докл. науч. - техн. конф. преподавателей СГГА – Новосибирск, 1998. – С. 9.

10. Сурнин Ю. В. Полевой астрогравигеодезический эталон для метро-логических испытаний геодезической аппаратуры [текст] / Ю.В. Сурнин // Материалы 7-й межд. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2004, Новосибирск, 21-24 сент. 2004. Том 3. - Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 249-255.

**ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

Технология геодезического обеспечения геофизических работ зависит от требуемой точности, физико-географических условий и вида геофизических работ. Геодезическое обеспечение геофизических работ производят, как правило, в следующем технологическом порядке:

- Обоснование точности выполнения отдельных выбранных видов геодезических работ и их стадий, исходя из общих требований к точности определения координат и высот для данной съемки;
- Сгущение государственной геодезической (опорной) сети;
- Вынос на местность проектного положения геофизических профилей и пунктов;
- Определение координат и высот объектов геофизических наблюдений.

Традиционные технологии выполнения геодезических работ характеризуются сложностью их организации и выполнения, особенно в труднодоступных и сложных климатических районах; полной зависимостью от погодных условий, времени дня, года; большим объемом полевых наблюдений и камеральных вычислений, значительными затратами ручного труда квалифицированных специалистов и недостаточной оперативностью. Они не требуют применения дорогостоящих технических средств, но очень трудоемки и малопроизводительны, т.к. необходима оптическая видимость между смежными пунктами геофизических исследований. Следствием являются высокая стоимость и большая продолжительность всего цикла геодезических работ.

Применение новейших современных технических средств и технологий открывает широкие возможности решения задач геодезического обеспечения геолого-геофизических работ на качественно новом уровне: быстрое развитие сетей сгущения геодезической основы, оперативный вынос профилей с требуемой точностью на местность, автоматизация измерений и обработки данных, возможность выполнения работ в сложных физико-географических и климатических условиях - основные преимущества новых технологий на базе новейших технических средств, которые представляют собой комплекс космических и наземных технических средств, предназначенных для обеспечения в любой момент времени возможности определения трех пространственных координат, вектора скорости и точного времени.

Применение спутниковых приемников GPS позволяет существенно сократить трудоёмкость работ и повысить эффективность геодезического обеспечения геофизических исследований. Спутниковая технология должна включать в себя методы и технические средства, вид и набор которых будет определяться требованиями к точности определения координат и высот, физико-географическим условиями местности и экономической целесообразности.



Значительные объемы целого ряда изыскательских, в том числе, геологоразведочных работ выполняются в труднодоступной залесенной и горно-таежной местности.

Большинство спутниковых приемников гражданских потребителей, используемых в России, не приспособлены для навигационно-геодезического обеспечения геофизических работ и нуждаются в доработке и адаптации. В этих приборах не учитываются специфические особенности полевой эксплуатации, особенно в экстремальных условиях, например в резко пересеченной и залесенной местности. Для них требуется доукомплектование вспомогательными устройствами сопряжения (интерфейсами) с геофизической и другой геодезической аппаратурой (датчиками), устройствами синхронизации и т.п. У приборов, которые предназначены для использования на транспортных средствах, отсутствуют выносные навигационные индикаторы отклонений от линии проектного маршрута и часто выносные антенно-фидерные устройства и антенные усилители. Информация об отклонении носителя аппаратуры от линии проектного маршрута выдается с опозданием относительно момента определения координат.

В топографо-картографических работах пользуются не общеземным, а референц-эллипсоидом Красовского, при помощи которого установлена квазигеоцентрическая система координат 1942 года (СК-42) и 1995 года (СК-95). Поэтому все результаты измерений, выполненные как GPS, так и ГЛОНАСС приемниками, должны быть пересчитаны в координаты, отнесенные к референц-эллипсоиду Красовского. Не учет этих параметров приводит к появлению предельных погрешностей почти до двух сотен метров.

Общую схему перехода от общеземной системы координат к референцной можно представить в виде:

$$\begin{array}{l}
 (x, y, H^y)_{\text{WGS-84}} \\
 \nearrow \\
 \zeta(a_1, a_2, \dots) \nearrow
 \end{array}
 \rightarrow (L, B, H)_{\text{WGS-84}} \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{WGS-84}} \rightarrow (X', Y', Z')_{\text{СК-42}} \quad (11)$$

$$\rightarrow (L', B', H')_{\text{СК-42}} \rightarrow (x', y', H')_{\text{СК-42}}$$

где  $x, y$  и  $x', y'$  - плоские прямоугольные координаты в исходной и новой системах координат в проекции Гаусса-Крюгера (или универсальной проекции Меркатора),

$X, Y, Z$  и  $X', Y', Z'$  - пространственные прямоугольные координаты в исходной и новой системах координат,

$L, B, H$  и  $L', B', H'$  - геодезические координаты в исходной и новой системах координат,

$\zeta(a_1, a_2, \dots)$  - математическая модель квазигеоида – аномалия высоты  $\zeta$  как функция параметров модели

Основными факторами, ограничивающими оптимальное получение координатно-временной информации от спутников в закрытой местности, являются:

- Затенение опорной (базовой) и мобильной (роверной) станций;
- Искажение приема сигналов из-за экранирования антенн;
- Многократные отражения сигнала от растительности, каких-либо предметов и земной поверхности.

В залесенной местности при прохождении сигналов от спутников до наземного приёмника через толщу леса и кроны деревьев происходит ослабление (затухание) полезного сигнала, т.е. уменьшение соотношения сигнал/шум или полная потеря сигнала.

Одним из источников ошибок при спутниковых измерениях являются многопутность (многолучевость) распространения радиосигналов с НИСЗ. При точных (сантиметровых) определениях статическим и кинематическим методом многопутность распространения сигнала является главным источником ошибок измерений. На вход приёмника приходят не только прямые радиосигналы (прямая волна) от спутников, но и сигналы, отраженные от земной поверхности, объектов, окружающих антенну и, обогнувшие, вследствие дифракции, мелкие предметы. Также дифракция заметно проявляется, когда размеры препятствий соизмеримы с длиной волн. Эти сигналы проходят больший путь, чем прямые.

Сигнал, поступающий на вход приёмника, формируется в результате интерференции большого количества электромагнитных колебаний, имеющих различные амплитуды и фазы. При этом амплитуды отдельных колебаний могут складываться или вычитаться, увеличивая или уменьшая соответственно суммарную мощность принимаемого сигнала. При движении (перемещении) отдельных отражателей, например раскачивание деревьев под действием ветра, взаимное расположение и облучаемая площадь отражателей изменяется по случайному закону, что приводит к флуктуации уровня отраженного сигнала в антенне спутникового приёмника и уменьшению соотношения сигнал/шум. Отслеживание коэффициента сигнал/шум является наиболее удобным вариантом определения и количественной оценки эффекта многопутности сигнала.

Проявления многопутности сигнала зависят от проводимости поверхностей отражающих и переизлучающих объектов, которыми могут являться, например стволы, ветви и даже листья деревьев, от углов падения на них сигналов спутников, от диаграмм направленности приемной и передающей антенн.

В кодовых приемниках, когда радиоимпульс приходит в точку приема с некоторым временем запаздывания, длительность результирующего импульса отличается от исходной, т.е. возникают временные искажения. Например, при C/A - кодовых измерениях, когда длина волны модулирующего сигнала составляет 300 м, погрешность может достигать нескольких десятков метров. Максимальные погрешности возникают, когда время запаздывания соизмеримо с длительностью импульса. При измерении фазы несущей частоты погрешность за влияние многопутности может достигать нескольких сантиметров.

Существуют различные технологические приемы, позволяющие ослабить влияние многопутности. Основным методом уменьшения влияния

многопутности на результаты спутниковых измерений следует считать правильный выбор места установки приемной антенны.

Известно, что в поле видимости одной наземной точки в идеальном случае могут попасть не более 12 спутников из полностью развернутых космических систем GPS или ГЛОНАСС. Для трехкоординатных определений достаточно наличия видимости 4-х спутников. В реальных условиях не всегда можно одновременно использовать необходимое количество спутников, пригодных для производства измерений. С увеличением углов закрытия горизонта уменьшается количество наблюдаемых спутников и увеличивается значение геометрического фактора, который характеризует потери точности из-за геометрии расположения спутников. Чем больше величина геометрического фактора, тем хуже геометрия засечки. Исследования спутниковой аппаратуры показывают, что при углах закрытия горизонта  $>30^0$  результаты определений с точностью, соответствующей паспортной на прибор получить затруднительно из-за отсутствия необходимого числа наблюдаемых спутников и хорошего значения геометрического фактора.

При малых углах возвышения  $<10^0$  паспортную точность также получить затруднительно из-за влияния на результаты измерений нижних слоев атмосферы и наличия препятствий, например деревьев, на пути распространения радиоволны по линии «спутник-приемник».

В месте наблюдений необходимо применять антенны особой конструкции для гашения отраженных сигналов; использовать узкополосные корреляционные приемники. Последний способ является наиболее перспективным. Хороший эффект ослабления влияния многопутности показали малогабаритные антенны фирмы Trimble Navigation(США).

В современных геодезических приемниках этой фирмы встраивается специальная программа подавления многопутности, которая увеличивает надежность автоматического захвата за полезный сигнал.

В Сибирском научно-исследовательском институте геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС) предложен и запатентован способ проведения измерений с использованием глобальных спутниковых систем и варианты устройства для его осуществления. Разработана технология, которая условно названа «динамика антенны», позволяющая работать с кодовыми приемниками в условиях влияния отраженных сигналов, например в сильно залесенной местности.

Для реализации предложенной технологии начата разработка трехкоординатного геодезического комплекса для геодезического обеспечения геологоразведочных работ в залесенной местности.

Основные требования с учетом особенностей геолого-геофизических работ к спутниковой аппаратуре можно сформулировать следующим образом:

- Небольшой вес и габариты комплекта аппаратуры;
- Возможность работы в реальном масштабе времени (относительным методом);
- Наличие датчиков для определения высот каким-либо иным физическим методом;

- Возможность работы в залесенной местности;
- Высокая скорость обновления данных;
- Наличие нескольких унифицированных портов ввода/вывода;
- Наличие выносных антенн и навигационных индикаторов;
- Простота, удобство и надежность в эксплуатации;
- Возможность работы при низких температурах;
- Экономичность по потребляемой энергии;
- Обеспечение совместимости ГЛОНАСС/НАВСТАР информации в одном приемнике.

Отличительные особенности разрабатываемого геофизического комплекса заключаются в одновременном использовании спутниковых систем для определения плановых координат и барометрического нивелирования (высокочувствительных кварцевых датчиков давления) для определения высот. Комплекс позволяет надежно определять плановые координаты в залесенной местности за счет ослабления влияния многолучевости радиосигналов по трассе «спутник-приемник» посредством использования специального портативного телескопического подъемно-поворотного устройства. Кроме того, в состав комплекса входят следующие устройства: интеллектуальная антенна-приемник-датчик спутниковых сигналов, кварцевый микробарометр, регистратор-контроллер с индикатором и цифровой термометр для коррекции определений высоты. Для работы в режиме относительных трехкоординатных определений геодезический комплекс включает в себя две идентичные станции – базовую и мобильную. Полевые испытания рабочего макета комплекса в экстремальных условиях обеспечили среднюю квадратическую погрешность определения плановых координат, равную 1.0-3.0 м, а высот 1.0-2.0 м. Применение усовершенствованной технологии непрерывного перемещения спутниковой антенны позволяет повысить точность и надежность определений навигационными кодовыми спутниковыми приемниками.

Исходя из изложенного, может быть предложена следующая технология геодезического обеспечения геофизических работ, которая включает использование спутниковых приемников, реализующих кинематический режим измерений в реальном времени, электронных тахеометров и другой аппаратуры, например лазерных рулеток. Для одновременного определения координат и высот предлагается использовать технологии спутниковой навигации и метода барометрического нивелирования путем совмещения кодового спутникового приемника с цифровым микробарометром. При этом синхронные наблюдения должны осуществляться в реальном времени с возможной передачей дифференциальных поправок по радиоканалу или с последующей камеральной обработкой. К данному типу приборов относятся: комплексированная система NavSEIS канадской фирмы Pulsesearch Navigation Systems Inc., отечественная трехкоординатная система ИГ-3К, комплексированные спутниковые приборы GARMIN eTrex Vista и GPSMAP 76S.



## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ, ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАНТ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ЛОКАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ И ТРАДИЦИОННЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ**

Рассматривается в идейном аспекте один из возможных методов определения трансформант гравитационного поля Земли (ГПЗ) на ограниченном участке земной поверхности с использованием как современных спутниковых, так и традиционных высокоточных средств геодезических измерений.

Традиционные астрономо-геодезические методы определения плановых координат, геометрическое нивелирование и гравиметрические измерения дают возможность в соответствии со строгой теорией Молоденского М.С. [8] определять поверхность Земли лишь совместно с определением внешнего гравитационного поля Земли последовательными приближениями. В теории Молоденского М.С. поверхность Земли, как граничная поверхность, на которой заданы измерения, является неизвестной. Появление современных методов относительных спутниковых координатных определений, основанных на синхронных наблюдениях космических аппаратов систем глобального позиционирования GPS и/или ГЛОНАСС с двух и большего числа наземных станций, позволяет с высокой точностью определять координаты точек земной поверхности в единой системе отсчета. Тем самым, существенно облегчается решение краевой задачи, когда граничная поверхность известна. Именно это обстоятельство используется в рассматриваемом способе определения ГПЗ на локальном участке земной поверхности по спутниковым и традиционным данным, выступающим как трансформанты ГПЗ.

Под трансформантами гравитационного поля Земли понимаются астрономические и геодезические широты, долготы и азимуты наземных пунктов, горизонтальные и вертикальные углы и расстояния между пунктами, нормальные высоты, значения ускорения силы тяжести в произвольных точках на локальном участке земной поверхности, а также их отклонения от соответствующих характеристик нормального поля в виде отклонений отвеса, аномалий высоты, аномалий ускорения силы тяжести и другие подобные величины.

Принцип определения трансформант ГПЗ в промежуточных точках, не совпадающих с узлами решетки, а также в узлах, в которых содержится неполная информация, основывается на построении математической модели потенциала силы тяжести на ограниченном участке земной поверхности. Эту модель (для краткости) будем называть моделью локального гравитационного поля Земли. Построение модели состоит из двух частей: математического описания локального ГПЗ и определения числовых значений параметров этой модели.

Исходной информацией для определения параметров модели служат результаты спутниковых и традиционных средств измерений в узлах хаотичной пространственной решетки, расположенных на локальном участке поверхности Земли. В качестве результатов спутниковых измерений используются геодезические координаты (в системе общего земного эллипсоида) в узлах решетки, получаемые радиотехническими средствами наблюдений космических аппаратов (входящих в системы глобального позиционирования ГЛОНАСС и GPS). В качестве результатов традиционных средств измерений применяются: нормальные высоты из геометрического нивелирования, ускорения силы тяжести, астрономические широты, долготы и азимуты.

Методика определения трансформант локального ГПЗ состоит из решения двух задач: обратной и прямой. В обратной задаче по информации, имеющейся в узлах хаотичной решетки на локальном участке земной поверхности, определяются параметры математической модели ГПЗ с оценкой точности. В прямой задаче вычисляются необходимые трансформанты ГПЗ в произвольных точках земной поверхности (с известными координатами) внутри или в ближайшей окрестности локальной области.

Для математического описания модели локального ГПЗ используется набор однородных гармонических многочленов заданной степени аппроксимации в системе координат, начало которой выбирается, примерно, в середине локального участка земной поверхности.

Для решения обратной задачи применяется физическая и алгебраическая декомпозиция, а также регуляризация системы линейных уравнений наблюдений, связывающих измеряемые трансформанты с постоянными параметрами локальной модели ГПЗ [14, 15]. Декомпозиция и регуляризации позволяют более объективным образом установить количество и качество определяемой информации (в виде параметров ГПЗ).

Идея определения трансформант ГПЗ в виде только составляющих отклонения отвеса с использованием GPS-измерений и данных нивелирования была высказана впервые, по-видимому, за рубежом в статье [16]. В отечественной литературе этой теме посвящен целый ряд статей. В работе Непоклонова В.Б., и др. [9] предлагается новый подход к развитию сети нормальных высот на территории России. В нем используются относительные спутниковые координатные определения и нормальные высоты в узлах хаотичной сетки (это, так называемый, геометрический метод). Для повышения точности геометрического метода в этой работе предлагается комбинированный метод с дополнительным использованием гравиметрических высот квазигеоида на опорных и определяемых пунктах, получаемых по формуле Стокса в рамках строгой теории Молоденского М. С. [8]. В другой работе Непоклонова В.Б. и др. [10] рассматривается современный высокоточный метод создания цифровых карт уклонений отвесных линий, использующий очень большой объем информации, но одного типа – смешанные аномалии силы тяжести в виде карт. В ней не используются, во-первых, высокоточные спутниковые координатные определения, во вторых, высокоточная информация о ГПЗ в дискретных точках. Это – аномалии силы тяжести, высоты, широты, долготы и азимута,

получаемые в дискретных точках независимыми высокоточными средствами измерений геодезической астрономии, гравиметрии и спутниковой геодезии.

В первых работах автора и его коллег [6, 3, 4, 11] решение задачи рассматривалось как комплексное определение плоских геодезических координат, нормальных высот, астрономической вертикали (широты и долготы, а, следовательно, и отклонений отвеса) и астрономического азимута по относительным спутниковым координатным определениям и только по результатам геометрического нивелирования в виде нормальных высот. В следующей работе автора [13] задача ставится и решается шире и строже путем увеличения состава как исходной, так и определяемой информации, объединяемой единой математической моделью в виде локального ГПЗ.

В работе Панаева Г.А. [12] рассматривается коллокационный способ получения только нормальных высот по спутниковым и нивелирным данным. В монографии Глушкова В. В., Насретдинова К.К. и Шаравина А.А. [5] обсуждается оригинальное решение этой же задачи (получения высот квазигеоида и нормальных высот) относительным методом космической геодезии по тем же данным, что и в работах [14, 6, 8, 12]. В работе Гиенко Е.Г. и Елагина А.В [2] и в статье Г. Максимова В.Г. и др. [7] рассматривается та же идея определения отклонений отвеса, и по тем же данным, что и в работе [16].

Отличительной особенностью предлагаемого здесь и в статье [13] метода является использование расширенного спектра трансформант ГПЗ для решения как обратной, так и прямой задачи. В качестве аргументов измеряемых «функций – трансформант» (в случае обратной задачи) или определяемых «функций – трансформант» (в случае прямой задачи) могут использоваться геодезические координаты точек земной поверхности, получаемые как спутниковыми, так и традиционными средствами. Последние (геодезические координаты) обязательно должны быть редуцированы в систему общего земного эллипсоида либо в квазигеоцентрическую систему того же эллипсоида, относительно которого получены геодезические высоты узловых точек спутниковым методом.

Привлечение расширенного спектра трансформант ГПЗ в узлах хаотичной решетки при условии достаточной плотности узлов в локальной области позволит учесть градиенты аномалии ГПЗ и возможно исключить применение очень трудоемкой (и труднодоступной) гравиметрической региональной модели высот квазигеоида, создаваемой по смешанным аномалиям силы тяжести. Поэтому предлагаемый метод создания локальной модели ГПЗ, сохраняя строгость теории, является более простым в использовании. При наличии же региональных высокоточных гравиметрических моделей аномалий силы тяжести, высоты и составляющих отклонения отвеса рассмотренный нами способ позволяет уточнять региональную модель в локальной области, примерно, таким же образом, как это делается в комбинированном методе Непоклонова В.Б. и др. [9].

Область применимости локальной модели ГПЗ охватывает несколько направлений, и именно те, в которых для решения топогафо-геодезических задач совместно используется спутниковая и традиционная аппаратура и/или



методы. Поскольку традиционные геодезические методы всегда связываются с направлением линии отвеса – вектором силы тяжести (геодезические приборы устанавливаются по уровню), а первые (спутниковые данные) определяются относительно оси вращения Земли и начального меридиана, то связь двух систем координат возможна только через математическую модель гравитационного поля Земли. Кроме того, даже если для решения какой-либо геодезической задачи применяется только один метод – спутниковый, то все равно практическое использование таких геометрических спутниковых данных в реальных условиях, а значит в реальном гравитационном поле Земли, потребует преобразования их в систему координат, связанную с ГПЗ. Именно в этой системе координат строятся здания и инженерные сооружения, прокладываются трубопроводы, мелиоративные системы, осуществляется запуск космических ракет, и возводятся другие наземные объекты. Поэтому модель ГПЗ необходима практике всегда и везде.

Предварительные испытания рассмотренного метода проводились на трех объектах. На эталонном пространственном полигоне СГГА для метрологических исследований спутниковой и традиционной геодезической аппаратуры [1], на Салымском объекте [11] и на Новосибирской городской геодезической сети [13]. Последние результаты экспериментов (в реальных условиях с использованием помимо нормальных высот, также астрономических широт, долгот, азимутов и ускорений силы тяжести в узлах хаотичной пространственной решетки) изложены в работе Гиенко Е.Г и автора, публикуемой в настоящем сборнике.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К.М. Эталонный пространственный полигон СГГА для поверок геодезической аппаратуры [Текст] / К.М. Антонович, В.А. Середович, Ю.В. Сурнин // Современные проблемы геодезии и оптики: сб. науч. тр. / 51-я научно-техн. конф. преподавателей СГГА. - Новосибирск: 2001. – С. 9.
2. Гиенко Е.Г., Елагин А.В. Определения уклонения отвесной линии и астрономических координат по наземным и GPS-измерениям [текст] // Вестник СГГА. – 2000.- № 5. – С. 16 - 19.
3. Гиенко Е.Г., Сурнин Ю.В. Спутниковая технология определения астрономических координат наземного пункта и азимута земного предмета [текст] // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА–НИИГАиК. – Новосибирск, 1998. – С. 30.
4. Гиенко Е.Г., Сурнин Ю.В. Контроль азимутальной ориентировки эталонного пространственного полигона [текст] // Тез. докл. науч. - техн. конф. преподавателей СГГА – Новосибирск, 1998. – С. 9.
5. Глушков В. В. Космическая геодезия: методы и перспективы развития [текст]: монография / В. В. Глушков, К. К. Насретдинов, А. А. Шаравин // М: Национальная картографическая корпорация, 2002. – 445 с.
6. Лесных И.В. Спутниковая технология комплексного определения геодезических и астрономических координат [Текст] / И.В. Лесных, В.А. Середович, Ю.В. Сурнин // Тез. докл. на Международной научно-технич. конф., посвященной 65-летию СГГА-НИИГАиК. – Новосибирск, 1998. – С. 3.
7. Максимов В.Г. Определение уклонений отвесных линий с использованием GPS/ГЛОНАСС [текст] / В.Г. Максимов, Д.И. Плешаков, Ю.А. Базлов, О.В. Половнев, О.Б. Вельтищева // Геодезия и картография. - № 4. М: 2002. – С. 1-5.
8. Молоденский М.С. Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли [текст]: монография / М.С. Молоденский, В.Ф. Еремеев, М.И. Юркина // Труды ЦНИИГАиК. Вып. 131. – М.: Геодезиздат, 1960.– 251 с.

9. Непоклонов В.Б. Новые возможности развития сети нормальных высот на территории России [текст] / В.Б. Непоклонов, И.П. Чугунов, П.Э. Яковенко, В.В. Орлов // Геодезия и картография. № 7. - М: 1996. - С. 20-22.
10. Непоклонов В.Б. О создании цифровых карт уклонов отвесных линий [текст] / В.Б. Непоклонов, П.Э. Яковенко, Ю.А. Кузьмин, С.В. Переверткин // Геодезия и картография. - № 9. М: 1996. - С. 1-5.
11. Отчет о НИР. Методика построения математической модели трансформирования локальных геодезических сетей для планового и высотного обеспечения геомониторинга [текст] / Комплексная тема: Мониторинг геопространства на основе современных и перспективных технологий. – Научные руководители: И.В. Лесных, Ю.В. Сурнин. - Отв. исполнитель - Е.Г. Гиенко. - № госрегистрации 0199.008689.- Инв. № 022003.05292 - Новосибирск, СГГА, 2003 – 58 с.
12. Панаев Г.А. Построение моделей геоида с использованием геодезических спутниковых технологий и нивелирования [текст] // Геодезия и картография. – № 1. М: 1998. - С. 1-5.
13. Сурнин Ю.В. Полевой астрогравигеодезический эталон для метрологических испытаний геодезической аппаратуры [текст] // Измерительная техника. - № 9. М: 2004. - С. 3-7.
14. Сурнин Ю.В. Сравнительный анализ непрерывной и дискретной регуляризации решения некорректных задач космической геодезии [текст] / Третий сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике, посвященный памяти С.Л. Соболева (1908-1989). - ИНПРИМ-98. Тез. докл. (часть III). Новосибирск. Изд. Института математики СО РАН.- 1998. - С.122.
15. Сурнин Ю.В., Гиенко, Е.Г. Алгебраическая и физическая декомпозиция математических моделей при решении плохо обусловленных обратных задач геодезии [текст] / Четвертый сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике, посвященный памяти М.А. Лаврентьева (1900-1980). - ИНПРИМ-2000. Тез. докл. Новосибирск. Изд. Института математики СО РАН. - 2000. - С. 73-74.
16. Soler T. Determination of vertical deflections using the global positioning system and geodetic leveling [Текст] / T. Soler, A.E. Carlson, A.E. Evans // Geophysical research letters.– July 1989.- Vol. 16.-No. 7.- P. 695-698.

© Ю.В. Сурнин 2005

УДК 528.34:629.783

Е.Г. Гиенко, В.И. Кузьмин, Ю.В. Сурнин

СГГА, Новосибирск

### **НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ЛОКАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ, АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ И ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

В основе рассматриваемой методики комплексного определения трансформант гравитационного поля Земли в локальной области лежит концепция, изложенная в [1]. Задача настоящего исследования состоит в реализации данной концепции и в экспериментальном обосновании точности метода. Предстояло выбрать аналитическую модель возмущающего потенциала, определить ее параметры, с найденными параметрами модели получить значения трансформант гравитационного поля в произвольных точках локальной области, сравнить результаты вычислений с независимыми прямыми измерениями в контрольных точках.

Как известно, трансформанты возмущающего потенциала (аномалия высоты  $\zeta$ , отклонения отвесной линии  $\xi$  и  $\eta$ , аномалия силы тяжести  $\Delta g$ ) традиционно определяются главным образом по гравиметрическим измерениям на основе интегральных формул Стокса и Венинг-Мейнеса с корректировкой по Молоденскому. В методе астрономо-гравиметрического нивелирования квазигеоида дополнительно привлекаются астрономические определения широты и долготы на пунктах Лапласа. Эти трансформанты в ряде точек локальной области могут быть объединены некоторой аналитической моделью.

В данном эксперименте выбрана полиномиальная модель, где возмущающий потенциал  $T$  на локальном участке представляется разложением по степеням разностей эллипсоидальных пространственных координат:

$$T = \sum_{l=0}^n \sum_{m=0}^n \sum_{k=0}^n c_{lmk} (B_i - B_0)^l (L_i - L_0)^m (H_i - H_0)^k, \quad (1)$$

где  $B_i$ ,  $L_i$ ,  $H_i$  – геодезические широты, долготы и высоты текущих  $i$ -ых точек, получаемых с помощью относительных GPS-измерений,

$B_0$ ,  $L_0$ ,  $H_0$  – геодезические координаты некоторой начальной точки, выбираемой, как правило, в середине области аппроксимации.

С учетом (1) система уравнений наблюдений, связывающих трансформанты возмущающего потенциала с измерениями на поверхности Земли, имеет вид:

$$\begin{aligned} \sum_{l=0}^n \sum_{m=0}^n \sum_{k=0}^n c_{lmk} \gamma_i^{-1} (B_i - B_0)^l (L_i - L_0)^m (H_i - H_0)^k &= \Delta H_i + v_i^{\Delta H}, \Delta H_i = H_i^{\gamma} - H_i, p_i^{\Delta H}, \\ \sum_{l=1}^n \sum_{m=0}^n \sum_{k=0}^n l \cdot c_{lmk} \gamma_i^{-1} (B_i - B_0)^l (L_i - L_0)^m (H_i - H_0)^k &= \Delta U_i + v_i^{\Delta U}, \Delta U_i = \Delta B \cdot (M_i + H_i), p_i^{\Delta U}, \\ \sum_{l=0}^n \sum_{m=1}^n \sum_{k=0}^n m \cdot c_{lmk} \gamma_i^{-1} (B_i - B_0)^l (L_i - L_0)^m (H_i - H_0)^k &= \Delta E_i + v_i^{\Delta E}, \Delta E_i = \Delta L (N_i + H_i) \cos B_i, p_i^{\Delta E}, \\ \sum_{l=0}^n \sum_{m=1}^n \sum_{k=0}^n m c_{lmk} \gamma_i^{-1} (B_i - B_0)^l (L_i - L_0)^m (H_i - H_0)^k &= \Delta A_i + v_i^{\Delta A}, \\ \Delta A_i &= (A_{ij} - \alpha_{ij}) (N_i + H_i) \cos B_i \operatorname{ctg} B_i, p_i^{\Delta A}, \\ \sum_{l=0}^n \sum_{m=0}^n \sum_{k=1}^n k (\partial \gamma / \partial H)^{-1} c_{lmk} (B_i - B_0)^l (L_i - L_0)^m (H_i - H_0)^{k-1} &= \Delta G_i + v_i^{\Delta G}, \\ \Delta G_i &= \Delta g_i (\partial \gamma / \partial H)^{-1}, p_i^{\Delta G}, \\ \Delta B_i &= (B_i - \phi_i), \Delta L_i = (L_i - \lambda_i), \Delta g_i = (g_i - \gamma_i), \\ p_i^{\Delta H} &= \mu / (m_i^{\Delta H})^2, p_i^{\Delta U} = (\mu / m_i^{\Delta B})^2 (M_i + H_i)^{-2}, p_i^{\Delta E} = (\mu / m_i^{\Delta L})^2 ((N_i + H_i) \cos B_i)^{-2}, \\ p_i^{\Delta A} &= (\mu / m_i^{\Delta A})^2 ((N_i + H_i) \cos B_i \operatorname{ctg} B_i)^{-2}, p_i^{\Delta G} = (\mu (\partial \gamma / \partial H) / m_i^{\Delta g})^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $i = 1, \dots, r$  ( $r$  – количество измерений);  $H_i^{\gamma}$  – нормальная высота текущей  $i$ -ой точки, определенная геометрическим нивелированием;  $\phi_i$ ,  $\lambda_i$  – астрономические широта и долгота;  $A_{ij}$  и  $\alpha_{ij}$  – геодезический и астрономический азимуты направления с точки  $i$  на точку  $j$ ;  $g_i$  – абсолютное значение ускорения силы тяжести, полученное из гравиметрических измерений;  $\gamma_i$ ,  $(\partial \gamma / \partial H)$  –

ускорение нормальной силы тяжести и его градиент, вычисленные для текущей точки на поверхности Земли в соответствии с заданным нормальным полем;  $\Delta H_i$ ,  $\Delta B_i$ ,  $\Delta L_i$ ,  $\Delta A_i$ ,  $\Delta g_i$  – разности астрономо-геодезических измерений ( $H_i^Y$ ,  $\varphi_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $g_i$ ) и спутниковых определений ( $H_i$ ,  $B_i$ ,  $L_i$ ,  $A_i$ ,  $\gamma_i$ ) трансформант ГПЗ;  $v_i^{\Delta H}$ ,  $v_i^{\Delta U}$ ,  $v_i^{\Delta E}$ ,  $v_i^{\Delta A}$ ,  $v_i^{\Delta g}$  – неизвестные погрешности разностей измерений данного вида;  $m_i^{\Delta H}$ ,  $m_i^{\Delta B}$ ,  $m_i^{\Delta L}$ ,  $m_i^{\Delta A}$ ,  $m_i^{\Delta g}$  – средние квадратические погрешности соответствующих разностей;  $p_i^{\Delta H}$ ,  $p_i^{\Delta U}$ ,  $p_i^{\Delta E}$ ,  $p_i^{\Delta A}$ ,  $p_i^{\Delta g}$  – веса полученных разностей;  $\mu$  – априорная средняя квадратическая ошибка единицы веса;  $M_i$ ,  $N_i$  – радиусы кривизны меридиана и первого вертикала.

Следует отметить, что не в каждой точке может иметься весь набор измерительной информации. Так, на гравиметрических или астрономических пунктах могут отсутствовать GPS-измерения. Следовательно, необходимо предварительно подготовить исходные данные. Для этого надо определить локальные параметры перехода от СК-42 к общеземной системе координат и вычислить плановые координаты  $B_i$ ,  $L_i$ . Также по модели локального квазигеоида найти аномалии высоты для связи нормальных высот  $H_i^Y$  и геодезических  $H_i$ . Кроме того, надо согласовать между собой различные спутниковые геодезические сети по координатам общих пунктов.

В процессе экспериментальных исследований были построены две модели вида (2): одна модель на территорию эталонного пространственного полигона СГГА (ЭПП СГГА [3]), другая – на территорию, охватывающую астрономические пункты Бердского базиса и обсерваторию Сибирского НИИ метрологии “Ключи”. Для первой модели в качестве исходных данных были взяты геодезические координаты пунктов спутниковой сети ЭПП СГГА. Вторая модель строилась по данным GPS-измерений при реконструкции первой очереди городской спутниковой геодезической сети г. Новосибирск (НГСГС). В обработку были взяты несколько пунктов ее юго-восточной части. На этих геодезических построениях были выполнены в 1998 – 2002 годах Сибирской государственной геодезической академией (СГГА) и Производственным объединением «Инженерная геодезия» спутниковые определения абсолютных и относительных координат наземных пунктов. Вычисление геодезических координат спутниковым методом на ЭПП выполнил профессор СГГА Антонович К.М., на НГСГС вычисление произведено под руководством начальника лаборатории ПО «Инжгеодезия» Яхмана В.В. При построении модели использовались шесть гравиметрических пунктов, на которых доцентом СГГА Кузьминым В.И. были выполнены и обработаны гравиметрические измерения в 1998 - 2000 годах.

Среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных в узловых точках от построенной модели возмущающего потенциала первой степени разложения составляет в линейной мере величину 4.5 см. Расхождения вычисленных по модели и измеренных аномалий высот в контрольных точках имеют субдециметровый порядок, что соответствует точности исходных данных (геометрическому нивелированию IV класса).

Результаты определения астрономических трансформант ГПЗ приведены в таблице.

*Таблица. Сопоставление астрономических широт, долгот и азимутов, полученных традиционным и спутниковым методами*

| Пункт/<br>направление                                                                      | Абсолютные значения разностей астрономических широт $\Delta\varphi$ ,<br>долгот $\Delta\lambda$ и азимутов $\Delta\alpha$ , их доверительные интервалы $I_\Delta$ (95%),<br>ср.кв. погрешности спутниковых и астрономических определений<br>$m_{GPS}$ , $m_{астр}$ , и погрешности модели локального квазигеоида $m_{\xi\eta}$ |                    |                                                   |                      |                  |                                              |                     |                 |                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------|----------------------|------------------|----------------------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------------------------------------|
|                                                                                            | $\square\square\square\square$<br>$\square$<br>"                                                                                                                                                                                                                                                                               | $I_{\varphi}$<br>" | $m_{GPS}, "$<br>$m_{\varphi}, "$<br>$m_{астр}, "$ | $\Delta\lambda$<br>" | $I_\lambda$<br>" | $m_{GPS}, "$<br>$m_\eta, "$<br>$m_{астр}, "$ | $\Delta\alpha$<br>" | $I_\alpha$<br>" | $m_{GPS}, "$<br>$m_{\xi\eta}, "$<br>$m_{астр}, "$ |
| П.т. Алексеевка <sup>*)</sup><br>(alex)<br>/ на п.т. Кремлевка <sup>*)</sup>               | 0.152                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.0                | $2 \cdot 10^{-4}$<br>0.3<br>0.3                   | 0.549                | 1.2              | $2 \cdot 10^{-4}$<br>0.5<br>0.3              | <u>1.870</u>        | 1.2             | 0.04<br>0.4<br>0.5                                |
| П.т. Кремлевка <sup>*)</sup><br>(krem)<br>/ на п.т. Алексеевка <sup>*)</sup>               | 0.143                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.0                | $2 \cdot 10^{-4}$<br>0.3<br>0.3                   | <u>3.341</u>         | 1.2              | $2 \cdot 10^{-4}$<br>0.5<br>0.3              | <u>2.832</u>        | 1.2             | 0.04<br>0.4<br>0.5                                |
| Астропункт СГГА <sup>**) (NSKA)</sup>                                                      | 0.250                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.8                | $2 \cdot 10^{-4}$<br>0.6<br>0.2                   | -                    | -                | -                                            | -                   | -               | -                                                 |
| Обсерватория<br>СНИИМ <sup>***)</sup><br>(Ключи)                                           | <u>1.327</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.8                | $4 \cdot 10^{-4}$<br>0.4<br>0.05                  | 0.178                | 1.4              | $3 \cdot 10^{-4}$<br>0.7<br>0.05             | -                   | -               | -                                                 |
| Астропункт Бердского<br>базиса <sup>*)</sup> № 10 (bb10)<br>/ на астропункт № 21<br>(bb21) | 0.334                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.4                | $4 \cdot 10^{-4}$<br>0.6<br>0.2                   | 0.015                | 2.6              | $2 \cdot 10^{-4}$<br>1.2<br>0.3              | 0.336               | 3.0             | 0.6<br>1.1<br>0.2                                 |
| Астропункт Бердского<br>базиса <sup>*)</sup> №21 (bb21)<br>/ на астропункт №10<br>(bb10)   | 0.604                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.4                | $4 \cdot 10^{-4}$<br>0.6<br>0.2                   | 0.019                | 2.6              | $2 \cdot 10^{-4}$<br>1.2<br>0.3              | 1.246               | 3.0             | 0.6<br>1.1<br>0.3                                 |
| Астропункт Бердского<br>базиса <sup>*)</sup> №2 (bbb)<br>/ на астропункт №21<br>(bb21)     | 0.518                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.2                | $4 \cdot 10^{-4}$<br>0.6<br>0.1                   | 0.167                | 2.4              | $2 \cdot 10^{-4}$<br>1.2<br>0.3              | 1.610               | 3.4             | 1.4<br>1.0<br>0.2                                 |

Примечания к таблице: \*) – астрономические координаты и азимуты определены по программе 1 класса, \*\*) – астрономическая широта определена по программе 1 класса, \*\*\*) – астрономические координаты определены по классу точности фундаментальной астрометрии ГОССТАНДАРТА, 1.327 – значения вне доверительного интервала.

Из таблицы следует, что в более чем половине случаев вычисленные по модели отклонения удовлетворяют астрономическим определениям широты и

долготы 1 класса ( $m_\phi < 0.3''$ ,  $m_\lambda < 0.03''$ ). Следует отметить, что такие результаты получены в условиях очень редкой сети узловых точек и низкой точности данных геометрического нивелирования (лишь 10% реперов имели высоты I класса).

Расхождения в астрономических азимутах, за исключением одного случая, не соответствуют требованиям высокоточных астрономических определений. Это объясняется, во-первых, невысокой точностью определения GPS-азимутов на Бердском базисе (короткие линии и сантиметровые погрешности плановых координат), и, во-вторых, за счет возможных грубых ошибок в астрономических долготах на пунктах Алексеевка и Кремлевка [4], полученных из наблюдений звезд.

По данным таблицы видно, что априорная оценка точности получаемых астрономических координат выполнена корректно, поскольку в доверительный интервал попадают 80% отклонений.

Выводы:

1. Экспериментально подтверждена возможность определения трансформант гравитационного поля Земли с использованием комплекса измерительной информации. Плотность пунктов и сочетание измерений должны определяться с одной стороны, требуемой точностью, а с другой стороны, стоимостью и трудоемкостью работ;

2. Привлечение даже небольшого количества данных гравиметрических измерений (1-2 пункта на  $100 \text{ км}^2$ ) существенно повышает устойчивость определения параметров модели (2);

3. Плановые координаты пунктов, используемые при построении модели возмущающего потенциала на локальной области, достаточно знать с погрешностью не более 1 метра. Поэтому данные нескольких спутниковых свободно уравненных сетей можно согласовывать между собой только по высоте;

4. При необходимости перехода от общеземной системы WGS-84 к референцной системе СК-42 или СК-95 достаточно использовать опубликованные глобальные параметры перехода.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурнин Ю.В. Определение астрономических, гравиметрических и геодезических трансформант гравитационного поля на локальном участке земной поверхности по спутниковым и традиционным геодезическим измерениям [Текст] / В настоящем сборнике.

2. Лесных И.В., Середович В.А., Сурнин, Ю.В. Спутниковая технология комплексного определения геодезических и астрономических координат [Текст] / И.В. Лесных, В.А. Середович, Ю.В. Сурнин // Тез.докл. на междунар. научно-техн. конф., посвященной 65-летию СГГА-НИИГАиК. - Новосибирск, 1998. - С. 3.

3. Сурнин Ю.В. Полевой астрогравигеодезический эталон для метрологических испытаний геодезической аппаратуры [Текст] // Измерительная техника. - № 9. М.: 2004. - С. 3-7.

4. Создание геодезического эталонного метрологического полигона на основе спутниковых координатных определений. Межвузовская научно-техн. программа ГЕОИНФОКАД на 1998-2000 г. [Текст]: Отчет о НИР / Сиб. гос. геод. академия (СГГА) / Рук.

В.А. Середович. Новосибирск, 2001.- 45 с. Исполн: Ю.В. Сурнин, К.М. Антонович. - Инв. № 01.9.80 005809.

5. Мониторинг геопространства на основе современных и перспективных технологий. Экспериментальное обоснование методики построения математической модели локального квазигеоида для высотного обеспечения геомониторинга [Текст]: Отчет о НИР / Сиб. гос. геод. академия (СГГА); / Рук.: Лесных И.В., Сурнин Ю.В. Новосибирск, 2000. – 44 с. Исп. Гиенко Е.Г. - Инв. № 02 2001.06364.

© *Е.Г. Гиенко, В.И. Кузьмин, Ю.В. Сурнин, 2005*

## СВЯЗЬ ГЛОБАЛЬНОЙ ГРИНВИЧСКОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ С ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Пусть даны два радиуса вектора узлов 1 и 2 конечного элемента в Гринвичской прямоугольной системе координат (рис. 1). Начало локальной системы координат конечного элемента совместим с узлом 1. Ось аппликат  $z$  совместим с направлением вектора  $\vec{r}_1$ . Ось абсцисс  $x$  лежит в плоскости грани 1452 призмы под углом  $90^\circ$  к оси  $z$ . Ось  $y$  дополняет систему до правой.

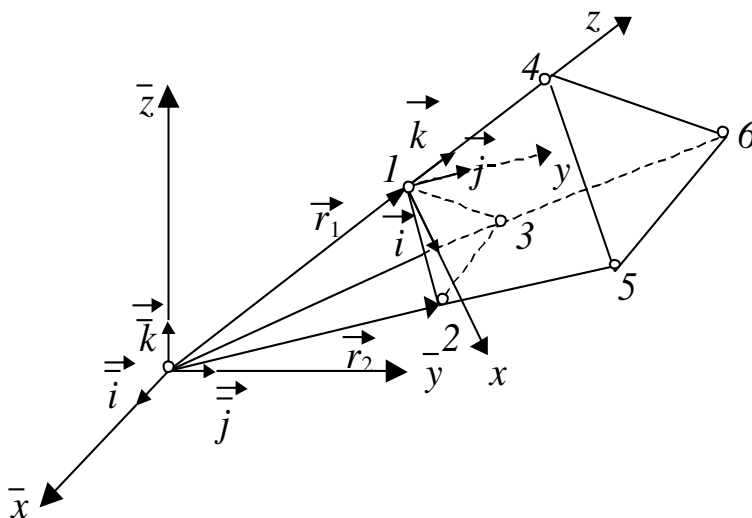


Рис. 1. Гринвичская глобальная и локальная системы координат

Найдём единичные векторы осей  $x, y, z$  в глобальной Гринвичской системе координат. Направление оси  $z$  совпадает с направлением вектора  $\vec{r}_1$ , поэтому

$$\vec{k} = \frac{\vec{r}_1}{r_1} = m_1 \vec{i} + m_2 \vec{j} + m_3 \vec{k}, \quad (1)$$

$$\text{где } r_1 = \sqrt{\bar{x}_1^2 + \bar{y}_1^2 + \bar{z}_1^2}; \quad m_1 = \frac{\bar{x}_1}{r_1}; \quad m_2 = \frac{\bar{y}_1}{r_1}; \quad m_3 = \frac{\bar{z}_1}{r_1}.$$

Направление оси  $y$  совпадает с направлением векторного произведения векторов  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$

$$\vec{j} = \frac{\vec{r}_1 \times \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 \times \vec{r}_2|} = \frac{1}{S} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \bar{x}_1 & \bar{y}_1 & \bar{z}_1 \\ \bar{x}_2 & \bar{y}_2 & \bar{z}_2 \end{vmatrix}$$

или раскрывая определитель

$$\vec{j} = \beta_2 \vec{i} + \beta_3 \vec{j} + \beta_1 \vec{k}; \quad (2)$$

$$\text{где } \beta_1 = \frac{(\bar{x}_1 \bar{y}_2 - \bar{x}_2 \bar{y}_1)}{S}; \quad \beta_2 = \frac{(\bar{y}_1 \bar{z}_2 - \bar{y}_2 \bar{z}_1)}{S}; \quad \beta_3 = \frac{(\bar{z}_1 \bar{x}_2 - \bar{z}_2 \bar{x}_1)}{S}.$$



Направление оси  $x$  совпадает с направлением векторного произведения уже найденных единичных векторов  $\vec{j}$  и  $\vec{k}$

$$\vec{i} = \vec{j} \times \vec{k} = \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \beta_2 & \beta_3 & \beta_1 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{bmatrix}$$

или

$$\vec{i} = (\beta_3 m_3 - \beta_1 m_2) \vec{i} + (\beta_1 m_1 - \beta_2 m_3) \vec{j} + (\beta_2 m_2 - \beta_3 m_1) \vec{k}. \quad (3)$$

Выразим произвольный вектор  $\vec{r}$  в глобальной и локальной системах координат

$$\vec{r} = \bar{x} \vec{i} + \bar{y} \vec{j} + \bar{z} \vec{k}; \quad (4)$$

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}. \quad (5)$$

Приравняем правые части

$$x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k} = \bar{x} \vec{i} + \bar{y} \vec{j} + \bar{z} \vec{k}. \quad (6)$$

Для получения формул преобразования глобальных координат в локальные последовательно перемножим левую и правую части выражения (6) скалярно на ортогональные единичные векторы  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$ , получим

$$\left. \begin{aligned} x &= \bar{x}(\vec{i} \cdot \vec{i}) + \bar{y}(\vec{j} \cdot \vec{i}) + \bar{z}(\vec{k} \cdot \vec{i}); \\ y &= \bar{x}(\vec{i} \cdot \vec{j}) + \bar{y}(\vec{j} \cdot \vec{j}) + \bar{z}(\vec{k} \cdot \vec{j}); \\ z &= \bar{x}(\vec{i} \cdot \vec{k}) + \bar{y}(\vec{j} \cdot \vec{k}) + \bar{z}(\vec{k} \cdot \vec{k}). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для вывода формул обратного преобразования координат векторов из локальной системы координат в глобальную перемножим скалярно (6) на ортогональные единичные векторы  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$ , найдём

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= x(\vec{i} \cdot \vec{i}) + y(\vec{j} \cdot \vec{i}) + z(\vec{k} \cdot \vec{i}); \\ \bar{y} &= x(\vec{i} \cdot \vec{j}) + y(\vec{j} \cdot \vec{j}) + z(\vec{k} \cdot \vec{j}); \\ \bar{z} &= x(\vec{i} \cdot \vec{k}) + y(\vec{j} \cdot \vec{k}) + z(\vec{k} \cdot \vec{k}). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Скалярные произведения в формулах (7) и (8) найдём на основании перемножения координат единичных векторов локальной системы в выражениях (1), (2) и координат единичных векторов осей глобальной системы  $\vec{i} = [1, 0, 0]^T$ ,  $\vec{j} = [0, 1, 0]^T$ ,  $\vec{k} = [0, 0, 1]^T$

$$\begin{aligned} (\vec{i} \cdot \vec{i}) &= (\vec{i} \cdot \vec{i}) = \beta_3 m_3 - \beta_1 m_2; \\ (\vec{j} \cdot \vec{i}) &= (\vec{i} \cdot \vec{j}) = \beta_1 m_1 - \beta_2 m_3; \\ (\vec{k} \cdot \vec{i}) &= (\vec{i} \cdot \vec{k}) = \beta_2 m_2 - \beta_3 m_1; \\ (\vec{i} \cdot \vec{j}) &= (\vec{j} \cdot \vec{i}) = \beta_2; \quad (\vec{j} \cdot \vec{j}) = (\vec{j} \cdot \vec{j}) = \beta_3; \quad (\vec{k} \cdot \vec{j}) = (\vec{j} \cdot \vec{k}) = \beta_1; \end{aligned}$$

$$(\vec{i} \cdot \vec{k}) = (\vec{k} \cdot \vec{i}) = m_1; (\vec{j} \cdot \vec{k}) = (\vec{k} \cdot \vec{j}) = m_2; (\vec{k} \cdot \vec{k}) = m_3.$$

Запишем прямое и обратное преобразование окончательно в матричном виде

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{y}} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{z}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} - \bar{z}_1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \vec{r}}{\partial x} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial y} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{y}_1 \\ \bar{z}_1 \end{bmatrix},$$

где

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{y}} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{z}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_3 m_3 - \beta_1 m_2 & \beta_1 m_1 - \beta_2 m_3 & \beta_2 m_2 - \beta_3 m_1 \\ \beta_2 & \beta_3 & \beta_1 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \vec{r}}{\partial x} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial y} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{x}} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{y}} \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial \bar{z}} \end{bmatrix}^T.$$

Полученные формулы используются в задаче определения гравитационного поля Земли методом конечных элементов.

© А.В. Елагин, 2005

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ ВЫСОТ НА ТЕРРИТОРИЮ УЧЕБНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА ИРГТУ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Современные спутниковые приемники сигналов ГНС GPS/GLONAS геодезического класса в относительном режиме измерений позволяют с высокой точностью получить пространственные вектора ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) между определяемыми пунктами и пунктами с известными координатами. По результатам уравнивания спутниковых измерений вычисляют пространственные геодезические координаты ( $B$ ,  $L$ ,  $H$ ) определяемых пунктов. Несмотря на принципиальную возможность трехмерных определений координат спутниковыми приёмниками геодезического класса, на практике обычно используют только плановые координаты. Это связано с тем, что:

- Точность определения высотной составляющей пока на порядок ниже точности плановых координат, вследствие геометрии спутникового созвездия, влияния метеоданных на измерение фазы несущей, качества определения превышения фазового центра над маркой, хранителем координат;

- Высоты, определяемые по результатам спутниковых измерений, отнесены к поверхности эллипсоида (геодезические высоты  $H$ ). В то же время, для решения инженерных задач используют систему нормальных высот  $H^y$ , предложенную М.С. Молоденским. В этой системе определяемые высоты отнесены к поверхности квазигеоида.

Планирование времени проведения работ, применение моделей атмосферы позволяют улучшить качество спутниковых измерений. Вопрос перехода от геодезических высот  $H$  к нормальным высотам  $H^y$  при спутниковых измерениях наиболее актуален на сегодняшний день.

Связь между высотами выражается формулой:

$$H^y = H - \zeta, \quad (1)$$

где  $\zeta$  – значение разности высот между поверхностью эллипсоида и квазигеоида (аномалии высоты).

Аномалия высоты  $\zeta$  имеет переменное значение вследствие влияния неравномерного распределения масс различной плотности внутри Земли. Неучет изменений аномалий высот приводит к недопустимой погрешности определения превышений между двумя точками с помощью спутниковой аппаратуры.

С целью повышения точности определения нормальных высот  $H^y$  по результатам спутниковых измерений были разработаны глобальные модели геопотенциала и аномалий высот (ГМЗ). Наиболее распространенными и известными из них являются Российская модель GAO98, специально созданная для территории России, и Американская EGM96. Основным их достоинством является то, что они построены не только на основании спутниковых данных, но и по гравиметрическим измерениям, выполненным на поверхности суши и морей.

К недостаткам этих моделей можно отнести тот факт, что вычисляемые нормальные высоты  $H^y$  могут достаточно сильно отличаться от реальных высот  $H^r$ . Это вызвано влиянием местных аномалий силы тяжести и особенностями рельефа, которые не учитываются в ГМЗ.

Получить более корректный результат, можно путем построения локальной математической модели квазигеоида. Такая модель лучше учитывает распределение аномалий высот  $\zeta$ , но только в пределах заданного района.

Рассмотрим принцип построения локальной модели квазигеоида. Пусть в некотором районе инженерно-геодезических работ по результатам спутниковых измерений требуется определить значение нормальных высот  $H^y$  некоторых пунктов. В качестве исходных данных используются следующие величины:

1. Нормальные высоты ряда геодезических пунктов исходной высотной основы или пунктов долговременного закрепления, в том числе:  $\Sigma P_1$  – пункты расположенные по периметру и внутри участка работ (они участвуют в построении локальной модели квазигеоида);  $\Sigma P_2$  – геодезические пункты, расположенные внутри участка работ и имеющие нормальные высоты (эти пункты выступают в роли контрольных). По значениям их нормальных высот  $H^y$  определяется качество созданной локальной модели;

2. Фиксированные значения геодезических координат и нормальной высоты  $H^y$  исходного пункта  $P_1$ , относительно которого выполняется уравнивание спутниковых измерений с использованием ГМЗ;

3. Плоские прямоугольные координаты, геодезические и нормальные высоты ( $x, y, H, H^y$ ) пунктов  $\Sigma P_1$  и  $\Sigma P_2$  в единой СК (при условии выполнения п.2).

Особенностью инженерно-геодезических работ является их небольшой площадной охват, составляющий от 1 до нескольких десятков квадратных километров. В этом случае можно пренебречь кривизной поверхности квазигеоида и принять его за некоторую плоскость, ограниченную районом работ. Это значительно упрощает вычисления.

Таким образом, нормальная высота  $H^y_i$ , любого пункта, в пределах района инженерно-геодезических работ, с учетом (1), может быть представлена формулой:

$$\underline{H^y_i} = H_i - (\Delta H + a \cdot (x_i - x_0) + b \cdot (y_i - y_0)), \quad (2)$$

где,  $x_i, y_i, H_i$  – плоские прямоугольные координаты и геодезическая высота  $i$ -го пункта;  $x_0, y_0$  – координаты начальной точки, выбираемой, примерно, в середине района работ;  $\Delta H$  – значение аномалии высоты  $\zeta_0$  в начальной точке;  $a, b$  – коэффициенты, определяющие наклон поверхности квазигеоида по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

Из уравнения (2) видно, что параметры  $\Delta H, a$  и  $b$  являются неизвестными величинами модели локального квазигеоида. Для того чтобы найти их, необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= \Delta H + a \cdot (X_1 - X_0) + b \cdot (Y_1 - Y_0) \\ \zeta_2 &= \Delta H + a \cdot (X_2 - X_0) + b \cdot (Y_2 - Y_0) \\ \zeta_n &= \Delta H + a \cdot (X_n - X_0) + b \cdot (Y_n - Y_0) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $n$  – количество исходных пунктов;  $\zeta_i$  – аномалии высот в исходных пунктах  $P_i$  ( $i=1, \dots, n$ ), вычисляемые как разность геодезических высот  $H_i$ , полученных из уравнивания спутниковых измерений, и нормальных высот  $H_i^\gamma$ , определенных геометрическим нивелированием.

Решив систему линейных уравнений (3), находим неизвестные параметры  $\Delta H$ ,  $a$  и  $b$  квазигеоида. Подставив их в (2), вычисляем нормальные высоты  $\underline{H}_i^\gamma$ , определяемых пунктов.

Качество локальной модели контролируется путем определения нормальных высот  $\underline{H}_j^\gamma$  в  $j$ -ых контрольных пунктах  $\Sigma P_2$ . Из сравнения измеренных  $H_j^\gamma$  и  $\underline{H}_j^\gamma$  вычисленных нормальных высот приближенно оценивается точность созданной локальной модели квазигеоида по формулам:

$$m_H = ((\sum V_j^2)/k)^{1/2}, V_j = H_j^\gamma - \underline{H}_j^\gamma, \\ \underline{H}_j^\gamma = H_j - (\Delta H + a*(x_j - x_0) + b*(y_j - y_0)), \quad (4)$$

где  $\underline{H}_j^\gamma$  ( $j=1, \dots, k$ ) – вычисленные значения нормальных высот контрольных пунктов  $\Sigma P_2$ ;  $V_j$  – разности между значениями нормальных высот  $H_j^\gamma$ , определенными из геометрического нивелирования, и значениями  $\underline{H}_j^\gamma$ , вычисленными на основании уравнения (2). Средняя квадратическая погрешность  $m_H$  вычисленных нормальных высот  $\underline{H}^\gamma$  контрольных пунктов позволяет судить о качестве созданной локальной модели квазигеоида и возможности её использования для решения конкретных инженерно – геодезических задач.

В соответствии с рассмотренной методикой построения локальной математической модели квазигеоида, нами был проведен эксперимент в реальных условиях геодезического учебного полигона ИрГТУ (ГУП ИрГТУ). Относительные спутниковые измерения координат наземных пунктов выполнялись автором совместно со студентами 1-го курса специальности «Инженерная геодезия» в июне 2004 года

ГУП ИрГТУ представляет собой систему геодезических пунктов с координатами в местной системе. Полигон расположен на территории общей площадью около 3 км<sup>2</sup>. Определение геодезических координат пунктов ГУП ИрГТУ производилось спутниковой одночастотной аппаратурой фирмы Торсон, синхронными сеансами от 20 до 45 минут. Станции располагались таким образом, чтобы получить векторную сеть из треугольников. Уравнивание спутниковых измерений выполнялось при помощи коммерческого программного обеспечения Pinnacle с использованием ГМЗ GAO98. Уравнивание векторной сети выполнялось с фиксированием одного из пунктов. Исходные геодезические координаты  $B$  и  $L$  взяты из навигационного решения, а нормальная высота  $H^\gamma$  получена из геометрического нивелирования.

Общее количество геодезических пунктов составило 12, из них у 4-х нормальные высоты  $H^\gamma$  определены с точностью геометрического нивелирования I - II классов, один - III класса, а остальные - IV класса. Результаты сравнения нормальных высот  $H^\gamma$ , полученных геометрическим

нивелированием и спутниковым методом на ГУП ИрГТУ по описанной методике, приведены в таблице.

*Таблица. Сравнение нормальных высот*

| №<br>п/п | Название<br>пункта | Класс<br>определения | Вид    | $V_j = H_j^y - \underline{H}_j^y$ ,<br>мм |
|----------|--------------------|----------------------|--------|-------------------------------------------|
| 1        | Базисный*          | I                    | исх.   | -                                         |
| 2        | Маркшейдерский**   | I                    | исх.   | -                                         |
| 3        | Тырган*            | I                    | исх.   | -                                         |
| 4        | Учебный*           | III                  | исх.   | -                                         |
| 5        | пп170              | IV                   | контр. | - 7                                       |
| 6        | пп183              | IV                   | контр. | 20                                        |
| 7        | пп20               | IV                   | контр. | 26                                        |
| 8        | пп227              | IV                   | контр. | 21                                        |
| 9        | пп5                | IV                   | контр. | - 30                                      |
| 10       | пп501              | I                    | контр. | 0                                         |
| 11       | пп55               | IV                   | контр. | 6                                         |
| 12       | пп7                | IV                   | контр. | 41                                        |

Примечания:

\* – геодезические пункты, участвовавшие в построении математической модели квазигеоида;

\*\* – геодезический пункт, координаты которого фиксировались при уравнивании.

Недостаточная точность исходной геодезической сети не позволила нам получить более корректные результаты. Для повышения качества полученной математической локальной модели квазигеоида необходимо провести повторное геометрическое нивелирование ГУП ИрГТУ, хотя бы по программе III класса. По результатам этих работ будет проведен более качественный анализ созданной математической модели квазигеоида. В то же время даже на основании проведенных нами предварительных исследований видно, что созданная модель вполне применима для получения нормальных высот  $\underline{H}^y$  спутниковыми методами на площадях, где искажения за кривизну квазигеоида несутся, что обычно и бывает при решении большинства инженерно-геодезических задач.

© Ю.А. Кириченко, 2005

## ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS-ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время в связи с развитием нефтегазодобывающей отрасли в РФ ведётся интенсивное строительство посёлков и расширение малых городов в районах Крайнего севера. Под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и других факторов происходит утрата пунктов городских геодезических опорных сетей. Поэтому периодически возникает необходимость в реконструкции геодезических сетей на территории городов.

В 2003-2004 гг. проводилась реконструкция геодезической сети г. Салехард, необходимость которой была обоснована следующими причинами:

- Большое количество пунктов городской геодезической сети было безвозвратно утрачено в результате различных природных воздействий и хозяйственной деятельности;
- Утрачены 3 из 4 геодезических центров звена триангуляции 1 и 2 класса, на основе которых создавалась местная система координат, в том числе и исходный пункт;
- Существующая городская опорная сеть не может в полной мере обеспечить требуемую точность выполнения топографо-геодезических работ (создания и ведения государственного земельного кадастра и для проектирования и строительства инженерных сооружений).

Для оценки реальной точности существовавшей «старой» сети полигонометрии в г. Салехард были проведены GPS-наблюдения.

Анализ данных табл. 1 показывает, что пункты полигонометрии предшествующих лет заложения претерпели в различной степени сдвиг, как в плане, так и по высоте. Наиболее вероятными причинами этого являются процессы выпучивания вместе с грунтом при его сезонном промерзании и тектонические движения пластов горных пород.

Таблица 1. Величины смещения пунктов существующей сети

| №№ | № РР       | $\Delta X$ , м | $\Delta Y$ , м | $\Delta S$ , м | $\Delta H$ , м |
|----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | Ангальский | 0,028          | -0,147         | 0,150          | -0,063         |
| 2  | 1232       | 0,000          | 0,000          | 0,000          | 0,000          |
| 3  | 1773       | 0,382          | -0,034         | 0,384          | 0,348          |
| 4  | 1477       | -0,070         | -0,049         | 0,085          | 0,000          |
| 5  | 1552       | 0,476          | 0,282          | 0,553          | -0,752         |
| 6  | 1889       | -0,046         | -0,167         | 0,173          | 0,057          |
| 7  | 2072       | 0,068          | -0,226         | 0,236          | -0,320         |
| 8  | 3157       | 0,129          | -0,034         | 0,133          | 0,093          |
| 9  | 3590       | -0,349         | 0,036          | 0,351          | 0,296          |
| 10 | 1232       | 0,028          | -0,147         | 0,150          | -0,063         |

Данные табл. 2 подтверждают высказанное выше предположение о ненадёжности ранее заложенных геодезических центров. Проведённый анализ по данным департамента архитектуры и градостроительства выявил нарушения

при закладке некоторых центров «старой» полигонометрии: некоторые центры были заложены на глубину 3.5 м, что нарушает требование действующих нормативных документов [1].

*Таблица 2. Сопоставление высот пунктов городской полигонометрии прошлых лет с нивелированием 2003-2004 гг.*

| № п/п | Номер пункта | Разность высот, м |
|-------|--------------|-------------------|
| 1     | 1200         | + 0,325           |
| 2     | 1462         | + 0,160           |
| 3     | 1522         | + 0,174           |
| 4     | 1581         | + 0,174           |
| 5     | 1748         | + 0,232           |
| 6     | 1773         | + 0,097           |
| 7     | 2093         | + 0,079           |
| 8     | 2100         | + 0,078           |
| 9     | 2140         | + 0,112           |
| 10    | 2508         | + 0,078           |
| 11    | 2647         | + 0,365           |

Таким образом, была обоснована необходимость реконструкции опорной сети г. Салехард, которая выполнялась в соответствии с действующими нормативно-техническими требованиями [2, 3].

При проектировании реконструкции существующей сети были учтены следующие особенности:

- Наличие вечномёрзлого слоя, который начинается в 2,5 м от поверхности земли. Грунты мест закладок мягкие (песок, лёгкие суглинки) и средней твёрдости (плотные суглинки и глины).

- Территория средnezастроенная, высотных зданий практически нет, преобладают одно- и двух этажные здания в деревянном исполнении.

- Необходимость перехода к новой государственной системе СК-95 вместо СК-42 и реализация связи между «старой» местной системой координат (МСК) и новой МСК-2004.

Учитывая, что г. Салехард расположен в зоне вечной мерзлоты, а максимальная глубина протаивания грунта составляет 2,5 м, в соответствии с правилами закладки [1] был выбран тип центра 150. При этом регламентируемое Правилам закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей минимальное расстояние до границы максимального протаивания вечной мерзлоты было увеличено на 0,5 м. Это было сделано на основании данных о протаивании вечной мерзлоты, полученных при бурении 42 скважин для геодезических центров.

На рис. 1 видно, что граница оттаивания вечномёрзлых грунтов (Ряд 1) располагается неравномерно в пределах от 1.10 м до 5.40. Толщина деятельного слоя вечной мерзлоты (Ряд 2) также неравномерна и колеблется от 0 м до 5.40.



Под мерзлотой находится «плавун» (Ряд 3) и слой оттаявших пород (Ряд 4). Бурение производилось на глубину 5.4 м. Нижняя граница бурения (Ряд 5).

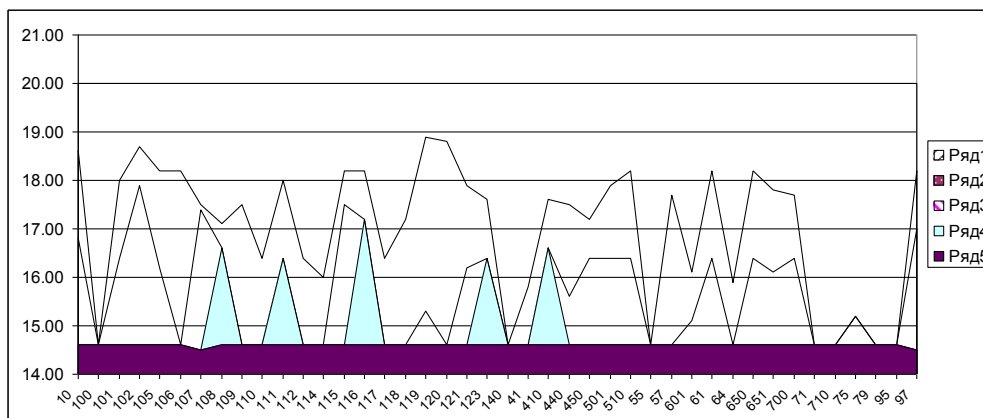


Рис. 1. Границы расположения вечной мерзлоты

Вечная мерзлота оказывает большое влияние на хозяйственную деятельность человека. Её неравномерное оттаивание под жилыми и производственными зданиями нередко приводит к деформации фундаментов и даже разрушению зданий. Мощная толща мерзлого грунта деформирует колонны обсадных труб и центры геодезических знаков.

Столь неравномерное сезонное оттаивание вечномёрзлых грунтов в г. Салехард, значительно превышающее 2.5 м, возможно, объясняется типом мерзлых пород – песчаные отложения (песок, лёгкие суглинки, плотные суглинки, глины) и непосредственным влиянием деятельности человека на деятельный слой вечномёрзлых грунтов (прокладка инженерных коммуникаций, строительство свайных сооружений). Также это объясняется глобальным потеплением, которое объясняется ростом парникового эффекта. А.В. Павлов, Г.Ф. Гравис [4] исходят из прогноза повышения среднегодовой температуры воздуха на севере России на 0.9-1.5 °С и к концу 2050 году на 2.5-3°С, основываясь при этом на анализе нынешних трендов температур по данным метеонаблюдений и их экстраполяции на будущее.

Следует отметить, что прогнозируемые в данной работе [4] повышения температуры в Сибири к 2020 и 2050 годам (0.9-1.5 °С и 2.5-3°С соответственно) довольно малы, и даже незначительное превышение этих лимитов может оказать существенное влияние реальную картину деградации вечной мерзлоты. При таянии вечной мерзлоты могут возникнуть просадки земной поверхности, на которой расположены искусственные сооружения, разрушение фундаментов и опорных конструкций.

Следовательно, необходимо акцентировать внимание на ГИС-картографировании многолетней мерзлоты ввиду её интенсивного изменения со временем и постепенном переходе строительства с классических фундаментов на «плавающие».

Геометрия каркасной сети представляет собой трёхуровневую сеть треугольных фигур в центре которой расположен тур (ИП).

Для контроля качества созданной сети с помощью GPS-технологий была развита сеть полигонометрии. Измерение углов и линий выполнялись электронным тахеометром Topcon GTS-601 ( $m_\beta = 1''$ ,  $m_S = 2\text{ мм} + 2\text{ мм/км}$ ). Уравнивание сети полигонометрии производилось по двум различным методикам для исключения возможного влияния ошибок исходных данных.

Первое уравнивание представляло собой классический вид уравнивания полигонометрической сети коррелятным способом по методу наименьших квадратов с уравниванием дирекционных углов. По результатам уравнивания были получены следующие технические характеристики ходов: относительные линейные невязки 1: 44500, 1: 23600, 1: 64500; Средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения углов  $2.8''$ ; СКО измерения линий 0.024 м.

Перед выполнением уравнивания сети полигонометрии г. Салехард по второй методике был вычислен максимально возможный угол поворота полигонометрической сети относительно пункта триангуляции Ангальский для исключения возможных погрешностей ориентирования сети (см. рис. 2).

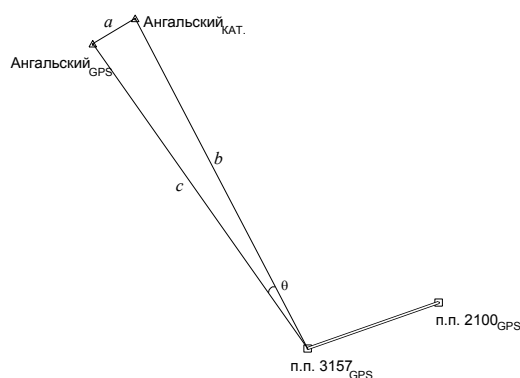


Рис. 2. Схема разворота сети спутниковой полигонометрии относительно существующей полигонометрии г. Салехард

Вычисления были произведены по теореме косинусов по формуле (1).

$$\cos \theta = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c}, \quad (1)$$

где  $a = 0,150$  м;  $b = 5854,152$  м;  $c = 5854,045$  м;  $\theta = 3,8''$ .

При уравнивании по второй методике в качестве исходных координат начального пункта хода были приняты координаты пункта полигонометрии 3157, вычисленные из GPS-наблюдений, исходный дирекционный угол был вычислен также по результатам GPS-наблюдений. Координаты конечного пункта полигонометрического хода были взяты из каталога полигонометрии г. Салехард.

На рис. 3 представлены графики сравнения двух методик уравнивания сети полигонометрии по отношению к GPS-сети. Категории зелёного цвета являются графическим представлением линейной разности плановых координат

пунктов, вычисленных по методике уравнивания №1 и GPS-измерений (Ряд 2). Категории синего цвета являются графическим представлением линейной разности плановых координат пунктов, вычисленных по методике уравнивания №2 и GPS-измерений (Ряд 1).

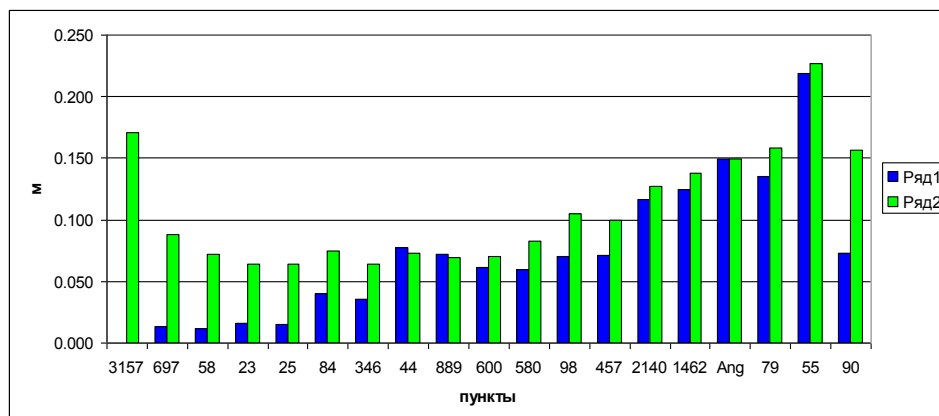


Рис. 3. Графики сравнения двух методик уравнивания сети полигонометрии по отношению к GPS-сети.

Из рис. 3 видно, что принимая в качестве эталона более точные GPS-измерения, можно сделать вывод о том, что уравнивание сети полигонометрии, выполненное по методике № 2, является более точным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. [текст] - М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1993.
2. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. [текст] – М.: ЦНИИГАиК, 2002.
3. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. [текст] – М.: ЦНИИГАиК, 2003.
4. Павлов А.В. Мерзлотно-климатический мониторинг в России: методология, результаты и прогноз [текст] / А.В. Павлов // Криосфера Земли.- 1997.- № 1.- С. 47-58.

© А.В. Скрипников, 2005

## СЛУЖБА СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГЕРМАНИИ **SAPOS**<sup>®</sup>

**SAPOS**<sup>®</sup> - в Германии

С помощью земельных **SAPOS**<sup>®</sup>-референц-станций геодезическая служба основала в рамках своего законного задания официальную повсеместную пространственную систему координат методами спутниковых технологий. Создана существенная составляющая инфраструктуры Земель. Уже сегодня появилась потребность в повсеместной подготовке данных для третьих лиц. Поэтому необходимо срочно внедрить её в жизнь.

Для обеспечения **SAPOS**<sup>®</sup>-потребителей единой системой **SAPOS**<sup>®</sup>-услуг с едиными интерфейсами и форматами на пленуме AdV были приняты следующие заключения:

***SAPOS**<sup>®</sup> - как задача повышенной важности в государственной геодезии, использование и дальнейшая обработка **SAPOS**<sup>®</sup>-данных другими общественными и также частными организациями.*

**SAPOS**<sup>®</sup> - необходим для осуществления целевых задач государственной важности геодезическими и кадастровыми управлениями. Поэтому за установку и обслуживание **SAPOS**<sup>®</sup>-референц-станций, включая непрерывную обработку **SAPOS**<sup>®</sup>-данных, отвечают исключительно Федеральные Земли. **SAPOS**<sup>®</sup>-данные, это данные, которые принимаются **SAPOS**<sup>®</sup>-референц-станциями, как спутниковые сигналы и после их обработки с помощью референц-станций предлагаются пользователю в подготовленных форматах. **SAPOS**<sup>®</sup>-данные могут содержать информацию о расчётах сетей, а также генерировать данные в расчёты сетей.

Наряду с задачей получения **SAPOS**<sup>®</sup>-данных для непосредственного определения местоположения, возможно также предоставление **SAPOS**<sup>®</sup>-данных, как общественным, так и частным организациям, связанных с их собственными **SAPOS**<sup>®</sup>-услугами.

Собственная продукция полученная провайдерами на основе **SAPOS**<sup>®</sup>-данных и вытекающие из этого услуги, не являются **SAPOS**<sup>®</sup>-данными и поэтому не носят ведомственного характера.

– Единая система **SAPOS**<sup>®</sup> - Германии Основоположения для **SAPOS**<sup>®</sup>-HEPS

Чрезвычайно важно разработать концепт для общегерманской единой системы сетей **SAPOS**<sup>®</sup>-HEPS. Этот концепт не допускает альтернатив связанных с земельной спецификой. Стандартизация **SAPOS**<sup>®</sup>-составляющих должна объединять как можно больше предложений; при этом твёрдо устанавливая обязательные стандарты для всех производителей **SAPOS**<sup>®</sup>, которые должны

строжайше соблюдаться (SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Pflicht) (SAPOS<sup>®</sup>-обязательный стандарт) и такие, как т.н. “add on” (SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Op-tion) (SAPOS<sup>®</sup>-выборный стандарт), которые уже стандартизированы и допущены. SAPOS<sup>®</sup>-HEPS устанавливается, как многофункциональная станция.

Связь, применяемая при передаче

Для передачи данных от служб к потребителю используется мобильная связь, что позволяет достигнуть повсеместного применения. SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Pflicht это передача корректурных данных через GSM. SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Option это передача 2м-радиоволнами.

Формат данных

Стандартный формат для интерфейса потребителя является RTCM 2.3. SAPOS<sup>®</sup> - Standard-Pflicht это информационный тип 20/21(что значит, незашифрованы и некомпримированы). SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Option это RTCMAdV (закодированы и компримированы), а также RTCM 2.3, тип данных 18/19 (не закодированы и не компримированы).

Введение networking

SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Pflicht это сеть SAPOS<sup>®</sup> референц-станций. Это служит повышению точности и надёжности результатов SAPOS<sup>®</sup>-HEPS превосходя земельные границы и избегая экстраполяционную проблему. Результаты построения сетей предоставляются SAPOS<sup>®</sup>-пользователям в форме площадных параметров (FKP) или методом “виртуальных станций” (VRS). SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Pflicht это передача площадных параметров (FKP). SAPOS<sup>®</sup>-Standard-Option это метод виртуальных станций (VRS).

– Соглашение о создании единого центра для предоставления данных спутникового позиционирования (Центр SAPOS<sup>®</sup>)

По многочисленным пожеланиям SAPOS<sup>®</sup>-потребителей 1 октября 2003 года был создан центр SAPOS<sup>®</sup>-при LGN в Ганнофере. Это уполномоченный партнёр на всей территории Германии по урегулированию работы с потребителями. Потребители, работающие с SAPOS<sup>®</sup>-в нескольких Землях, обращаются только в центр SAPOS<sup>®</sup>-. После введения единой системы SAPOS<sup>®</sup>-стандартов это является дальнейшим шагом на пути по всегерманской единой системе службы SAPOS<sup>®</sup>.

В обязанности центра SAPOS<sup>®</sup> входят следующие задачи:

1. Подготовка SAPOS<sup>®</sup>-данных и распределение прав пользования включая контроль платежей соответственно решениям AdV,
  2. Сбыт SAPOS<sup>®</sup>-данных потребителям Германии,
  3. Поддержка AdV в координации федеральных действий,
  4. Сбор SAPOS<sup>®</sup>-данных по всей территории Германии,
  5. По требованию техническая помощь по всегерманскому networking,
  6. Сотрудничество с частными.
- Партнёрами (Public Private Partnership) (PPP)

Для открытого георынка AdV с нарастанием вступает в сотрудничество с частными службами и фирмами. Это т. н. PPP-кооперация весьма приветствуется политически. Поскольку это в интересах народного хозяйства, чтобы государственные инвестиции в SAPOS® нашли применение как можно у большего числа потребителей. AdV и РурГаз подписали по этому поводу Memorandum of Understanding (MoU), где оговорены основные позиции использования и рекламы SAPOS® фирмой РурГаз (служба позиционирования ascos) по всей Германии. Это партнёрство было закреплено подписанием договора между РурГаз спутниковой службой и Земельными Геодезическими Управлениями 8 апреля 2003 года на выставке в Ганovere.

### **SAPOS®-продукция**

Служба спутникового позиционирования SAPOS® является совместным проектом Комиссии Геодезических Управлений Федеративной Республики Германии (AdV). SAPOS® основывается на технологии спутниковой навигационной системы (Global Positioning System GPS) и состоит из сети 250 непрерывно действующих референц-станций покрывающих своим действием всю территорию страны. Для повышения точности позиционирования, потребителю при дифференциальных GPS-измерениях предоставляются SAPOS®-данные разного уровня точности, соответствующие его индивидуальным требованиям. Эти SAPOS®-данные могут использоваться как в режиме реального времени, так и для подготовки данных в режиме постобработки. SAPOS®-предлагает следующие сервисные подразделения:

### **SAPOS®-HEPS Высокоточное позиционирование в режиме реального времени**

С помощью сети SAPOS®-HEPS возможно осуществление точности определения местоположения 1-2 см (в плане), 2-6 см (высотная). Корректирующие данные полученные из инерционных фазоизмерений передаются в секундном такте по мобильному телефону (GSM) или 2м радиоволнами формата RTSM. Созданием networking SAPOS® - референцстанций уменьшается влияние ошибок зависящих от расстояния и тем самым улучшается точность и надёжность результатов.

### **SAPOS®-EPS Позиционирование в режиме реального времени**

SAPOS®-EPS осуществляет позиционирование в режиме реального времени с точностью от 0,5 до 3 метров. Сигналы корректировки передаются по всей территории Германии с помощью UKW (метод RASANT) и длинных волн (метод ALF) в стандартном формате RTCM. Кроме того возможен приём корректирующих данных в 1-секундном такте выборочно по мобильному телефону (GSM) или 2м радиоволнами.

### **SAPOS®-GPPS/GHPS Геодезически точное/высокоточное позиционирование**

Для высокоточных измерений необходима обработка данных в режиме постобработки. С помощью SAPOS®-GPPS и SAPOS®-GHPS двумя службами обеспечены условия определения местоположения до 1 см, и соответственно

миллиметрового диапазона в плане и по высоте. *SAPOS*<sup>®</sup>-данные предоставляются для пользователей в стандартном формате RINEX ,как E-Mail через интернет (ftp-скачивание) или на дискеты и CD. *SAPOS*<sup>®</sup>-GPPS к тому же предлагает предлагает режим “near-online”, работая с которым RINEX-данные непрерывно передаются в поле. *SAPOS*<sup>®</sup>-данные с периодом подачи в 1 секунду сохраняются минимум 30 дней. *SAPOS*<sup>®</sup>-данные с периодом подачи в 15 секунд архивируются. При необходимости принимаются запросы, когда временной такт меньше секунды.

#### Пошлины

| Метод                   | Сервис       | Технические средства передачи                                                                                                    | Точность                                   | Приборы и оборудование                                                          |
|-------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Режим реального времени | HEPS         | Мобильная связь (GSM, повсеместно) 2м- радиоволны(выборочно) интернет(NTRIP, планируется)                                        | 1 - 2 см (плановая)<br>2 - 6 см (высотная) | RTK-соответствующий геодезический GPS-приёмник, модем для преобразования данных |
| Режим реального времени | EPS          | UKW (RASANT, повсеместно) LW (ALF, повсеместно) Мобильная связь(GSM), 2 м - радиоволны (выборочно) интернет (NTRIP, планируется) | 0,5 - 3 м                                  | DGPS-соответствующий одностотный приёмник, модем для преобразования данных      |
| Режим постобработки     | GPPS<br>GHPS | Интернет, E-Mail, пр. носители информации                                                                                        | 1 см<br>< 1 см                             | Геодезический GPS-приёмник, выход в интернет                                    |

| Сервис    | Такт времени              | Единица оплаты    | Стоимость услуг                                                          | Формат передачи данных |
|-----------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| HEPS      | 1 секунда                 | 1 минута          | 0,10 €                                                                   | RTCM 2.3               |
| EPS       | 3-5 секунды<br>1 секунда  | отпадает 1 год    | Одноразовая при покупке приборов(ALF, RASANT) 150,-€(GSM, 2м-радиоволны) | RTCM 2.0               |
| GPPS/GHPS | >1 секунды<br>< 1 секунды | 1 минута 1 минута | 0,20 € 0,80 €                                                            | RINEX 2.1              |



# Примеры применения SAPOS®

## Геодезия и Кадастр



Создание опорных сетей  
Кадастровые работы  
Землеустройство

## Транспорт и службы управления транспортом



Фото: Транспортные службы Берлина  
Транспортная навигация  
Менеджмент флота  
Межтранспортное сообщение  
Системы управления транспортом

## Лазерное сканирование и аэрофотосъемка



Цифровая модель рельефа (DGM)  
Цифровая модель поверхности (DOM)  
3D-модель городов  
Защита от наводнений

## Прикладная геодезия



Трассирование  
Разбивка надземных конструкций  
Создание плановой документации  
Геоинформационные системы (ГИС/СИС)

## Службы безопасности



Фото: Берлинская полиция  
Системы управления вызовами:  
Полиции, пожарной службы,  
спасательной службы  
Госохрана  
Спецхрана

## Измерение деформаций



Наблюдение за строительными сооружениями (мосты, плотины)  
Научные и геодезические изыскания

## Сельское хозяйство и охрана окружающей среды



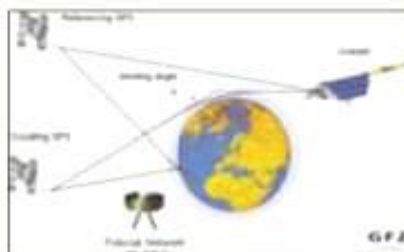
Возделывание больших площадей  
Прецизионное фермерство  
Регистрация заготовок  
Учет балласта  
Кадастр зеленых насаждений

## Гидрография



Гидрогеодезия  
Измерение профиля морского дна  
Поиск затонувших судов

## Синоптика



Исследование климата  
Прогноз погоды  
Определение атмосферных параметров тропосферы и стратосферы



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРОПОСФЕРНЫХ ЗЕНИТНЫХ ЗАДЕРЖЕК ДЛЯ УЧЕТА РЕФРАКЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ

В число продуктов международных исследований, предоставляемых Международной GPS службой (International GPS Service, далее МГС), входят точные эфемериды спутников, метеорологические файлы сети наблюдательных станций и файлы тропосферных зенитных задержек. В пояснениях к предоставляемым продуктам (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products>) указано, что файлы тропосферных зенитных задержек оцениваются по недельному интервалу спутниковых наблюдений и могут быть двух типов – зенитные задержки конкретной станции сети МГС и комбинированные по нескольким станциям. Файлы тропосферных зенитных задержек доступны для пользователей примерно через месяц после даты наблюдений.

В СГГА, в рамках поиска оптимального способа учета тропосферной рефракции при обработке спутниковых наблюдений исследуется возможность применения продуктов МГС при построении высокоточных сетей. Поскольку большинству пользователей недоступны научные пакеты обработки спутниковых данных, возник вопрос об использовании этой информации в коммерческих программных пакетах, например Trimble Geomatic Office (TGO) [1].

Модели для вычисления тропосферной задержки (ТЗ) аппроксимируют влияние, оказываемое нейтральной атмосферой, как интеграл профиля показателя преломления в вертикальном направлении (зенитная составляющая ТЗ, или зенитная тропосферная задержка, далее ЗТЗ) и функции отображения, которая позволяет учитывать угловую высоту спутника над горизонтом,  $h^i$ . Поправка за задержку радиоволн в нейтральной атмосфере наиболее часто определяется через вклад гидростатической и влажной компонент тропосферы. Это связано с разделением влияний распределения паров воды и газов, находящихся в состоянии гидростатического равновесия [2]. Таким образом, полную ТЗ можно представить выражением:

$$T = T^z m(h^i) = T_{hyd}^z m_{hyd}(h^i) + T_{wet}^z m_{wet}(h^i),$$

где подстрочные индексы *hyd* и *wet* – относятся соответственно к гидростатическому и влажному компонентам, *m* – функция отображения,  $T^z$  – зенитная составляющая соответствующей части ТЗ.

Разработкой функций отображения, максимально достоверно учитывающих влияние тропосферы на малых углах, занимались множество ученых. После многочисленных исследований Международной службой вращения Земли и референцных систем (МСВЗ) рекомендуется использовать функции отображения Айфадиса, Херринга, Найелла или Ланьи [3]. Зенитная составляющая ТЗ так же может вычисляться по различным моделям. На основании своих сравнений МСВЗ рекомендует для вычисления гидростатической составляющей зенитной задержки модель Саастамойнена в

представлении Дэвиса [4], но отмечает, что различия моделей незначительно сказываются на результате вычислений. Выбор модели во многом зависит от набора исходной информации. Однако, научные программы обработки спутниковых наблюдений позволяют оценивать значение ТЗ, а не моделировать его на основании дополнительной информации.

Наличие зенитных задержек на эпохи наблюдений позволяет вычислять полные ТЗ и корректировать наблюдения спутниковых приемников, представленные в формате RINEX. Для этого необходимо вычленив из недельного файла ЗТЗ данные, соответствующие эпохам наблюдений, интерполировать их на моменты измерений, вычислить полную тропосферную задержку для каждого спутника наблюдаемого в этот момент созвездия, используя одну из функций отображения, а затем ввести поправку в измерение псевдодалности и фазы. Таким образом, для решения этой задачи необходимо выполнить следующие операции:

- Чтение RINEX файлов наблюдений и навигации;
- Чтение SINEX файла ЗТЗ;
- Выявление ЗТЗ соответствующих интервалу наблюдений;
- Вычисление прямоугольных и топоцентрических координат всех наблюдаемых спутников созвездия на конкретные моменты наблюдений;
- Вычисление полной ТЗ для каждого спутника созвездия на конкретный момент наблюдений;
- Исправление каждого наблюдения каждого спутника созвездия в конкретный момент соответствующим значением поправки за тропосферную рефракцию;
- Формирование файла скорректированных спутниковых наблюдений, идентичного исходному, но не нуждающегося в учете тропосферной задержки;
- Обработка скорректированных файлов спутниковых наблюдений в программном пакете TGO, с отключением тропосферной коррекции.

Чтение файлов наблюдений и бортовых эфемерид осуществляется утилитой *READ\_RIN* созданной при исследовании возможностей учета тропосферной коррекции по поверхностным метеорологическим данным в 2000 году. Тогда же был реализован алгоритм вычисления прямоугольных и топоцентрических координат спутников GPS по данным навигационного сообщения. При решении задачи вычисления полной ТЗ по данным аэрологического зондирования в 2002 году были написаны подпрограммы, вычисляющие коэффициенты функции отображения Найелла [5].

Для чтения недельного файла ЗТЗ и выбора из него наблюдений конкретного дня, которые формируются в отдельный файл, в 2003 году была написана утилита *ZPD\_READ*, которая потом была включена в пакет программ коррекции RINEX-файлов наблюдений. Программа коррекции *ZPD* вычисляет значения полной ТЗ для каждого момента наблюдений, через соответствующее значение ЗТЗ, угловую высоту спутников над горизонтом и функцию отображения Найелла. Значения полной ТЗ записываются в отдельный файл, в соответствии с моментом наблюдений и спутниками созвездия. Записи файла

спутниковых наблюдений из RINEX-файла исправляются утилитой *ISPRAV*, на величину полной зенитной задержки с учетом частоты и типа исправляемых спутниковых наблюдений.

Для проверки целесообразности и эффективности применения файлов ЗТЗ, при обработке наблюдений спутниковых приемников GPS коммерческим программным продуктом TGO при построении высокоточных геодезических сетей было решено использовать данные для двух станций МГС (NVSK – г. Новосибирск и IRKT – г. Иркутск). Было выбрано несколько суточных сеансов наблюдений за первую половину (январь-июнь) 2004 года. Даты наблюдений разнесены примерно на месяц и соответствовали следующим дням в году (day of year, DOY): 007, 038, 067, 098, 159.

Исходные файлы наблюдений обеих станций и их скорректированные варианты обработаны в программном пакете TGO с одинаковыми общими настройками процессора вычисления векторов базовых линий – угол отсечки наблюдений по высоте составлял  $10^\circ$  и использовались точные эфемериды. При этом в дополнительных настройках для исходных файлов учет влияния тропосферы производился по модели Найелла, с интервалом оценивания зенитной задержки в 1 час, а для скорректированных наблюдений эта возможность была отключена вовсе. Базовой станцией с фиксированными координатами была назначена IRKT, координаты в системе ITRF2000 были взяты из каталога МГС на эпоху 2004.0 и приведены к эпохам наблюдений.

Полученные при решении координаты станции NVSK сравнивались с приведенными на эпоху наблюдений координатами станции из каталога МГС, а длина и компоненты вектора базовой линии, соответственно, с вычисленными по координатам каталога. Расхождения этих значений приведены в таблице. В сводную таблицу отклонений результатов вынесены все фиксированные решения, без учета их статистик.

На основании проведенных вычислений можно сказать, что решения, полученные по скорректированным данным, более устойчивы и имеют лучшие статистики. Из сводной таблицы отклонений трудно сделать однозначный вывод о значительном улучшении решения, но некоторая положительная тенденция все-таки отмечается. Высота станции NVSK по большей части наблюдений, которые корректировались ЗТЗ, получается ближе к ее значению, взятому из каталога МГС. Влияние, оказываемое на плановые координаты не так значительно для решений с хорошими статистиками.

В дальнейшем планируется расширить эксперимент, привлекая наблюдения других станций МГС, расположенных в России и за ее пределами. Основным критерием в их выборе будет близость к станции NVSK. Кроме того, описанный способ использован при обработке проведенных в 2004 году наблюдений метрологического полигона СГГА [6]. При коррекции использовались файлы ТЗТ станции NVSK. Результаты получены, но их анализ отложен до получения каталога координат пунктов полигона, включающего в себя обработку наблюдений этого периода.

*Таблица. Разности между вычисленными и определенными из каталога МГС координатами станции NVSK*

| Пара-<br>метры | DOY 7                          |        | DOY 38 |        | DOY 67 |        | DOY 98 |        | DOY 159 |        |
|----------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|                | 1                              | 2      | 1      | 2      | 1      | 2      | 1      | 2      | 1       | 2      |
|                | интервал обработки 00-24 часов |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
| B, м           | 0,012                          | 0,011  | 0,011  | 0,015  | 0,010  |        | 0,006  | 0,008  | 0,009   | 0,010  |
| L, м           | 0,188                          | 0,185  | 0,192  | 0,195  | 0,187  |        | 0,213  | 0,191  | 0,188   | 0,201  |
| H, м           | -0,031                         | -0,044 | -0,031 | -0,027 | -0,027 |        | -0,007 | -0,020 | -0,010  | -0,006 |
| X, м           | -0,197                         | -0,195 | -0,201 | -0,205 | -0,196 |        | -0,221 | -0,199 | -0,195  | -0,209 |
| Y, м           | 0,001                          | -0,006 | 0,002  | 0,002  | 0,004  |        | 0,023  | 0,011  | 0,016   | 0,019  |
| Z, м           | -0,022                         | -0,033 | -0,023 | -0,018 | -0,020 |        | -0,006 | -0,016 | -0,006  | -0,003 |
| D, м           | 0,017                          | 0,019  | 0,012  | 0,010  | 0,018  |        | -0,007 | 0,014  | 0,019   | 0,006  |
| dx, м          | 0,013                          | 0,016  | 0,009  | 0,006  | 0,014  |        | -0,011 | 0,011  | 0,015   | 0,001  |
| dy, м          | 0,022                          | 0,014  | 0,023  | 0,023  | 0,025  |        | 0,044  | 0,032  | 0,037   | 0,040  |
| dz, м          | 0,042                          | 0,031  | 0,042  | 0,047  | 0,045  |        | 0,058  | 0,049  | 0,058   | 0,062  |
| dh, м          | 0,015                          | 0,002  | 0,015  | 0,018  | 0,019  |        | 0,039  | 0,026  | 0,036   | 0,040  |
|                | интервал обработки 00-12 часов |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
|                |                                |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
|                |                                |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
| B, м           | 0,012                          | 0,009  | 0,012  | 0,015  | 0,010  | 0,012  | 0,015  | 0,006  |         | -0,005 |
| L, м           | 0,192                          | 0,183  | 0,191  | 0,193  | 0,184  | 0,118  | 0,191  | 0,187  |         | 0,171  |
| H, м           | -0,035                         | -0,042 | -0,034 | -0,036 | -0,040 | -0,126 | -0,023 | -0,005 |         | -0,041 |
| X, м           | -0,202                         | -0,192 | -0,200 | -0,203 | -0,194 | -0,131 | -0,200 | -0,194 |         | -0,178 |
| Y, м           | -0,001                         | -0,004 | -0,001 | -0,004 | -0,003 | -0,062 | 0,003  | 0,020  |         | 0,008  |
| Z, м           | -0,025                         | -0,033 | -0,025 | -0,024 | -0,031 | -0,099 | -0,013 | -0,004 |         | -0,040 |
| D, м           | 0,012                          | 0,021  | 0,014  | 0,012  | 0,020  | 0,079  | 0,015  | 0,020  |         | 0,033  |
| dx, м          | 0,008                          | 0,018  | 0,010  | 0,007  | 0,017  | 0,079  | 0,010  | 0,016  |         | 0,032  |
| dy, м          | 0,020                          | 0,017  | 0,020  | 0,016  | 0,017  | -0,041 | 0,024  | 0,041  |         | 0,029  |
| dz, м          | 0,039                          | 0,031  | 0,040  | 0,040  | 0,034  | -0,035 | 0,051  | 0,060  |         | 0,024  |
| dh, м          | 0,010                          | 0,003  | 0,012  | 0,010  | 0,006  | -0,080 | 0,023  | 0,041  |         | 0,005  |
|                | интервал обработки 12 -24 часа |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
|                |                                |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
|                |                                |        |        |        |        |        |        |        |         |        |
| B, м           | 0,012                          | 0,015  | 0,011  | 0,011  | 0,010  |        | 0,027  | 0,012  |         | 0,011  |
| L, м           | 0,188                          | 0,187  | 0,196  | 0,197  | 0,194  |        | 0,241  | 0,184  |         | 0,012  |
| H, м           | -0,031                         | -0,045 | -0,026 | -0,019 | -0,007 |        | -0,025 | -0,032 |         | -0,002 |
| X, м           | -0,197                         | -0,197 | -0,205 | -0,205 | -0,202 |        | -0,254 | -0,193 |         | -0,205 |
| Y, м           | 0,001                          | -0,010 | 0,006  | 0,009  | 0,017  |        | -0,002 | 0,000  |         | 0,019  |
| Z, м           | -0,022                         | -0,031 | -0,018 | -0,013 | -0,004 |        | -0,008 | -0,023 |         | 0,001  |
| D, м           | 0,017                          | 0,017  | 0,009  | 0,009  | 0,013  |        | -0,037 | 0,021  |         | 0,010  |
| dx, м          | 0,013                          | 0,013  | 0,005  | 0,005  | 0,008  |        | -0,043 | 0,017  |         | 0,005  |
| dy, м          | 0,022                          | 0,011  | 0,026  | 0,030  | 0,038  |        | 0,019  | 0,021  |         | 0,040  |
| dz, м          | 0,042                          | 0,033  | 0,046  | 0,051  | 0,060  |        | 0,056  | 0,041  |         | 0,065  |
| dh, м          | 0,015                          | 0,001  | 0,020  | 0,026  | 0,039  |        | 0,021  | 0,013  |         | 0,044  |

*Примечание:* Вариант обработки наблюдений, скорректированных ЗТЗ, обозначен цифрой 1, вариант обработки исходных наблюдений – 2. Пустые столбцы обозначают, что фиксированное решение не было получено (например, из-за большого количества срывов циклов).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trimble Geomatics Office. Руководство пользователя программного обеспечения [текст]. – Ноябрь 1999 г. – 126 с.

2. Фролова Е.К. Эволюция моделей тропосферной задержки для GPS-измерений [текст] // Современные проблемы геодезии и оптики. LIII международная научно-техническая конф., посв. 70-летию СГГА. Сб. мат. конф., Ч. III. – С. 203-205
3. IERS Technical Note 21. IERS Conventions (1996) [текст] / D.D. McCarthy (ed.) – Paris: Central Bureau of IERS. – Observatoire de Paris, July 1996. – 95 p. – Англ.
4. Davis, J.L. Geodesy by radio interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length [text] / J.L. Davis, T.A. Herring, I.I. Shapiro, A.E. Rogers and G. Elgered // Radio Science, 1985. V. 20, No. 6. – P. 1593-1607. – Англ.
5. Niell A.E. Global mapping functions for atmosphere delay at radio wavelengths [text] / A.E. Niell // J. of Geophysical Research, vol. 101, No. B2. – February 10, 1996. – P. 3227-3246. – Англ.
6. Эталонный пространственный полигон СГГА: аттестация 2004 [текст] // К.М. Антонович, Ю.В. Сурнин, А.Н. Клепиков, Е.К. Фролова Материалы 7-й межд. Конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2004, Новосибирск, 21-24 сент. 2004. Том 3. Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 259-262.

© Е.К. Фролова, 2005

УДК 528.4:[528.531+528.344]

*А.В. Войтенко, М.С. Куприянов*

ОмГАУ, Омск

*А.А.Макаров*

СибАДИ, Омск

## **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА И СПУТНИКОВЫХ GPS-ПРИЕМНИКОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ГГС НА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ**

Для связи систем координат при спутниковых определениях необходимо использовать пункты ГГС. На многих из них установлены деревянные или металлические сигналы различных конструкций. Кроме того, пункты часто находятся в неудобном для измерений месте – в лесах. В результате возникает проблема выноса центра геодезического знака в более удобное для измерений место.

Проблему выноса центра пункта можно решить, применяя астрономические методы, но это связано с некоторыми трудностями (погодные условия, соблюдение программы измерений, сложная постобработка).

Западно-Сибирский филиал ФГУП «Госземкадастръемка» - ВИСХАГИ производит геодезические работы во многих областях РФ. Работы имеют различный характер, но у каждой из них есть этап полевых измерений, включающий в себя использование пунктов ГГС.

Идея способа выноса центра пункта при помощи спутниковых приемников заключается в следующем. На небольшом удалении от пункта государственной геодезической сети, в благоприятном для спутниковых измерений месте, устанавливаются два, работающих синхронно, спутниковых приемника (В1, В2, рис. 1). Время их работы должно быть настолько велико, насколько необходимо для фиксированного решения базовой линии между ними. В это время на пункт устанавливается тахеометр (Р, рис. 1), и измеряются расстояния до приемников ( $d_1$ ,  $d_2$ ), а также угол В1РВ2 ( $\varphi$ ). По линии между спутниковыми приемниками ( $d_0$ ) и ее дирекционному углу ( $\alpha_0$ ), полученными из спутниковых измерений, и

по результатам тахеометрических измерений можно передать координаты пункта на каждую из точек стояния приемников (рис. 1).

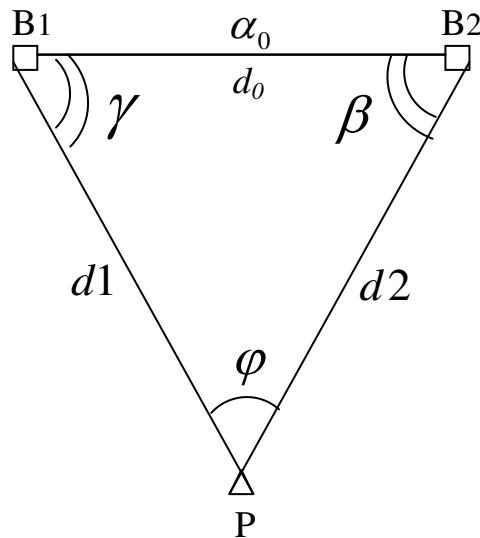


Рис. 1. Схема расположения объектов

Получение длины линий между двумя точками из спутниковых измерений.

При одновременном стоянии спутниковых приемников, между ними образуется в пространстве вектор, длину которого можно получить с миллиметровой точностью. Однако для последующей обработки необходимо знать длину геодезической линии, как на эллипсоиде, так и в некоторой проекции координат, например Гаусса-Крюгера. Для этого вектор, полученный из спутниковых измерений, редуцируется на поверхность референц-эллипсоида Красовского по известной формуле (1) [1]

$$\Delta D = \frac{D^3}{24 \cdot R} - \frac{h^2}{2 \cdot D} - \frac{(H_m + h_g) \cdot D}{R}; \quad (1)$$

$$H_m = (H_1 + H_2) / 2;$$

где  $D$  – измеренный вектор (линия);

$h$  – превышение между точками стояния приборов;

$h_g$  – превышение квазигеоида над эллипсоидом Красовского;

$H_1, H_2$  – нормальные высоты точек стояния;

$R$  – радиус кривизны нормального сечения.

При работе с этой формулой нужно знать величину  $h_g$ . Для её определения использовались данные Геофизического центра РАН [2]. По результатам этих данных была составлена карта с изолиниями  $h_g$  при помощи программы MapInfo 7.0. Используя эту карту, можно получить значение  $h_g$  нужной точки с необходимой для редуцирования точностью.

Линию, полученную на поверхности референц-эллипсоида Красовского, редуцируется на плоскость Гаусса-Крюгера по известной формуле [3].

Получение дирекционного угла линии между двумя точками из спутниковых измерений.

Одновременно с получением длины геодезической линии на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера возможно получение её дирекционного угла.

Результатом работы двух спутниковых приёмников является набор измерений каждого из них через фиксированный интервал времени. На каждое отдельное измерение этих наборов влияют различные условия (созвездия спутников, погодные условия, состояние ионосферы, наличие препятствий на пути распространения спутникового сигнала). При постобработке спутниковых измерений усредненное значение каждого набора измерений получается в виде координат точек. В случае одинаковых условий влияющих на спутниковые измерения на каждой из точек, усредненное значение координат этих точек будет отличаться от истинных на одинаковую величину. На практике влияние выше изложенных условий в разных частях земной поверхности не одинаково, поэтому неодинаковы и расхождения усредненных координат точек с истинными значениями. В результате чего дирекционный угол, вычисленный по значениям усредненных координат точек, получается грубо. Для повышения точности получаемых результатов необходимо произвести привязку к базовой станции с известными координатами, что связано с дополнительными трудностями.

В нашем случае роль базовой станции выполняет одна из точек, которой придается статус опорной, приняв ее приближенные координаты за исходные. Выполняется процесс уравнивания относительно опорной точки. В результате определяемая точка занимает положение в пространстве в соответствии со смещением опорной точки. Таким образом, погрешность определения дирекционного угла линии между этими точками значительно уменьшается.

Исследование получения длины линии на плоскости Гаусса-Крюгера и ее дирекционного угла при использовании двух спутниковых приемников было проведено в Омской, Новосибирской, Томской и Кемеровской областях Российской Федерации при проведении геодезических работ на газопроводе Западно-Сибирским филиалом ФГУП «Госземкадастрсъемка». При этом величины длин линий взятых для исследования, варьировали от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров.

Исследование получения длины линии на плоскости Гаусса-Крюгера и ее дирекционного угла при использовании двух спутниковых приемников было проведено в Омской, Новосибирской, Томской и Кемеровской областях Российской Федерации при проведении геодезических работ на газопроводе Западно-Сибирским филиалом ФГУП «Госземкадастрсъемка». При этом величины длин линий взятых для исследования, варьировали от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров.

По описанной технологии выноса центра пункта из-под знака были проведены исследования. Для этой цели были выбраны два пункта сети триангуляции второго и

третьего класса. Оба пункта не имеют наружных знаков. На этих пунктах были выполнены измерения по выносу центра, после чего на сам пункт был установлен спутниковый приемник для контрольных спутниковых измерений. С этими измерениями сравнивались результаты выноса центра. Координаты, полученные в результате выноса центра пункта и в результате контрольных спутниковых измерений, не совпадают. Однако величина несовпадения не превышает 0,05 м, что находится в пределах погрешностей спутниковых измерений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Судаков С. Г. Основные геодезические сети. – М.: Недра, 1975. – 368 с.
2. <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/gps/rgg.html>
3. Багратуни Г. В. Курс сферической геодезии. – М., 1962. – 252 с.

© А.В. Войтенко, М.С. Куприянов, А.А. Макаров, 2005

УДК 629.783:551.24

А.С. Рассказов

СГГА, Новосибирск

#### КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ GPS/ГЛОНАСС: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

RTK технология - это измерения фазы несущей частоты, передаваемой спутниками GPS или ГЛОНАСС, принимаемой в движении и обрабатываемой в реальном времени. Этот режим обеспечивает геодезиста координатами определяемой точки с точностью в пределах нескольких сантиметров непосредственно в поле. В реальном времени можно сделать вынос в натуру точки, тут же измерить её фактические координаты, записать дополнительную информацию (код, атрибуты и т.д.), рассчитать азимуты и расстояния до ближайших пунктов и определить местонахождение исходных геодезических пунктов. Время одного измерения составляет несколько секунд. Помимо этого, в таком виде съемки отсутствует обработка векторов и редактирование спутниковой информации. Типичная номинальная точность для двухчастотной аппаратуры составляет  $10\text{мм} + D \cdot 10^{-6}$  (в плане) и  $20\text{мм} + 2D \cdot 10^{-6}$  (по высоте). Данная работа посвящена краткому обзору тенденций развития метода RTK.

*Линии передачи данных.* Линия связи обычно представляет собой радио канал некоторого вида. Радиосвязь требует совместимого оборудования, как на мониторе, так и на удаленных пунктах. Для дифференциального метода GPS (DGPS), использующего кодовые дальности, необходимый темп передачи данных обычно составляет 200 бит в секунду (бод). Для RTK обычно необходим темп, по крайней мере, от 2400 до 19200 бод (что зависит от скорости обновления данных).

Разработано несколько систем связи (наземного и космического базирования), способных передавать поправки DGPS. Для передачи данных глобального масштаба необходимы линии космической радиосвязи. Одним из примеров спутников связи является система INMARSAT (спутники для международной морской навигации), состоящая из нескольких геостационарных спутников. Совсем недавно в методе DGPS начала использоваться спутниковая программа мировой телекоммуникационной связи.



Эта программа применяет множество низкоорбитных спутников, которые обеспечивают мобильную телефонную службу по всему миру. Многие из предложенных методов DGPS полагаются на использование спутниковой связи для передачи дифференциальных данных, которые полезны, например, для пользователей в удалённых горных районах и помогают избежать трудности в приёме данных по наземной радиосвязи.

По сравнению с линиями спутниковой связи установка и работа линий наземной связи намного дешевле. Данные можно передавать через обычные линии радиосвязи, сотовый радиотелефон, или путём модуляции данных на боковой полосе диапазона существующих передач FM радиостанций, как, например, это делается в Radio Data System (RDS). Этот стандартизированный метод был определён Европейским Союзом по Радиовещанию (European Broadcasting Union) и состоит из передачи цифровых данных на поднесущей волне, накладываемой на обычную радио (аудио) передачу. Улучшенным методом является метод Data Radio Channel (DARC), который разработан в Японии и поддерживает более высокий темп передачи данных, чем RDS. Интересна также будущая возможность использования псевдоспутников (псевдолитов) наземного базирования. Название представляет собой сочетание слов «псевдо» и «спутник – satellite» и относится к передатчику, который передаёт радиосигналы, похожие на сигналы спутника. Эти сигналы можно модулировать дифференциальными поправками. Для ведения передач поправок очень важным является не только мощность излучения, но также частота, на которой она выполняется. Чем выше частота, тем больше данных можно передавать за единицу времени. Для наземных линий связи чаще всего используется VHF (очень высокая частота) и UHF (сверхвысокая частота) радио связь. Их недостатком является то, что расстояние, на которое излучаются высокочастотные радио волны с наземных станций ограничено прямой видимостью между передатчиком и приёмником. Спутниковая связь допускает использование высоких частот в гигагерцовом диапазоне и допускает темп передачи данных до 19200 бит/с на больших расстояниях [2].

В рамках федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» реализуется *система передачи поправок через РТПЦ*. Учитывая, что теле-, радиовещательные сети Российской Федерации охватывают практически всю территорию страны, переходят на цифровые технологии, и передающие центры находятся в каждом регионе, корректирующая информация до потребителей доводится с использованием каналов теле-, радиовещания. В сегменте реализована технология доведения навигационной информации от контрольно-корректирующей станции (ККС) до потребителя в реальном масштабе времени посредством ее «подмешивания» в теле-, радиовещательный канал (без ухудшения качества теле-радио передач) и передачи ее через региональные теле-, радиопередающие центры. Канал доставки информации потребителям может функционировать на любом частотном канале вещательного телевидения и радио метровых и дециметровых длин волн [1].

В зоне действия *цифровой сотовой телефонии* (например, GSM, CDMA) сотовые модемы могут передавать данные в реальном времени от базовой

станции к подвижному приемнику. Даже аналоговые сотовые инфраструктуры могут быть использованы, в том случае, если сотовый оператор обеспечивает услуги CDPD (Пересылка Данных по Сотовой Сети). Технология CDPD использует запасную полосу частот в аналоговых сотовых сетях связи для передачи пакетов цифровых данных. Работая от одной RTK станции, подвижный радиомодем дозванивается до сотового телефона расположенного на базовой станции, которая начинает непрерывно посылать данные подвижному приёмнику. После этого подвижный RTK приёмник может выполнять RTK определения от одной базы на площади более 1000 кв. км. Рекомендуемая зона покрытия при работе от одной опорной станции составляет приблизительно 1250 кв. км, в зависимости от используемых средств связи и местных условий распространения радиосигнала. При этом, радиус удаления от базовой станции составляет приблизительно 20 км. На таком удалении обеспечиваются оптимальные точностные характеристики, паспортное время инициализации и высокая надежность.

*Использования GPRS канала для работы в режиме RTK.* Ограниченная эффективная дальность радиоканала и обязательное требование к наличию прямой радиовидимости между модемами базовой станции и подвижного приемника приводят к затруднениям в работе, которые можно решить использованием, например, GPRS. Большинство этих ограничений отсутствует при передаче данных по GSM каналу. Помимо этого, использование GSM телефонов не требует специального разрешения, и они обладают рядом других преимуществ – меньшими размерами, весом, энергопотреблением и доступной стоимостью. В прошлом году все крупнейшие российские операторы связи объявили о запуске новой услуги GPRS – системе пакетной передачи данных в GSM сетях. При использовании GPRS технологии данные разбиваются на информационные пакеты и передаются в эфир, заполняя не используемые в данный момент голосовые каналы, которые всегда есть в промежутках между разговорами абонентов. Недостаток в том, что услуга GPRS доступна не по всей территории, где существует область покрытия GSM в масштабе РФ. Но в планах операторов сотовой связи – расширение GPRS услуг на всю территорию действия сети сотовой связи. В этом случае уже в ближайшем будущем можно будет рассчитывать на работу в режиме RTK на всех плотно заселенных территориях [<http://www.navgeocom.ru>].

*Таблица 1. Развитие беспроводных систем передачи данных*

| Система                 | GSM 900/1800 (2G)  |       |                   | Эволюция GSM (2.5G) | CDMA (3G) |        |
|-------------------------|--------------------|-------|-------------------|---------------------|-----------|--------|
|                         | Коммутация каналов |       | Пакетная передача |                     |           |        |
|                         | CSD                | HSCSD | GPRS              | EDGE                | CDMA-1X   | W-CDMA |
| Тарификация             | врем.              | врем. | За объем          | За объем            | объем     | объем  |
| Сред. скорость (кбит/с) | 9.6                | 9.6   | 20 - 40           | 75 - 150            | 70 - 90   | 800    |
| Теоретический максимум  | 14.4               | 43.2  | 171.2             | 385.2               | 153       | 2000   |

Спутниковый дифференциальный сервис OmniSTAR компании Fugro базируется на передаче дифференциальных поправок через геостационарные спутники, формирующие направленные пучки ("пятна") над определенными районами земной поверхности. Точность определения координат с использованием VBS сервиса составляет 50 см - 2 м (при вероятности 95%) при удалении от сети наземных дифференциальных станций до 1000 км. Спутниковый сервис OmiSTAR предназначен для использования только на территории суши, на внутренних водных путях, портах и гаванях. При выходе за зону действия дифференциальный сервис автоматически выключается, при возвращении в зону вновь автоматически включается.

*Форматы передачи поправок.* Хотя некоторые изготовители приемников разработали свои собственные соответствующие форматы, передача поправок между опорным и удаленным приемником были стандартизованы с 1985 года в соответствии с предложениями Специального комитета 104 Радиотехнической комиссии по морскому судоходству. Этот стандарт кратко называется RTCM, и его текущей версией является 2.2 [<http://www.rtcn.org/>]. Имеется 64 типа сообщений, но некоторые из них до сих пор не определены. Заметим, что сообщения касаются и GPS, и ГЛОНАСС. В настоящее время повсеместно используются RTCM SC-104 и ITU-R M.823.

Для сетевой передачи RTCM-поправок посредством Интернет-протокола разработан формат Ntrip. Это новый формат, введенный Немецким Федеральным Агентством по Картографии и Геодезии (BKG) для передачи данных в формате RTCM посредством Интернета. Формат Ntrip был разработан совместно с компанией Trimble Terrasat и имеет хорошие перспективы стать международным стандартом передачи данных глобальных спутниковых навигационных систем GNSS [<http://www.navgeocom.ru/>].

*Передача поправок через геостационарные спутники.* Передача данных через геостационарные спутники имеет существенные ограничения в районах с городской и сельской застройкой, а также на территориях расположенных в высоких широтах, где видимость геостационарных спутников EGNOS ограничивается из-за малых углов их возвышения. Так как данные спутников EGNOS содержат важную информацию для мобильных компонентов системы, возрастает необходимость использования дополнительных средств передачи спутниковой информации. Европейское Космическое Агентство (ESA) приступило к осуществлению проекта EGNOS System Test Bed (ESTB), используя в качестве канала связи Интернет [3]. Этот проект создал новую технологию, названную SISNeT (Signal in Space through the Internet) – «Сигнал в космосе через Интернет». Испанская фирма GMV по контракту с ESA начала работу над серьезным проектом, основанным на технологии SISNeT. Данный проект призван обеспечить значительное продвижение в использовании технологии SISNeT, в то же время, интегрируя результаты данной работы в глобальный проект фирм ESA-Telespazio, названный Terrestrial Regional Augmentation Network (TRAN) – Региональная земельная сеть сгущения. Недавно ESA усовершенствовало платформу SISNeT, что позволило извлекать

данные EGNOS из Главной обрабатывающей станции ESTB, генерирующей дифференциальные поправки. Это позволило использовать сигнал ESTB даже при отсутствии связи с геостационарным спутником (например, из-за возможного сбоя на станции связи). Программное обеспечение пользователя может обрабатывать информацию EGNOS, полученную с помощью технологии SISNeT, в дополнение к информации о параметрах эфемерид GPS спутников или уже переданных данных с SBAS (Satellite-based augmentation system).

Во многих странах уже существует сеть базовых GPS станций, которая обеспечивает необходимыми данными конечных пользователей, но поскольку позиционирование в режиме RTK предполагает небольшие расстояния между мобильной и базовой станцией, то необходимо постоянно проводить сгущение уже существующих сетей. Новую технологию предоставляет концепция Виртуальных Базовых Станций (или VRS) [4]. Компьютер центра управления непрерывно накапливает данные, поступающие от всех приёмников, и формирует постоянно обновляющуюся базу данных «коррекций для локальных площадей» (Regional Area Correction). Это позволяет создать Виртуальную Базовую Станцию, расположенную как бы в нескольких метрах от передвижного приёмника и принимать от неё необработанные данные. При этом передвижной приёмник интерпретирует и использует эти данные так, как будто бы они получены от реально существующей базовой станции. В результате значительно увеличивается производительность RTK режима.

*Методика Moving Base RTK*, разработанная компанией Trimble, имеет ряд отличий от традиционной методики RTK позиционирования, в которой базовая станция устанавливается стационарно на точке с известными координатами. Методика Moving Base RTK предусматривает взаимное перемещение как базового, так и полевого приёмника и позволяет вычислять 3-D вектор взаимного положения база - ровер с сантиметровой точностью. Методика Moving Base RTK идеально подходит для тех задач, при которых необходимо определять относительное перемещение и скорость сближения двух или более судов. Усовершенствованная методика Moving Base RTK позволяет использовать в решении как DGPS RTCM поправки от спутникового сервиса или от береговой базовой DGPS станции, так и поправки от береговой станции, работающей в режиме RTK.

*Заключение.* В целом, можно говорить о том, что сейчас технология RTK для целей геодезии вышла на уровень производственных работ и широко используется по всему миру. Несмотря на то, что RTK имеет специфический уровень применения и может рассматриваться лишь как дополнение к традиционным методам GPS измерений, у технологии видится большое будущее и есть потенциал для дальнейшего развития.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буров С.А. Опыт внедрения технологий высокоточного спутникового позиционирования [text] / С.А. Буров и др. // Геопрофи, № 4, 2004. – С. 6-9.
2. Langley R. B. RTK GPS [text] / R. B. Langley // GPS World, Vol. 9, No. 9. – 1998. – P. 70-76. – Англ.

3. Toran F. Position via Internet [text] / F. Torán, J. Ventura, E. Gonzáles et al. // GPS World, Vol. 15, No. 4. – 2004. – P. 28-35. – Англ.
4. Wanninger L. Virtual reference station (VRS) [text] / L. Wanninger // GPS Solutions, Vol. 7, No. 2. – 2003. – P. 143 – 144. – Англ.

© A.C. Рассказов, 2005

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

СГУПС ежегодно проводит диагностику автомобильных дорогах Новосибирской области по техническим требованиям разработанным ТУАД. В весенний период выполняется диагностика для назначения ремонтных работ, в осенний период выполняется диагностика пусковых комплексов. Состав работ по диагностике включает определение продольного профиля, поперечных уклонов, характеристик кривых, ровности, прочностных характеристик, коэффициента сцепления, дефектов покрытия и земляного полотна. Определение геометрических параметров и эксплуатационных характеристик (прочность, ровность и коэффициент сцепления) выполняется с использованием специальных приборов. Определение дефектов выполняется по цифровой видеосъемке. Заказчику данные передаются в табличном виде и в виде графиков (рис. 1).

Данные диагностики необходимы как для назначения ремонта, так и перспективного планирования ремонтных работ и мероприятий по содержанию. Ценность диагностических данных заключается в объективной оценке технического состояния автомобильных дорог, что позволяет рационально использовать финансовые ресурсы и продлить срок службы автомобильных дорог. Полученный опыт показывает, что на небольшом по протяженности участке дороги (1км) изменение прочностных характеристик и ровности может составлять 200-250%. Причины таких изменений могут быть различными и, как правило, это совокупность нескольких факторов. Характерны значительные изменения для дорог построенных более 10 лет назад. Учитывая амплитуду и частоту изменения параметров назначение ремонтных работ должно осуществляться по объективным диагностическим параметрам, при этом ориентироваться на межремонтные сроки при перспективном планировании также нельзя. Перспективное планирование наиболее эффективно назначать по динамике изменения диагностических параметров полученной за несколько лет. Такие данные получены для одного из участков автодороги Новосибирск – Ленинск-Кузнецкий (рис. 2).

Динамика изменения параметров также отличается на различных участках автодороги. Получение объективных данных по динамике изменения параметров является сложной задачей. Это связано с обеспечением единства измерений, которое осуществляется линейной привязкой объектов ИССО и километровых знаков при ежегодном определении диагностических параметров. Сравнение диагностических данных выполняется только после линейного масштабирования, т.е. приведения измеренных расстояний в процессе многократных наблюдении к одному значению.

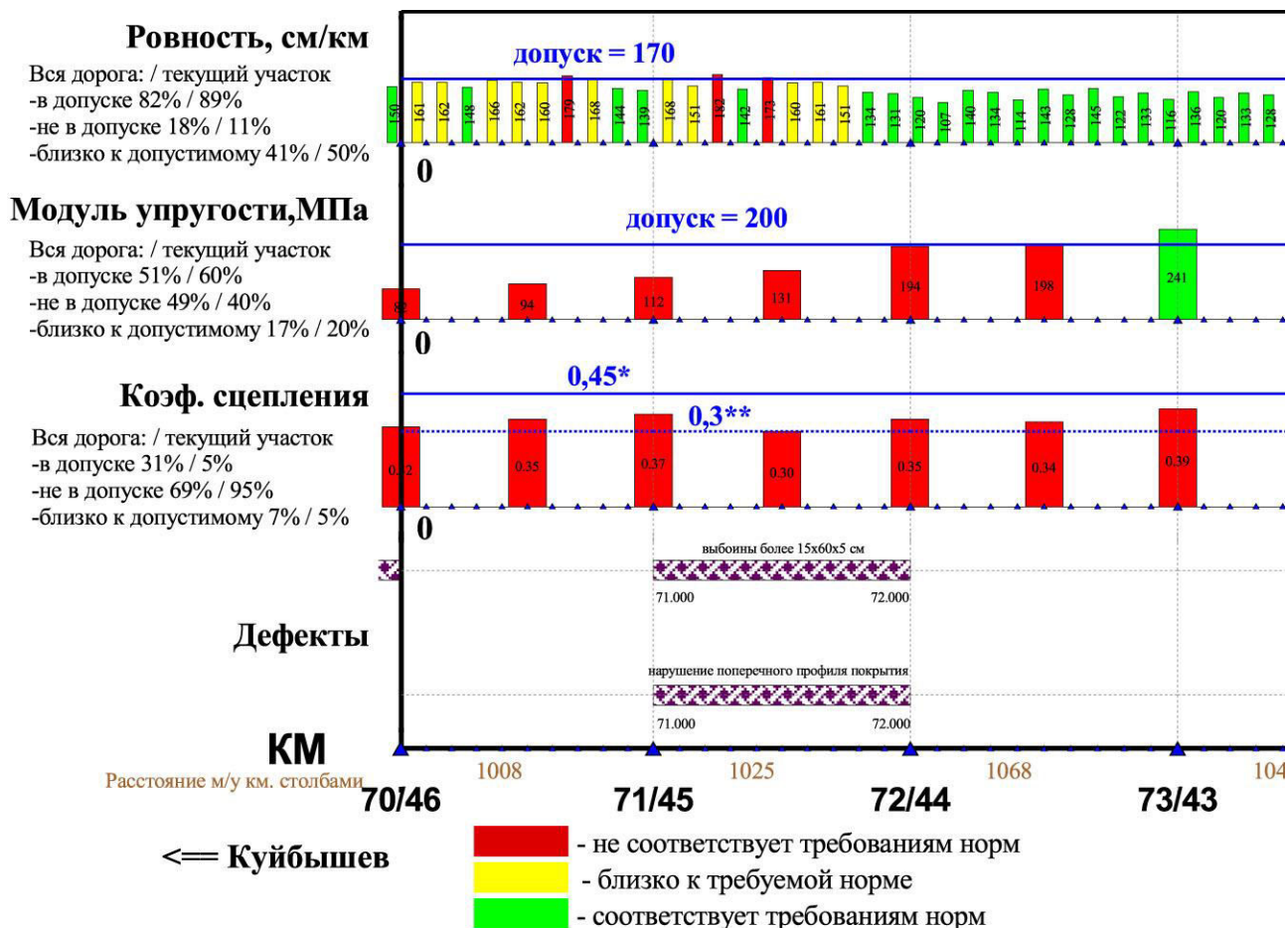


Рис. 1. Фрагмент графического отчёта по проведённой диагностике

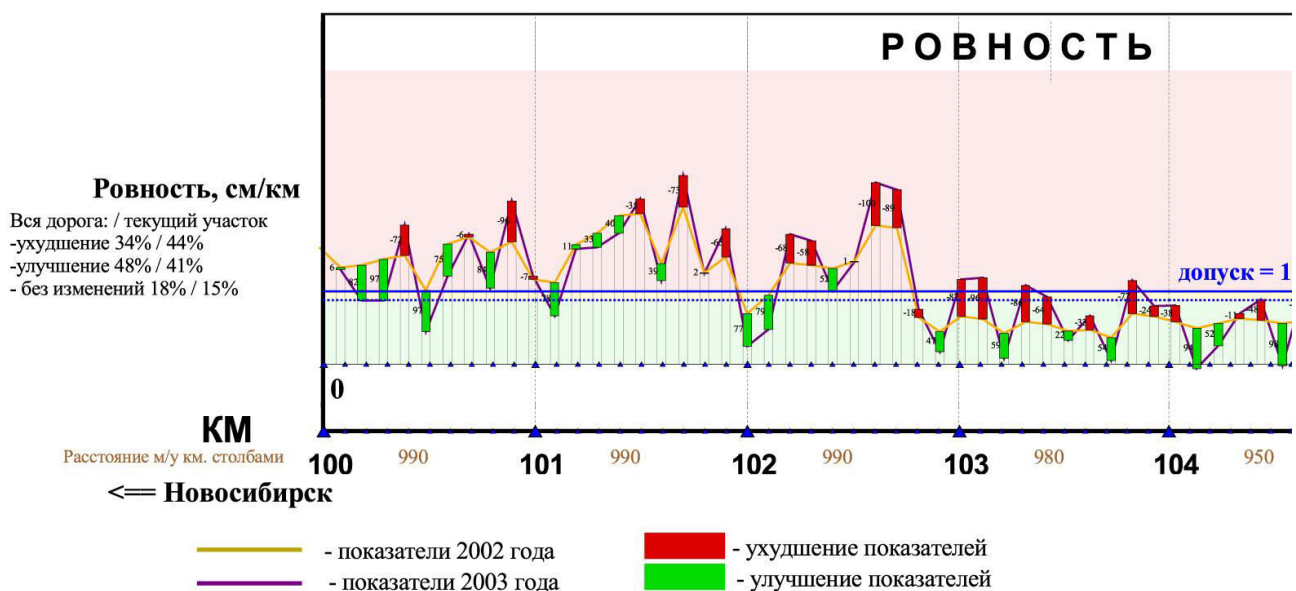


Рис. 2. Динамика изменения параметров (фрагмент по ровности)

Другой проблемой, которую необходимо решать для обеспечения единства измерений является повышение точности измерения диагностических параметров. Точность должна обеспечивать определение динамики изменения параметров до 1%. С учетом критерия ничтожного влияния, погрешность измерений не должна

превышать 0.25, для минимального диапазона это составит 0.25%. Паспортная погрешность на диагностические приборы составляет 1 - 5%. Очевидно, что при динамике изменения параметров менее 4%, с учетом критерия ничтожного влияния, однозначно определить величину этих изменений невозможно. Исследования диагностической аппаратуры показали, что погрешность измерений по «внутренней» сходимости (повторяемости результатов) составляет 0.2% - 0.5% в зависимости от измеряемого параметра, т.е. в несколько раз меньше паспортных данных. Обеспечить высокую точность измерений можно за счет создания эталонного метрологического базиса (ЭМБ). ГУ ТУАД Новосибирской области совместно со СГУПС и НЦСМ создали и аттестовали метрологический базис по параметрам: «ровность», «коэффициент сцепления», «модуль упругости», «поперечные уклоны», «продольный профиль» и «длина участка». ЭМБ используется для калибровки аппаратуры непосредственно перед выполнением измерений на объекте. Эта методика позволяет максимально исключить систематическую составляющую погрешности измерения диагностических параметров.

Таким образом, единство измерений обеспечивается за счет приведения расстояний к одному значению на коротких отрезках, например, между километровыми знаками и калибровке диагностической аппаратуры для определения ухода нуля и изменения масштабных коэффициентов на ЭМБ до и после измерений на объекте. Такой подход позволяет получать максимально объективные данные о техническом состоянии автомобильных дорог и обеспечивает расчет для перспективного планирования.

На участках автомобильных дорог запланированных по результатам диагностики для ремонтных работ необходимо выполнить изыскательские работы.

НИДЦ СГУПС по инициативе ГУ ТУАД НСО разработал технологию и приборы для автоматизации изыскательских работ при проектировании ремонта. Создан аппаратно-программный комплекс, позволяющий в автоматическом режиме выполнять съемку проезжей части и обочин. В состав комплекса входят GPS – приемники геодезического класса точности, гироскопическая система (ГС) определения координат и программное обеспечение. Состав аппаратуры определен, исходя из требований к точности определения геометрических параметров автомобильных дорог и измерительной аппаратуры, особенностей формирования погрешности измерений, дискретности съема информации и других факторов.

Не раскрывая теоретических основ работы спутниковой аппаратуры позиционирования и гироскопических систем, рассмотрим принципиальную схему формирования погрешности измерений. Соотношение случайной и систематической составляющих погрешности определения координат в зависимости от времени, пройденного расстояния, траектории движения, характер их формирования у спутниковой аппаратуры и гироскопических систем отличаются принципиально. Так у спутниковых приемников погрешность определения координат является случайной и высокочастотной. У гироскопических систем преобладает низкочастотная систематическая



составляющая, которая характеризуется «уходом» оси гироскопа. Комплексная обработка данных GPS и гироскопической системы позволяет повысить точность определения координат X, Y, H в 1.5-2 раза. Получаемые данные обеспечивают качественное проектирование капитального ремонта с использованием САПР. Координаты вычисляются через 2см., фильтруются и для проектирования выдаются с дискретом 1метр и более, что позволяет проектировать выравнивающий слой на самых сложных участках дороги. На рис. 3 приведен участок автомобильной дороги, визуализация которого выполнена по цифровой модели комплекса, включающего, спутниковую аппаратуру позиционирования и гироскопическую систему.

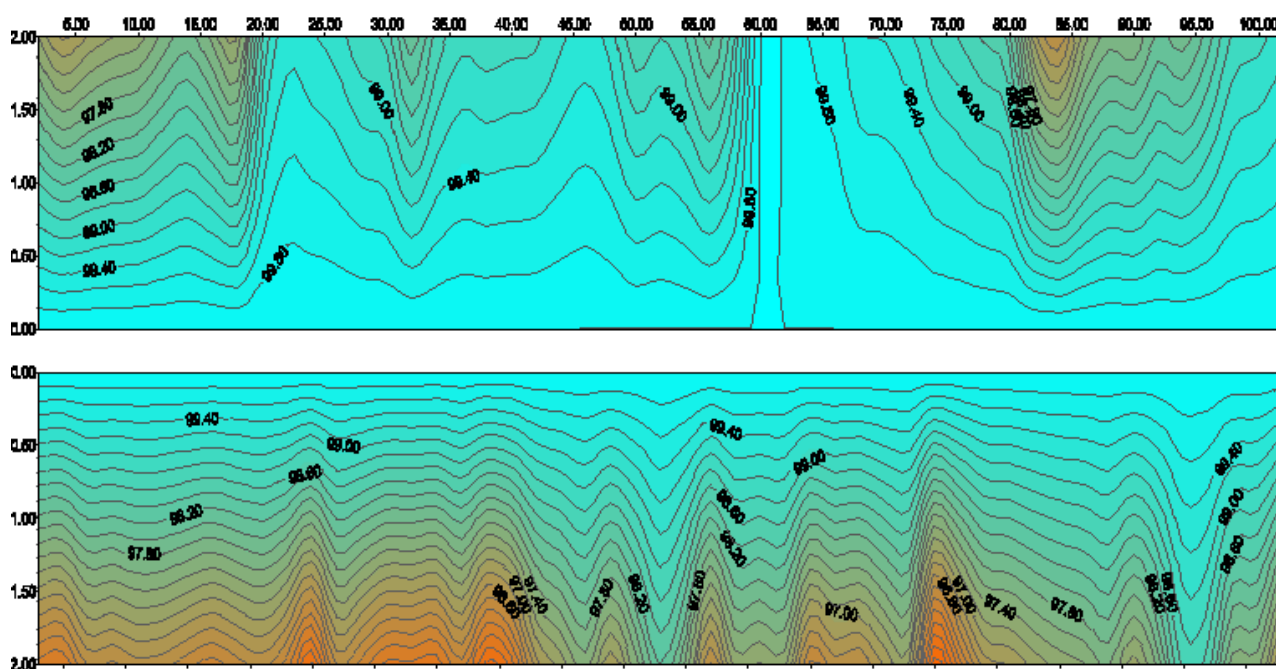


Рис. 3. Фрагмент микрорельефа проезжей части

В 2004 году с использованием данной технологии выполнена съемка 130км автомобильных дорог для проектирования капитального ремонта по заданию ГУ ТУАД НСО и 10км на объектах ФУАД «Сибирь». Проектирование ремонта выполнил Новосибирский филиал ГипродорНИИ. В настоящее время на проектных участках выполняются ремонтные работы. Основными преимуществами разработанной в СГУПС технологии является:

- Высокая производительность работ;
- Высокая детализация съемки;
- Высокая точность измерений;
- Возможность выполнения работ при интенсивном движении;
- Безопасность изыскателей при выполнении работ;
- Возможность оценки фактических объемов затраченных на ремонт дороги.

Разработанная аппаратура и технология не имеют аналогов в РФ, и в дальнейшем это научное направление будет интенсивно развиваться.

Это позволит повысить детализацию съемки и производительность работ. Стоимость комплекса (спутниковая аппаратура позиционирования, гироскопическая система и программный продукт) составляет 1500 тыс. рублей. Стоимость 1км изыскательских работ для проектирования ремонта при использовании комплекса по фактическим данным 2004г в 5 раз дешевле по отношению к традиционным способам.

Автоматизация изыскательских работ позволяет полностью автоматизировать проектно – изыскательские работы ремонта автомобильных дорог.

Таким образом, полученный опыт при проведении диагностики и назначении ремонтных работ показывает, что диагностика должна проводиться регулярно в соответствии с требованиями нормативных документов. Это позволит максимально объективно выполнять перспективное планирование, назначать ремонтные работы, что в конечном итоге обеспечит рациональное использование ограниченных финансовых ресурсов и продлит срок службы дорог.

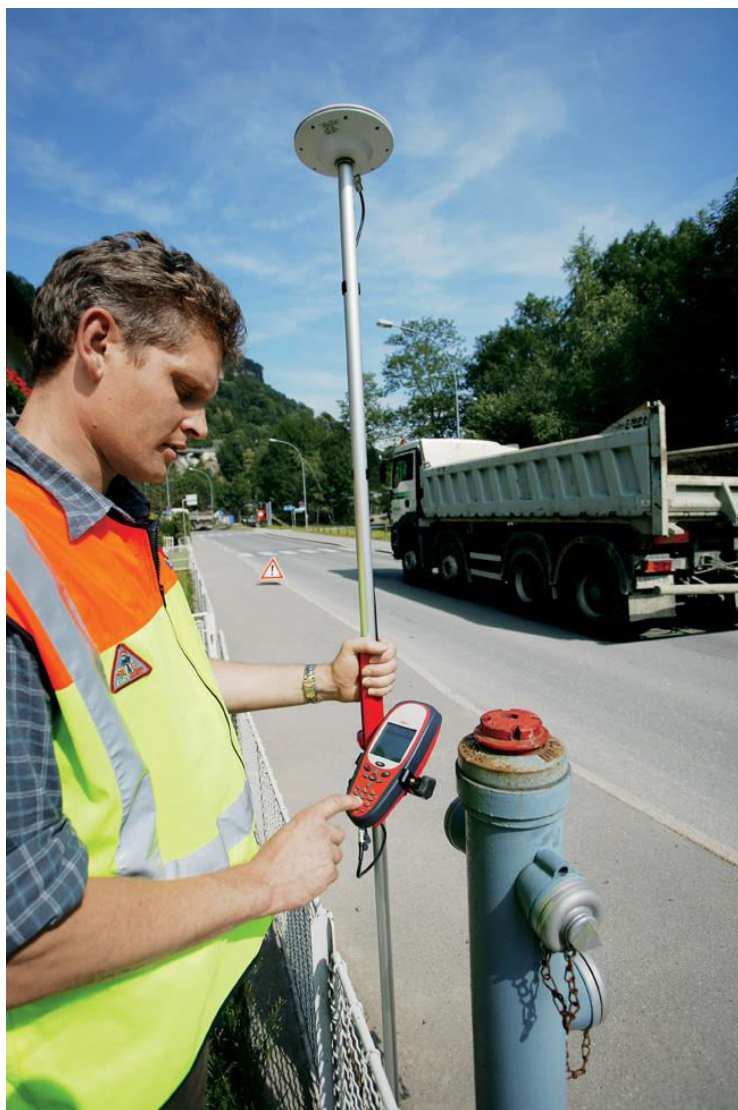
© М.Ю. Буланов, А.В. Конкин, В.В. Щербаков, В.Н. Васеха, 2005

УДК 528.5:629.783

О.В. Евстафьев

ООО «Лейка Геосистемз», Москва

**LEICA GS20 SURVEYOR УНИВЕРСАЛЬНОЕ GPS РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГИС И  
ГЕОДЕЗИИ**



Спутниковая система глобального позиционирования (GPS), появившись в конце прошлого столетия и обладая известными преимуществами перед традиционными оптическими средствами измерений, предоставила геодезистам совершенно новые возможности по определению пространственных координат. Компания Leica Geosystems является признанным мировым лидером в области создания и производства спутникового оборудования и предлагает широкий спектр GPS решений для геодезии, маркшейдерии, кадастра, ГИС и других областей человеческой деятельности. Компания Leica всегда была и остается новатором решений в области спутникового позиционирования. В 1984 году Leica представила первый компактный, герметичный

геодезический GPS инструмент – приемник WM101 GPS Surveyor. В 1992 году приемники Leica System 200 используется для первой GPS съемки на горе Эверест (высота 8846.10 метров). В 1996 году Leica разработала первую высокоточную сеть базовых станция для измерений в режиме реального времени для проекта Oresund. В 1999-м Leica Geosystems представила System 500 и становится первой компанией, предлагающей GPS геодезического качества для сбора ГИС данных. В 2003-м Leica Geosystems выпустила GS20 PDM, первый DGPS персональный приемник субметровой точности без кабельных соединений. И в 2004-м Leica Geosystems представила GS20 SURVEYOR, первый персональный приемник с геодезическими и ГИС возможностями.

***GS20 SURVEYOR это простой, и в то же время мощный GPS приемник.*** GS20 SURVEYOR фирмы Leica Geosystems, размером с персональный GPS приемник, имеет мощные возможности и достаточную гибкость для выполнения широкого круга геодезических работ. Накопитель GPS данных Leica GS20 SURVEYOR снабжен простым в использовании, защищенным 12-канальный одночастотным спутниковым приемником с мощным набором функций для решения различных геодезических задач. GS20 SURVEYOR способен выполнять

точные измерения в режимах «статика» и «кинематика», собирать данные в режиме реального времени, используя сигналы спутников SBAS (Satellite Based Augmentation Systems), таких как WASS и EGNOS и многое другое.

#### Многофункциональный

GS20 SURVEYOR разработан для наземных геодезических съемок и решения текущих производственных задач. Программное обеспечение приемника предоставляет простой интерфейс с интуитивной рабочей средой, делая GS20 SURVEYOR легким для изучения и использования. Все это не в убыток функциональности или целостности, требуемой пользователями GPS.

GS20 SURVEYOR может быть настроен для выполнения различных производственных задач и использован как геодезический GPS приемник для выполнения измерений в режимах «статика» и «кинематика», как базовая GPS станция или как простой навигатор для поиска геодезических пунктов. Также он может использоваться для сбора ГИС данных с описаниями и атрибутами объектов. В добавок вы можете расширить функциональность приемника в любое время, подсоединив к нему различные внешние измерительные устройства через серийный порт или Bluetooth. Дополнительно возможно использование сигналов береговых маяков, подключение мобильных GSM телефонов и других устройств для измерений в режиме реального времени. Меню GS20 SURVEYOR содержит несколько прикладных программ, которые могут быть использованы для различных вычислений и получения оптимальных результатов. Гибкость данного устройства дает возможность вам справляться с набором таких задач как:

- Определение координат опорных пунктов;
- Топографическая съемка;
- Поиск утерянных пунктов;
- Создание геодезических GPS сетей;
- Управление имуществом;
- Сбор ГИС данных.

#### Полностью готовый к работе

GS20 SURVEYOR поставляется стандартно с программным обеспечением Leica Geo Office. Это самое мощное программное обеспечение для обработки GPS данных в отрасли, снабженное дружелюбным интерфейсом и предоставляющее все необходимые средства для управления, отображения, обработки, импорта и экспорта данных приемника GS20 SURVEYOR.

Приемник GS20 SURVEYOR оснащен дисплеем с высоким разрешением, и его можно использовать в любых условиях освещенности. Клавиатура в стиле мобильного телефона обеспечивает интуитивный ввод данных, и съемная перезаряжаемая батарея питания гарантирует работу приемника в поле так долго, как необходимо. Поскольку GS20 SURVEYOR это портативный приемник, он компактен и транспортабелен.

Компания Leica предлагаем комплекты из одного и двух приемников GS20 SURVEYOR, которые содержат все необходимые аксессуары для начала работ.

Высокоточная и прочная GPS антенна включена в комплект. Она чрезвычайно хорошо отслеживает сигналы спутников GPS в трудных условиях.

*Еще и перспектива*

GS20 SURVEYOR - это решение для множества задач, стоящих перед геодезистами. Приемник GS20 SURVEYOR это новейшее предложение для выполнения интенсивных съемок и сбора ГИС данных, объединяющее легкость в использовании, прочность и мощные функции с проверенной GPS технологией Leica Geosystems. Известные во всем мире за безошибочность и скрупулезность сотрудники компании Leica Geosystems предоставляют пользователям GS20 SURVEYOR технологическое превосходство на ближайшее столетие.

© О.В. Евстафьев, 2005

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

Горизонтальные деформации земной коры, кроме использования непосредственно измеренных величин геодезических построений [1], также определяются на основе анализа координат пунктов, определенных геоспутниковыми измерениями. Так как наблюдаемые изменения являются следствием взаимных смещений пунктов геометрических построений, то наиболее простым путем определения деформаций является сравнение координат одноименных пунктов, вычисленных по измерениям разных эпох. При этом обработка каждой отдельной эпохи измерений выполняется по обычной схеме уравнивания традиционных линейно-угловых, триангуляционных или современных спутниковых сетей. В результате уравнивания получают две реализации сети, соответствующие обработанным эпохам измерений. По полученным разностям координат строят векторы смещений пунктов, которые и должны отражать происшедшие деформации земной коры. Такой простой и широко распространенный подход имеет ряд недостатков. К первому недостатку нужно отнести всем известный факт получения векторов смещений пунктов из разности координат, отнесенных разным эпохам реализации, и поэтому сравниваемые эпохи измерений следует обрабатывать в единой во времени системе координат. В связи с этим возникает проблема стабильности геодезических пунктов, которыми реализуется данный подход и имеет первостепенное значение при определении деформаций. Для обеспечения требуемого условия следует правильно выбирать место закладки исходных геодезических пунктов, где смещения маловероятны, привлекая для этого данные геолого-геоморфологического и др. не геодезического характера. Вторым недостатком являются случайные ошибки привязки к исходному направлению (в случае обработки триангуляции) или исходным пунктам (в случае обработки спутниковых пространственных построений) создают кажущиеся развороты и масштабные деформации всего геодезического построения. Данное обстоятельство наиболее ярко отражаются векторами смещений, величины которых прямо пропорциональны расстоянию от исходного пункта.

В случаях, когда вышеупомянутые ошибки явно просматриваются можно использовать достаточно эффективный способ их исключения методом совмещения под условием минимума суммы квадратов расхождений координат одноименных пунктов двух реализаций геодезической сети, и определение отсюда предварительных поправок за различие масштабов и ориентировки сравниваемых реализаций. Найденные поправки будут содержать также смещения некоторых геодезических пунктов, но при сравнительно малом количестве последних эти пункты могут быть последовательно исключены на основании анализа максимальных расхождений координат. Совмещение под указанным условием оставшихся стабильных пунктов позволит уточнить

взаимную ориентировку и масштаб сравниваемых реализаций, а затем получить уточненные векторы смещений для исключенных пунктов.

Данный метод с успехом может быть использован в тех случаях, когда зоны возможных деформаций известны из различных косвенных данных (магнитуда землетрясений, эпицентр) и носит название метода трансформирования, разработанного Гельмертом в связи со вставкой триангуляционных сетей без базиса и азимута в систему жестких пунктов.

Таким образом, каждая из реализаций сети рассматривается в виде жёсткого каркаса, которые должны быть совмещены путём наложения без какого-либо изменения их конфигураций, но с возможным изменением линейного масштаба одного из них.

Чтобы получить аналитические выражения для параметров трансформирования [2] поставим задачу найти зависимость между координатами точек относительно начальной и координатами тех же точек относительно текущей эпох координат. Формулы, которые выражают эту зависимость, называются формулами преобразования декартовых прямоугольных координат на плоскости.

Предположим, что декартова прямоугольная система координат текущей эпохи  $O'x'y'$  отличается от старой прямоугольной системы координат  $Oxy$  как положением начала координат, так и направлением осей.

Мы рассматриваем только такие системы координат, у которых направление оси абсцисс совмещается с направлением оси ординат поворотом на угол  $90^0$  в положительном направлении. Обозначим через  $(x, y)$  координаты некоторой произвольной точки  $P$  относительно системы  $Oxy$ , через  $x', y'$  – координаты той же точки относительно системы  $O'x'y'$ . Пусть  $x_0 y_0$  – координаты нового начала  $O'$  относительно старой системы,  $\alpha$  – угол оси  $O'x'$  с осью  $Ox$  (см. рис. 1).



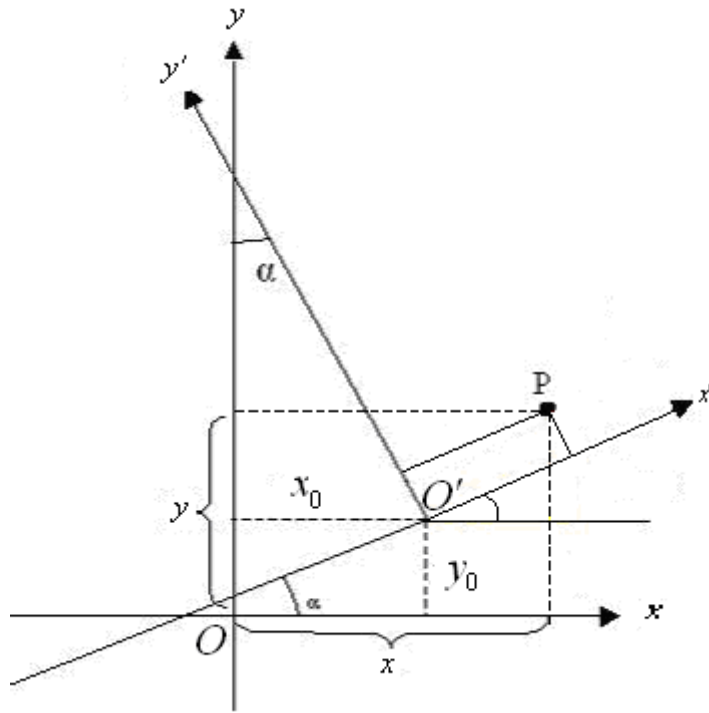


Рис. 1

Из аналитической геометрии известно, что координаты произвольной точки  $P$  в системе  $Oxy$  выражаются через её координаты  $O'x'y'$  в штрихованной системе следующими формулами:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + x' \cos \alpha - y' \sin \alpha \\ y &= y_0 + x' \sin \alpha - y' \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

в данном выражении угол  $\alpha$  отсчитывается от оси абсцисс против часовой стрелки.

Если линейный масштаб в заштрихованной системе отличается от используемого в системе  $Oxy$ , т. е. единицы измерения  $x$  и  $x'$  различны, то формулы (1) должны быть записаны в виде

$$\begin{aligned} x &= x_0 + mx' \cos \alpha - my' \sin \alpha \\ y &= y_0 + mx' \sin \alpha - my' \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

где произведения  $mx'$  и  $my'$  приводят длины отрезков, измеренных в масштабе штрихованной системы, к масштабу исходной.

Если считать взаимные развороты систем координат незначительными то приведенные формулы можно привести более простому виду, положив  $\cos \alpha \approx 1$  и  $\sin \alpha \approx \alpha$ , а для подчеркивания малости угла  $\alpha$  обозначим его  $d\alpha$ , далее представим масштаб  $m$  в виде  $m = 1 + d\mu$ , где  $d\mu$  малая величина по сравнению с 1. тогда выражение (2) перепишем в виде

$$\begin{aligned} x &= x_0 - (1 + d\mu)y'(d\alpha) + (1 + d\mu)x' \\ y &= y_0 + (1 + d\mu)x'(d\alpha) + (1 + d\mu)y' \end{aligned} \quad (3)$$

отсюда получаем разность координат



$$\begin{aligned}x - x' &= x_0 - y'(d\alpha) + (d\mu)x' \\ y - y' &= y_0 + x'(d\alpha) + (d\mu)y'\end{aligned}\quad (4)$$

выражение (4) можно использовать в качестве уравнений погрешностей, позволяющих определять интересующих нас параметры трансформирования  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $d\alpha$ ,  $d\mu$ .

Следует заметить, если бы координаты пунктов трансформируемых сетей различались только за счет используемых систем координат, то было бы достаточно использовать два пункта, чтобы однозначно определить все параметры трансформирования и трансформированные координаты точно совпали бы с исходными.

В данном случае предполагается, что совмещаемые жёсткие каркасы геодезических сетей несколько различаются своей конфигурацией, что на практике вызвано влиянием ошибок измерения, а также возможными реальными смещениями пунктов. Поэтому точного совмещения двух реализаций сети быть не может, и оно выполняется под указанным выше условием. Таким образом, трансформированные координаты, далее  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ , будут отличаться от исходных координат  $x$ ,  $y$ , и их разности содержат информацию о происшедших деформациях.

Продолжая определение параметров трансформирования, составим нормальные уравнения, которые имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}nx_0 + [x'_i] \cdot (d\mu) - [y'_i] \cdot (d\alpha) - [(x - x')_i] &= 0 \\ ny_0 + [y'_i] \cdot (d\mu) - [x'_i] \cdot (d\alpha) - [(y - y')_i] &= 0 \\ -[x'_i] \cdot x_0 - [y'_i] \cdot y_0 - \left\{ [x_i'^2] + [y_i'^2] \right\} \cdot (d\mu) + \left\{ [x'_i \cdot (x - x')_i] + [y'_i \cdot (y - y')_i] \right\} &= 0 \\ -[y'_i] \cdot x_0 - [x'_i] \cdot y_0 + \left\{ [x_i'^2] + [y_i'^2] \right\} \cdot (d\alpha) + \left\{ [y'_i \cdot (x - x')_i] + [x'_i \cdot (y - y')_i] \right\} &= 0.\end{aligned}\quad (5)$$

Здесь  $n$  – число пунктов, по которым выполняется трансформирование. Рассматривая эти уравнения можно перенести начало системы штрихованных координат в центр тяжести сети трансформируемых пунктов,

$$\begin{aligned}x'_i - \frac{[x'_i]}{n} &= \bar{x}_i \\ y'_i - \frac{[y'_i]}{n} &= \bar{y}_i\end{aligned}\quad (6)$$

тогда нормальные уравнения значительно упростятся и примут вид:

$$\begin{aligned}n \cdot \bar{x}_0 - [(x - \bar{x}')_i] &= 0 \\ n \cdot \bar{y}_0 - [(y - \bar{y}')_i] &= 0 \\ -\left\{ [\bar{x}_i'^2] + [\bar{y}_i'^2] \right\} (d\mu) + \left\{ [\bar{x}'_i \cdot (x - \bar{x}')_i] + [\bar{y}'_i \cdot (y - \bar{y}')_i] \right\} &= 0 \\ \left\{ [\bar{x}_i'^2] + [\bar{y}_i'^2] \right\} (d\alpha) - \left\{ [\bar{x}'_i \cdot (y - \bar{y}')_i] - [\bar{y}'_i \cdot (x - \bar{x}')_i] \right\} &= 0.\end{aligned}\quad (7)$$

Отсюда получим

$$\begin{aligned}\bar{x}_0 &= \frac{\left[ (x - \bar{x}')_i \right]}{n}, \quad \bar{y}_0 = \frac{\left[ (y - \bar{y}')_i \right]}{n}, \\ d\mu &= \frac{\left[ \bar{x}'_i \cdot (x - \bar{x}')_i \right] + \left[ \bar{y}'_i \cdot (y - \bar{y}')_i \right]}{\left[ \bar{x}'_i^2 \right] + \left[ \bar{y}'_i^2 \right]}, \\ d\alpha &= \frac{\left[ \bar{x}'_i \cdot (y - \bar{y}')_i \right] + \left[ \bar{y}'_i \cdot (x - \bar{x}')_i \right]}{\left[ \bar{x}'_i^2 \right] + \left[ \bar{y}'_i^2 \right]}\end{aligned}\quad (8)$$

Параметры  $\bar{x}_0$  и  $\bar{y}_0$  определяют положение изменённого, в соответствии с (6) начала координат трансформируемой сети.

Теперь в окончательном виде формулы трансформирования координат будут:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \bar{x}' + \left\{ \bar{x}_0 - \bar{y}' \cdot (d\alpha) + (d\mu) \cdot \bar{x}' \right\} \\ \bar{y} &= \bar{y}' + \left\{ \bar{y}_0 + \bar{x}' \cdot (d\alpha) + (d\mu) \cdot \bar{y}' \right\}\end{aligned}\quad (9)$$

Таким образом, алгоритм вычислений в методе трансформирования может быть таким:

Вычисляются средние значения пунктов, подлежащих трансформированию. В данном случае используются координаты только тех пунктов, по которым выполняется трансформирование.

По формулам (6) вычисляются координаты  $\bar{x}'_i$  и  $\bar{y}'_i$  для жестких пунктов трансформируемой сети.

Параметры трансформирования вычисляются по формулам (8).

По параметрам трансформирования и значениями  $\bar{x}'_i$  и  $\bar{y}'_i$  вычисляем трансформированные координаты  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$ .

Затем по разностям исходных и трансформированных координат жестких пунктов вычисляется средняя квадратическая величина этих разностей, совместно вычисляется трансформированные координаты для остальных пунктов. Полученные разности исходных и трансформированных координат жестких пунктов будут характеризовать их стабильность.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н.П. Есиков. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности. М., Наука, 1979.
2. [http://openedu.ministry.ru/math\\_phys/N\\_Book/glava8.htm](http://openedu.ministry.ru/math_phys/N_Book/glava8.htm).

© П.Р. Торосян, 2005

УДК 528.2

А.Н. Клепиков

СГГА, Новосибирск

#### О КАЛИБРОВКЕ АНТЕНН GPS

В настоящее время количество потребителей, которым нужна все более высокая точность GPS-определений, растет. Повышаются и требования к точности GPS-измерений. Состав ошибок GPS-измерений, в общем, давно

понятен. Но, вследствие повышения требований, некоторые из них начинают исследовать заново, возвращаются на новом витке точности к уже изученным влияниям и ошибкам.

Одной из этих ошибок хотелось бы коснуться в данном обзоре, а именно: изменение положения фазового центра антенны (PCV) GPS-приемника.

Изменения PCV определялись и анализировались в лабораторных экспериментах с самого начала применения GPS. Первые работы были опубликованы 20 лет назад. Однако на практике обычно использовались одинаковые антенны с одинаковой ориентировкой, на коротких расстояниях, поэтому влияние PCV было незначительно.

Использование разных типов антенн и измерения на очень больших расстояниях по спутникам, находящимся на разных высотах очень удалённых станций привело к необходимости обеспечивать поправками за PCV. Сообщалось об абсолютных калибровках в безэховых камерах и их анализе[2]. Значения абсолютных PCV, получаемые из сравнительно дорогих лабораторных калибровок, на практике не дают удовлетворительных результатов. Это привело к введению полевых методик для калибровок антенн. В этих простых полевых калибровках зависящие от высоты изменения PCV оцениваются от некоторой опорной антенны. Предполагается, что для опорной антенны смещения нулевые и зафиксированы на предопределённых значениях. Критическим фактором в методиках относительных калибровок является многопутность, и была попытка минимизировать её влияние путём выбора места и усреднением по времени. Тем не менее, повсюду применяемые поправки за PCV оцениваются по упрощённым полевым калибровкам.

При сравнениях относительных и абсолютных PCV возникает эффект в глобальных сетях, который представляет масштабную ошибку примерно  $15 \cdot 10^{-9}$ . На основе результатов методик измерений, других, а не GPS, считалось, что абсолютные PCV являются источником этой ошибки. Цена исследования PCV в лаборатории тормозила доскональные исследования. Wübbena et al. [1] первые предположили полевые абсолютные калибровки антенн и обсудили недостатки относительной методики. Эксперименты показали, что абсолютные PCV можно исключить как случай так называемых ошибок масштабирования в глобальных сетях. Теперь необходимы новые исследования других источников ошибок, таких как антенны спутников и тропосферы. Текущие сравнения абсолютных лабораторных калибровок с абсолютными полевыми калибровками, а также сравнения с относительными PCV подтверждают общую правильность абсолютных PCV.

До сих пор рассматривались зависящие от высоты изменения PCV, касающиеся как самых больших влияний на высотные компоненты, так и азимутальные PCV, чтобы сделать их меньше на порядок. Улучшение в разрешении, точность и надёжность, полученные из абсолютных полевых калибровок, показывают, однако, что некоторые типы антенн имеют значительные азимутальные изменения сравнимой величины, которые должны учитываться, особенно в RTK применениях.

Можно показать, что также одинаково необходимы абсолютные значения PCV для точных методов GPS с применяемыми антеннами на коротких расстояниях.

Полное описание поведения приёма фазы антенны состоит из опорной точки антенны (ARP), марки “север”, данных для обеих частот для среднего положения фазового центра от ARP и PCV для L1 и L2 относительно данного смещения.

#### *Автоматическая абсолютная полевая калибровка в реальном времени*

В уравнениях наблюдений GPS влияние зависящих от станции компонент ошибок (PCV и многопутности) на первый взгляд разделить невозможно. Основной принцип абсолютной полевой калибровки заключается в разделении, и, таким образом, в определении или исключении различных индивидуальных источников ошибок. Поэтому выбор неразностного метода вычислений в GPS представляется наилучшим выбором для обработки. Исключение многопутности из процедуры калибровки является обязательной задачей для определения точных и надёжных PCV.

В разностях по звёздным суткам ошибка многопутности исключается, или, по крайней мере, уменьшается, насколько это возможно, поскольку идентичные условия многопутности существуют в наблюдениях двух дней (из-за повторения созвездия спутников). Разности PCV между статическими наблюдениями на опорный день и наблюдения с развёрнутой или наклонной ориентировкой на второй день используются как входные данные для определения PCV с использованием специального гармонического анализа. Через изменения в ориентировке между двумя днями наблюдений PCV можно определить и отделить от эффектов многопутности. Любое влияние опорной антенны удаляется полностью, поскольку никаких изменений в ориентировки не происходило.

Неразностные уравнения наблюдений образуют основу для процесса калибровки в реальном времени. Чтобы оценить параметры многопутности как стохастического процесса в дополнение к стандартным параметрам уравнивания GPS для коротких расстояний, используется корреляция высоты в эффектах многопутности между последовательными эпохами. Быстрые изменения ориентировки калибровочного робота позволяет разделить эффекты от PCV и многопутности.

Калибровка в реальном времени требует быстрых изменений в ориентировке с помощью робота. Дополнительно необходима всесторонняя калибровка самого робота с помощью наблюдений теодолитом, чтобы обеспечить определение положений антенны с точностью 0.2-0.3 мм. Поэтому вначале кажется, что процесс достаточно дорогой.

С другой стороны, автоматизация приносит дополнительные преимущества. С роботом наблюдения выполняются в нескольких тысячах точно определённых положений. Результаты пост-обработки показывают, что для высокого разрешения и точности определения PCV необходимо огромное число положений.

Полное среднее из различных ориентировок в калибровке находится между 6000 и 8000, в зависимости от времени и созвездия спутников. В частности,

можно точно и надёжно определить азимутально-зависимые PCV. Одна калибровка занимает всего несколько часов. В дополнение, автоматизируется программа измерений, и текущее созвездие спутников учитывается для оптимизации охвата, времени наблюдений и ожидаемой точности PCV. Динамично применяемая маска высоты использует только спутники над  $18^\circ$  и даже выше для наклонных положений. Всесторонний и однородный охват полусферы антенны достигается по наблюдениям в горизонте (наклоненная антенна).

На рис. 1 представлена антенна DM\_T, установленная на роботе для абсолютной полевой калибровки в реальном времени.



Рис. 1. DM\_T антенна установленная на роботе

Программы наблюдений изменяются и поэтому уменьшают возможность систематических ошибок. Калибровка заканчивается, когда достигается полный охват антенной полусферы (с наблюдениями обычно на каждые  $5^\circ$ ).

Прекрасная повторяемость была доказана [1] через дальнейшие сравнения калибровок разных типов антенн с различными роботами, на разных станциях и в разное время суток (различия в калибровках роботов, многопутности, погоде, созвездии, программах измерений, окружении станции и её конструкции), и всё подтвердило высокое качество PCV, выведенных подобным образом, а также их независимость от станции, на которой размещалась антенна.

*Требования к точности поправок PCV*

Точность калибровок антенны неотделимо от оценки смещения и PCV, но она выводится совместно для PCV и смещения. Это очевидно, если рассмотреть передачу ошибок и ионосферно-свободную линейную комбинацию L0 для оценки влияния смещения антенны (offset) и PCV на определение положения из GPS. Стандартное отклонение для L0 от PCV почти в три раза больше, чем для L1 и L2. Для фиксирования (определения) положения в периоде высокой ионосферной активности требуется обязательно комбинация L0. Часто оказывается, что отдельные точности от 1 до 2 мм для смещения на L1 и L2, а так же от 1 до 2 мм в PCV на L1 и L2. С такими значениями стандартные отклонения в PCV для комбинации L0 лежат в пределах от 4 до 7 мм.

Влияние на точность GPS позиционирования определяется через стандартное отклонение в положении  $s_p$  и стандартное отклонение измерений фазы  $s_R$ , вместе с мерой спутниковой геометрии PDOP в виде

$$s_p = s_R \cdot PDOP.$$

При PDOP от 1 до 3 неопределённости в PCV дают рост ошибок в позиционировании в пределах от 4 до 21 мм. Для высокоточных применений эта точность неудовлетворительна. Поэтому для определения объединенного смещения и PCV требуется наилучшая возможная точность. Часто также ставится вопрос, нужна ли калибровка каждой отдельной антенны, или общая калибровка для типа антенн. То же самое применимо к расхождениям между отдельными антеннами.

Требования к точности PCV нужно рассматривать для всего диапазона высот. Некоторые приложения GPS требуют использования масок высоты с наклоненными роверными антеннами или утончённым тропосферным моделированием, где требуются углы  $5^\circ$  над горизонтом и ниже. Поэтому представляет интерес величины PCV вплоть до горизонта антенны, и на следующих графиках никакие углы отсечки по высоте не используются.

### *Заключение*

Абсолютная полевая калибровка PCV в реальном времени является операционной процедурой с высоким разрешением для компонент, зависящих от азимута и высоты. Была продемонстрирована повторяемость на антенне с азимутально зависимыми PCV. Были обсуждены требования к точности калибровки антенн. Чтобы исключить неопределённости в фиксировании координат GPS, качество определения суммы влияний от смещения (offset) и PCV должно определённо иметь стандартное отклонение лучше, чем 1 мм. Для высокоточных работ и особенно для точных применений в реальном времени обязательно нужны калибровки для каждой антенны.

Из представленных здесь примеров ясно, что PCV антенны можно определить через детальное исследование посредством соответствующей калибровки с высоким разрешением и точностью. Факторы, влияющие на характеристики PCV, слишком сложны для того, чтобы описать их более общим образом. Было показано в [1], что значительные изменения вызываются (1) непосредственной близостью к антенне UHF антенн, (2) формой корпуса антенны, (3) деталями конструкции купола, (4) наличием отсекавателя.

В настоящее время прокалибровано 109 типов антенн, 787 уникальных антенн, 3403 индивидуальные калибровки. Многие доступны в Geo++.

Развитие метода абсолютной полевой калибровки и надёжное определение абсолютных PCV открывает новые перспективы для будущих исследований. В ближайшие годы будут тщательно исследоваться ошибки многопутности и тропосферные влияния, важно только отделить их от PCV эффектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wubben G., Schmitz M., Menge F., Boder V. and Seeber G. /Automated absolute field calibration of GPS antennas in real-time [text] // Proceeding of the ION GPS-2000 13<sup>th</sup> International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation, Salt Lake City, 2000 – Англ.
2. Teunissen P.J.G. GPS for geodesy [text]. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (Eds.). / P.J.G. Teunissen, Y. Bock, G. Beutler et al. - Berlin: Springer, 1998. - 650 p. – Англ.
3. Schmitz M. Tests of phase center variations of various GPS antennas, and some results [text] / M. Schmitz, G. Wubben, G. Boettchiv // GPS Solutions, Vol. 6, No. 1-2. - 2002. - P. 18-27. - Англ.
4. Mader G.L. A Comparison of Absolute and Relative GPS Antenna Calibrations. [text] // GPS Solutions, Vol. 4, No. 4. - 2001. - P. 37-40. - Англ.
5. Mader G.L. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey. [Электронный доступ]. – Режим доступа: <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/> - 2004. - Англ.

© А.Н. Клепиков, 2005

УДК 521.93

Э.Р. Мирмахмудов, Д.Ш. Фазилова

Астрономический институт АН РУ, Ташкент

#### **СИНГУЛЯРНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ МАТРИЦЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЯ КООРДИНАТ ОПОРНОЙ ТОЧКИ GPS СТАНЦИИ В КИТАБЕ**

В последние годы активно развивается единая мировая информационная система наблюдений за деформацией и движениями земной коры. Сети астрономо-геодезических, гравиметрических и геофизических пунктов на геодинамических полигонах служат постоянными реперами для проведения геодезического контроля, определения линейных функций гравитационного поля Земли и моделирования деформаций земной коры. Решение этих задач требует определения точных трехмерных позиций пунктов в определенной системе координат. Система координат, связанная с Землей, остается непостоянной и испытывает определенное смещение. Выявление этого смещения приводит к проблеме создания каталогов координат и тектонических опорных станций. Эти смещения в настоящее время определяются с помощью приборов, ведущих непрерывную запись – мареографов, наклономеров, экстенсометров. Однако появление высокоточных навигационных приборов существенно повысило точность определяемых координат. Пункты навигационных станций должны быть объектом постоянного изучения при построении спутниковой геодезической сети. Одной из опорных точек спутниковой геодезической сети Узбекистана предполагается выбрать астрометрическую станцию в Китабе.

С начала 90-х годов прошлого века Китабская станция действует как опорный пункт геодинимической сети IGS (International GPS Service for Geodynamics) и постоянная точка сети DORIS. На основе получаемых GPS и DORIS данных можно решать задачу исследования собственного движения станции на более коротких интервалах времени и определения периода осцилляции с течением времени.

В данной работе проведено предварительное исследование основных составляющих временных рядов, полученных по GPS наблюдениям на Китабской станции за период 1994 - 2000 гг.[1,2].

В основе метода лежит анализ главных компонент, который является ядром факторного анализа. Процедура исследования одномерного временного ряда  $F=(f_0.....f_{N-1})$  длины  $N$  начинается с преобразования его в многомерный ряд (процедура вложения). Траекторная матрица представлена ниже:

$$X = (x_{ij})_{i,j=1}^{L,K} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & \dots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & \dots & f_K \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & \dots & f_{N-1} \end{pmatrix} \quad (1)$$

После соответствующей нормировки вычисляется корреляционная матрица  $S=XX^T$ . Если обозначить  $\lambda_1... \lambda_L$  собственные числа матрицы  $S$ , взятые в неубывающем порядке, и  $U_1...U_L$  – ортонормированную систему собственных векторов матрицы  $S$ , соответствующие собственным числам,  $d=\max\{i, \text{таких что } \lambda_i > 0\}$ ,  $V_i = X^T U_i / \sqrt{\lambda_i}$ , то сингулярное разложение матрицы  $X$  может быть записано как

$$X = X_1 + \dots + X_d \quad (2)$$

где

$$X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T \quad (3)$$

Набор  $\sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$  есть тройка сингулярного разложения (2). Собственные векторы  $U_i$  корреляционной матрицы выступают в роли передаточных функций соответствующих фильтров.

Существует два подхода для решения задачи определения скорости движения станций: по глобальной матрице, как это выполняется в аналитических центрах, и по сериям временных рядов. Для Китабской станции важно знать движение станции относительно выбранной эпохи. Определение скорости движения станции произведено по второму методу на основе полученных временных рядов со станции GPS. Позиция точки на поверхности может быть выражена как

$$X(t) = X_0 + v_0(t - t_0) + \sum_i \Delta X_i(t) \quad (4)$$

где  $\Delta X_i$  –коррекция за счет различных временных изменений,  $X_0$  и  $v_0$  соответственно позиция и скорость на эпоху  $t_0$ .

Ниже в табл. 1 приведены результаты вычисления составляющих скоростей и направление движения станции Китаб за период 1994 – 2000 гг.



Таблица 1. Скорость и направление движения станции Китаб (KIT3)

| Точка | $A, ^\circ$ | $V_x, \text{мм/г}$<br>$\sigma_{V_x}, \text{мм}$ | $V_y, \text{мм/г}$<br>$\sigma_{V_y}, \text{мм}$ | $V_z, \text{мм/г}$<br>$\sigma_{V_z}, \text{мм}$ | $V_{cp}, \text{мм/г}$<br>$\sigma_{V_{cp}}, \text{мм}$ |
|-------|-------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| KIT3  | 86.84       | 1.6<br>0.2                                      | 29.6<br>0.4                                     | -1.6<br>0.5                                     | 29.6<br>0.4                                           |

Для указанного интервала времени выявлены закономерности сингулярного разложения исходных рядов (рис. 1).

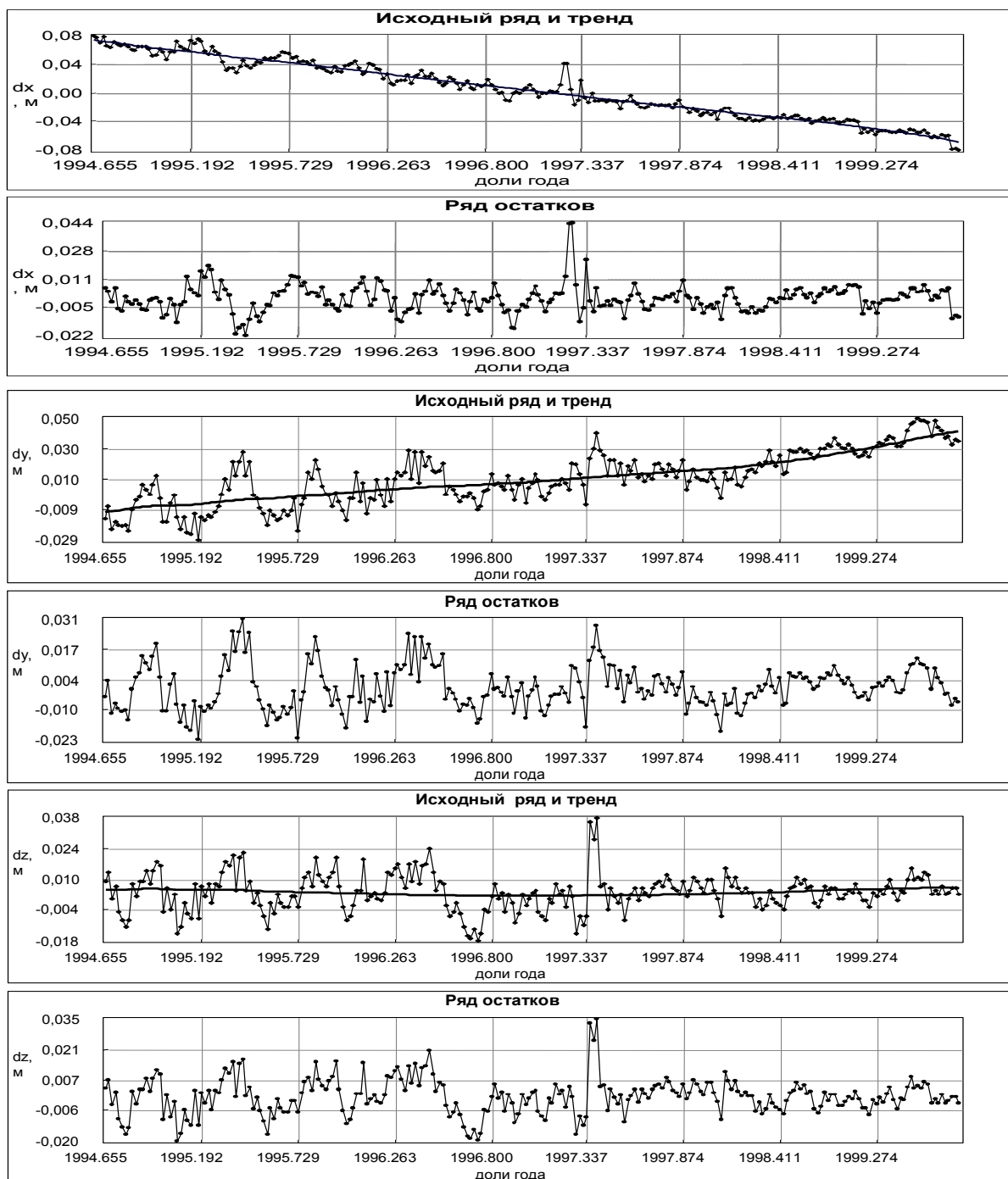


Рис. 1. Исходный временной ряд КИТЗ, тренд и остаток после снятия тренда

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов Д.Л., Жиглявский А.А. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница»// Сб. СПбГУ, 1997,- 308 с.
2. Golyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A.. Analysis of Time series Structure: SSA and Related Techniques. Chapman & Hall/CRC. 2001. 305 p.

© Э.Р. Мирмахмудов, Д.Ш. Фазилова, 2005

## СВЯЗЬ ЛОКАЛЬНОЙ И СУБПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМ КООРДИНАТ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Для упрощения вывода формул в методе конечных элементов введём так называемый субпараметрический конечный элемент и субпараметрическую систему координат  $\xi, \eta, \zeta$ , в которой координаты узлов принимают только нулевые и единичные значения. В субпараметрическом элементе грань 1-4-5-2 перпендикулярна грани 1-4-6-3, грань 1-2-3 параллельна грани 4-5-6 (рис. 1).

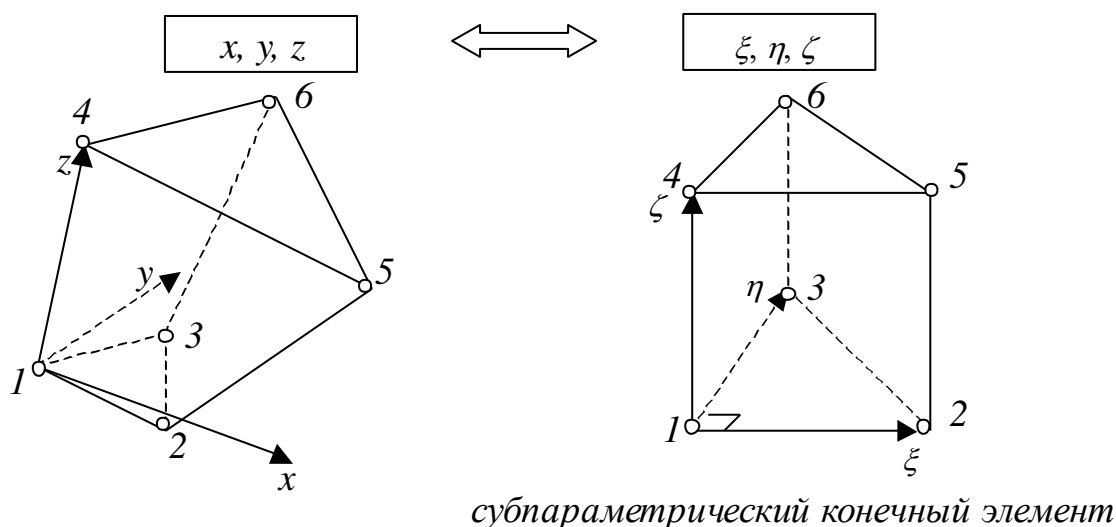


Рис. 1. Локальная и субпараметрическая системы координат

Начало системы координат  $\xi, \eta, \zeta$  находится в узле 1. Ось  $\xi$  совмещена с ребром 1-2, ось  $\eta$  – с ребром 1-3, а ось  $\zeta$  – с ребром 1-4.

Формулы перехода представим в виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= \bar{\alpha}_0 + \bar{\alpha}_1 \xi + \bar{\alpha}_2 \eta + \bar{\alpha}_3 \zeta + \bar{\alpha}_4 \xi \zeta + \bar{\alpha}_5 \eta \zeta ; \\ y &= \bar{\beta}_0 + \bar{\beta}_1 \xi + \bar{\beta}_2 \eta + \bar{\beta}_3 \zeta + \bar{\beta}_4 \xi \zeta + \bar{\beta}_5 \eta \zeta ; \\ z &= \bar{\gamma}_0 + \bar{\gamma}_1 \xi + \bar{\gamma}_2 \eta + \bar{\gamma}_3 \zeta + \bar{\gamma}_4 \xi \zeta + \bar{\gamma}_5 \eta \zeta . \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для вычисления по этим формулам необходимо определить неизвестные коэффициенты  $\bar{\alpha}_i, \bar{\beta}_i, \bar{\gamma}_i$ , где  $i = 0, 1, \dots, 5$ . Коэффициенты могут быть определены по значениям координат узлов в локальной и субпараметрической системах координат (см. табл. 1).

Таблица 1. Координаты узлов в локальной и субпараметрической системах

| Номера узлов | Локальные координаты |       |       | Субпараметр. координаты |         |         |
|--------------|----------------------|-------|-------|-------------------------|---------|---------|
|              | $x,$                 | $y,$  | $z$   | $\xi,$                  | $\eta,$ | $\zeta$ |
| 1            | 0                    | 0     | 0     | 0                       | 0       | 0       |
| 2            | $x_2$                | 0     | $z_2$ | 1                       | 0       | 0       |
| 3            | $x_3$                | $y_3$ | $z_3$ | 0                       | 1       | 0       |
| 4            | 0                    | 0     | $z_4$ | 0                       | 0       | 1       |
| 5            | $x_5$                | 0     | $z_5$ | 1                       | 0       | 1       |
| 6            | $x_6$                | $y_6$ | $z_6$ | 0                       | 1       | 1       |

Для определения шести неизвестных коэффициентов в первом уравнении выражения (1) составим систему из шести уравнений (по одному в каждом узле) с учетом данных в табл. 1:

$$\left. \begin{aligned} 1) x_1 &= 0 = \bar{\alpha}_0; \\ 2) x_2 &= \bar{\alpha}_1; \\ 3) x_3 &= \bar{\alpha}_2; \\ 4) x_4 &= 0 = \bar{\alpha}_3; \\ 5) x_5 &= \bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_3 + \bar{\alpha}_4; \\ 6) x_6 &= \bar{\alpha}_2 + \bar{\alpha}_3 + \bar{\alpha}_5; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Из первых четырех уравнений находим

$$\bar{\alpha}_0 = 0, \quad \bar{\alpha}_1 = x_2, \quad \bar{\alpha}_2 = x_3, \quad \bar{\alpha}_3 = 0. \quad (3)$$

Из пятого и шестого уравнений

$$\bar{\alpha}_4 = x_5 - x_2, \quad \bar{\alpha}_5 = x_6 - x_3. \quad (4)$$

Таким же образом составляется система из шести уравнений для определения коэффициентов  $\beta_i$  во втором уравнении (1)

$$\left. \begin{aligned} 1) y_1 &= 0 = \bar{\beta}_0; \\ 2) y_2 &= 0 = \bar{\beta}_1; \\ 3) y_3 &= \bar{\beta}_2; \\ 4) y_4 &= 0 = \bar{\beta}_3; \\ 5) y_5 &= 0 = \bar{\beta}_1 + \bar{\beta}_3 + \bar{\beta}_4; \\ 6) y_6 &= \bar{\beta}_2 + \bar{\beta}_3 + \bar{\beta}_5; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из первых четырех уравнений получим

$$\bar{\beta}_0 = \bar{\beta}_1 = \bar{\beta}_3 = 0; \quad \bar{\beta}_2 = y_3. \quad (6)$$

Из пятого и шестого уравнений

$$\bar{\beta}_4 = 0; \quad \bar{\beta}_5 = y_6 - y_3. \quad (7)$$

Аналогично, путём составления системы шести уравнений определяем неизвестные коэффициенты  $\gamma_i$  в третьем уравнении (1)

$$\left. \begin{aligned} 1) z_1 = 0 = \bar{\gamma}_0; \\ 2) z_2 = \bar{\gamma}_1; \\ 3) z_3 = \bar{\gamma}_2; \\ 4) z_4 = \bar{\gamma}_3; \\ 5) z_5 = \bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_3 + \bar{\gamma}_4; \\ 6) z_6 = \bar{\gamma}_2 + \bar{\gamma}_3 + \bar{\gamma}_5. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из первых четырёх уравнений, следует

$$\bar{\gamma}_0 = 0; \bar{\gamma}_1 = z_2; \bar{\gamma}_2 = z_3; \bar{\gamma}_3 = z_4. \quad (9)$$

Из пятого и шестого уравнений

$$\bar{\gamma}_4 = z_5 - z_2 - z_4; \bar{\gamma}_5 = z_6 - z_3 - z_4. \quad (10)$$

Для преобразования координат, найденные по формулам (3), (4), (6), (7), (9), (10) коэффициенты подставляются в выражения (1). Если не выписывать члены с нулевыми коэффициентами, то формулы (1) примут вид

$$\left. \begin{aligned} x &= \bar{\alpha}_1 \xi + \bar{\alpha}_2 \eta + \bar{\alpha}_4 \xi \zeta + \bar{\alpha}_5 \eta \zeta; \\ y &= \bar{\beta}_2 \eta + \bar{\beta}_5 \eta \zeta; \\ z &= \bar{\gamma}_1 \xi + \bar{\gamma}_2 \eta + \bar{\gamma}_3 \zeta + \bar{\gamma}_4 \xi \zeta + \bar{\gamma}_5 \eta \zeta. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Для получения формул обратного преобразования воспользуемся формулами прямого преобразования (11). Из второго выражения (11) следует

$$\eta = \mu y, \quad (12)$$

где  $\mu = 1/(\beta_2 + \beta_5 \zeta)$ .

Подставив (12) в первую формулу (11) выразим  $\xi$

$$\xi = (x - \sigma \cdot \eta) \kappa, \quad (13)$$

где  $\sigma = \bar{\alpha}_2 + \bar{\alpha}_5 \zeta$ ,  $\kappa = 1/(\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_4 \zeta)$ .

Подставим выражения (13) и (12) в третью формулу (11), получим кубическое уравнение

$$a \zeta^3 + b \zeta^2 + c \zeta + d = 0, \quad (14)$$

где  $a = \bar{\alpha}_4 \bar{\beta}_5 \bar{\gamma}_3$ ;

$b = (\bar{\alpha}_1 \bar{\beta}_5 + \bar{\alpha}_4 \bar{\beta}_2) \bar{\gamma}_3 + \bar{\beta}_5 \bar{\gamma}_4 x + (\bar{\alpha}_4 \bar{\gamma}_5 - \bar{\alpha}_5 \bar{\gamma}_4) y - \bar{\alpha}_4 \bar{\beta}_5 z$ ;

$c = \bar{\alpha}_1 \bar{\beta}_2 \bar{\gamma}_3 + (\bar{\beta}_5 \bar{\gamma}_1 + \bar{\beta}_2 \bar{\gamma}_4) x + (\bar{\alpha}_1 \bar{\gamma}_5 - \bar{\alpha}_5 \bar{\gamma}_1 + \bar{\alpha}_4 \bar{\gamma}_2 - \bar{\alpha}_2 \bar{\gamma}_4) y -$   
 $- (\bar{\alpha}_1 \bar{\beta}_5 + \bar{\alpha}_4 \bar{\beta}_2) z$ ;

$d = \bar{\beta}_2 \bar{\gamma}_1 x + (\bar{\alpha}_1 \bar{\gamma}_2 - \bar{\alpha}_2 \bar{\gamma}_1) y - \bar{\alpha}_1 \bar{\beta}_2 z$ .

Необходимо заметить, что коэффициент  $a$  не зависит от локальных координат.

Разделим кубическое уравнение на коэффициент  $a$ , тогда оно приобретет канонический вид [1]:

$$\zeta^3 + r \zeta^2 + s \zeta + t = 0, \quad (15)$$

где  $r = b/a$ ,  $s = c/a$ ,  $t = d/a$ .

Выполнив в уравнении (15) замену неизвестного

$$\bar{\zeta} = \zeta + r/3, \quad (16)$$

получим приведённое уравнение:

$$\bar{\zeta}^3 + p\bar{\zeta} + q = 0,$$

$$\text{где } p = \frac{3s - r^2}{3}, \quad q = \frac{2r^3}{27} - \frac{rs}{3} + t.$$

Решение приведённого уравнения найдём следующим образом. Положим, что

$$\rho = \sqrt{-p^3/27}, \quad \cos(\varphi) = -q/(2\rho),$$

тогда решением будут три корня

$$\bar{\zeta}_1 = 2(\rho)^{\frac{1}{3}} \cos\left(\frac{\phi}{3}\right);$$

$$\bar{\zeta}_2 = 2(\rho)^{\frac{1}{3}} \cos\left(\frac{\phi}{3} + \frac{2}{3}\pi\right);$$

$$\bar{\zeta}_3 = 2(\rho)^{\frac{1}{3}} \cos\left(\frac{\phi}{3} + \frac{4}{3}\pi\right).$$

В соответствии с этим из уравнения (16) следуют три значения одного неизвестного  $\zeta$

$$\zeta_i = \bar{\zeta}_i - r/3.$$

Из трёх значений  $\zeta_i$  выбирается то, которое находится в интервале от нуля до единицы и имеет действительное значение. Подставляя найденное значение координаты  $\zeta$  в выражения (12) и (13) находим искомые координаты  $\eta$  и  $\xi$  в субпараметрической системе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

© А.В. Елагин, 2005

## СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

На протяжении нескольких последних лет в практику топографо-геодезического производства внедряется технология наземного лазерного сканирования.

В основу трехмерных лазерных сканеров (ТЛС) положен принцип безотражательного измерения расстояний. Принципиально схему ТЛС можно представить в виде двух блоков (рис. 1): лазерного дальномера и сканирующего модуля или блока развертки лазерного луча. Лазерный дальномер адаптирован для высокой частоты измерений и позволяет измерять расстояния до точек объекта импульсным, фазовым или триангуляционным методом. Сканирующий модуль представляет собой оптико-механическую систему, которая позволяет отклонять луч лазера в заданном направлении, а также измерять с высокой точностью значения горизонтальных и вертикальных углов приемо-передающего тракта дальномера.

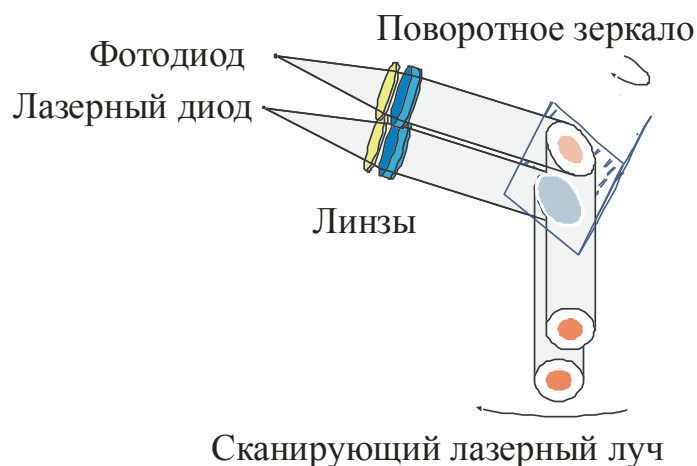


Рис. 1. Принципиальная схема лазерного сканера

В простейшем случае принцип работы лазерного сканера состоит в следующем. Источник лазерного излучения генерирует импульс, который проходит через систему линз и зеркал и направляется в сторону объекта. Сигнал, отраженный от объекта, фиксируется приемником, с помощью микрокомпьютера вычисляется расстояние от сканера до объекта. Изменяя направление лазерного луча можно получить информацию о каждой точке объекта.

Результатом сканирования является совокупность точек с известными трехмерными координатами и величиной, которая характеризует коэффициент отражения точек объекта. В некоторых моделях сканеров существует возможность получения информации о реальном цвете каждой точки. Скорость получения данных в зависимости от модели сканера составляет от нескольких тысяч до сотен тысяч точек в секунду. Лазерные сканеры, работающие по

такому принципу, позволяют оперативно получать трехмерные модели статичных объектов неразрушающим бесконтактным методом.

Преимущества, которые дает технология лазерного сканирования, вполне очевидны (в плане получения и обработки информации и в отношении конечных результатов), но, как и с внедрением любой другой новой технологии, возникает ряд проблем технического и организационного характера.

Первоочередной проблемой использования новых измерительных средств в топографо-геодезическом производстве является их метрологическая аттестация. Точность наземных лазерных сканеров определяется привычными для геодезистов характеристиками: точностью измерения расстояний и точностью измерения вертикальных и горизонтальных углов. Кроме того, на точность результатов лазерного сканирования огромное влияние оказывают такие факторы, как: максимальное угловое разрешение сканера (или шаг сканирования), расходимость лазерного луча, условия окружающей среды при сканировании, положение, геометрические характеристики и отражающая способность объекта сканирования, технология и алгоритмы обработки данных. Проблема состоит в том, что:

1. В документации большинства моделей сканеров отсутствует какая либо информация о рабочих поверках и методиках исследования точностных характеристик прибора. Большая часть производителей ограничивается предоставлением своих сертификатов и гарантий;

2. Для существующих моделей сканеров отсутствуют готовые единые методики исследования точности их работы.

Поэтому ряд независимых институтов ведут самостоятельные разработки по оценке точности работы наземных лазерных сканеров [1, 2, 3, 4].

Из-за отсутствия единого стандарта наземные лазерные сканеры, выпускаемые на сегодняшний момент, достаточно сильно отличаются по конструктивным особенностям реализации: методом измерения расстояний, способом защиты от внешних воздействий, формой, размером, весом, наличием устройств для внешнего ориентирования и компенсации углов наклона прибора, выходными данными и т.п. Все это влияет на важные характеристики ТЛС: точность получения пространственных координат точек объекта, угол поля зрения, дальность действия, угловое разрешение и скорость сканирования, класс безопасности, влаго- и пыленепроницаемость, температурный режим работы, транспортабельность, энергопотребление. Особо следует отметить различия в технологии сканирования: способ ориентирования сканера во внешней системе координат (с помощью специальных марок или ориентирного устройства), порядок работы на станции, отсутствие или наличие возможности многопроходного сканирования и осреднения результата, различные методы фильтрации помех и др.

Другая проблема использования ТЛС заключается в отсутствии готовых методик и технологий для обработки данных сканирования. Существующие программные продукты, предназначенные для обработки трехмерной лазерной съемки (Cyclone (Leica Geosystems HDS), 3Dipsos и RealWorks Survey (MENSI), I-Site (I-SiTE), RapidForm (INUS), GeoMagic Studio (RainDrop GeoMagic) и др.),



в большинстве своем адаптированы для решения узкоспециализированных задач, и перед потребителем стоит проблема выбора программного обеспечения, наиболее соответствующего достигаемым результатам. Проблема усугубляется тем, что алгоритмы, реализованные в существующих программах обработки данных наземного лазерного сканирования, не исследованы на предмет качества и точности построений и являются закрытыми.

Сложность внедрения технологии лазерного сканирования также обусловлена тем, что большинство геоинформационных систем (ГИС) не предназначено для обработки трехмерных моделей объектов. В лучшем случае параметр третьего измерения (высоты) учитывается как атрибут в базе данных, что значительно ограничивает спектр решаемых задач. Системы автоматизированного проектирования уже давно решают задачи в трехмерном пространстве, но их возможностей недостаточно для выполнения сложного пространственного анализа, присущего ГИС. Этот факт частично обуславливает то, что потребитель топографо-геодезической продукции не готов к использованию трехмерной информации. Наличие третьего измерения должно увеличить сложность и количество решаемых задач, по меньшей мере, на порядок, но обычно трехмерная модель объекта воспринимается пользователем как дополнительное средство визуализации и представления результата. Естественно, при таком подходе потребитель не согласен платить за трехмерную съемку.

Другим важным фактором, сдерживающим использование лазерных сканеров, является отсутствие специалистов, как в области получения информации, так и ее обработки. В России два высших образовательных учреждения, занимающихся подготовкой инженеров-геодезистов, но ни в одном из них не ведется целевая подготовка специалистов в области трехмерной лазерной съемки, хотя и проводятся научно-исследовательские работы по ее применению для решения прикладных задач. Частично это вызвано недостаточным финансированием со стороны государства, инертностью образовательных программ и невостребованностью таких специалистов на производстве.

И последним моментом является отсутствие нормативной базы по трехмерной съемке объектов. Существующие ГОСТы, стандарты и правила устанавливают жесткие требования по типу и содержанию сдаваемой топографо-геодезической продукции, не регламентируя представление результата в трехмерном виде.

Таким образом, по существу вопроса можно сделать следующие выводы:

1. Технология наземного лазерного сканирования активно реализуется на рынке услуг. В большей степени она развивается геодезическими ВУЗами России, фирмами, продающими лазерные сканеры, рядом крупных компаний, отдельными подразделениями нефтегазодобывающей отрасли.

2. Рынок насыщен лазерными сканерами, имеющими различное устройство, точность, производительность. Однако сами приборы недостаточно испытаны пользователями, некоторые из них очень чувствительны к внешним условиям и температуре.

3. Остро стоит проблема определения реальной точности различных типов приборов и их метрологической аттестации. Об этом должны позаботиться как фирмы - производители и продавцы, так и органы Госстандарта. Возникла острая необходимость подготовки методических разработок в данной области.

4. Применение трехмерных сканеров сдерживается рядом причин: недостаточным количеством нормативных документов, предписывающими создание трехмерных моделей, психологической неготовностью к ним заказчиков.

5. Наиболее сложным процессом в технологии трехмерного лазерного сканирования является обработка измерений и построение трехмерных векторных моделей. Данный процесс является в настоящее время наиболее трудоемким и дорогостоящим. Необходимо в России в ближайшее время создать группы программистов, которые могут разрабатывать программы обработки для конечного пользователя.

6. Лазерные сканеры, как мощное средство измерений, могут эффективно применяться не только для построения трехмерных моделей, но и для получения традиционных материалов съемки. При этом можно существенно повысить точность, качество, производительность и достоверность результатов, а это очень важно, особенно для сложных производств, сложных условий и т.п.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ingensand H., Ryf A., Schulz T. Performances and experiences in terrestrial laser scanning. Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, pp 236-243, Zrich, Switzerland, September 22-25, 2003
2. Iavaronea A., Martina E. Calibration verification facilities for long range laser scanners. Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, pp 268-278, Zrich, Switzerland, September 22-25, 2003
3. W. Boehler, M. Bordas Vicent, A. Marbs Анализ точности лазерных сканирующих систем. Доклад на XIX симпозиуме CIPA, Анталья, Турция (30 сентября - 4 октября 2003). [электронный ресурс]: сайт фирмы Г.Ф.К. – Режим доступа <http://www.gfk-leica.ru/scan/testir.htm>
4. Комиссаров А. В. Исследование точности наземных лазерных сканеров. Современные проблемы технических наук [Текст]. Сб. тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. студен. конф. «Интеллектуальный потенциал Сибири». Ч. 3. – Новосибирск, 2004. – 104 с.

© В.А. Середович, Д.В. Комиссаров, 2005

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ И МЕТОДИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ**

Перед использованием любых измерительных средств необходимо выполнить их исследование и калибровку. Для этих целей в геодезическом и фотограмметрическом производстве применяют тест-объекты, тестовые полигоны и контрольно-измерительные средства [1, 2, 3]. При исследовании точности наземных лазерных сканеров также используются контрольные образцы [4, 5, 6]. В качестве тест-объектов могут выступать как реальные, так и искусственные объекты, созданные в камеральных или в полевых условиях [5].

Для исследования точности наземных трехмерных лазерных сканеров в настоящее время существует два основных подхода. Первый подход, предложенный Institute of Geodesy and Photogrammetry (ETH Zürich), заключается в определении инструментальных ошибок, связанных с работой отдельных блоков прибора [4]. Второй подход основывается на использовании различных тест-объектов и тестовых полигонов аналогично, как при калибровочных испытаниях фотограмметрических средств [5, 6].

При определении инструментальных ошибок наземных лазерных сканеров исследуется соответствие геометрического расположения осей сканера требованиям, заложенным в основе конструкции прибора (например, параллельность, перпендикулярность, прямолинейность и т. д.).

Наземный трехмерный лазерный сканер является системой, включающей в себя непосредственно прибор и программное обеспечение, которое может учитывать некоторые из ошибок в координатах точек скана при получении окончательных данных. В связи с этим наиболее эффективным является способ определения точности трехмерных лазерных сканеров, который основан на оценивании ошибок не отдельно самого прибора, а системы «инструмент-управляющее программное обеспечение» по результатам сканирования. Измеряемыми величинами при сканировании являются расстояние, вертикальный и горизонтальный углы, с помощью которых определяются пространственные координаты точек объекта. Поскольку для некоторых моделей сканеров выходными данными являются только вычисленные пространственные координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , то для этих приборов также целесообразнее исследовать систему «сканер-управляющее программное обеспечение».

Для исследования точности наземных трехмерных лазерных сканеров предложен тест-объект, который представляет собой набор геометрических примитивов (шар, куб, цилиндр, конус и плоскость) различных размеров. При этом известными величинами будут являться параметры, характеризующие положение, ориентацию и размер объектов (пространственные координаты центра и радиус для шара, координаты восьми вершин для куба, положение и ориентация оси для цилиндра и т.д.). Примитивы одинаковой формы должны располагаться на различном расстоянии от сканера. Кроме этого, тест-объект

должен включать специальные марки и связующие шары или цилиндры для внешнего ориентирования и подсоединения сканов. Размеры данного тест-объекта должны составлять примерно 100 м в ширину и 150 м в длину, чтобы обеспечить проведение исследований в пределах всего диапазона действия современных наземных лазерных сканеров. Сущность исследования заключается в сканировании данного тест-объекта с нескольких сканерных точек (позиций), после чего задача обработки результатов заключается в определении параметров геометрических примитивов. По разностям между полученными и истинными значениями параметров, характеризующих форму, размер, положение и ориентацию геометрических примитивов, можно судить о точности построения трехмерной модели объектов.

Для решения избыточного количества уравнений с целью определения параметров каждого геометрического примитива каким-либо методом необходимо выявить закон распределения ошибок измерений. В связи с этим для исследования точности трехмерных лазерных сканеров необходимо разработать тестовые полигоны или тест-объекты, при помощи которых можно выявить закон распределения ошибок.

Для решения этой задачи был предложен тест-объект, который представляет собой однородную плоскость [7]. Сущность исследования заключается в сканировании с максимальным разрешением данного тест-объекта. Затем по полученным пространственным координатам точек скана строится плоскость на основе уравнения вида

$$A \cdot X + B \cdot Y + C \cdot Z + D = 0, \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  – пространственные координаты точек в системе координат скана;

$A, B, C$  – коэффициенты, характеризующие угол наклона плоскости относительно осей координат;

$D$  – сводный член, характеризующий смещение плоскости относительно начала системы координат.

Перед реализацией данной задачи в программе выполнена оптимизация формулы (1), в результате получено уравнение:

$$X + bY + cZ + d = 0, \quad (2)$$

где

$$b = \frac{B}{A}, \quad c = \frac{C}{A}, \quad d = \frac{D}{A}. \quad (3)$$

Определение неизвестных величин  $b, c$  и  $d$  выполняется на основе уравнений (2) по методу наименьших квадратов. Затем вычисляется средняя квадратическая ошибка единицы веса по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-3}}, \quad (4)$$

где  $v_i$  – величины, характеризующие отступление точек построенной поверхности от плоскости;

$n$  – количество импульсов отраженного сигнала.

Средняя квадратическая ошибка единицы веса характеризует соответствие отсканированной поверхности плоскости.

Данный тест-объект также можно использовать для определения величины средней квадратической ошибки измерения расстояний (ее случайной составляющей) наземным лазерным сканером, по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}}, \quad (5)$$

После построения плоского объекта с использованием уравнения (2) вычисляются отстояния точек модели от плоскости по нормали на основе формулы:

$$r = \frac{1}{\sqrt{1 + b^2 + c^2 + d^2}} (X + b \cdot Y + c \cdot Z + d). \quad (6)$$

По отстояниям  $r$  определяется закон распределения случайных ошибок. Для этого строится гистограмма и выдвигается гипотеза о законе распределения случайных ошибок измерения расстояний, которая подтверждается или опровергается с помощью какого-либо критерия [8].

При исследовании точности внешнего ориентирования сканов, которое выполняется в основном при помощи специальных марок, необходимо определить оптимальную геометрию их расположения и расстояние от сканера до марок. Для этих целей был разработан тестовый полигон, показанный на рис. 1. Размер этого полигона должен выбираться в соответствии с техническими характеристиками сканера. По результатам анализа точности внешнего ориентирования сканов можно сделать рекомендации по расположению специальных марок на тест-объекте, созданном в виде примитивов.

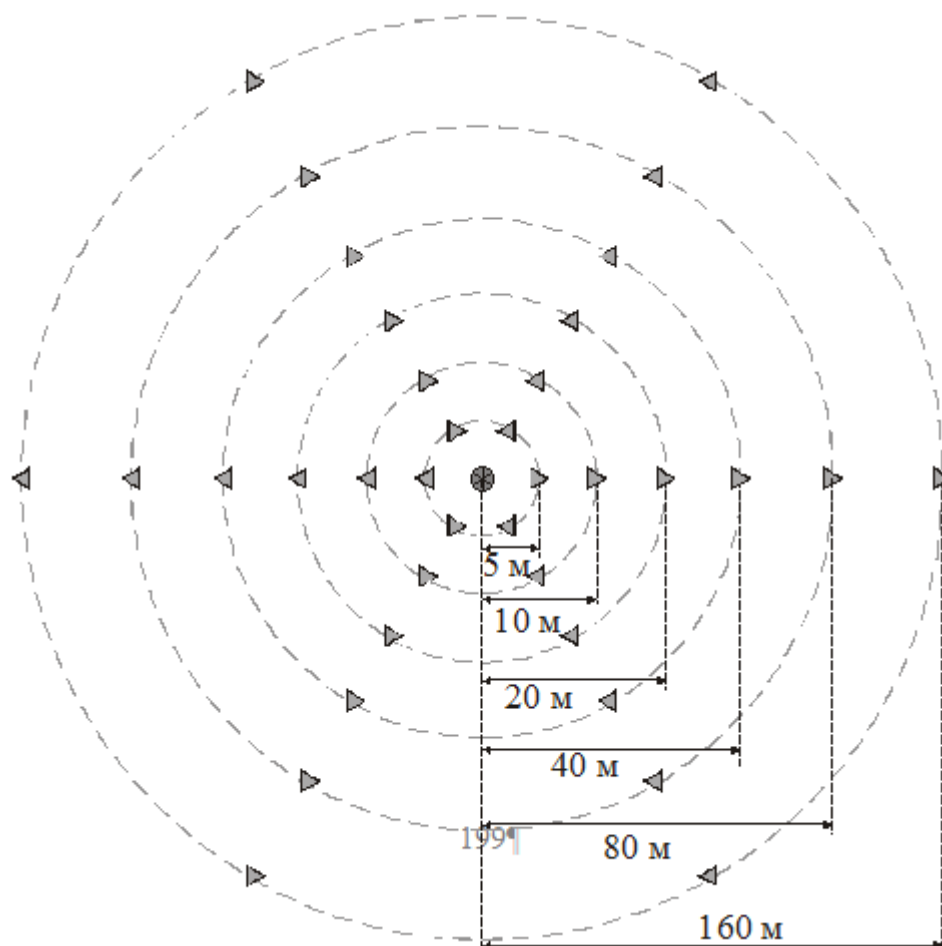


Рис. 1. Схема расположения марок радиального полигона

Радиальная схема расположения марок на тестовом полигоне выбрана по следующим соображениям. Ошибки определения пространственных координат точек объектов с помощью сканера обусловлены погрешностями измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов. Так как угол поля зрения у современных моделей сканеров составляет  $360^\circ$  в горизонтальной плоскости, то марки необходимо располагать по окружности на различных расстояниях от сканера. При такой геометрии расположения марок точность определения неизвестных при внешнем ориентировании сканов будет наиболее высокой, что позволит свести влияние методических ошибок к минимуму [7].

С целью выявления систематической составляющей и закона накопления ошибок измерения расстояний наземным лазерным сканером, на тестовом полигоне (рис. 1) вдоль одной линии располагаются пластины малого размера, представляющие собой точечные объекты. Пластины должны быть разной отражающей способности в зависимости от модели сканера, координаты которых определяются также в единой системе координат. Размер пластин определяется в зависимости от удаления каждой из них от сканера и рассчитывается по формуле:

$$a = r \times \psi, \quad (7)$$

где  $d$  – размер пластины;

$\psi$  – расходимость лазерного луча, в радианах;

● - точка стояния сканера

▲ - светоотражающие марки

$r$  – удаление пластины от сканера.

Сущность исследования заключается в сканировании пластин после определения пространственного местоположения сканера (линейных элементов внешнего ориентирования) по данным съемки радиального полигона.

После этого определяется разность расстояний между точечными объектами (пластинами) и прибором, полученных с помощью сканера и геодезическим способом, в различных комбинациях, аналогично, как и при определении постоянной поправки светодальномеров [9].

Первые пять пластин должны располагаться через 1 м, начиная с минимального расстояния, измеряемого сканером. Следующие пластины, начиная с шестой, устанавливаются через 5 м до отстояния от сканера 30 м. При удалении от сканера от 30 до 70 м – через 10 м, свыше 70 м через 20 м.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Кузьмин М. В. Поверка геодезических приборов. – М.: Недра, 1981. – с. 159.
2. Спиридонов А. И. Основы геодезической метрологии: Произ.-паркт. изд. – М.: Картогеоцентр – Геодезиздат, 2003 – 248 с.: ил.
3. Руководящий технический материал. Полигоны геодезические. Общие технические требования. РТМ 68-8.20-93. – М.: ЦНИИГАиК, 1994. – 10 с.
4. Ingensand H., Ryf A., Schulz T. Performances and experiences in terrestrial laser scanning. Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, pp 236-243, Zrich, Switzerland, September 22-25, 2003
5. Iavaronea A., Martina E. Calibration verification facilities for long range laser scanners. Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, pp 268-278, Zrich, Switzerland, September 22-25, 2003
6. W. Boehler, M. Bordas Vicent, A. Marbs Анализ точности лазерных сканирующих систем. Доклад на XIX симпозиуме СІРА, Анталя, Турция (30 сентября - 4 октября 2003). [электронный ресурс]: сайт фирмы Г.Ф.К. – Режим доступа <http://www.gfk-leica.ru/scan/testir.htm>
7. Комиссаров А. В. Исследование точности наземных лазерных сканеров. Современные проблемы технических наук [Текст]. Сб. тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. студен. конф. «Интеллектуальный потенциал Сибири». Ч. 3. – Новосибирск, 2004. – 104 с.
8. Справочник геодезиста: В 2-х книгах. Кн. 1 / Под ред. Большакова В.Д. и Левчука Г.П. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 455 с.
9. Гюнашян К.С., Мовсесян Р.А., Меграбян Х.С., Вайнберг В.Я. Результаты исследований макета светодальномера ДВСД-1200М// Геодезия и аэрофотосъемка. – 1981. – № 1. – С. 107-113.

© Т.А. Широкова, Д.В. Комиссаров, А.В. Комиссаров, 2005

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА RIEGL LMS-Z360

В последнее время при выполнении производственных работ Сибирской государственной геодезической академией широко применяется технология наземного лазерного сканирования с использованием сканера Riegl LMS-Z360, выпускаемого в Австрии. В ходе эксплуатации сканеров, как и любых других геодезических приборов, возникает износ механических узлов [1, 2], поэтому необходимо выполнить исследование факторов, влияющих на точность работы сканера, разработать методику его исследования и периодически выполнять определение точностных характеристик прибора. Для этих целей были проведены экспериментальные исследования:

- Стабильности работы блока лазерного дальномера и угломерных блоков;
- Инструментальной точности определения пространственных координат точек объектов по данным наземного лазерного сканирования;
- Влияния ориентации предмета относительно осей системы координат сканера и количества сканирований на точность определения координат точек объекта.

*Исследование стабильности работы блока лазерного дальномера и угломерных блоков сканера.* Сущность исследования заключалась в многократном сканировании светоотражающей марки и определении ее полярных координат в системе координат сканера [3]. По полученным данным построен график зависимости измеренного расстояния от времени работы инструмента. По графику было установлено, что перед началом сканирования прибор необходимо прогреть в течении 5-10 минут. По данным, полученным после прогрева сканера, устанавливалась степень стабильности работы блока лазерного дальномера с помощью уравнения прямой:

$$\Delta R_i^{изм} = a \cdot t_i + b, \quad (1)$$

где  $t_i$  – время работы сканера с момента начала до  $i$ -ого сканирования, которое определяется выражением  $t_i = i \cdot t^0$  ( $t^0$  – время сканирования марки);

$a$  – коэффициент, который определяет наклон прямой, и в данном случае будет характеризовать степень стабильности работы блока лазерного дальномера;

$b$  – свободный член;

$\Delta R_i^{изм}$  – отклонение значения измеренного расстояния (среднего на момент  $i$ -ого сканирования) от минимального для участка, где блок дальномера работает наиболее стабильно.

Эксперимент состоял из пятисоткратного сканирования светоотражающей марки при температуре окружающего воздуха 18°C, нормальном давлении и искусственном освещении. Неизвестные  $a$  и  $b$  в определены на основе уравнения (1) и результатов 266-кратного сканирования марки по методу



наименьших квадратов. Средняя квадратическая ошибка, характеризующая величину случайных ошибок измерения марки, вычислена по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \Delta R_i^{изм} - \Delta R_i^{блч} \right)^2}{k}}, \quad (2)$$

где  $\Delta R_i^{блч}$  – находится по формуле (1) после определения параметров  $a$  и  $b$ ;

$k$  – количество сканирований марки.

Аналогичные уравнения составлены для вертикального и горизонтального углов. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

*Таблица 1. Средние квадратические ошибки коэффициентов уравнения прямой*

| Характеристики  | Расстояние | Горизонтальный угол | Вертикальный угол |
|-----------------|------------|---------------------|-------------------|
| Коэффициент $a$ | -0,0000026 | -0,0000007          | -0,0000040        |
| СКО             | 0,741 мм   | 4,8"                | 54,7"             |

Из практического опыта установлено, что время работы сканера Riegl LMS-Z360 на одной станции составляет не более двух часов. Поэтому на основании данных табл. 1 можно сделать вывод, что систематическими ошибками, вызванными нестабильностью работы отдельных блоков наземного лазерного сканера, за указанный период времени можно пренебречь. Данная степень стабильности работы сканера достигалась после 236 раза сканирования светоотражающей марки, что соответствует приблизительно одному часу 11 минутам.

*Исследование точности определения пространственных координат точек объектов сканером Riegl LMS-Z360.* Эксперимент заключался в сканировании геометрической фигуры, которую можно описать математически. Для этого была выбрана плоскость. С помощью данного тест-объекта также можно определить влияние ориентации предмета относительно осей системы координат сканера на точность сканерной съемки. Плоскость сканировалась с максимальным горизонтальным ( $0,01^\circ$ ) и вертикальным ( $0,004^\circ$ ) разрешением [4] при естественном освещении и нормальном давлении. В процессе экспериментов выполнялось исследование возможности повышения точности результатов путем многократного сканирования. С этой целью тест-объект был отсканирован четыре раза и по средним значениям полученных координат точек определены параметры плоскости по методике, подробно описанной в работе [5]. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Средние квадратические и максимальные ошибки отстояния точек модели объекта от плоскости**

| Расположение<br>тест-объекта<br>относительно<br>сканирующего луча | Ошибки, мм                  |                                |                             |                                |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                                                                   | Средние квадратические      |                                | Максимальные                |                                |
|                                                                   | Однократное<br>сканирование | Четырехкратное<br>сканирование | Однократное<br>сканирование | Четырехкратное<br>сканирование |
| Перпендикулярно                                                   | 12                          | 2                              | 65                          | 20                             |
| Наклонен относительно<br>оси Z сканера                            | 12                          | 2                              | 72                          | 23                             |
| Развернут в<br>горизонтальной<br>плоскости                        | 12                          | 2                              | 63                          | 21                             |

На основе данных в табл. 2 можно сделать выводы:

- Реальная точность измерения расстояний сканером Riegl LMS-Z360 при однократном сканировании составляет 12 мм (при заявленной 6 мм);
- Точность получаемых результатов повышается при многократной съемке; ошибка измерения расстояний при четырехкратном сканировании составляет 2 мм;
- Незначительное (в пределах 20°) отклонение объекта от перпендикулярного положения относительно сканирующего луча не влияет на точность результатов при выполнении съемки сканером Riegl LMS-Z360.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геодезическое инструментоведение. Д-р-инж. Деймлих Ф. Превод с 4-го переработанного и дополненного издания. М., изд-во «Недра», 1970, стр. 584.
2. Геодезическое инструментоведение. Литвинов В. А., Лобачев В. М., Воронков Н. М. Изд-во «Недра», 1971, стр. 328.
3. Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В. Исследование точности трехмерного лазерного сканера (на примере Riegl LMS Z-360) [Текст]. – Тез. докл. IV-ой Межд. конф. и выст. «Лазерное сканирование и цифровая аэросъемка. Сегодня и завтра» – М. типогр. комп. XPortMedia, 2004г. – 32с.
4. Laser mirror scanner LMS-Z360 technical documentation and users instructions, 2002 Riegl Austria.
5. Комиссаров А. В. Исследование точности наземных лазерных сканеров. Современные проблемы технических наук [Текст]. Сб. тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. студен. конф. «Интеллектуальный потенциал Сибири». Ч. 3. – Новосибирск, 2004. – 104 с.

© А.В. Комиссаров, 2005

## ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Технология трёхмерного лазерного сканирования активно внедряется в производство и занимает достойное место рядом с классическими и устоявшимися технологиями геодезических работ. Одной из основных проблем внедрения новой технологии является наличие программного обеспечения, предназначенного для обработки результатов лазерного сканирования. На данный момент на рынке программных продуктов существует ряд пакетов, решающих задачу обработки результатов сканирования. Высокая цена и спецификация каждого программного пакета обуславливает задачу выбора наиболее удовлетворяющей поставленным целям и требованиям программы. Каждый из существующих программных продуктов обладает своими преимуществами и недостатками.

Региональный центр лазерного сканирования, находящийся в Сибирской государственной геодезической академии, провёл исследование некоторых программных продуктов, предназначенных для обработки данных наземного лазерного сканирования. Среди них:

- RealWorks Survey 4.2 (Mensi, Франция);
- Cyclone 5.1 (Cyra Technologies, США);
- RapidForm (INUS Technology, Корея).

Программное обеспечение (ПО) RealWorks survey 4.2 простой в управлении продукт, предназначенный для постобработки результатов лазерного сканирования, который обладает следующими возможностями:

- Сшивка сканов и их трансформирование во внешнюю систему координат несколькими способами: с помощью связующих марок или сфер и характерных точек объекта;
- Получение геометрических характеристик объекта сканирования (размеры, площадь, объем);
- Получение продольных и поперечных разрезов и сечений и сравнение этих данных с проектной моделью. Эта функция наиболее актуальна при съемке таких инженерных сооружений, как тоннели;
- Построение ортофотоизображений по данным лазерного сканирования. Основное применение этой функции – создание двумерных чертежей объекта, что, например, актуально при съемке фасадов зданий;
- Построение поверхности объекта в виде нерегулярной сети треугольников (Mesh-поверхность). Моделирование объекта в виде mesh-поверхности находит широкое применение при съемке объектов, которые невозможно описать в виде набора простых геометрических примитивов, например, скульптур, рельефа и т.д.;
- Импорт и экспорт в различные программы и CAD приложения в форматы: .rwp, .ppf, .soi, .asc, .txt, .iQscan, .neu, .dxf, .dwg, .dcp, .cr5, .crd.

Программный продукт Cyclone 5.1, который является одним из самых мощных инструментов для построения трехмерных векторных моделей зданий, сооружений и сложных технологических объектов. Основной модуль программы позволяет моделировать трубы, плоскости, стальные конструкции, поверхности неправильной формы и др. Одной из наиболее удобных функций программы является возможность вписывания различных геометрических примитивов в облако точек в автоматическом, полуавтоматическом и интерактивном режимах. Также имеются функции сшивки сканов, получение геометрических характеристик об объекте, импорт и экспорт в другие программы в форматы: .stl, .pts, .svu, .xyz, .bmp, .tif, .jpg, .coe, .cgp, .scan, .3dd, .dxf.

В региональном центре лазерного сканирования СГГА ПО Cyclone использовалось для построения трёхмерных моделей установки комплексной подготовки газа, электрической подстанции, станции Новосибирского метрополитена, ипподрома, биатлонного комплекса в Новосибирске. Опыт работы с программой показал ее эффективность при построении трехмерных моделей подобных объектов.

Программный продукт RapidForm также предназначен для обработки результатов лазерного сканирования и имеет ряд функций таких, как:

- Фильтрация облака точек;
- Сглаживание и разряжение облака точек;
- Построение двух и трёхмерных поверхностей с их последующим редактированием;
- Построение моделей объектов неправильной формы;
- Анализ модели и ее сравнение с проектом;
- Мощный цветовой редактор позволяющий раскрасить, нанести текстуру на материал.

Большой выбор разнообразных фильтров, прореживание точек (произвольное или равномерное с учётом кривизны поверхности), снижение «шумов» измерений, удаление или скрытие лишних точек, создание и редактирование полигонов, создание модели поверхности в виде нерегулярной триангуляционной сети, полное или частичное заполнение коллизий с учётом кривизны поверхности, интерактивное сглаживание облаков точек и построенных поверхностей, разделение и совмещение поверхностей, создание NURBS-поверхностей в автоматическом режиме делают программу RapidForm мощнейшим средством при обработке результатов лазерного сканирования объектов неправильной формы (памятников архитектуры, скульптур, рельефа, тела человека и животных и т.п.).

Дополнительными возможностями ПО RapidForm являются: мощная функция, позволяющая произвести сравнительный анализ точности построения модели и вывести отчёт в виде текстового файла, чертежей, карт поверхностей т.д.; большой выбор входных и выходных форматов файлов (.pts, .asc, .hym, .bre, .stb, .sel, .bin, .xyz, .txt, .surf, .dxf, .dwg, .cbk, .grc).

Проведенный анализ представленных программных продуктов позволяет сделать вывод, что ни одна из существующих программ обработки результатов лазерного сканирования не решает абсолютно всех проблем, связанных с трехмерным моделированием объектов и решение о приобретении того или иного ПО должно соответствовать поставленным целям и задачам.

© Д.В. Комиссаров, А.В. Иванов, 2005

УДК 528.721.221.6

Д.В. Комиссаров, А.В. Середович

СГГА, Новосибирск

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ**

В декабре 2003 года в Сибирской государственной геодезической академии был открыт Региональный центр лазерного сканирования. Основными задачами центра являются: разработка технологии лазерного сканирования, обработка результатов сканирования, выполнение работ с применением трехмерных лазерных сканеров. В настоящий момент центр располагает тремя моделями наземных лазерных сканеров: Riegl LMS-Z210, Riegl LMS-Z360 и Mensi GS200. Кроме того, имеются одиннадцать рабочих мест оснащенных мощными компьютерами и современным программным обеспечением, таким как RiSCAN PRO, AutoCAD, Cyclone, RealWorkSurvey, 3Dipsos. За прошедший со времени открытия год специалистами центра был выполнен ряд проектов, показавших высокую эффективность применения лазерного сканирования для решения различных практических задач. Основными областями применения наземного лазерного сканирования являются:

### **1. Архитектура.**

Одним из проектов, выполненным Региональным центром лазерного сканирования явилась съемка здания построенного в 1905 году и являющегося памятником архитектуры города Новосибирска. Целью сканирования этого здания являлось построение модели физической поверхности стен и передача ее в программный продукт 3D StudioMax для формирования проекта реставрации здания. Особенностью этого здания является сложная структура поверхности стен. Сканирование выполнялось сканером Riegl LMS-Z360, с использованием технологии осреднения нескольких сканов с расстояния порядка пяти метров. Сканирование трех стен здания высотой в два этажа, проводилось с четырех позиций и заняло три часа полевых работ.

### **2. Строительство.**

При проектировании вентилируемых фасадов возникает необходимость в получении точных размеров элементов фасада здания. Эти данные необходимы для нарезки фасадной плитки. Наземное лазерное сканирование позволяет по сравнению с традиционными методами в максимально короткие сроки произвести промеры всех элементов фасада. Специалистами центра было выполнено два таких проекта. Например, на съемку фасада здания длиной 80 метров и высотой в пять этажей ушло всего четыре часа.

### 3. Археология.

Совместно с Институтом археологии и этнографии СО РАН специалисты центра участвовали в работах, проводимых в Хакасии на месте предполагаемой древней обсерватории. Цель работ состояла в проверке правильности гипотезы о возможности проведения древними людьми астрономических наблюдений, с использованием естественного строения скал и искусственно созданных образований. При помощи лазерного сканирования была проведена трехмерная съемка участка работ и далее, в камеральных условиях была построена трехмерная модель объекта. На основе построенной модели и результатов астрономических наблюдений отработывалась гипотеза возможности использования скальных образований для астрономических наблюдений древними людьми. В этом проекте трехмерное сканирование показало высочайшую эффективность, ведь традиционными геодезическими способами невозможно получить подробную модель сложной структуры скальных образований за столь короткое время. Кроме того, по результатам лазерного сканирования были построены традиционные плоские чертежи и планы.

### 4. Исполнительная съемка сложных технологических объектов.

Сложные технологические объекты имеют высокую плотность расположения элементов и зачастую содержат многоуровневые конструкции, поэтому возникают определенные сложности с представлением их в виде традиционных плоских чертежей. В связи с этим, в последнее время проектные организации и службы, эксплуатирующие данные объекты переходят на работу с трехмерными моделями. В июле 2004 г. специалисты центра провели экспериментальные работы по построению трехмерных моделей двух установок комплексной подготовки газа (УКПГ). УКПГ представляет собой очень сложный объект, содержащий множество трубопроводов и других технологических элементов. Поэтому, применение трехмерного сканирования оправдано, поскольку получаемая точечная модель обладает высокой степенью детальности и наглядности. Площадь каждой УКПГ составляет порядка 6 га. Сканирование УКПГ выполнялись сканером Riegl LMS-Z360. Полевые работы на каждой установке длились около семи дней, бригадой из 3 человек. Для каждого объекта понадобилось порядка шестидесяти сканерных станций. Средняя точность привязки каждой станции к внешней системе координат составила около 15 мм. В результате сканирования были получены точечные трехмерные модели установок комплексной подготовки газа. Эти данные были экспортированы в программное обеспечение Cyclone, в котором были построены векторные трехмерные модели объектов. Камеральная обработка каждой установки коллективом из 6 человек длилась 1,5 месяца.

### 5. Построение моделей объектов повышенной опасности.

Основной трудностью, возникающей при съемке объектов повышенной опасности, является ограничение доступа к этим объектам. В таких ситуациях необходимо использовать дистанционные методы. Лазерное сканирование как нельзя более подходит для таких целей. Это доказал эксперимент по сканированию электроподстанции 30 кВ. Доступ к подстанции был ограничен забором, заходить в пределы которого строго запрещено вследствие опасного

для жизни напряжения. Поэтому сканирование велось из-за забора. Для получения полной модели подстанции было сделано 7 сканов. По полученной точечной модели можно получить точную метрическую информацию о любых важных элементах подстанции (расстояние от проводов до оборудования, длина подвесок, количество изоляторов и т.д.). Кроме того, в результате сканирования, была получена подробная точечная модель окружающей местности, включая опоры и провода входящих ЛЭП 30 кВ и ЛЭП 6 кВ, идущие от подстанции к объектам, по которым также можно производить различные измерения. Еще одним проектом из данной области была съемка одного из оживленнейших перекрестков г. Новосибирска. Задачей работ было построение векторной модели проезжей части, тротуаров, зданий, рекламных щитов, проводов и т.д. На построенной модели будут отрабатываться различные варианты строительства надземного пешеходного перехода. Несмотря на то, что работы проводились в ночное время, на перекрестке было довольно оживленное автомобильное движение. Для повышения эффективности работ, сканер был помещен, с использованием специального устройства, на автомобиль УАЗ, на котором он находился во время сканирования и переездов. Было сделано четыре сеанса сканирования с четырех точек. Связка сканов производилась тахеометром с одной точки, находящейся на безопасном месте.

6. Построение трехмерных моделей объектов для предотвращения и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций.

Отдельным направлением, развиваемым центром является применение результатов лазерного сканирования для предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Трехмерные модели позволяют ответить на многие вопросы, возникающие в ходе проведения спасательных операций и мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций, например: пути и возможность доставки необходимого оборудования, моделирование и прогноз развития событий, проектирование систем безопасности и жизнеобеспечения с целью эффективной их эксплуатации и т.д. Такие модели с одной стороны более наглядны, а с другой – позволяют переложить часть задач на «плечи» вычислительной системы и автоматизировать процесс принятия решений, что соответственно повышает их эффективность и оперативность. На сегодняшний день центром построена трехмерная модель одной из станций Новосибирского метрополитена. Целью создания этой модели было использование ее для управления действиями людей и техники в условиях чрезвычайной ситуации (например, в условиях задымленности). Используя данную модель, можно дистанционно управлять людьми в условиях недостаточной видимости, просчитать возможность использования того или иного спасательного оборудования и т.д. Еще одним проектом в этой области явилось сканирование площади им. Ленина г. Новосибирска. Сканирования производилось с пяти позиций и заняло порядка четырех часов. По точечной модели были построены в AutoCAD модели зданий и сооружений, находящихся в пределах площади. По векторной модели было запроектировано местоположение камер слежения в целях обеспечения общественной безопасности.

Выполненные проекты доказали целесообразность и высокую эффективность применения наземного лазерного сканирования для получения трехмерных моделей различных объектов и территорий, которые могут использоваться во многих областях человеческой деятельности.

© Д.В. Комиссаров, А.В. Середович, 2005



**ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО  
СКАНИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ CYCLONE**

В настоящее время новейшим средством получения метрической информации об объектах является наземное лазерное сканирование, результат которого: массив («облако») точек – лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью отражения и реальным цветом. При построении трехмерных моделей объектов на основе данных лазерного сканирования качество, трудоемкость и оперативность получения результата в первую очередь зависят от используемого программного обеспечения.

Для построения векторной модели по массиву точек используются различные программные продукты. К ним предъявляются следующие требования: создание по облаку точек нерегулярной сети (TIN); редактирование TIN, создание модели на основе набора графических примитивов, поддержка нескольких способов «встраивания» примитива в облако, оценка качества встраивания, возможность работы с библиотеками стандартных элементов; профилирование; проведение измерений длины, диаметра, площади, объёма; визуализация построенной модели, придание модели реалистичности, экспорт построенной модели в САД-системы, удобный интерфейс для пользователя и др. Одним из наиболее мощных программных продуктов для этих целей является Cyclone (Cyra Technologies, США).

В Региональном центре лазерного сканирования Сибирской государственной геодезической академии с помощью программного продукта Cyclone выполнено несколько научно-экспериментальных работ по исполнительной съемке различных инженерных сооружений: установки комплексной подготовки газа (УКПГ) города Новый Уренгой, а также построение чертежей фасада авиационного техникума города Новосибирска.

Сканирование Восточно-Уренгойской установки комплексной подготовки газа (УКПГ) производилось летом 2004 г. УКПГ представляет собой сложный технологический объект с множеством трубопроводов, цистерн, кабельных эстакад и пр. Площадь установки составляет 6 га. Полевые работы по сканированию и подготовке планово-высотного обоснования продолжались в течение 10 дней. Параллельно со сканированием выполнялась фото- и видеосъемка, составлялись абрисы, которые использовались для дешифрирования результатов лазерного сканирования.

Для облегчения и ускорения работы программы объект разбивался на блоки в соответствии с их технологическим назначением (агрегат воздушного охлаждения, цех дегазации, цех сепарации газа и т.д.). Результаты лазерного сканирования обрабатывались в течение 150 человеко-дней.

Программа Cyclone позволяет векторизовать облака точек несколькими методами:

- Вписывание геометрических примитивов в автоматическом режиме;
- Вписывание геометрических примитивов в полуавтоматическом режиме;
- Встраивание примитива в интерактивном режиме.

При использовании автоматической функции оператор из всего облака точек указывает одну, которая принадлежит поверхности встраиваемого элемента (например, участку трубы). После вызова функции Region Grow программа анализирует соседние точки и выделяет те, которые максимально соответствуют примитиву, после чего в выделенные точки встраивается сам примитив в соответствии с некоторым критерием (например, по методу наименьших квадратов). Качество построения примитива можно оценить по средней квадратической ошибке (СКО) встраивания.

Однако данная функция построения требует, чтобы величина шума измерений была на порядок ниже по отношению к размеру самого объекта. Поэтому при создании модели УКПГ рассматриваемая процедура использовалась для векторизации труб диаметром от 325 мм и более, цистерн, плоских объектов и др.

Функция вписывания примитива в «облако» точек в полуавтоматическом режиме является более гибкой, но и трудоемкой, поскольку задачу фильтрации «облака точек» (удаления точек, не принадлежащих примитиву), в которое будет вписываться примитив, решает оператор.

Результаты использования автоматических и полуавтоматических функций построения примитивов не всегда удовлетворительны, например, диаметры труб, вычисленные программой, не всегда соответствуют стандартам. Программный продукт Cyclone позволяет редактировать параметры примитивов соответственно ГОСТу при помощи процедуры Edit Properties.

Для остальных элементов объекта (труб диаметром менее 114 мм, проводов, кабелей и т.п.) по результатам лазерного сканирования можно определить положение, ориентацию и размер, но невозможно определить форму примитива. Поэтому такие примитивы строились в интерактивном режиме, и точность их встраивания в облако точек оценивалась визуально.

Модели зданий, расположенных на территории УКПГ, были построены по следующей методике: в автоматическом или полуавтоматическом режимах строилась плоскость, соответствующая одной из стен строения, а затем с помощью функции Extrude «выдавливалась» на «глубину», соответствующую длине или ширине здания.

Одной из концепций создания топографических планов является разделение модели по слоям. Поэтому после построения трехмерной модели УКПГ, она разбивалась на несколько слоев, например, газопровод, конденсатопровод, сооружения и их части и т.д.

На рис. 1 показан фрагмент УКПГ (насосная станция), а на рисунке 2 показана ее модель. На этом примере хорошо видны трубы различных диаметров, построенные перечисленными инструментами.



Рис. 1. Фотография насосной станции  
УКПГ

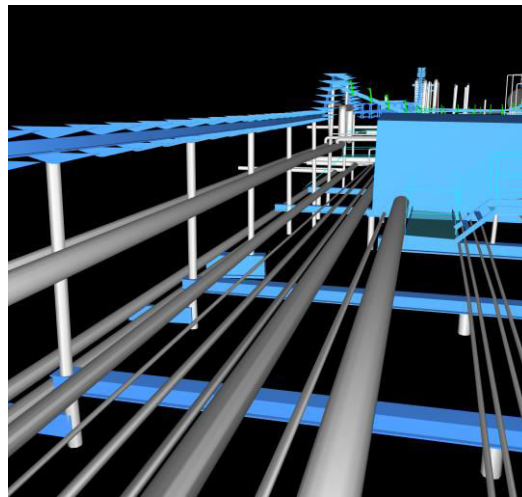


Рис. 2. Трехмерная модель  
насосной станции УКПГ

Кроме съемки сложных технологических объектов перспективной областью применения лазерного сканирования является съемка зданий для проектирования фасадов и решения других практических задач.

Для проектирования навесного фасада выполнялось сканирование здания техникума. Время, затраченное на съёмку, составило около шести часов. Обработка данных наземного лазерного сканирования производилась в программном продукте Cyclone, где была задана базовая плоскость (Reference plane), совпадающая с плоскостью фасада, на которой отрисованы при помощи функции 2D Drawing Mode оконные проемы. После этого векторизованная модель экспортировалась в AutoCAD, где проставлялись размеры оконных проемов.

Также была предложена другая технология построения чертежа в AutoCAD2002, которая заключается в следующем:

- Экспорт массива точек в модуль Cloud Worx;
- Отрисовка оконных проемов при помощи функции Polyline на плоскости, соответствующей плоскости фасада здания;
- Проставление размеров оконных проемов.

Для оценки точности построения чертежей фасада здания по данным лазерного сканирования вычислены разности между размерами оконных проемов полученных в AutoCAD и промерами, выполненными с помощью компарированной рулетки.

Как показала практическая работа, программный продукт Cyclone является мощным средством для обработки результатов наземного лазерного сканирования. Он содержит разнообразные инструменты для построения трехмерных моделей различных инженерных сооружений. Созданные модели являются метрическими, по которым можно выполнять измерения длин, объемов и площадей.

## **КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

Одной из возможных областей применения трехмерного лазерного сканирования является съемка различных элементов технологического оборудования. Лазерное сканирование имеет значительное преимущество при получении данных о геометрических характеристиках объектов, по сравнению с другими методами измерений. Полученная в результате сканирования трехмерная модель объекта, позволяет определять любые геометрические характеристики объекта, а не только те, которые были измерены с использованием традиционных средств.

В качестве примера успешного применения технологии лазерного сканирования, можно привести опыт работ по трехмерной съемке медных стержней электрогенератора. Целью работы являлась проверка соответствия готовых деталей параметрам, заложенным в проекте. Стержни представляют собой вытянутые многослойные медные детали, содержащие как гнутые участки, так и участки, имеющие элемент вращения. При проектировании генератора задаются все геометрические характеристики стержней. В идеале они должны точно встать в соответствующие пазы статора и их концы должны точно совместиться. Для изготовления стержней используется специализированный пресс (формообразующий шаблон), который придает им необходимую форму. Однако на практике возникает ряд проблем. Сложно оценить, насколько параметры, заложенные в формообразующий шаблон, соответствуют проектным данным. К тому же, деталь, после изъятия из шаблона, несколько деформируется за счет присущего металлу остаточного напряжения. Также некоторые ошибки могут быть допущены при изготовлении статора. На производстве не имеется измерительных средств, позволяющих точно оценить геометрические характеристики изделий. В результате, производитель сталкивается с нестыковкой деталей уже на этапе сборки генератора.

Для проверки геометрических параметров традиционно изготавливался упрощенный макет статора, на который крепились детали. Однако этот способ не позволяет дать достаточной оценки качества изготовления стержней, так как модель также отличается от реального статора. Учитывая то, что макет имеет высокую стоимость и используется в очень коротком звене технологического цикла изготовления генератора, возникает необходимость поиска альтернативных способов геометрического контроля, оптимизации и удешевления производства. Поэтому, впервые, технологами было принято решение отказаться от изготовления макета. Для оценки точности изготовления было выполнено трехмерное сканирование стержней с целью последующего создания их трехмерной модели, для компьютерной имитации размещения их внутри статора и определения величин их взаимной нестыковки.

Для выполнения этих работ использовался наземный лазерный сканер Mensi GS200 имеющий следующие технические характеристики:

- Дальность действия – до 350 м;
- Точность измерения расстояний –  $\pm 2,5$  мм;
- Минимальный угловой шаг сканирования –  $0,0018^\circ$ .

Следует отметить, что работа носила научно-экспериментальный характер и ее основная цель состояла в ответе на вопрос о возможности применения технологии лазерного сканирования при аттестации различных деталей электрических машин.

Длина стержня составляет порядка 2,67 м. Его трехмерная модель представлена на рис. 1.

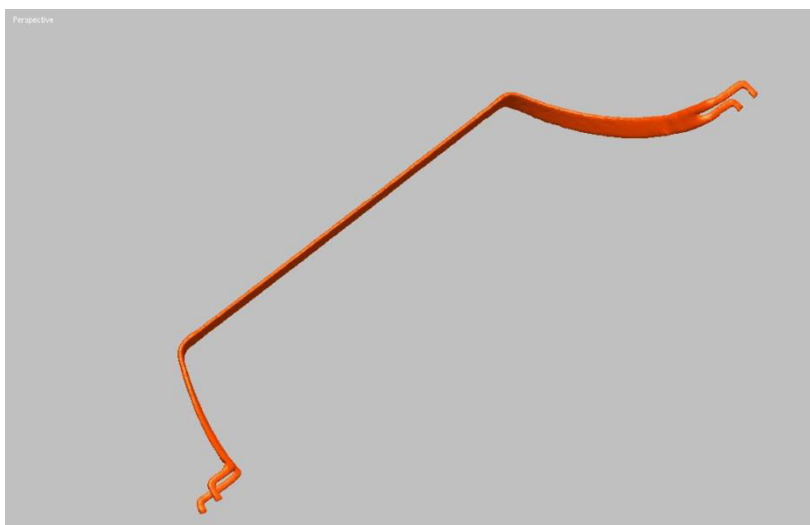


Рис. 1. Трехмерная модель нижнего стержня статора

Для получения полной модели объекта, с учетом его геометрической формы, съемка выполнялась с трех сторон. Следовательно, возник вопрос о технологии связки сканов. Технология, подразумевающая связку сканов по перекрытиям «облаков точек», в данном случае не дала бы удовлетворительных результатов, так как сканы не имели зон перекрытия или эти зоны были незначительны. Поэтому, для связки использовались специальные марки, поворачивающиеся в двух плоскостях без изменения положения центра. Средняя квадратическая ошибка определения координат марок сканером составляет, по результатам проведенных исследований около 0,7 мм. Однако при изготовлении марок были допущены некоторые механические ошибки, что не позволяет говорить об идеальном сохранении положения их центра при поворотах. Для связки сканов использовались 10 марок расставленных вокруг объекта на расстояниях от 5 до 8 м. Координаты марок, определенные в системе координат первой сканерной станции были приняты как истинные и являлись общими для всех трех сканов. В процессе перемещения прибора часть марок разворачивалась, а часть оставалась неподвижной. При связке сканов, марки, имеющие большие отклонения (больше 2 мм) были отбракованы.

Сканирование верхнего и нижнего стержней генератора производилось с расстояния около 5 м. Оптимальным был выбран шаг съемки в 1,5 мм по вертикали и 3 мм по горизонтали. Для лазерного луча была задана жесткая фокусировка на расстояние, равное среднему значению расстояния до объекта. Так же был использован режим 10-кратных измерений для каждой точки. Такой режим позволяет значительно уменьшить шумовые составляющие измерений. Сканирование каждого из двух стержней заняло порядка 25 минут, на привязку сканерных станций (сканирование марок) было затрачено порядка 15 минут для обоих стержней. Средние ошибки положения координат марок для 2-ой и 3-ей сканерных станций относительно системы координат 1-ой станции составили порядка 1,5 мм.

Визуальный контроль связки сканов показал, что их несовпадение незначительно, относительного общего уровня шумов в измерениях. Сравнение измерений, выполненных непосредственно по детали с помощью штангенциркуля и измерений, выполненных по точечной модели, позволяют говорить о том, что точность определения геометрических характеристик объекта по точечной модели составляет порядка 3 – 5 мм.

Дальнейшая обработка подразумевала имитацию положения стержней в пазах ротора. Точечные модели верхнего и нижнего стержней, были переданы в виде блоков в программное обеспечение (ПО) AutoCAD. В программе были заданы основные оси объектов, с помощью которых было зафиксировано их положение, аналогичное реальному положению в статоре. Вдоль основных осей стержней была задана местная система координат. В плоскостях этой системы координат были выполнены чертежи деталей с расстановкой промеров интересующих участков. Примеры чертежей приведены на рис. 2.

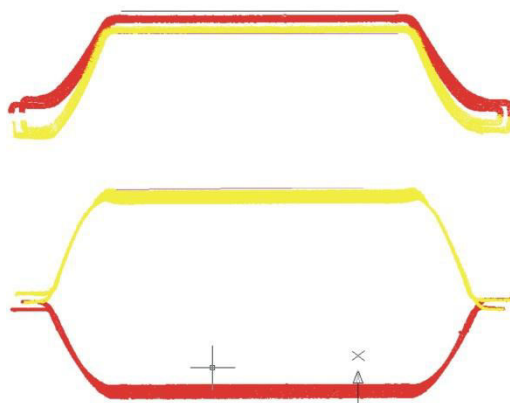


Рис. 2. Чертеж верхнего и нижнего стержней в двух проекциях

В данном случае применение технологии трехмерного сканирования позволило получить необходимую геометрическую информацию в гораздо более короткие сроки, чем это делалось ранее, но полученные параметры точности не полностью удовлетворяют требованиям к изготовлению стержней. Однако сам опыт позволяет говорить о возможности внедрения в производство

геометрического контроля деталей машин с помощью лазерных сканеров более высокого класса точности.

© А.В. Середович, А.В. Иванов, 2005

## **ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОГО БИАТЛОННОГО КОМПЛЕКСА)**

В настоящее время технология трехмерного лазерного сканирования активно внедряется в производство и уже нашла свое применение при решении классических задач топографии, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, контроля качества в приборостроении и т.д. Однако преимущества, которые дает данная технология, позволяют говорить о ее применении при решении нетрадиционных задач, например при построении трехмерных моделей спортивных сооружений.

Трехмерные модели спортивных сооружений могут служить для: разработки виртуальных тренажеров с целью подготовки спортсменов к соревнованиям, ознакомления зрителей с размерами, конфигурацией и сложностью спортивных сооружений, повышения зрелищности телевизионных трансляций, оптимального выбора местоположения и ракурса теле- видеокамер, проектирования мероприятий по обеспечении безопасности зрителей и спортсменов во время проведения соревнований.

В январе 2005г. Региональным центром лазерного сканирования была построена трехмерная модель Новосибирского биатлонного комплекса (НБК) для визуализации трасс чемпионата Европы по биатлону 2005. Построение трехмерной модели Новосибирского биатлонного комплекса включало в себя следующие процессы:

1. Составление проекта;
2. Рекогносцировку местности;
3. Подготовку планово-высотного обоснования;
4. Трехмерное лазерное сканирование;
5. Предварительную обработку данных сканирования;
6. Построение трехмерной векторной модели объекта;
7. Редактирование и подготовку к визуализации трехмерной модели в среде 3D Studio MAX.

Во время проведения рекогносцировки были запланированы точки основного и рабочего съемочных обоснований, а так же точки стояния сканера. Подготовка основного планово-высотного обоснования производилась с помощью GPS-аппаратуры, так как побочным продуктом создания модели являлся цифровой топографический план биатлонного комплекса масштаба 1:500 в системе координат 1942 года. Сгущение основного планово-высотного обоснования производилось методом прокладки теодолитных ходов с помощью тахеометра Leica TCR-405.

Сканирование территории НБК выполнялось сканером Riegl LMS-360. Для увеличения площади захвата сканером и устранения мертвых зон трехмерная лазерная съемка производилась с крыши специально оборудованной машины УАЗ. Для ориентирования сканов во внешней системе координат



использовались специальные светоотражающие марки, координаты которых были определены тахеометром с точек рабочего планово-высотного обоснования. Исходя из предыдущего опыта работ, при сканировании местности использовалось угловое вертикальное и горизонтальное разрешение  $0.12^\circ$ . Такое разрешение обеспечивает оптимальные время съемки и плотность точек для построения цифровых моделей рельефа, с точностью соответствующей требованиям карт масштаба 1:500. Сканирование зданий и сооружений производилось с угловым разрешением  $0,05-0,07^\circ$  в зависимости от удаленности объекта. Увеличение разрешения было обусловлено более высокими требованиями к точности и детальности моделей инженерных сооружений.

Вся территория Новосибирского биатлонного комплекса площадью 53,5 га была отсканирована с 79 станций, с которых было получено 85 сканов («облака точек»), за 9 дней.

Предварительная обработка производилась в программном обеспечении (ПО) Riscan PRO и заключалась в фильтрации результатов сканирования и ориентировании сканов в единой внешней системе координат. Для этого перед началом обработки в программу загружался файл, в котором хранились координаты всех марок, полученные в единой внешней системе с помощью электронного тахеометра. Затем ПО Riscan PRO автоматически устанавливала соответствие между координатами марок, полученными тахеометром и сканером, вычисляла шесть элементов внешнего ориентирования каждого скана и средние квадратические ошибки (СКО) привязки по значениям невязок между координатами марок.

Среднеквадратические ошибки ориентирования сканов во внешней системе координат составили  $m_{\max}=0.019\text{м}$  и  $m_{\text{ср}}=0.011\text{м}$ .

После этого выполнялось экспортирование результатов сканирования в различные программные продукты с целью построения непосредственно трехмерной модели НБК. Для удобства обработки процесс построения цифровой модели биатлонного комплекса был разбит на три части: построение цифровой модели рельефа (ЦМР) всего комплекса, создание цифровой модели трасс и построение трехмерных моделей зданий и сооружений.

Цифровая модель рельефа всего комплекса строилась в соответствии со следующей технологией:

1. Разрежение облака точек с помощью пространственного фильтра ПО Riscube (плотность точек после разрежения составила 1 точка на  $1\text{ м}^2$ );
2. Удаление точек, не принадлежащих поверхности земли, с помощью топографического фильтра программного продукта RealWorks Survey.
3. Построение регулярной сетки высот методом Кригинга в ПО SURFER.
4. Построение ЦМР в виде TIN-поверхности (поверхность представленная в виде нерегулярной сети треугольников). Этот этап выполнялся в программном обеспечении Cyclone 5.1.

Модель трасс биатлона строилась по следующей схеме:

1. Сегментация облака точек. В программном продукте cyclone в интерактивном режиме удалялись все точки, не принадлежащие поверхности трас;
  2. Фильтрация облака точек, полученного на первом этапе, с целью удаления шумов;
  3. Построение трассы в виде tin-поверхности и ее сглаживание;
  4. Сшивка цифровой модели трассы и цифровой модели рельефа.
- Внешний вид полученной модели трассы и ЦМР представлен на рис. 1.

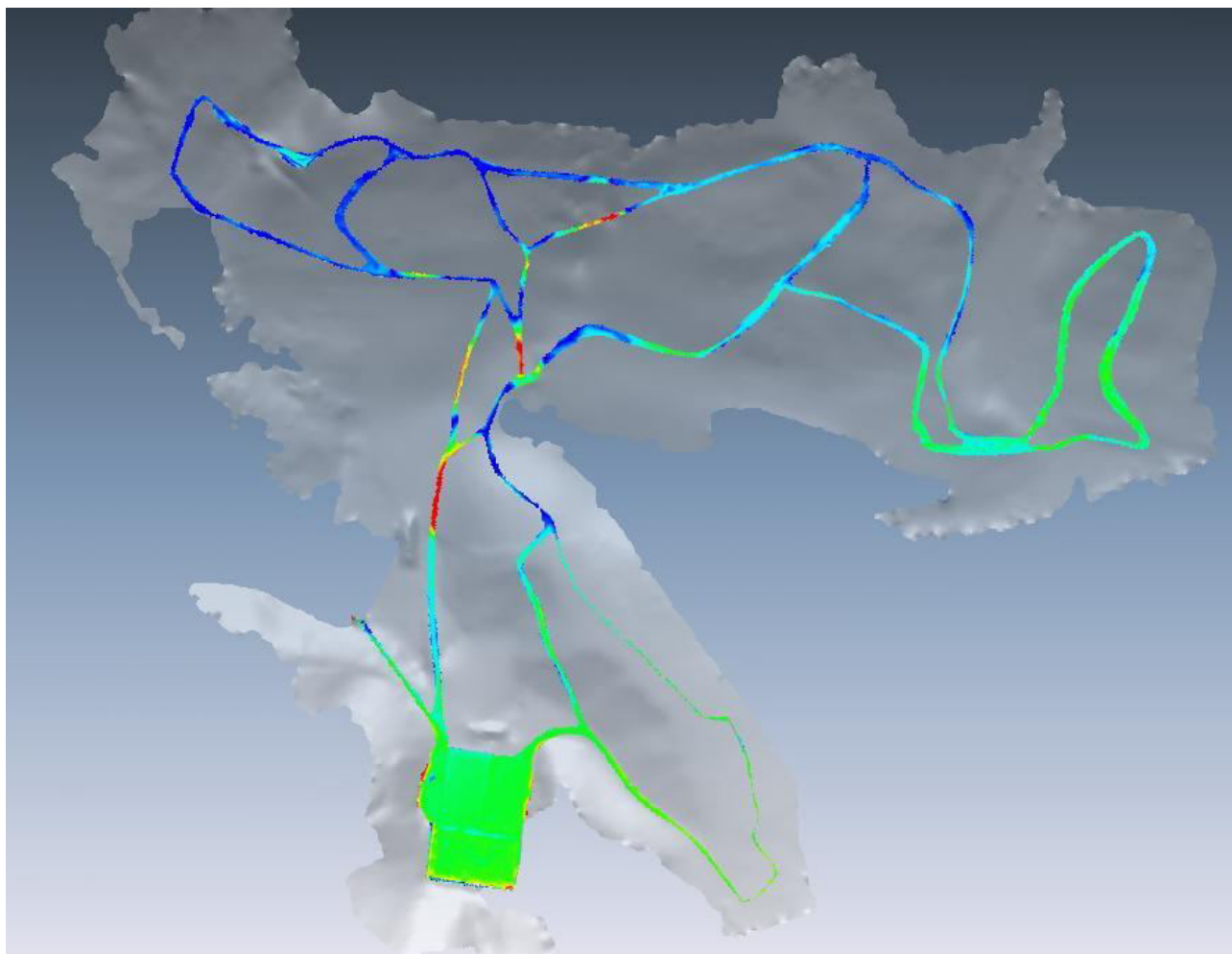


Рис. 1. Цифровая модель рельефа и трассы НБК

Оценка точности построения модели относительно облака точек полученного сканером выполнялась следующим образом:

1. В ПО Cyclone 5.1 при помощи модуля Virtual Surveyor набирались пикеты в характерных точках рельефа и трассы;
2. Для этих же точек были определены высоты на построенной поверхности;
3. Вычисление разностей высот пикетов и точек модели;
4. Вычисление СКО по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_{II}^i - z_M^i)^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

где  $z_M^i$  – высоты точек модели;

$z_{II}^i$  – высоты точек пикетов;

$n$  – количество пикетов.

Среднеквадратическая ошибка построения ЦМР для залесенных территорий составила 0.1м, а для застроенной территории 0.06м.

Построение моделей зданий и инженерных сооружений производилось в программном продукте Cyclone 5.1. Данное ПО дает возможность быстрой и качественной векторизации результатов лазерного сканирования в интерактивном режиме.

Окончательное построение и редактирование модели НБК производилось в среде 3D Studio Max, где была создана окружающая среда и растительность. Данные о положении, густоте и характеристиках деревьев были получены по результатам наземного лазерного сканирования, после чего деревья, растущие вдоль трасс, были построены как трёхмерные объекты на цифровой модели рельефа в соответствии со своим реальным местоположением. На территориях не примыкающих к трассам использовался более быстрый и простой метод создания растительности – с помощью инструмента «scatter». «Scatter» является встроенным инструментом 3D Studio Max и позволяет расставлять любые объекты на любой поверхности с требуемой густотой. Цифровая модель рельефа НБК была разделена на области с различной плотностью растительного покрова, и на каждом участке деревья были построены с заданной плотностью. По фотографиям с объекта была выбрана нужная текстура для коры деревьев. В целях экономии времени текстура коры выполнена в виде процедурной карты, имитирующей поверхность коры дерева (берёзы).

Также в программе 3D Studio Max были получены профили всех трасс. Для этого в окне ортографической проекции «сверху» были построены двумерные сплайны, описывающие трассы. Количество точек в сплайнах было увеличено до 150-200, чтобы впоследствии более точно определить параметры рельефа вдоль трассы. Затем сплайны проецировались на поверхность ЦМР вдоль её нормалей с помощью инструмента «glue». Таким образом, были получены трёхмерные профили, описывающие превышения и уклоны по трассе. Для более наглядного представления трёхмерные сплайны были «развернуты» на плоскость и их масштаб по высоте был увеличен в 4 раза.

После импорта в 3D Studio Max моделей строений на территории НБК, были выполнены следующие шаги:

1. Разбиение моделей на отдельные объекты (разделение зданий и трибун на отдельные части по материалам);
2. Подбор по фотографиям и создание материалов с необходимыми свойствами. Использовались карты отражения/преломления, диффузного

рассеивания и шероховатости, близкие к реальным значениям для данного материала;

3. Наложение системы координат для правильного проецирования текстур;

4. Подбор и настройка освещения и теней, глубины трассировки лучей и способа затенения;

5. Построение траекторий движения виртуальных камер, выбор выгодного их фокусного расстояния и ракурса съёмки.

После вышеописанных процессов была получена полная трёхмерная модель НБК с общим числом граней более 30 миллионов. С помощью нескольких виртуальных камер были получены видеоролики и отдельные снимки спортивного комплекса. Примеры таких снимков представлены на рис. 2.

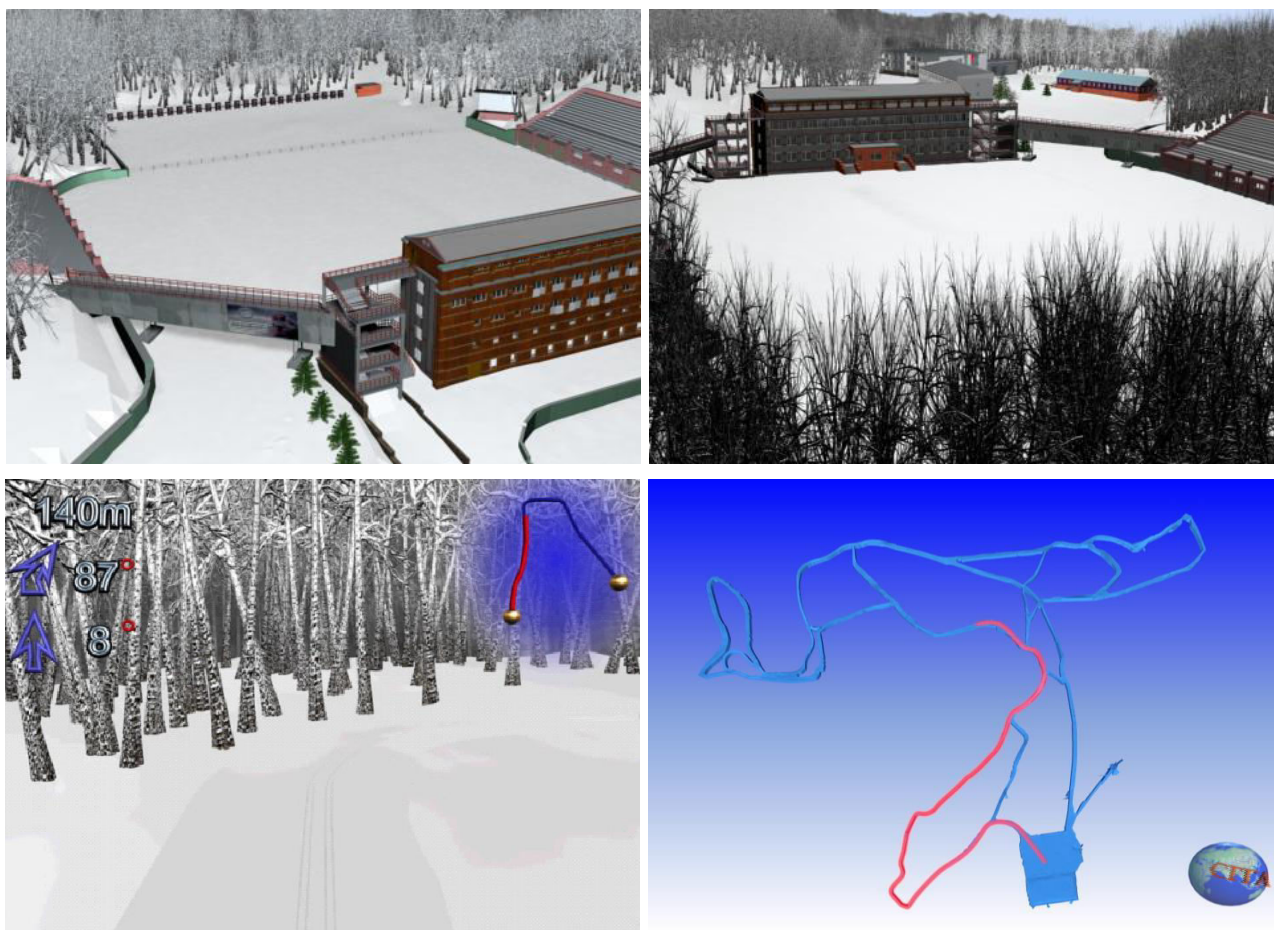


Рис. 2. Примеры снимков трехмерной модели НБК, полученных виртуальными камерами в среде 3D Studio Max

Опыт построения трехмерной модели Новосибирского биатлонного комплекса показал высокую эффективность технологии трехмерного лазерного сканирования при съемке сооружений и территорий. В настоящее время специалистами центра лазерного сканирования СГГА отрабатываются

различные варианты использования полученной модели для решения практических задач, в частности создания виртуальных тренажеров.

© Д.В. Комиссаров, Е.В. Миллер, М.А. Аверков, В.В. Загородний, 2005

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

На объектах нефтегазодобывающего комплекса эксплуатируется большое количество вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС), предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила эксплуатации РВС подразумевают проведение периодического контроля некоторых параметров: вертикальность, объем, деформация стенок и т.д. Применение наземных лазерных сканеров для такого вида работ может быть вполне оправдано, как по качеству съемки, так и по скорости ее выполнения. В отличие от дискретных измерений, выполняемых при традиционном контроле, результаты сканирования позволяют более полно оценить геометрические характеристики всего объекта в целом. В связи с этим было решено выполнить экспериментальное исследование применения технологии лазерного сканирования для технического контроля и определения объемов РВС.

В качестве объекта исследования были выбраны материалы имеющейся сканерной съемки установки комплексной подготовки газа, на территории которой находилось несколько РВС. Следует отметить, что съемка выполнялась для отличных от поставленной задачи целей, поэтому плотность сканирования и точность полученных данных не всегда в достаточной мере соответствовали задаче мониторинга резервуаров. Однако, имеющиеся данные позволили выработать методику проведения таких работ и получить объективные результаты.

Для проведения полевых работ использовался наземный лазерный сканер Riegl LMS-Z360 имеющий точность единичного измерения порядка 12 мм и дальность действия до 200 м. Съемка объекта велась снаружи с 6 позиций. Для объединения отдельных сканов в единую модель применялась технология связки по опорным маркам. Данные марки представляют собой круглые катафоты из световозвращающей пленки диаметром 50 мм. Конструкция марки такова, что ее можно поворачивать вокруг своей оси на 360° без изменения положения ее центра. Точность определения сканером координат марки составляет порядка 1-2 мм [1]. Для получения координат марок в единой системе координат применялся тахеометр Leica TCR405 с угловой точностью 5'' и точностью измерения расстояний 3 мм. Координирование марок осуществлялось с точек замкнутого теодолитного хода, проложенного по территории площадки. Общая длина хода составила 1349,458 м, линейная невязка 0,043 м, невязка по высоте 0,014 м.

В процессе обработки сеть измеренных с помощью тахеометра марок уравнивалась совместно с данными сканера. Точность привязки каждой станции по опорным маркам к внешней системе координат приведена в табл. 1.

Таблица 1. Оценка точности ориентирования во внешней системе координат

| № станции | Кол-во марок | СКО положения марок,<br>м | Среднее расстояние до<br>объекта, м |
|-----------|--------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1         | 9            | 0,0108                    | 27                                  |
| 2         | 11           | 0,0078                    | 13                                  |
| 3         | 10           | 0,0098                    | 60                                  |
| 4         | 9            | 0,0093                    | 50                                  |
| 5         | 8            | 0,0083                    | 89                                  |
| 6         | 7            | 0,0058                    | 58                                  |

В результате уравнивания была получена единая точечная модель резервуара и окружающей территории. Для работы непосредственно с РВС в программном обеспечении (ПО) Leica HDS Cyclone 5.1 в интерактивном режиме были удалены точки, не принадлежащие резервуару. Полученные в результате описанных процедур данные явились исходными для определения следующих характеристик резервуара:

#### 1. Вертикальность резервуара

Определять вертикальность оси РВС на основе данных лазерного сканирования наиболее целесообразно с помощью функции вписывания в облако точек модели цилиндра. Данная функция реализована в ПО Leica HD Cyclone и позволяет выполнить оценку как вертикальности оси всего резервуара в целом, так и на разных его уровнях. Для этого точечная модель резервуара была разбита по вертикали на несколько частей. После этого в каждую отдельную часть вписывались оптимальные модели цилиндров. Положение их центров тяжести соответствовало положению оси резервуара на данных уровнях. При традиционной технологии обследования РВС вертикальность определяется только по отклонениям от вертикали образующих стенок. [3] Использование данных лазерного сканирования позволяет рассматривать объект в комплексе, что повышает достоверность результатов. К тому же, по сканерным данным, можно строить практически в автоматическом режиме традиционные графики отклонения образующих от вертикали, увеличив их количество до любой величины.

#### 2. Деформация стенок резервуара

Для определения степени деформации стенок РВС был выработан следующий подход. Трехмерное представление данных в этом случае более удобно заменить двумерным. Для этого необходимо развернуть поверхность резервуара на плоскость, т.е. перевести координаты точек, принадлежащих поверхности стенок, из цилиндрической системы координат в прямоугольную. Такое представление облегчает обработку данных, их интерпретация в виде чертежа более наглядна. Для представления данных в прямоугольных координатах необходимо, в первую очередь, выбрать модель цилиндра, на которую будут проецироваться измеренные точки. Наиболее оптимальным вариантом представляется такой цилиндр, который максимально вписывается в «облако точек». ПО Leica HDS Cyclone имеет функцию вписывания примитивов в «облако точек». С помощью функции «Fit to cloud» программа позволила



определить модель цилиндра наиболее подходящую для точечной модели резервуара. При этом учитывалось плановое положение, диаметр и наклон РВС. Далее, также с использованием того же ПО, для точечной модели была задана собственная система координат, ось  $Z$  которой совпадает с осью модели цилиндра с началом в нижней ее точке. Графическое представление цилиндрической и прямоугольной систем координат для данного случая представлено на рис. 1.

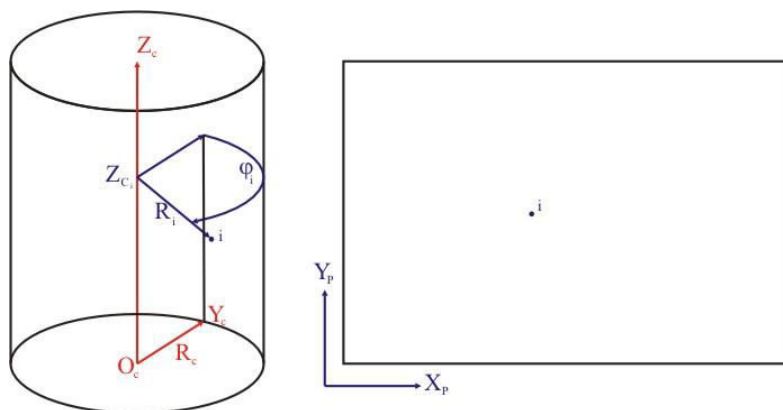


Рис. 1. Графическое представление цилиндрической и прямоугольной систем координат

После этого был выполнен пересчет координат точек лазерных измерений по формулам:

$$X_{P_i} = \varphi_i \cdot R_c, \quad (1)$$

$$Y_{P_i} = Z_{C_i}, \quad (2)$$

$$Z_{P_i} = R_i. \quad (3)$$

При пересчете существует возможность отбраковки грубых ошибочных измерений по координате  $Z_p$ . Т.е. можно задать коридор отметок, при выходе за пределы которого, точки можно считать не принадлежащими поверхности резервуара. В результате пересчета был получен набор точек описывающих поверхность стенок резервуара, развернутых на плоскость, аналогично цифровой модели рельефа. По данным точкам для получения регулярной матрицы высот был использован метод кригинга, реализованный в программном обеспечении Golden Software Surfer. После построения регулярной сетки высот, с помощью этой же программы была создана карта поверхности резервуара, которая наглядно описывает все деформации стенок РВС. По ней достаточно просто сориентироваться на реальном объекте, если замаркировать точку начала отсчета горизонтального угла. Также на данную карту можно нанести места расположения сварных швов, что повысит информативность такой модели. Пример карты искажений поверхности резервуара приведен на рис. 2.



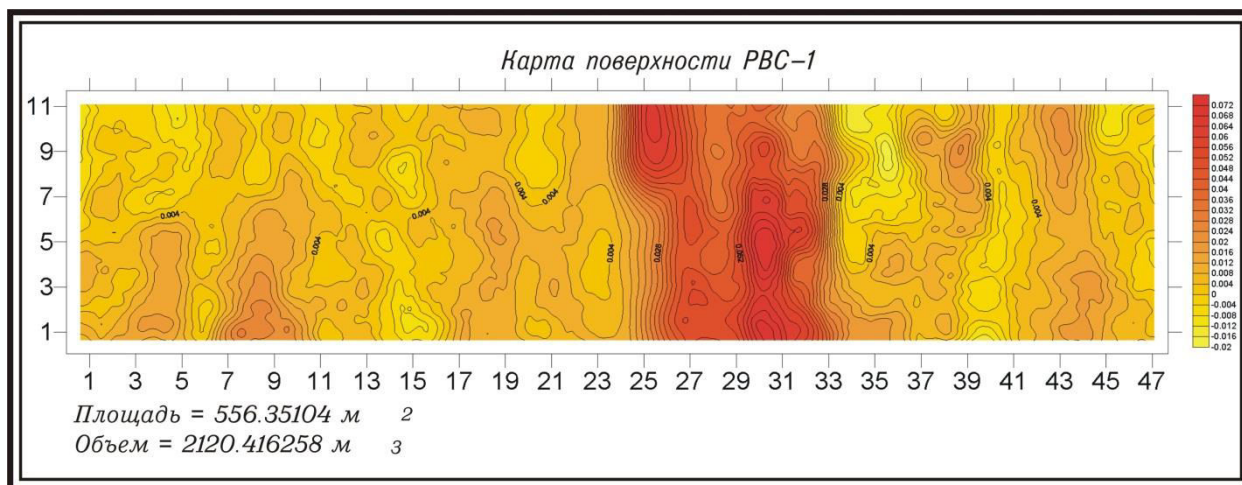


Рис. 2. Пример карты деформации стенок РВС

При традиционной методике проведения работ деформация стенок определяется по отклонению образующих стенок резервуара от вертикали [3], что в отличие от представленной схемы не позволяет достаточно полно оценить степень деформации стенок.

### 3. Объем резервуара

При традиционной методике объем РВС вычисляется с использованием значений внутренних периметров и высот поясов. При этом условно считается, что резервуар имеет идеальную цилиндрическую форму. Также производится определение степени наклона резервуара и направления наклона. Известное значение наклона, объема внутренних деталей и результаты нивелировки дна позволяют определить вместимости «мертвой» полости и провести вычисление объема жидкости в зависимости от степени наполнения резервуара [2]. Данные лазерного сканирования позволяют более объективно определять объем. Для этого точечная модель РВС разбивается по вертикали на определенное количество частей, например на части, равные 1/3 высоты каждого пояса. В каждую часть с использованием ПО Leica HDS Cyclone производится вписывание моделей цилиндров. Объем каждого цилиндра, за вычетом объема стенок будет соответствовать объему данной части резервуара. При этом будет использоваться не общее значение наклона РВС, а значения наклона каждой его части. Также можно выполнить сканерную съемку и моделирование внутренней части резервуара, что позволит более точно учитывать влияние неровностей дна и внутренних деталей на объем РВС. Такая методика определения объема резервуара позволит получить более точные результаты, по сравнению с традиционной.

### Вывод

Несмотря на то, что имеющиеся данные имели невысокую точность, они позволили выработать правильный подход к решению поставленных задач. Полученные результаты позволяют говорить о высокой степени эффективности применения лазерного сканирования для геометрического контроля РВС. Данная методика не только упрощает процесс проведения работ и обработки полученных результатов, но и позволяет получать более достоверные данные.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комиссаров А.В. Исследование точности наземных лазерных сканеров. Современные проблемы технических наук. Сборник тезисов докладов Новосибирской межвузовской научной студенческой конференции «Интеллектуальный потенциал Сибири». Часть 3. Новосибирск. – 2004. – 104 с.
2. ГОСТ 8.570-2000 Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки.
3. РД 08-95-95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

© Д.В. Комиссаров, А.В. Середович, А.В. Иванов, 2005

УДК 528.721.221.6

Д.В. Комиссаров, А.В. Середович, О.А. Дементьева

СГГА, Новосибирск

### **ТЕХНОЛОГИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

Основные преимущества наземного лазерного сканирования, такие как высокие скорость получения данных и степень детальности, большой радиус действия, наглядность представления данных позволяют говорить о целесообразности применения данной технологии для выполнения таких традиционных видов геодезических работ, как топографическая съемка сложных объектов и застроенных территорий.

В качестве экспериментальных объекта выбрана площадка нефтегазоперерабатывающего комплекса (дожимная насосная станция (ДНС) и кустовая насосная станция (КНС)) общей площадью 12 га. Целью работ являлась горизонтальная топографическая съемка масштаба 1:1000 надземной части территории с представлением плана в формате MapInfo. В соответствии с требованиями инструкции абсолютная ошибка планового положения объектов не должна превышать 0,4 м [1]. Для выполнения работ использовались наземные лазерные сканеры Riegl LMS-Z210 и Riegl LMS-Z360. Точность единичного измерения для этих моделей сканеров составляет 25 мм и 12 мм соответственно, что является допустимым для данного вида работ. Для связи сканов использовались круглые световозвращающие марки, с возможностью разворота вокруг своей оси без изменения положения координат их центра. Привязка марок осуществлялась электронным тахеометром Leica TCR405 с точек планово-высотного обоснования. Координаты точек планово-высотного обоснования на объекте определялись в системе координат государственной геодезической сети с использованием спутниковой GPS-аппаратуры Trimble 5700 в режиме статики. Сгущение съемочного обоснования выполнялось методом проложения теодолитных ходов с использованием тахеометра Leica TCR405.

Сканирование площадки производилось с захватом полного поля зрения сканера с угловым разрешением порядка  $0,1^\circ$ . Места сканерных станций выбирались с учетом наиболее полного захвата всех объектов для исключения

мертвых зон. Для полноценной съемки 12 га территории понадобилось 42 сканерных станции. На каждой станции, вокруг прибора расставлялись в среднем по 8 связующих марок, которые сканировались отдельно с максимальным разрешением. Для повышения удобства привязки сканов во внешнюю систему в некоторых местах были проложены сканерные ходы, точность которых была исследована экспериментально [2]. Полевые работы выполнялись двумя бригадами по 2 человека в каждой. Сканерная съемка данного объекта заняла 2 дня.

В процессе выполнения съемки, а также после ее окончания производилось составление абрисов на объект и сбор семантической информации. Дополнительно велась фото- и видеосъемка объекта для облегчения последующего дешифрирования результатов сканирования. В ходе составления абрисов особое внимание уделялось сложным развязкам трубопроводов. На абрисах указывались назначения объектов, их материал, диаметры трубопроводов, напряжение кабелей и линий электропередач и т.д. Также были получены копии технологических схем, которые позволили уточнить необходимые характеристики. Для корректного построения электронного топографического плана в процессе съемки должна быть собрана вся информация, которая отображается графически или заносится в атрибутивную базу данных.

Следующим, за полевым этапом, явилась привязка сканерных данных к внешней системе координат. Эта процедура выполнялась в программном продукте RiSCAN PRO с использованием специальных инструментальных средств. Средняя квадратическая ошибка положения сканов относительно внешней системы координат не превышала 2 см. Далее осуществлялся экспорт данных в формат программного обеспечения (ПО) Leica HDS Cyclone 5.1 для дальнейшей отрисовки контурной части местности.

Векторизация контуров выполнялась с использованием набора инструментов рисовки на плоскости (2D Drawing Tools), аналогично тому, как это делается по растровым изображениям. Для дешифрирования «облака точек» также использовались фотографии объекта и абрисы.

Перед векторизацией в произвольной точке задавалась базовая плоскость параллельная плоскости X–Y системы координат государственной геодезической сети (функция Set Reference Plane to X–Y Plane). С помощью инструментов визуализации «облако точек» представлялось в ортогональной проекции, т.е. задавался вид сверху (Top View) и ортогональная проекция (Orthographic). Инструмент Limit Box ограничивал необходимый на данный момент работы фрагмент «облака точек».

Рисовка ситуации выполнялась в следующей последовательности:

- Основные строения, цистерны;
- Трубопроводы;
- Задвижки, заглушки и другое оборудование на трубопроводах;
- Ограждения, кабельные эстакады и т.п.;
- Элементы рельефа;

– Остальные объекты.

Все объекты ситуации можно разделить на 3 типа: площадные, линейные и точечные. К площадным объектам относятся: различные строения, дополнительные сооружения (например, трансформаторы). Их удобно векторизовать с помощью инструментов Draw Polygon – построение полигона или Draw Rectangle – построение прямоугольника.

Линейные объекты – трубопроводы, кабельные эстакады, ЛЭП, ограждения и др. рисовались при помощи инструмента Draw Polyline.

Точечные объекты: оборудование на трубопроводах (задвижки, манометры и др.), опоры ЛЭП строились в интерактивном режиме – Insert Vertex (добавить вершину).

Параллельно векторизации выполнялось разнесение объектов по слоям цифрового плана, а также добавление требуемой атрибутивной информации (материал, диаметры трубопроводов, назначение и т.п.). В основном вся атрибутивная информация должна быть собрана в полевых условиях и нанесена на абрис. Но метрические данные удобнее получить по «облаку точек» – высоту опор ЛЭП, величину провиса проводов, высоту арочных проемов над дорогами, метрические характеристики растительности (средняя высота деревьев, толщина стволов, расстояние между деревьями), высота ограждений и т.д. Однако, информацию о диаметрах трубопроводов затруднительно получить в камеральных условиях, так как большая их часть находится в изоляции, поэтому эта задача ложится на полевые бригады.

После векторизации модель из внутреннего формата Cyclone переводится в формат COE (Cyclone Object Exchange), для того чтобы ее экспортировать в формат AutoCADa. В программном продукте MapInfo с помощью подпрограммы «Универсальный транслятор» полученная модель экспортировалась в формат MapInfo.

Последний этап работы – редактирование модели в программном продукте MapInfo, которое включает в себя:

- Формирование площадных объектов;
- Изменение стилей, цветов площадных, линейных и точечных объектов;
- Формирование шаблонов таблиц для внесения атрибутивной информации об объектах;
- Перенос атрибутивной информации в таблицы.

В результате получен цифровой план на данную территорию в формате MapInfo.

Проведенный эксперимент показал целесообразность применения технологии наземного лазерного сканирования для выполнения таких традиционных видов геодезических работ, как топографическая съемка застроенных или промышленных территорий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1982. – 160 с.

2. Комиссаров А.В. Исследование точности наземных лазерных сканеров. Современные проблемы технических наук. Сборник тезисов докладов Новосибирской межвузовской научной студенческой конференции «Интеллектуальный потенциал Сибири». Часть 3. Новосибирск. – 2004. – 104 с.

*© Д.В. Комиссаров, А.В. Середович, О.А. Дементьева, 2005*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ КАРТ ОЧАГОВ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА**

Одним из разделов медико-географического картографирования является составление карт природноочаговых инфекций. Это обусловлено тем, что в настоящее время в мире установлено около пятидесяти болезней, связанных с природной очаговостью. К числу основных из них относится клещевой энцефалит. Например, заболеваемость населения этой нейроинфекцией в Западной Сибири в отдельные годы составляла около 50 % от общей по России [1].

В последние годы увеличивается роль карт, отображающих различные процессы и явления в системе «окружающая среда → здоровье населения». Накопленные сведения в этой области дают возможность приступить к разработке нового, более ускоренного и безопасного картографического метода выявления природных очагов, заражённых переносчиками вирусов опасных болезней. Этот метод мы рассматриваем на примере выявления очагов переносчиков вирусов клещевого энцефалита, на территории Новосибирской области.

В основу его положено комплексирование отдельных элементов природной среды на одну географическую основу. Созданная по этой методике карта очагов клещевого энцефалита в Новосибирской области позволяет с наибольшей долей вероятности судить об эпидемиологическом состоянии исследуемой территории в целом, что позволяет дифференцированно дать прогнозную оценку потенциальной опасности по клещевому энцефалиту.

Применение же ГИС-технологий позволяет более оперативно решать задачи по картографированию очагов природных инфекций. Поэтому разработана технологическая схема, пользуясь которой можно в сравнительно короткие сроки и с небольшими затратами составлять карты на опасные в эпидемиологическом отношении территории, руководствуясь которыми органы здравоохранения смогут успешно и целенаправленно проводить профилактические мероприятия по борьбе с природноочаговыми болезнями и своевременно предупреждать их вспышки [2].

Составлять карту предлагается в программе Mapinfo. Это геоинформационная система, позволяющая создавать и анализировать карты стран, районов, городов и вообще всего, что может рассматриваться как карта или план. Созданная карта может быть отражена различными способами, в том числе в виде высококачественной картографической продукции. Кроме того Mapinfo позволяет решать сложные задачи географического анализа, такие как создание геогрупп, связь с удалёнными базами данных, включение географических объектов в другие приложения, создание тематических карт.

Для создания карты, которая бы в должной мере отвечала практическим требованиям санитарно-эпидемиологической службы и могла бы служить достаточно достоверным источником информации об очагах клещевого

энцефалита для широкого круга потребителей, предлагается составить карту в масштабе 1: 200 000. В данном масштабе в полной мере обеспечиваются необходимая полнота и подробность, величина и точность изображения явлений и объектов содержания карты. Более мелкий масштаб приведёт к уменьшению расстояний между объектами, затруднению изображения тематического содержания карты, а следовательно, понизится её читаемость. Более крупный масштаб приведёт к увеличению картографируемой территории, а следовательно, к увеличению формата карты.

В качестве исследуемой территории выбран Тогучинский район, являющийся одним из самых неблагополучных по заболеваемости населения клещевым энцефалитом [3].

В основу составления карт положен метод комплексирования отдельных элементов географической среды, которые в сочетании друг с другом определённым образом влияют на существование переносчика вируса клещевого энцефалита. Поэтому для создания компьютерного варианта карты исходным материалом послужили три карты масштаба 1: 200 000 (карта лесов, карта рельефа, карта климатических зон).

На карте лесов показаны площади, занятые черневой тайгой (ель, пихта, кедр), лиственными лесами (берёза, осина), хвойными лесами (сосна, лиственница) и смешанными.

На гипсометрической карте были выделены четыре типа рельефа поверхности, своеобразно влияющих на обитание клеща:

- Равнинный, с абсолютными отметками 100 м – 200 м;
- Вскло́млённый, 200 м – 300 м;
- Среднегорный, более 300 м;
- Овражные формы рельефа.

На климатической карте выделено два климатических района:

- Прохладный, хорошо увлажнённый климат, ГТК = 1,4 – 1,9;
- Умеренно прохладные, умеренно влажные, ГТК = 1,0 – 1,4

Сначала эти карты сканируются, после чего проводится геометрическая коррекция полученного растрового изображения. Составительско-оформительские работы проводятся с использованием программ векторного графического дизайна. Векторизация выполняется по слоям. Каждый отдельный слой содержит отдельный тип данных для карты. Для всех трёх карт будут одинаковыми слои, содержащие географическую нагрузку (гидрография, населённые пункты, пути сообщения, границы). Для карты лесов Тогучинского района создаётся слой «леса», для карты рельефа – слой «рельефа», а для климатической карты – слои «климат» и «изотерма».

После редактирования и исправления ошибок в построении полигонов получается комплексная карта географических факторов.

Применение оверлейной операции позволяет автоматически строить вновь образовавшиеся полигоны. Выбирая поочерёдно полигоны всевозможных кодов (сочетаний природных факторов) (рис. 1) и руководствуясь разработанным

ранее классификатором, определяем зоны с различной степенью опасности заражения клещевым энцефалитом:

- Наиболее опасные;
- Опасные;
- Менее опасные;
- Небезопасные.

Схема составления карты представлена на рис. 2.

|                                                                                     |                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|    | ГТК 1,4 – 1,9; всхолмлённый; черневая тайга  |
|    | ГТК 1,4 – 1,9; среднегорный; смешанные леса  |
|    | ГТК 1,4 – 1,9; всхолмлённый; смешанные леса  |
|    | ГТК 1,0 – 1,5; всхолмлённый; смешанные леса  |
|    | ГТК 1,4 – 1,9; равнинный; смешанные леса     |
|    | ГТК 1,0 – 1,5; равнинный; смешанные леса     |
|    | ГТК 1,4 – 1,9; среднегорный; лиственные леса |
|   | ГТК 1,4 – 1,9; всхолмлённый; лиственные леса |
|  | ГТК 1,0 – 1,5; всхолмлённый; лиственные леса |
|  | ГТК 1,4 – 1,9; равнинный; лиственные леса    |
|  | ГТК 1,0 – 1,5; равнинный; лиственные леса    |
|  | ГТК 1,0 – 1,5; равнинный; хвойные леса       |
|  | ГТК 1,4 – 1,9; среднегорный                  |
|  | ГТК 1,4 – 1,9; всхолмлённый                  |
|  | ГТК 1,4 – 1,9; овражные формы рельефа        |
|  | ГТК 1,0 – 1,5; овражные формы рельефа        |
|  | ГТК 1,4 – 1,9; равнинный                     |
|  | ГТК 1,0 – 1,5; всхолмлённый                  |
|  | ГТК 1,0 – 1,5; равнинный                     |

Рис. 1. Таблица сочетаний природных факторов



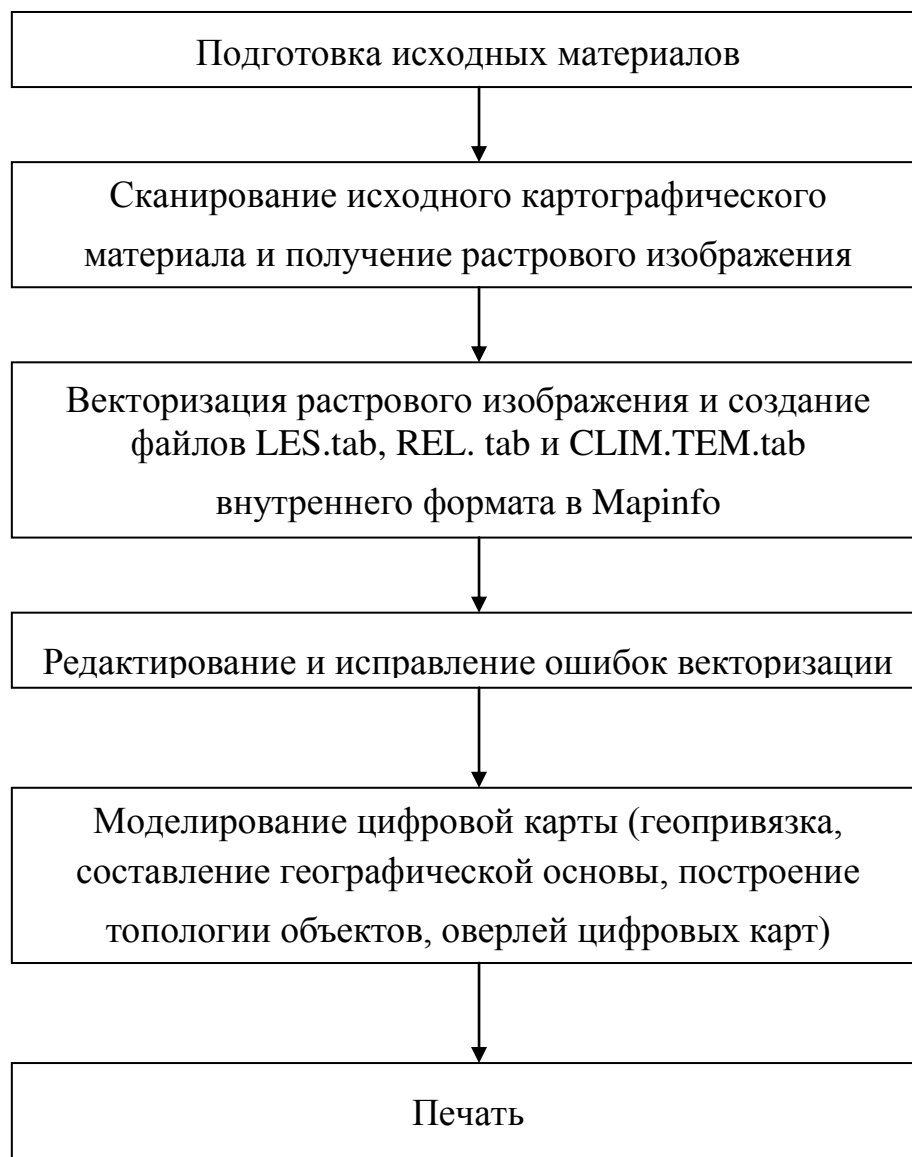


Рис. 2. Схема составления компьютерного варианта карты распространения очагов клещевого энцефалита в Тогу́чинском районе Новосибирской области.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястребов, В.К. Проблемы экологии человека в Сибири [Текст] / В.К. Ястребов. – Новокузнецк., 1990. – 114 с.
2. Маликов, Б.Н. Составление и подготовка к изданию карт и атласов с использованием компьютерных технологий [Текст] / монография / Б.Н. Маликов, Я.Г. Пошивайло. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 92 с.
3. Сухорукова, С.А. География клещевого энцефалита в Новосибирской области [Текст] / С.А. Сухорукова // LI науч.-техн. конференция преподавателей СГГА, посвящённая памяти академика В.В. Бузука. – Новосибирск: СГГА, 2001.

© С.А. Сухорукова, 2005

**ОБ ОПЫТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ**

В настоящее время, когда экологическая обстановка во многих российских регионах является весьма напряженной, - возрастает общественная значимость мероприятий, связанных с экологическим мониторингом, контролем качества окружающей среды и планированием мер по снижению загрязненности. В связи с этим возрастает актуальность такого вида тематических карт, как экологические карты. Эти карты не только служат средством фиксации собранных данных о текущем состоянии отдельных природных компонентов (воды, воздуха, почв и пр.), но являются ценным инструментом, облегчающим проведение оценки современного качества окружающей среды и прогноза дальнейшей динамики экологической обстановки во времени и пространстве.

Кафедрой картографии СГГА с 1980 года ведется составление экологических карт различной тематики и назначения. Значительное место среди них занимают отраслевые экологические карты, отображающие источники, качественные и количественные параметры отдельных видов загрязнения окружающей среды (загрязнения воздушного бассейна, водных объектов, шумового загрязнения, электромагнитного загрязнения и т. д.). В частности, кафедрой была разработаны тематическое содержание, макеты компоновки и легенды серии отраслевых экологических карт на территорию Новосибирска. В состав серии входят следующие карты: «Загрязнение атмосферы в г. Новосибирске», «Загрязнение почв в г. Новосибирске», «Радиационная обстановка в г. Новосибирске».

В процессе проектирования данной серии карт учитывалось то, что их основными заказчиками являются научно-исследовательские организации, занятые экологическими исследованиями (Западно-Сибирский центр мониторинга окружающей среды, ГП «Березовгеология» и пр.), которые владеют обширными массивами многолетних экологических данных, но не имеют в своем штате сотрудников-картографов, способных быстро и качественно представить накопленную информацию в картографическом виде, более удобном для анализа, нежели чем статистические таблицы и графики. Потребителями же отраслевых экологических карт являются как сами специалисты-экологи, которые используют их для планирования перспективных наблюдений за состоянием окружающей среды, так и сотрудники административно-хозяйственных органов, связанных с регламентацией и контролем мероприятий по охране и восстановлению окружающей среды. Иными словами, отраслевые экологические карты создаются для потребителей, не имеющих специальной картографической подготовки. И потому в процессе проектирования серии отраслевых экологических карт на территорию г. Новосибирска, мы должны были обеспечить не только информационную полноту этих карт, но и наглядность представления на этих картах экологических данных, легкость их чтения и привлекательность внешнего вида.

В качестве общегеографической основы для серии отраслевых экологических карт г. Новосибирска нами использовалась карта г. Новосибирска масштаба 1:32 000, выпущенная Новосибирской картографической фабрикой в 1998 году. Данные о загрязнении воздуха, почв и радиационной обстановки в городе были получены от Западно-Сибирского центра мониторинга окружающей среды и ГП «Березовгеология».

Как показали работы по созданию экспериментальных образцов карт серии, наиболее загруженными являются карты «Загрязнение атмосферы в г. Новосибирске» и «Радиационная обстановка в г. Новосибирске». В тематическое содержание этих карт входит значительное количество узкоспециальных экологических параметров (например, суммарный показатель состояния атмосферного воздуха на автомагистралях, суммарная эффективная эквивалентная доза радиации, уровень аэрогаммаполя и т. п.). Картографирование подобных показателей требует от инженера-картографа некоторой подготовки в области экологии. Однако для большинства перечисленных показателей характерна либо привязка к линейным объектам (например, дорогам), либо – концентрация на небольшой площади, не всегда выражающейся в масштабе карты. Поэтому выбор способов картографического отображения этих показателей и совмещение выбранных способов на одной картографической основе - не вызвали затруднений.

Более простой по содержанию получилась карта «Загрязнение почв в г. Новосибирске». Её основными тематическими элементами стали контуры ареалов с различным уровнем загрязненности почв тяжелыми металлами, и локализованные диаграммы, отображающие концентрацию элементов-загрязнителей в пределах ареалов с наиболее высоким уровнем загрязнения. Однако и сами ареалы, и связанные с ними локализованные диаграммы занимали на карте весьма значительную площадь. Поэтому в процессе экспериментальных работ особое внимание было уделено графической загруженности карты и читаемости прочих элементов тематического содержания (карьеров, золоотвалов, шламонакопителей и пр.) на фоне ареалов и диаграмм. При проектировании условных обозначений для конкретных тематических элементов карты это выразилось в запрете на использование фоновой окраски для ареалов загрязненности почв, и в замене её на контуры с точечной штриховой; а также – в выборе крупных внемасштабных условных знаков и утолщенных фигурных линий для свалок, золоотвалов и прочих локальных техногенных объектов, являющихся источниками нарушения почв.

В разработке цветового оформления серии отраслевых экологических карт на территорию г. Новосибирска нами было решено отойти от принципа использования для показа экологически опасных объектов стереотипных комбинаций черного и красного цветов, и представить тематическое содержание проектируемых карт в более разнообразной гамме ярких красок, которые гармонично сочетались бы между собой, и вместе с тем - способствовали бы фиксации внимания потребителя карты на наиболее крупных источниках и ареалах загрязнения и их основных параметрах. Но вместе с тем мы старались соблюдать и традиционный для картографии принцип ассоциации цвета

условного знака с основным свойством или качеством картографируемого объекта (явления). Например, на карте «Загрязнение почв в г. Новосибирске» для ареалов загрязненности почв тяжелыми металлами использован темно-коричневый («земляной») цвет, а на карте «Загрязнение атмосферы в г. Новосибирске» – для послойной окраски изосорд использован серый цвет, ассоциирующийся с пылью или дымом.

Наряду с этим на картах серии широко используются и те цветовые оттенки, которые менее связаны с «экологической опасностью» – синие, фиолетовые и т. д. В частности, для раскраски локализованных диаграмм геохимических ассоциаций на карте «Загрязнение почв в г. Новосибирске» использована шкала светлых чистых оттенков вишневого, оранжевого и зеленовато-желтого цветов. Использование более приглушенных, «грязноватых», традиционных для показа любого «загрязнения» тонов, – увело бы диаграммы с первого плана содержания карты, затруднило бы ее читаемость и, в конечном счете, ухудшило бы ее восприятие потребителем.

Работы, проведенные кафедрой картографии СГГА по составлению серии отраслевых экологических карт г. Новосибирска показали, что, при надлежащем отборе и соответствующем подходе к проектированию оформления данных карт, – вполне возможно создавать такие отраслевые экологические карты, которые будут в наглядной форме отображать основные параметры экологического состояния окружающей среды, а их легенды – будут сформулированы в терминологии, доступной потребителю, не владеющему азами экологии.

© О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова, 2005

УДК 528.9

В.А. Середович, Е.Л. Касьянова, Я.Г. Пошивайло, Д.В. Дмитриев

СГГА, Новосибирск

## **СОЗДАНИЕ АТЛАСА «УЛИЦЫ НОВОСИБИРСКА ДЛЯ АВТОМОБИЛИСТОВ И ПЕШЕХОДОВ»**

Перед созданием атласа стояла проблема отбора и обработки исходной информации. При ее обилии и многообразии возможна множественность решений. Это одна из самых ответственных задач проектирования атласа. Единственным ключом к решению проблемы является назначение атласа, позволяющее под определенным углом зрения отбирать и обрабатывать необходимые данные. При этом следует руководствоваться требованиями полноты, сбалансированности разделов и тем как одним из важнейших условий целостности произведения.

В условиях рыночной экономики многие источники информации становятся недоступными из-за большой стоимости. Не полная и не современная информация отражается на полноте и достоверности атласа. Поэтому при создании атласа для автомобилистов и пешеходов был создан координационный совет с участием не только научных сфер, но и таких структур как ГИБДД и Авторadio г. Новосибирска. В результате создан

полный по содержанию и современный по отображенной в нем информации атлас.

Географической основой для размещения специального содержания атласа послужил цифровой адресный план г. Новосибирска, созданный на основе цифрового дежурного плана городской застройки масштабов 1: 500 и 1: 2 000.

Выбор масштаба, а соответственно формата атласа обусловлен удобством использования его в условиях передвижения по городу пешком или на автомобиле (легко помещается в «бардачок», в дамскую сумочку, портфель). Масштаб карт атласа выбран 1: 30 000. Схемы движения на крупных развязках и карты отдельных частей города (Академгородок, Пашино, Левые и Правые Чемы и т.д.) выполнены в более крупном масштабе.

Цифровой план постоянно обновляется и дополняется. Эти работы ведутся в среде настольной картографической системы MapInfo, что позволяет автоматизировать работы по формированию содержания карты. Именно в этой программе можно использовать все преимущества геоинформационного картографирования в полном объеме (например, выполнять географические действия типа районирования, объединения и слияния объектов и т.д.). Удобно и то, что MI совместима с Microsoft Windows разных версий. Используя ГИС-программу MI, можно использовать имеющиеся данные в той форме, в которой они хранятся (в электронной таблице, базе данных, других ГИС и т.д.); совмещать преимущества обработки данных, которыми обладают базы данных, наглядность карт и схем.

В нашем атласе реализован новый подход к проблеме генерализации объектов на карте. Из-за малого формата невозможно подписать все улицы и переулки города непосредственно на карте. Мы нашли решение этой проблемы, поместив наименования всех улиц, площадей, переулков, проспектов в алфавитном списке, указав, на какой странице и в каком квадрате расположена каждая улица (улицы, не подписанные, на карте выделяются курсивом).

Социально-культурные, торговые, медицинские, спортивные и другие объекты на картах атласа показаны способом символьных значков. К созданию системы условных знаков применен семиотический подход, который заключается в выявлении знаковой природы карты, выведении правил построения знаков и их комбинаций, исследовании синтаксиса знаковой системы карты, установлении смыслового содержания знаков, изучении особенностей размещения значков. В зависимости от контекста использования в качестве символьных знаков могут выступать некоторые площадные и линейные знаки, окрашенные в определенные цвета, традиционно ассоциируемые с некоторыми свойствами объектов, например красный цвет – с опасностью. На выбор картографо-образной символики проливает свет теория подражания (мимесиса). Подражание в широком смысле слова – это изначальный и весьма распространенный факт в жизни. Воссоздание окружающего мира средствами языка карты во многом основано на подражании действительности: цвет знаков повторяет или близок к цвету реальных объектов (зеленый цвет для изображения растительности, голубой – гидрографии). Таким образом, стирается грань между картографическим изображением и

действительностью. Узнавание реальных объектов в атласе – не примитивный процесс, он включает механизм памяти, ассоциативности, сопоставления, оценки и т.п. Понятие подражания и узнавания выражают отношение картографического изображения и действительности.

К специальному содержанию атласа относятся: основные проезды по городу, подразделенные на категории цветом и шириной, с указанием направления движения транспорта по полосам; улицы, где запрещено движение грузового транспорта; объекты автосервиса (автомагазины, авторемонтные мастерские, автозаправочные станции и др.); объекты соцкультбыта, здравоохранения, торговли.

На отдельных страницах атласа представлены карты отображающие информацию о дорожных «пробках» и наиболее аварийных участках, схемы движения на крупных магистральных развязках, которые позволят оптимально выбирать маршрут следования по городу автомобилистам.

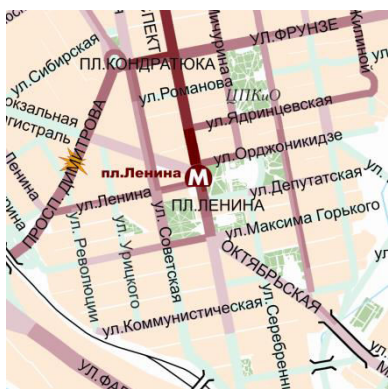


Рис. 1. Фрагмент схемы дорожных «пробок»

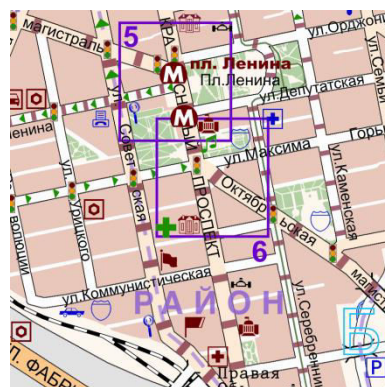
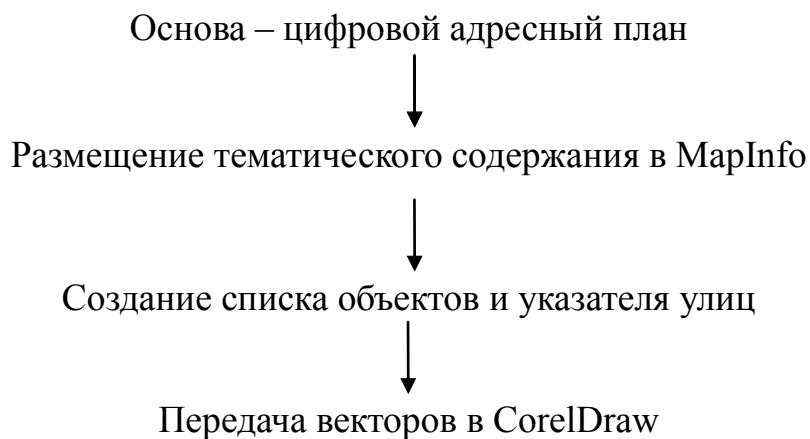


Рис. 2. Фрагмент основного содержания атласа

Завершает атлас указатель различных городских объектов, интересующих, с нашей точки зрения, автомобилистов и пешеходов. В указателе даются адреса, телефоны объектов, страница и квадрат, где этот объект находится.

Последовательность операций изготовления атласа следующая:



Доработка оформления содержания карт, оформление обложки и рекламных  
блоков



Подготовка к изданию офсетным способом

Многие процессы создания атласа были автоматизированы: разбивка карты на страницы (в программе MI), оформление тематического содержания, формирование указателя улиц и объектов, что обеспечило высокую оперативность, так важную для подготовки современных и оперативных картографических изданий крупного мегаполиса.

Особенность технологии подготовки атласа к изданию заключается в комплексном использовании средств компьютерной картографии. Так, завершающий цикл работ проводился в программах векторного графического дизайна CorelDraw, что позволило существенно расширить оформительские возможности (применять прозрачность, градиентные заливки и др.) и более качественно готовить файлы для последующего тиражирования офсетным способом. Печатали атлас в типографии в четыре краски (черная, пурпурная, желтая, голубая).

Дизайн обложки выполняли на основе космического снимка. На него спроецировали фото автомобилей, выделили границу города и магистральные улицы, ведь атлас города для автомобилистов и пешеходов. На обложку нанесено лаковое покрытие, что повышает прочность и улучшает внешний вид атласа.

© В.А. Середович, Е.Л. Касьянова, Я.Г. Пошивайло, Д.В. Дмитриев, 2005

УДК 528.92:665

Л.К. Радченко, М.А. Топчилов

СГГА, Новосибирск

## **К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ КАРТ КОММУНИКАЦИЙ**

Благоприятный инвестиционный климат, устойчивый и относительно высокий уровень цен на энергоносители привели в последние годы к увеличению капитальных вложений в нефтегазодобывающую отрасль. Для правильного функционирования всех подразделений предприятия по добыче нефти и газа, необходима его обеспеченность картографическими материалами. Такими материалами в первую очередь являются карты коммуникаций.

Для того чтобы ориентироваться в огромном массиве карт всевозможных видов, типов и содержания, изданных в разное время и в различных странах мира, необходимо их классифицировать и упорядочивать.

Классификация карт – это система, представляющая совокупность карт, подразделяемых (упорядоченных) по какому-либо избранному признаку. Классификации карт необходимы для их инвентаризации, хранения и поиска, научной систематизации, составления списков и каталогов, создания банков данных и картографических информационно-справочных систем. В качестве основания для классификации допустимо избрать любое свойство карты:

масштаб, тематику, эпоху создания, язык, способ графического оформления и издания карты и т.п. [1].

Определим местоположение карт коммуникаций по содержанию. Для этого воспользуемся классификацией, предложенной проф. Берлянтом А.М., согласно которой все карты подразделяются:



Однако, из практики создания карт коммуникаций со всей очевидностью следует, что подземные и наземные коммуникации отображают почти всегда вместе (почти потому, что бывают и исключения, в ряде случаев, чтобы разгрузить содержание карты, создают карты отдельных видов коммуникаций). Поэтому вернее сказать, что в данном случае мы имеем дело с картами коммуникаций, и в связи с этим предлагаем следующую классификацию специальных карт.



Итак, определили, что карты коммуникаций по содержанию относятся к специальным техническим картам. Специальные карты – это карты, предназначенные для решения определенного круга задач, или рассчитаны на определенные круги пользователей. Поэтому ниже определим круг пользователей и задачи, решаемые с помощью карт коммуникаций в табл. 1.

Традиционно в картографии карты по масштабу подразделяются на: крупномасштабные (1:100 000 и крупнее), среднемасштабные (от 1:200 000 до 1:1 000 000), мелкомасштабные (мельче 1:1 000 000). При этом общегеографические карты крупного масштаба называют топографическими, среднего масштаба – обзорно-топографическими, мелкого – обзорными. В соответствии с инструкцией по маркшейдерским и топографо-геодезическим работам в нефтяной промышленности, для карт коммуникаций используются



масштабы от 1:500 до 1:200 000 [2]. Поэтому ниже приведена классификация топографических карт по масштабу.

В свою очередь топографические карты подразделяются на:

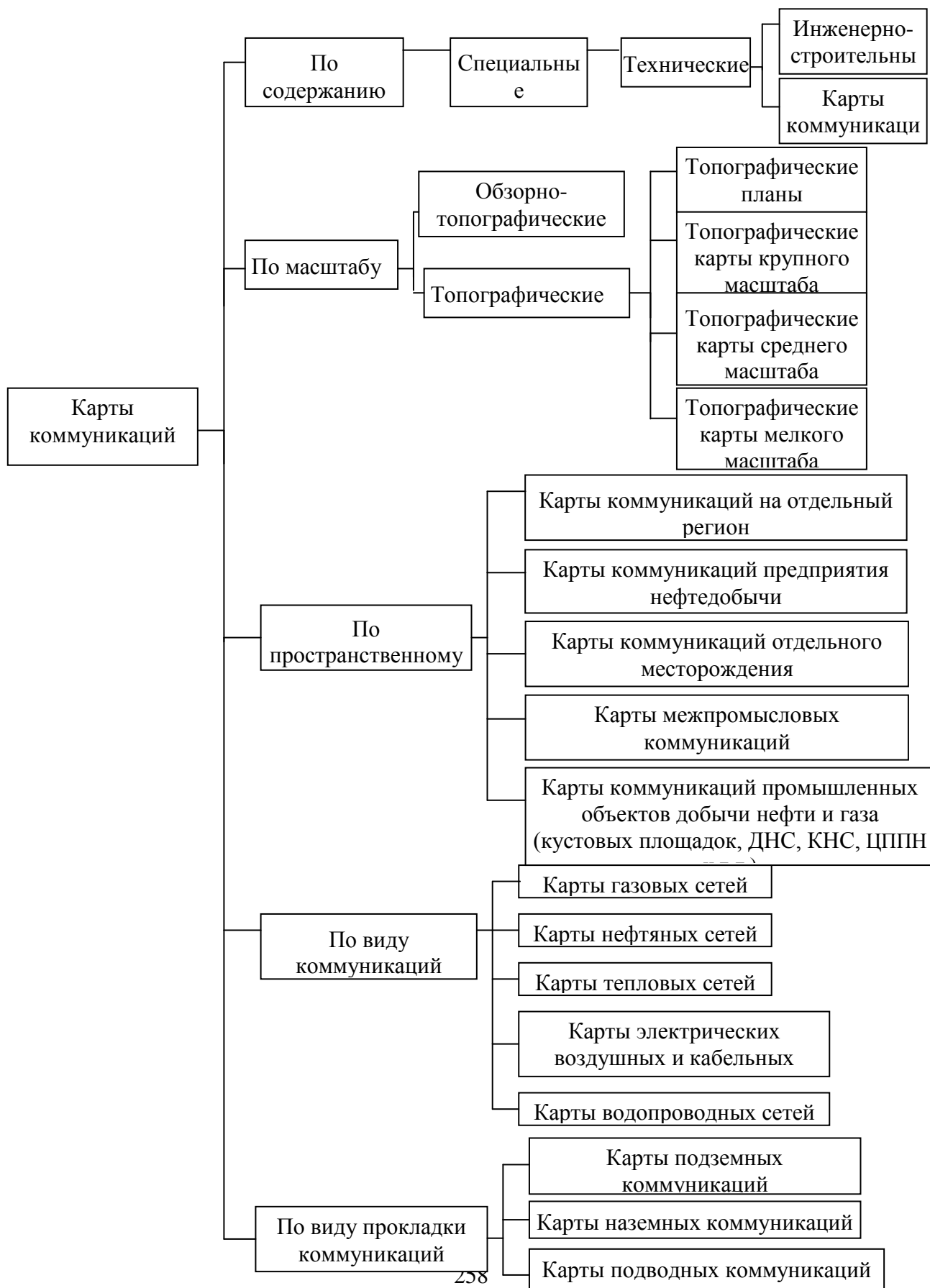
- а) Топографические планы (1:500, 1:1 000, 1:2 000);
- б) Топографические карты крупного масштаба (1:5 000, 1:10 000);
- в) Топографические карты среднего масштаба (1:25 000, 1:50 000);
- г) Топографические карты мелкого масштаба (1:100 000, 1:200 000).

*Таблица 1. Круг пользователей и задачи, решаемые с помощью карт коммуникаций*

| Пользователи                                    | Задачи, решаемые с помощью карт коммуникаций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Службы управлений экологии и природопользования | Мониторинг состояния нефтеразработок.<br>Проектирование трубопроводных трасс и линий электропередач, дорожной сети.<br>Предотвращение и ликвидация технологических аварий трубопроводных трасс и линий электропередач.<br>Определение убытков сельскохозяйственных земель при прокладке трубопроводных трасс, линий электропередач и дорожной сети.<br>Определение участков замазученности при технологических авариях. |
| Маркшейдерские службы                           | Изучение и оценка инженерных коммуникаций на местности.<br>Оценка природных залежей, занятых объектами сбора и обработки нефти и сопутствующих продуктов.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Геодезические предприятия                       | Определение объемов работ при обновлении карт коммуникаций.<br>Рекогностировка и ориентирование при проведении инженерных изысканий.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Эксплуатационные службы                         | Управление, планирование, оптимизация и автоматизация технологических работ сбора, обработки и транспортирования продуктов добычи нефтегазодобывающего комплекса.<br>Контроль за состоянием технических объектов.                                                                                                                                                                                                       |
| Строительно-монтажные управления                | Работы по строительству инженерных коммуникаций и технологических объектов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Земельно-кадастровые службы                     | Инвентаризация и паспортизация инженерных коммуникаций.<br>Постановка на Единый Государственный Реестр Земли.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Геоинформационные службы.                       | Создание ГИС нефтегазовых компаний.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Управления электрических сетей                  | Проектирование, строительство и обслуживание линий электропередач.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Управление связи                                | Проектирование, строительство и обслуживание кабелей связи.<br>Установка, подключение и обслуживание радио-релейных станций.<br>Контроль за добычей нефти и сопутствующих продуктов, посредством связи.                                                                                                                                                                                                                 |
| Территориальные управления автомобильных дорог  | Проектирование, строительство, обслуживание и ремонт автомобильных дорог.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Органы надзора и лицензирования                 | Выдача лицензий на добычу полезных ископаемых. Контроль за соблюдением условий лицензирования.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|             |                                                                                                                                                                            |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лесничества | Согласование границ землепользователей при проведении инвентаризации и паспортизации земель. Определение убытков сельскохозяйственных земель при разработке месторождений. |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Учитывая выше изложенное, предлагаем следующую классификацию карт коммуникаций для нефте-газовой промышленности.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт, А.М. Картография [Текст]/ А.М. Берлянт.- М.: Аспект пресс, 2001. - 336 с.
2. Инструкция по маркшейдерским и топографо-геодезическим работам в нефтяной промышленности [Текст] Мин-во нефт. пром-сти СССР. - М., 1987. - 231 с.

© Л.К. Радченко, М.А. Топчилов, 2005

УДК 528.91 (571.150)

А.В. Владыкина

СГГА, Новосибирск

### **МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ**

В условиях перехода экономики регионов России к экологически устойчивому развитию практическую значимость приобретают информационные системы, позволяющие проводить анализ эколого-экономической ситуации и способствующие принятию эффективных управляющих решений, в частности, в сфере природопользования. Назначение информационных систем определяется не столько простым воспроизведением фактов, сколько потребностью отображения разнообразия природных и социально-экономических связей в пространственном аспекте. В методологическом плане для решения задач управления необходим пространственный анализ экономических показателей, что может являться обоснованием для создания территориальных геоинформационных систем (ГИС).

Геоинформационный анализ и эколого-экономическое картографирование можно отнести к эффективным современным инструментам поддержки процесса принятия социально-хозяйственных решений. Отсутствие единого комплексного подхода к анализу состояния региональных природных и социально-экономических структур, недостаточная разработанность критериев оценки различных компонентов эколого-экономической системы, формирование общей концепции эколого-экономического картографирования делают актуальными исследования, проводимые в данной области [1].

Часто для анализа эколого-экономической ситуации используются статистические данные и различные показатели, характеризующие отдельные отрасли хозяйственной деятельности в регионе. При выполнении таких работ практически не учитывается природно-экологический потенциал территорий, в первую очередь влияющий на характер и интенсивность использования ресурсов, а также пространственная организация хозяйственной эксплуатации территории.

При проведении анализа эколого-экономических характеристик Алтайского края предлагается сопоставить природно-экологический потенциал территории с уровнем социально-экономического развития с целью определения характеристик устойчивости его развития. В качестве операционных единиц для проведения анализа приняты административные районы Алтайского края.

Природно-хозяйственный комплекс Алтайского края, сочетающий развитые аграрную и индустриальную составляющие на фоне разнообразных природно-климатических условий, необходимо рассматривать как сложную систему, включающую значительный потенциал для развития природопользования, элементы экономического взаимодействия и геоэкологических процессов. Спектр рассматриваемых эколого-экономических характеристик края достаточно широк. Он включает интегральные показатели: природный потенциал и уровень социально-экономического развития, оценку благоприятности условий для жизни и хозяйственной деятельности населения.

Природно-экологический потенциал понимается как совокупность климатических и природных условий обеспечивающих потенциальные возможности формирования и функционирования различных видов деятельности на данной территории [2]. Оценочные показатели потенциала административных районов Алтайского края получены в Институте водных и экологических проблем СО РАН. Для анализа выбраны следующие данные:  $\Sigma 10^{\circ}\text{C}$ , осадки (мм/год), коэффициент увлажнения, частота проявления неблагоприятных процессов (в баллах), высота снежного покрова (см), водообеспеченность (тыс.м<sup>3</sup>/ чел./год), ее качество (баллы), запасы фитомассы (т/га), площадь особо охраняемых природных территорий (км<sup>2</sup>). Оценка природного потенциала административных районов Алтайского края выполнена на основе ландшафтной дифференциации согласно "Ландшафтной карте Алтайского края", масштаб 1:1 000 000 в программе ArcView GIS 3.3 (фонды ИВЭП СО РАН). Предлагается административные районы края по величине совокупного природного потенциала разбить на три группы, соответственно, с низким, средним и высоким значениями потенциала. табл. 1.

Социально-экономические показатели широко используются для оценки эффективности природоохранной политики, исследования динамики состояния окружающей среды, планирования социально-экономических задач. Разработка системы показателей является одним из наименее формализованных этапов моделирования. Для экспертиз регионального уровня не существует нормативно установленных списков показателей. При оценке административных единиц Алтайского края, в соответствии с используемой в крае «Методикой комплексной оценки уровня социально-экономического развития (СЭР) территории Алтайского края» предлагается учитывать следующие данные:

- Коэффициент обновления основных фондов, %;
- Производство продукции сельского хозяйства на душу населения, тыс. руб./чел.;
- Инвестиции, тыс. руб.;
- Капитальные вложения в строительство по объектам производственного и непроизводственного назначения, тыс. руб.;
- Средняя заработная плата, тыс. руб.;
- Средний возраст населения, лет;
- Естественные прирост населения, чел. на 1000 населения;
- Ожидаемая продолжительность жизни, лет, в т.ч.: мужчин, женщин;

- Детская смертность, чел. на 1000 родившихся;
- Уровень общей заболеваемости, чел. на 1000 родившихся;
- Новообразования, на 10000 чел. Населения;
- Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, тыс. руб.;
- Выбросы в атмосферу, всего, тыс. т;
- Сброс загрязненных сточных вод, всего, млн. м<sup>3</sup>

*Таблица 1. Сочетание природно-экономического потенциала и уровня социально-экономического развития районов Алтайского края*

| Уровень СЭР | Природно-экологический потенциал                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | низкий                                                                                                                                                                         | средний                                                                                            | высокий                                                                                                            |
| Низкий      | Баевский, Калманский, Локтевский, Егорьевский, Панкрушихинский, Крутихинский, Ельцовский,                                                                                      | Быстроистокский, Усть-Пристанский, Алейский, Угловский,                                            | Кытмановский, Троицкий, Солонешенский, Целинный, Заринский, Змеиногорский, Солтонский, Залесовский, Красногорский, |
| Средний     | Суетский, Смоленский, Бурлинский, Тюменцевский, Алтайский, Топчихинский, Ребрихинский, Славгородский, Новичихинский,                                                           | Каменский, Волчихинский, Косихинский, Советский, Шелаболихинский, Хабарский, Рубцовский, Зональный | Краснощековский, Чарышский, Курьинский, Тальменский                                                                |
| Высокий     | Немецкий, Романовский, Третьяковский, Поспелихинский, Завьяловский, Павловский, Табунский, Шипуновский, Петропавловский, Кулундинский, Михайловский, Ключевский, Первомайский. | Родинский, Благовещенский, Тогульский, Мамонтовский,                                               | Бийский, Усть-Калманский,                                                                                          |

Методом кластерного анализа в программе Statistika v5.5 рассчитаны три группы районов по уровню социально-экономического развития (СЭР) – высокий, средний и низкий. В табл. 1 приведены результаты сравнения матричным методом показателей СЭР с показателем природного потенциала территории.

Если высокий уровень СЭР района формируется за счет высокой экономической продуктивности на фоне высокого природного потенциала, то можно говорить об интенсивном природопользовании, высокой фондо - и трудообеспеченности. Если высокая производственная освоенность территории

сочетается с низким потенциалом, то это экстенсивный тип природопользования, требующий проведения природоохранных мероприятий широкого профиля.

Сочетание высокого природного и низкого уровня СЭР свидетельствует о наличии резервов для дальнейшего развития производства. Здесь встает вопрос о необходимости и возможности наращивания фондового (материально-технического) и трудового потенциалов, а также смене производственной специализации. Также необходимо определить, какие природные ресурсы формируют высокий потенциал территории и сложившийся тип специализации производства. Резервы повышения уровня СЭР данной территории заключаются в смене структуры производства, так как сложившийся тип специализации не соответствует имеющимся в районе ресурсам.

Различное сочетание совокупного природного потенциала и типологии социально-экономических показателей дает интегральный показатель благоприятности эколого-экономической ситуации в административных районах для жизни и определенных видов деятельности человека. Результаты анализа отражены на карте, созданной в программе MapInfo Professional 7.0, рис. 1.

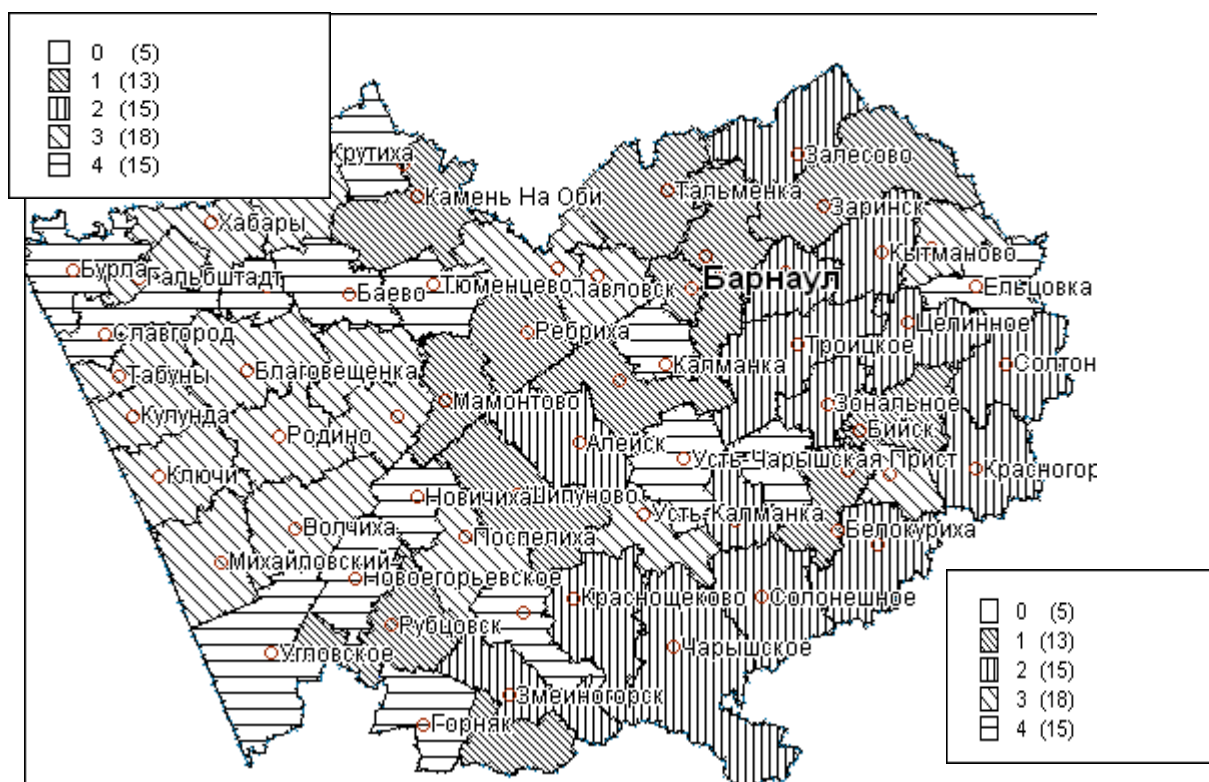


Рис. 1. Эколого-экономическая карта Алтайского края

На основании сочетаний совокупного природного потенциала и типологии социально-экономических показателей принята следующая градация оценки эколого-экономических ситуаций в Алтайском крае:

1. Благоприятная ситуация, куда отнесены районы с высоким природным потенциалом, способным выдержать высокие хозяйственные нагрузки;

2. Относительно благоприятная ситуация, характеризующаяся, сочетанием высокого потенциала районов с недостаточным использованием или необходимостью более рационального использования природных ресурсов;

3. Малоблагоприятная ситуация, ведение в этих районах активной хозяйственной деятельности ведет к экологическому неблагополучию, природный потенциал не выдерживает эколого-экономической нагрузки;

4. Неблагоприятная ситуация, куда отнесены районы с низкой эффективностью хозяйственной деятельности, обусловленной низким природным потенциалом территорий.

В результате проведенных исследований можно выделить территории с различной степенью благоприятности эколого-экономических условий для жизнедеятельности человека.

Наименее благоприятная ситуация складывается в юго-западных районах края, имеющих низкий природный потенциал, и, соответственно, низкие показатели способности к самоочищению и устойчивости к антропогенным воздействиям. Кроме того, территория получила дозу радиационного загрязнения. К данной категории отнесены и районы Кулундинской зоны, где обширное распространение имеют неблагоприятные природные процессы (ветровая эрозия, засоление земель), а также имеет место загрязнение вредными выбросами территорий, расположенных в зоне промышленных предприятий, добывающих и перерабатывающих химическое сырье.

Выделяются неблагополучием районы, расположенные в бассейне реки Алей. Здесь проходят крупные железнодорожная и автомобильная магистрали, высоковольтные ЛЭП, расположены достаточно крупные сельские населенные пункты, объекты сельскохозяйственного производства, гидромелиоративные системы, крупные животноводческие комплексы. Относительно высокое экономическое развитие территории связано с интенсивными антропогенными нагрузками не соответствующие природному потенциалу районов.

Относительно благополучная эколого-экономическая ситуация в предгорных районах, которые характеризуются высоким природным потенциалом, комфортными климатическими условиями, благоприятными для санитарно-курортного лечения, туризма, а также сельскохозяйственного производства, в том числе производства детского и диетического питания. К преимуществам региона можно отнести относительную транспортную доступность.

Оценка устойчивости развития, имеет не только методическое, но и практическое значение для определения уровня экологической комфортности жизнедеятельности населения, а также разработки путей совершенствования отраслевой и территориальной структур производства и расселения. Созданная информационная база позволит решать вопросы соотношения пропорций экономического развития и экологического состояния окружающей среды в Алтайском крае, оценивать устойчивость развития административных районов и региона в целом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владыкина А.В. Региональное синтетическое эколого-экономическое картографирование [Текст]/ А.В. Владыкина, И.Н. Ротанова // Междунар. научно-техн. конф., посвященная 225-летию МИИГАиК. М., 2004. - С. 132 - 135.
2. Исадченко А.Г. Экологическая картография России [Текст] / А.Г. Исадченко. Изд. С-Петербургского универс., 2001. – 328 с.

© А.В. Владыкина, 2005



## **СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ**

Устойчивость-способность системы противостоять внешним и внутренним возмущениям, сохраняя равновесное состояние. Устойчивость проявляется различно, в зависимости от вида возмущения:

- При импульсивном возмущении происходит самопроизвольное возвращение в состояние, близкое к первоначальному, посредством переходного процесса;

- После ступенчатого возмущения переходный процесс переводит систему в другое равновесие;

- В ходе действия медленно нарастающего возмущения система «отслеживания» изменения фактора, сохраняет состояние подвижного равновесия;

- При периодическом возмущении после каждого одиночного возмущения возникает переходный процесс, направляющий систему к первоначальному состоянию, но прерываемый следующим импульсом.

Способность природы самовосстанавливаться и поддерживать развитие человечества оказалось не безграничной. В результате возникла проблема-необходимость сформировать по существу новую модель развития цивилизации, которая могла бы противостоять социально-политическому кризису.

Первые попытки были предприняты в 80-е годы в ООН. Была создана Международная комиссия по окружающей среде и развитию. Основное содержание программы Комиссия обозначила термином «sustainable development»- «поддерживающее развитие», означающее развитие, которое может поддерживаться неопределенно долго (в русскоязычной литературе этот термин переведен как «устойчивое развитие»).

Истоки концепции устойчивого развития прослеживаются еще со времен Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде. В дальнейшем этот термин был закреплен Конференцией ООН в 1992г. По окружающей среде и развитию в Рио-де Женеиро.

В настоящее время в научной литературе понятие устойчивое развитие рассматривается как развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но, не ставя под угрозу способность будущих поколений, удовлетворять свои собственные потребности.

Устойчивое развитие должно быть в одинаковой степени направлено как на выживание человечества, так и на сохранение природы.

Основными предпосылками устойчивого развития России являются: большая территория с сохранившимися природными ресурсами и естественными экосистемами, человеческий потенциал и экономические ресурсы.

Широкий интерес к устойчивости природных систем по отношению к естественным и антропогенным воздействиям вызвал ряд публикаций.

Но при этом понятие устойчивость, как и ряд сопряженных с ним понятий, применяется к совершенно различным явлениям, что порождает большую путаницу. Поэтому для изучения устойчивости геосистем важно выбрать единый подход к его пониманию.

Осознание необходимости устойчивого развития геосистем ставит перед современной картографией новые задачи.

Устойчивость геосистем спонтанного развития и их антропогенных модификаций является одним из важнейших критериев их оценки.

По мнению В.Б. Сочавы все динамические изменения, происходящие в пределах одного инварианта геосистем, служат выражением ее устойчивости, так как они свидетельствуют о способности природного образования возвращаться к исходному состоянию, то есть способность к саморегуляции.

В.С. Преображенский говорит о двух разновидностях устойчивости. Для природных и полуприродных геосистем это способность испытывать внешние воздействия без разрушения, то есть без смены инварианта. Для сильно измененных природных систем или антропогенных геосистем это способность испытывать внешние воздействия не троя свои качества.

Возникшие проблемы устойчивости геосистем связаны, по крайней мере, с двумя причинами: усилением внимания к проблеме охраны окружающей среды и возобновимых ресурсов и преодолением представлений о геосистеме, как о неподвижном образовании.

В.С. Тикунов и Д.А. Цапук говорят о том, что методологической основой при картографировании устойчивого развития должно стать изучение опыта эколого-географического картографирования. В настоящее время оно является одним из важнейших и самостоятельных разделов тематической картографии. В создании эколого-географических карт накоплен значительный опыт.

Существуют проблемы картографирования устойчивого развития, а именно:

- Неопределенность самого понятия и концепции устойчивого развития;
- Отсутствие четких общепринятых критериев устойчивого развития и тем более их систем;
- Недостаток пространственно локализованной информации, отсутствие соответствующих территориальных систем информации;
- Практическая невозможность составления ретроспективных карт территорий и сложность составления прогнозных карт по тематике устойчивого развития.

До сих пор на картах показывали результаты человеческой деятельности, теперь же для перехода к устойчивому развитию требуется «опережающее» картографирование.

Основой исследований по устойчивому развитию является экологическое состояние территории. Необходимо учитывать природные условия и ресурсы, а также общие показатели устойчивого развития для каждого региона.

Создание карт должно базироваться на определенных показателях, принятых в качестве характеристик устойчивого развития для конкретного региона.

В мире пока еще не существует конкретных показателей и индикаторов устойчивого развития.

В России недавно принята концепция перехода к устойчивому развитию. Так к целевым параметрам относятся:

- Нормы потребления разных видов ресурсов на душу населения;
- Нормы образования разных видов отходов;
- Состояние природных сред, экосистем и охраняемых территорий (качество атмосферы, природных вод, площадь земель в естественном, измененном состоянии, виды организмов, находящиеся в опасности).

Значительное место в документах и исследованиях по устойчивому развитию уделяется региональным процессам развития. Регион является тем уникальным полигоном, на примере которого можно опробовать различные схемы изучения и представления материала и где вся совокупность процессов представлена в достаточно развернутом виде.

Можно выделить два вида исходного состояния регионов:

- Регионы, в которых необходимость острейших экологических проблем вынуждает обращаться к вопросам устойчивого развития, то есть наблюдается «ведущая» роль экологического фактора. Чаще всего это районы экологического бедствия, малоосвоенные территории сырьевой и ресурсной хозяйственной специализацией;
- Регионы, в которых экологические проблемы «завязаны» с социально-экономическими этнокультурными проблемами, то есть выделить «ведущий» фактор нелегко.

В первом случае приоритет будет за экологическими критериями, во втором – комплексная система показателей.

В.Б.Михно рассматривает вопросы устойчивого развития как изменчивость и динамику ландшафтов.

Изменчивость природно-территориальных комплексов - переход ландшафтов под воздействием внешних сил или саморазвития из одного состояния в другое.

Наибольшая изменчивость - подвижные компоненты ландшафта (воздух, вода, снежный покров).

Наибольшая устойчивость - литогенная основа ландшафта (горные породы, рельеф).

Изменения ландшафтов могут быть как обратимыми, так и необратимыми.

При обратимых изменениях ландшафт после воздействия на него и трансформацией вновь возвращается к своему исходному состоянию, при необратимых - восстановление прежних свойств ландшафта не происходит.

Глубина трансформации ландшафтно-экологических систем под воздействием естественных и антропогенных факторов может быть самой различной.

Динамика ландшафтов - это обратимое и необратимое, направленное, закономерное или случайное изменение ландшафтов в пределах одного инварианта, то есть не сопровождающееся изменениями структуры природно-территориальных комплексов.

Развитие ландшафтов - это необратимые поступательные изменения природно-территориальных комплексов, ведущие к коренной перестройке его структуры - смене инварианта.

Проблема картографирования ландшафтов - следствие пространственной неоднозначности этого понятия. Это означает, что картографированию должно предшествовать ландшафтное районирование, с последующей характеристикой каждого ландшафтного выдела, ранг которого определяется масштабом. При этом используются материалы дешифрирования космо- и аэрофотоснимков, а также геоботанические и ландшафтные карты.

© С.С. Дышлюк, 2005

УДК 528.9

*Л.М. Бугаевский, Е.С. Подольская*

МИИГАиК, Москва

## **МЕТОДИКА КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ГИДРОГРАФИИ И ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ОБЗОРНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ**

### **Введение**

Картографическая генерализация была и остается одной из самых актуальных проблем картографии [1]. Накопленный опыт отечественных и зарубежных специалистов является основой для разработки методов генерализации общегеографических и тематических карт.

Сложности картографической генерализации на обзорно-топографических картах, обусловленные сочетанием процедур отбора и обобщения объектов (Руководство ч. 2, 3 и Условные знаки), позволяют говорить об актуальности разработок по этому направлению.

Исследованиям генерализации населенных пунктов посвятили свои труды В.И. Сухов, К.А. Салищев, А.В. Бородин, М.К. Бочаров, А.М. Комков, С.А. Николаев, Н. И. Шилов, Ф. Топфер, Е. Срна и др. [2, 3, 6, 7, 8].

Вопросы генерализации гидрографии рассмотрены в трудах Г.П. Давыдова, А.М. Комкова, С.А. Николаева, Н.И. Шилова и др. [6].

Особенности генерализации дорожной сети изложены в работах М. Эккерта, С.А. Николаева, В.И. Сухова, А.И. Преображенского, А.Г. Иванова, И.Г. Журкина и др. [6, 9, 10].

Рекомендации, предложенные в перечисленных работах, позволяют выявить закономерности генерализации карты в целом.

На кафедре картографии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК) под руководством профессора, д. т. н., заслуженного деятеля науки и техники РФ Бугаевского Л. М. разрабатывается методика картографической генерализации трех взаимосвязанных элементов

содержания на обзорно-топографических картах - населенных пунктов, линейных элементов гидрографии и дорожной сети [4, 5].

Для учета неравномерности размещения объектов местности, изображаемых на карте, предлагается выполнить дифференциацию территории, на основе которой и разрабатывается метод картографической генерализации.

#### Постановка задачи

Предлагаемая методика состоит из двух взаимосвязанных частей: исследовательской и практической. Исследовательская часть заключается в установлении количественных и качественных закономерностей между изображением элементов содержания на изданных обзорно-топографических картах двух последовательных масштабов (1:200 000 – M1 и 1:500 000 – M2) [4, 5].

Принципиальная новизна исследовательской части заключается в следующем:

- Определена математическая связь между изображением элементов содержания изданных карт последовательных масштабов;

- Опыт традиционного картосоставления представлен в формализованном виде с учетом дифференциации территории по совокупности количественных и качественных признаков.

Установленные аналитические зависимости переносятся в практическую часть для составления карты масштаба M2 по карте M1, одновременно учитывается влияние качественных признаков. Выбор зависимостей для конкретной территории выполняется в процессе редакционной подготовки.

#### Описание методики

Основным этапом методики является этап количественной генерализации, на котором решаются две важные задачи:

1. Выполняется дифференциация (районирование) территории по совокупности признаков.

2. Устанавливаются аналитические зависимости линейного или нелинейного вида между картами двух масштабов.

1. Для решения задачи дифференциации территории используются известные методы таксономического, дискриминантного анализа, другие методы, существо которых излагается в работе [11]. Выбор и обоснование метода дифференциации для конкретного листа карты определяются условиями рассматриваемой территории (густотой населенных пунктов, особенностями речных систем, дорожной сети и др.). В результате дифференциации получаем совокупность площадок карты (групп) с близкими значениями количественных и качественных признаков.

2. Разработанный математический аппарат метода основан на установлении аналитических зависимостей между содержанием карт последовательных масштабов.

Количественными показателями нагрузки определены: для населенных пунктов - частота и плотность, для линейных элементов гидрографии и дорог – частота, длина и плотность.

Коэффициенты частоты и плотности определяются отношениями числа объектов и суммарной площади их изображения к площади участка карты (ячейки) соответственно на исходной карте и составляемой карте.

Их формулы можно представить в виде:

– Коэффициент частоты:

$$V = n_1 / S_{яч_1} \text{ - для карты масштаба } M1, \quad (1)$$

$$X = n_2 / S_{яч_2} \text{ - для карты масштаба } M2, \quad (2)$$

– Коэффициент длины:

$$L = \sum L_1 / S_{яч_1} \text{ (для } M1), \quad (3)$$

$$M = \sum L_2 / S_{яч_2} \text{ (для } M2), \quad (4)$$

– Коэффициент плотности:

$$U = \sum S_1 / S_{яч_1} (M1), \quad (5)$$

$$Y = \sum S_2 / S_{яч_2} (M2), \quad (6)$$

где  $n_1, n_2$  - число объектов в пределах площадки (ячейки),

$S_{яч_1}, S_{яч_2}$  - площади ячеек карт  $M1$  и  $M2$  (кв. см или кв. мм в масштабе карты),

$\sum L_1, \sum L_2$  – суммарная длина объектов (рек или дорог) в пределах площадки (ячейки) соответственно на картах  $M1$  и  $M2$ ,

$\sum S_1, \sum S_2$  – площади изображений всех объектов по ячейкам на картах  $M1$  и  $M2$ .

Аналитические зависимости между картами могут иметь линейный или нелинейный вид, например:

$$X = A_0 + A_1 * V, \quad (7)$$

$$M = B_0 + B_1 * L, \quad (8)$$

$$Y = C_0 + C_1 * U, \quad (9)$$

где  $X, V$  – коэффициенты частоты на карте  $M2$  и  $M1$  соответственно,

$M, L$  – коэффициенты длины,

$Y, U$  - коэффициенты плотности,

$A_0, A_1, B_0, B_1, C_0, C_1$  – параметры связи.

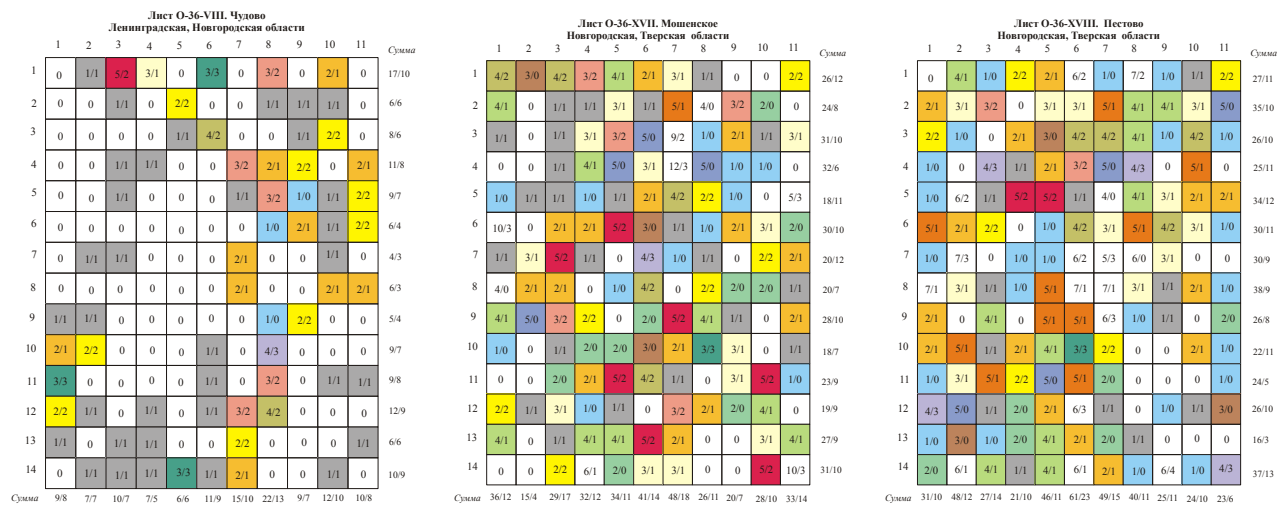
Эксперименты показали, что для отбора и обобщения населенных пунктов целесообразно применять линейные зависимости по одному аргументу.

Для принятия окончательного решения отбора объекта, например, населенного пункта, учитываются качественные признаки генерализации, такие как политико-административное значение, положение относительно рек, дорожной сети, других объектов.

Выявляются общие и частные количественные и качественные закономерности отбора и обобщения объектов, присущие каждой площадке карты. Обобщение этих закономерностей приводит к получению характеристик площадок, используемых в практической части предлагаемой методики.

Большое значение для разрабатываемой методики имеет построение диаграмм размещения объектов (например, населенных пунктов) на изданных картах (см. рис.). При помощи таких диаграмм получаем наглядную картину неоднородности размещения объектов в пределах одного типа района по населенности (Руководство по картографическим и картоиздательским работам.

Ч. 2). Аналогичный вид имеют диаграммы густоты речной сети и дорожных систем.



Условные обозначения

Соотношение отбора населенных пунктов на картах 1:200 000/1:500 000

- 0 "нулевые" ячейки
- 1/1 Отбор 1 из 1
- 2/2 Отбор 2 из 2
- 3/3 Отбор 3 из 3
- 3/2 Отбор 2 из 3
- 4/3 Отбор 3 из 4
- 1/0 Отбор 0 из 1

Рис. Диаграммы размещения населенных пунктов на листах топографических карт масштаба 1:200 000 и 1:500 000 (Тверская, Новгородская и Ленинградская области)

Цветом показано соотношение отбора населенных пунктов

Каждой диаграмме соответствует совокупность (набор) аналитических зависимостей генерализации. Накопление информации по листам топографических карт масштабов 1:200 000 и 1:500 000 на территорию РФ позволит составить библиотеку вариантов генерализации различных карт, сопроводив их рекомендациями по учету качественных признаков генерализации.

Закключение

Методика предназначена для выполнения картографической генерализации на обзорно-топографических картах, которая включает количественную генерализацию на основе установления аналитических зависимостей между

двумя картами последовательных масштабов и учитывает признаки качественной генерализации.

Для количественной генерализации разработаны программные модули, позволяющие реализовать перечисленные операции.

Выполненные работы для трех элементов содержания обзорно-топографических карт Тверской, Новгородской и Ленинградской областей подтвердили положения методики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берк В. И., Бородко А. В. и др. Новые разработки в картографии (По материалам конференции Международной Картографической Ассоциации в Дурбане, ЮАР) // Геодезия и картография. 2004. № 1. С. 17 - 26.
2. Бородин А. В. К вопросу об отборе населенных пунктов на общегеографических картах. Сборник научно-технических и производственных статей. Вып. 18. М.: Геодезиздат, 1948. 203 с.
3. Бочаров М. К. Методы математической статистики в географии. М.: Мысль, 1971. 371 с.
4. Бугаевский Л. М., Подольская Е. С. Теоретические аспекты картографической генерализации населенных пунктов при составлении обзорно-топографических карт // Изв. Вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 2004. № 2. С. 67 – 79.
5. Бугаевский Л. М., Подольская Е. С. О картографической генерализации линейных элементов гидрографии на обзорно-топографических карт // Изв. Вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 2004. № 4. С. 62 – 72.
6. Комков А. М., Николаев С. А., Шилов Н. И. Составление и редактирование карт. М.: ВИА, 1958. 245 с.
7. Töpfer F. Zur Entwicklung mathematischer Grundlagen und Verfahren der Generalisierung // Dresdener Kartographische Beiträge. E. Lehmann und K. A. Saliscec zum 80. Geburtstag. Kartographische Bausteine 6, T. 1. Dresden: Technische Universität Dresden, 1965, P. 57-68.
8. Srnka E. The analytical solution of regular generalization in cartography // Int. Jahrbuch für Kartographie. Vol. X. Gutersloh: Kartographisches Institut Bertelsmann, 1970, P. 48-62.
9. Иванов А. Г., Крылов С. А., Татарников А. Н. и др. Автоматизация картографической генерализации // Геодезия и картография. 2000. №1. С. 33-36.
10. Журкин И. Г., Ву Суан Кыонг. Количественный подход к оценке процесса генерализации гидрографических и дорожных сетей на цифровых топографических картах масштабов 1:5 000 и 1:25 000 // Геодезия и картография, 2003. № 11. С. 47-51.
11. Васмут А. С., Бугаевский Л. М., Портнов А. М. Автоматизация и математические методы в картосоставлении. М.: Недра, 1991. 390 с.

© Л.М. Бугаевский, Е.С. Подольская, 2005



## **АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩИХ ТРЕБОВАНИЙ К ОТОБРАЖЕНИЮ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕСТНОСТИ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СОЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ИХ ГРАФИЧЕСКОМУ ВЫВОДУ**

Цифровая топографическая карта, в отличие от цифровой модели местности, предполагает графическое отображение топографических объектов и подписей для обеспечения наглядности карты согласно существующим условным знакам и дальнейшему графическому выводу. Вследствие чего производится сдвиг многих условных знаков для отображения их условных форм:

- Линейные, невыраженные в масштабе карты, дороги, реки, каналы и прочие линейные объекты раздвигаются на величину их условного знака;
- Далее от рек, каналов или дорог сдвигаются невыраженные линейные обрывы, насыпи или выемки на величину «зубчиков», которые являются рисунком этих условных знаков, и на величину просвета между ними для читаемости этих объектов;
- Далее относительно перечисленных объектов, если расположены рядом населённые пункты или строения, сдвигаются точечные строения, изображённые площадной формой по существующим условным знакам, которые в свою очередь сдвигают ещё какие-то объекты или, при их наложении друг на друга, исключаются вообще.

При выполнении автоматической или интерактивной генерализации возникает необходимость доработки шрифтов (меняется кегль) при переходе с одного масштаба на другой, размерами, которых указывается:

- Градация населённых пунктов по числу жителей;
- Важность объекта;
- Судосходность рек и т.п.

Шрифт показывает:

- Тип поселения (город, посёлок городского типа, посёлок сельского типа, посёлок при промышленном предприятии, железнодорожной станции, пристани и т.п.);
- Политико-административное значение населённых пунктов (столицы, центры районов, краёв, областей, республик);
- Основное или второе название объекта.

Эти требования были необходимы для тиражного оттиска, теперь же при появлении цифровой продукции (карт, ГИС и т.п.) данные требования не актуальны, так как все характеристики могут быть введены в семантическое описание объекта. Для цифровой топографической карты это также дополнительные работы и затраты времени.

Считаем, что и существующие ограничения по семантике на тиражных оттисках, где при переходе от крупного масштаба к более мелкому теряется

часть характеристик, из-за невозможности отобразить их на графической карте, не должны быть обязательными к цифровым картам. Так, например, на цифровой карте сохраняются ценные характеристики, особенно необходимые для пользователя: адрес здания, его характеристики по огнестойкости, наличие жилья, административная принадлежность и т.п.

В результате выполнения вышеперечисленных требований на цифровой топографической карте и при её графическом выводе теряется точность и достоверность, и возникает ряд дополнительных работ и затрат времени по её доработке.

Все вышеперечисленные причины указывают на необходимость пересмотра требований к цифровым картам и разработке новых условных знаков.

Проект «Единых согласованных условных знаков для топографических планов и карт масштабов 1:500–1:1 000 000», разрабатываемый ЦНИИГАиК, полностью повторяет все условные знаки тиражного оттиска и для цифровой продукции он не решает данных проблем.

Так же хочется отметить факт, касающийся понятия цифровой модели местности и цифровой топографической карты; того, как они получены на сегодняшний день. Полученные цифровые модели местности с диапозитивов постоянного хранения (ДПХ) оригиналов карт путём цифрования с них не являются таковыми, так как в процессе создания оригиналов производилась генерализация и картосоставление как во время дешифрирования исходного масштаба, так и во время составления последующих производных масштабов со всеми сдвигами, перечисленными выше, для отображения требуемого условного знака и существующих требований. Данный вид продукта можно назвать только цифровой моделью издательского оригинала карты (по терминологии ГОСТ). Цифровую модель местности можно получить только с новых аэро - или космоснимков, не подверженных ещё каким-либо картографическим изменениям, согласно существующим требованиям к топографическим объектам.

В связи с возникновением новых видов продукции, необходим пересмотр требований к ним и их условных отображений. Для чего предлагается в рамках Роскартографии провести НИР, а затем ОКР с целью анализа всех существующих требований и их изменению по отношению к цифровой продукции и пересмотреть таблицы существующих условных знаков.

При пересмотре условных знаков необходимо обратить внимание на следующие моменты.

Искусственно расширенные линейные объекты автомобильных дорог с заливкой (и без заливки) шириной до 1,4 мм, а автострад до 2,2 мм могут быть заменены линиями определённого цвета, от чего читаемость карты не пострадает, а точность и достоверность выиграет.

То же самое относится и к условным знакам железных дорог, толщина которых необоснованно увеличена до 0,7 мм.

Необходимо пересмотреть и подход к отображению линейных объектов гидрографии (рек и каналов), которые при определённой ширине (у различных

масштабов эта градация различна), искусственно расширяются и показываются в две линии с заливкой. Эта информация кроме картографов, знающих эти цензы, никому ничего не даёт. Для пользователя значимы только характеристики рек, расставленные через определённые интервалы, согласно требованиям нормативных документов.

Тот же принцип градации применён и к линейным объектам просекам, только со своими интервалами ширины, которые различаются ещё и от масштабов карт. Не каждый картограф помнит все эти цензы, а для пользователя выноска условных знаков на стандартных топографических картах вообще не предусмотрена.

Более всего карта загружена на застроенных территориях городов и прочих населённых пунктов. Здесь требуется более детально рассмотреть каждый условный знак и право его на площадное изображение. Тут необходимы эксперименты с множеством сочетаний различных ситуаций.

Так же неактуальна вариация с кеглями шрифтов на топографических картах и градация по числу жителей, если рядом с названием населённого пункта даётся число жителей. Необходимо также пересмотреть значимость шрифтов и их количество вообще и особенно смену кеглей при переходе от одного масштаба к другому, что усложняет работу при автоматической и интерактивной генерализации карт.

В данном докладе затронута лишь часть проблем. Рано или поздно встанет вопрос о необходимости проведения НИР и ОКР по данной теме.

© Н.Ф. Василькова, 2005

УДК 528.91

Г.А. Зотов, Е.Я. Мительман, С.С. Нехин, Л.В. Серегина  
ЦНИИГАиК, Москва

## **УНИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦФС – ГИС «ПАНОРАМА»**

### **1. Введение**

В настоящее время в Роскартографии основной объем современной продукции создается на базе цифровых методов. Для создания и обновления карт по аэрокосмическим снимкам в отрасли широко используются цифровые фотограмметрические станции (ЦФС) ЦНИИГАиК. Учитывая большое число различных ведомств и организаций, использующих созданные в Роскартографии цифровые топографические карты (ЦТК), становится чрезвычайно актуальным вопрос об эффективном конвертировании исходных ЦТК в различные пользовательские топографические и геоинформационные системы. Под понятием «эффективное конвертирование» подразумевается корректная передача в пользовательскую систему объектового состава, принадлежащих объекту параметров, возможность графического отображения ЦТК в условных знаках. Обеспечение этих требований невозможно без согласования основных составляющих частей информационного обеспечения (ИО) - классификатора и его системы кодирования, системы условных знаков, правил цифрового описания объектов карты.

## 2. Унификация информационного обеспечения ЦФС и ГИС «Панорама»

К настоящему времени решена задача конвертирования метрики объектов с их графическим отображением и частично семантических характеристик. Программное обеспечение ЦФС включает набор конверторов в широко распространенные системы: MapInfo, AutoCad, ArcView, Microstation и др. Наряду с этим имеется существенная проблема «эффективного конвертирования» ЦТК, созданных в ЦФС, в систему ГИС «Панорама». В настоящее время ручная доработка после конвертирования ЦТК в формат «Панорама» является очень трудоемким процессом, а передача карт, обновленных предприятиями Роскартографии по заказу Военно-топографического управления Генерального штаба (ВТУ ГШ) ВС РФ, является самым узким местом имеющейся технологии.

Дальнейшее совершенствование технологии создания и обновления ЦТК в интересах Министерства обороны РФ невозможно без согласования информационного обеспечения двух разнородных систем - ЦФС (Роскартография) и ГИС «Панорама» (ВТУ ГШ). Именно поэтому для унификации информационного обеспечения ЦФС и ГИС «Панорама» в 2004 году была создана рабочая группа из представителей ЦНИИГАиК и организаций ВТУ ГШ ВС РФ под руководством начальника НТУ Роскартографии Александрова В.Н. и начальника отдела ВТУ Астахова С.И.

Рабочей группой был выполнен анализ разнородного информационного обеспечения ЦФС и ГИС «Панорама», даны предложения по его унификации на базе согласованного классификатора, действующих условных знаков, правил цифрового описания объектов карты. В результате проведенной работы информационное обеспечение каждой из систем было существенно модернизировано для обеспечения полного и однозначного соответствия объектового состава, характеристик, правил цифрового описания объектов. Были разработаны таблицы соответствия кодов объектов и характеристик ЦФС и ГИС «Панорама» и общие правила цифрового описания объектов для масштабов ЦТК 1:25000 и 1:50000.

Информационное обеспечение унифицируемых систем имеет много общего. Так, обе системы являются картографическими, т.е. базируются на объектовом составе карты, используют иерархические классификаторы, предусматривают возможность отображения ЦТК в графическом виде в картографических условных знаках. Однако имеются и существенные различия, вызванные следующими причинами:

1. Различием требований Роскартографии и ВТУ ГШ к содержанию ЦТК и системе кодирования объектов и характеристик. Так, ЦФС использует трехмерную систему кодирования (X,Y,Z), а «Панорама» - двумерную (X,Y);
2. Различием в характере локализации однотипных объектов;
3. Различием идентификации одних и тех же объектов и характеристик;
4. Разным подходом в формировании подписей, в том числе сложных;
5. Различиями правил цифрового описания объектов.

Достигнутые между разработчиками Роскартографии и ВТУ ГШ компромиссы позволили полностью согласовать информационное обеспечение

двух систем, что, в свою очередь создало благоприятные условия для дальнейшей автоматизации конвертирования исходных цифровых карт, полученных по аэроснимкам, из ЦФС в ГИС «Панорама». Учитывая то обстоятельство, что Роскартография выполняет большой объем работ по заказу МО РФ, достигнутое согласование информационного обеспечения существенно снизит стоимость работ по обновлению ЦТК и сократит сроки приема-передачи продукции.

### 3. Модернизация программного и информационного обеспечения ЦФС и конвертора

На основе унификации информационного обеспечения для ЦТК базовых масштабов была выполнена модернизация информационного обеспечения ЦФС и конвертора для перевода создаваемых и обновляемых на ЦФС карт в формат ГИС «Панорама». Необходимость данной разработки вызвана тем обстоятельством, что используемый до настоящего времени конвертор не обеспечивал конвертирование ЦТК с требуемой полнотой и достоверностью. Это было обусловлено невозможностью полного логического согласования понятий, относящихся к информационному обеспечению ЦФС и ГИС «Панорама», в частности объектовому составу классификаторов, перечню обязательных для каждого из слоев характеристик, правилам цифрового описания объектов.

В соответствии с техническим заданием были выполнены следующие основные работы:

На основе согласованного для ЦФС и ГИС «Панорама» списка объектов и характеристик, правил цифрового описания объектов ЦТК масштабов 1:25000 и 1:50000 выполнена модернизация информационного обеспечения ЦФС, а также модернизация конвертора преобразования ЦТК из технологического формата ЦФС в обменный формат ГИС «Панорама». С учетом модернизации информационного обеспечения ЦФС подготовлены модернизированные технологические шаблоны для ЦТК масштабов 1:25000 и 1:50000. Выполнена модернизация технологии, информационного и программного обеспечения конвертирования ЦТК масштабов 1:25000 и 1:50000 из технологического формата ЦФС в обменный формат ГИС «Панорама».

Результаты унификации ИО были апробированы в процессе выполнения опытно-производственных работ. Новгородским АГП подготовлены четыре листа ЦТК масштаба 1:25000 и один лист ЦТК масштаба 1:50000 в модернизированном информационном обеспечении ЦФС, выполнено конвертирование подготовленных ЦТК в формат ГИС «Панорама» и контроль результатов конвертирования средствами ГИС «Панорама».

Разработка принципиально нового полнофункционального конвертора, выполненного Госгисцентром (автор программ А.И. Углев), позволила практически полностью автоматизировать процесс согласования форматов ЦФС с ГИС «Панорама». Особенностью этой разработки является его универсальность и возможность настройки с помощью таблиц соответствия, формируемых непосредственно пользователем с помощью базы **Access** или таблиц **Excel**. Независимость информационного обеспечения от программы

конвертора создает гибкость в использовании и позволяет в случае необходимости выполнять редактирование информационного обеспечения без вмешательства в программные процедуры, самостоятельно формировать таблицы соответствия между объектами и характеристиками ИО ЦФС и ГИС «Панорама».

Испытания разработанной технологии конвертирования выполнялись в два этапа. Первый из них включал конвертирование тестовых ЦТК (модернизированных технологических шаблонов) масштабов 1:25000 и 1:50000. Информационные шаблоны включают полный объектовый состав ЦТК заданных масштабов и позволяют проверить настройку конвертора на весь возможный объектовый состав ЦТК.

Второй этап заключался в опытно-производственной проверке технологии, программного и информационного обеспечения ЦФС и конвертора на реальных ЦТК масштабов 1:25000 и 1:50000 с окончательным интерактивным редактированием ЦТК в ГИС «Панорама». Конвертированные ЦТК анализировались в среде ГИС «Панорама».

При испытаниях анализировалось количество и состав объектов, прошедших конвертирование, правильность передачи принадлежащих объектам характеристик, подписей, условных знаков, топологии.

Результаты испытаний показали следующие:

- Разработанная технология, ИО и ПО обеспечивают конвертирование ЦТК масштабов 1:25000 и 1:50000, созданных (обновленных) на ЦФС для их последующего использования в среде ГИС «Панорама»;

- Технология конвертирования базируется на информационном обеспечении ЦФС (список объектов, список характеристик, значения характеристик и правила цифрового описания объектов), унифицированном с учетом особенностей информационного обеспечения ГИС «Панорама»;

- Все обязательные объекты и параметры объектов ЦФС имеют соответствие с объектами и параметрами ГИС «Панорама», а правила цифрового описания объектов ЦФС и ГИС «Панорама» трактуются однозначно для их правильного конвертирования из одной системы в другую;

- Конвертор для перевода цифровых топографических карт из среды системы ЦФС (формат DMF) в среду ГИС «Панорама» (форматы SXF и TXF) унифицирован для масштабного ряда ЦТК, а информационное обеспечение подготавливается отдельно для каждого масштаба;

- Технология конвертирования работает практически без потерь информации с максимальной передачей объектового состава ЦТК, принадлежащих объекту характеристик и элементов оформления – подписей и условных знаков;

- После конвертирования и дополнительного редактирования цифровой информации протокол ошибок ЦТК, создаваемый средствами ГИС «Панорама», удовлетворяет требованиям пользователя.

Таким образом, из результатов предварительных испытаний следует, что модернизированные информационное и программное обеспечение ЦФС и

конвертора, технология конвертирования позволяют автоматически передавать из ЦФС в ГИС «Панорама» практически весь объектовый состав исходной ЦТК, условные знаки, характеристики и подписи. Для используемых в процессе проверки ЦТК средний уровень автоматического конвертирования составил 0,94 для масштаба 1:25000 и 0,95 – для масштаба 1:50000.

Основным замечанием к разработанной технологии является неполная реализация достигнутых соглашений об унификации ИО в файле ресурсов ГИС «Панорама», в результате чего требуется дополнительное редактирование ЦТК после конвертирования. Эффективное использование унифицированного с ВТУ ГШ информационного обеспечения требует с их стороны выполнить адекватную модернизацию файлов ресурсов ГИС «Панорама» для ЦТК масштабов 1:25000 и 1:50000.

Для дальнейшего продолжения работ в намеченном Роскартографией и ВТУ ГШ направлении целесообразно ускорить постановку работы по унификации и модернизации информационного обеспечения ЦТК масштабов 1:100000 и 1:200000 для ЦФС и ГИС «Панорама».

4. Унификация требований к основным видам топографической продукции

Повышение эффективности создания и сокращение сроков обновления топографических карт масштабного ряда 1:25000–1:200000 в предприятиях отрасли определяется не только степенью автоматизации фотограмметрических и картографических процессов, но и степенью унификации требований к получаемой продукции. Особенно это важно при передаче картографической продукции из одного ведомства в другое. В частности, речь идет о продукции, изготавливаемой в предприятиях Роскартографии для нужд Министерства обороны РФ.

В результате выполненных работ было проведено также согласование наименований и общих требований к основным видам топографической продукции, используемой в Роскартографии и Министерстве обороны РФ. К согласованным видам продукции отнесены следующие:

Цифровая информация о местности (ЦИМ), включающая цифровую модель рельефа (ЦМР) и цифровую модель объектов местности (ЦММ).

Цифровая (электронная) топографическая карта (ЦТК).

Цифровая модель издательского оригинала (ЦМИО).

Цифровые (орто)фотоплан (ЦФП) и (орто)фотокарта (ЦФК).

Трехмерная электронная модель местности (ЦММ-3D).

Растровая карта с матрицей высот и дополнительными векторными слоями (РК).

Все представленные выше виды продукции используют цифровые методы их получения и ориентированы на современные средства сбора информации. Для Роскартографии таким средством является цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС), для Министерства обороны РФ – ГИС «Панорама». Именно поэтому унификация требований к видам продукции, получаемых на различных программно-технических средствах, не могла быть возможной без унификации информационного обеспечения ЦФС и ГИС «Панорама».

Принципиальной особенностью согласованного перечня является получение при обновлении цифровых карт нового вида продукции в виде цифровой информации о местности. ЦИМ в отличие от ЦТК является полностью метрической моделью местности, не подверженной искажениям, вызванным способом её отображения в условных знаках. Таким образом, точность координат объектов местности, содержащихся в базе ЦИМ, определяется только точностью исходных данных и способом их получения и сохраняется независимо от масштаба представления. В этом смысле ЦИМ является базовым элементом для всех других видов продукции, в том числе и для производных карт более мелких масштабов, получаемых методом генерализации базовой ЦИМ. Кроме того, метрически точная базовая карта имеет более широкую область применения, чем ЦТК, при её использовании в навигации, управления территориями, при решении специальных задач.

К настоящему времени с ВТУ ГШ согласованы только основные требования к видам продукции. Для принятия их в виде нормативных актов необходима их детальная проработка в виде технических условий к каждому виду продукции.

© Г.А. Зотов, Е.Я. Мительман, С.С. Нехин, Л.В. Серегина, 2005

УДК 528.91  
С.С. Нехин, Г.А. Зотов  
ЦНИИГАиК, Москва

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ НА ЦФС ЦНИИГАИК**

### **1. Введение**

Вот уже 10 лет как методы цифровой фотограмметрии, реализованные в цифровых фотограмметрических станциях (ЦФС) широко используются в производственных предприятиях Роскартографии для создания и обновления цифровых карт и планов, получения других видов продукции по аэрокосмическим материалам. Важной вехой во внедрении цифровых методов в производство явилось указание руководителя Роскартографии от 19.02.01 г. о приоритетном использовании ЦФС в предприятиях отрасли. В документе предписывалось все технические проекты представлять для вариантов создания и обновления *цифровых* карт и планов на ЦФС.

Разработка ЦФС началась в ЦНИИГАиК совместно с ГНПП «Геосистема» (Украина) в 1995 г., а ее первое производственное внедрение - в 1997 г. Одними из первых предприятий отрасли, наиболее успешно внедривших эту разработку и внесших существенный вклад в освоение новых методов и оказании помощи в их доработке, были БалтАГП, НовгородАГП, ЮжАГП. К настоящему времени в предприятиях отрасли используется более 1000 цифровых станций, что позволяет считать их базовым техническим средством, решающим все основные задачи по топографическому картографированию, включая создание, обновление и генерализацию ЦТК всего масштабного ряда по аэрокосмическим снимкам, получение ортофотопланов и фотокарт, подготовки цифровых издательских оригиналов и получению другой продукции. Информационное



обеспечение создаваемых цифровых карт отвечает требованиям Роскартографии и ВТУ ГШ МО РФ, что позволяет получать нормативный продукт для конвертирования в другие топографические и геоинформационные системы.

## 2. Автоматизация технологических процессов

ЦФС по сравнению с используемыми ранее методами позволяет автоматизировать целый ряд трудоемких и рутинных процессов в технологиях создания и обновления цифровых топографических карт (ЦТК) и планов (ЦТП), в том числе выполнять:

- Автоматическое восстановление стереомодели по результатам уравнивания фотограмметрической сети;
- Автоматическое формирование и графическое отображение объектов с использованием картографических шаблонов для всего масштабного ряда;
- Автоматизацию процессов контроля качества создаваемых карт;
- Автоматическое отождествление точек на этапах внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования снимков фотограмметрического блока и отдельной стереопары;
- Автоматическое построение ЦМР по регулярной или нерегулярной сетке;
- Автоматическое построение горизонталей с заданным сечением рельефа;
- Автоматическое построение дополнительных горизонталей по имеющимся с промежуточной высотой сечения рельефа;
- Автоматическое построение ЦМР по горизонталям;
- Автоматическое создание ортофотоизображения на блок;
- Автоматическую загрузку очередного обрабатываемого снимка (стереопары) при стереорисовке объекта;
- Стереоскопический сбор контуров и пикетов в режиме автоматического стерео отождествления.

## 3. Совершенствование технологии и программного обеспечения

### 3.1. Фотограмметрическое сгущение

Технология фотограмметрического сгущения съемочного обоснования обеспечивает выполнение цифровой фототриангуляции в режиме реального времени, т.е. в процессе измерения связующих точек выполняется уравнивание получаемых данных с контролем результатов уравнивания. Это позволяет локализовать и быстро устранить возможные ошибки измерений, не допуская их накопления. Для реализации on-line технологии в состав программного обеспечения ЦФС интегрирован широко известный программный комплекс Фотокон, разработанный д.т.н. И.Т. Антиповым. Особенностью технологии сгущения является возможность одновременного отображения на экране монитора всех смежных снимков с изображением измеряемой точки сети. Такой подход позволяет полнее использовать методы автоматического отождествления одноименных точек на всех перекрывающихся снимках и визуально контролировать возможные ошибки.

Полученные в результате фотограмметрического сгущения элементы внешнего ориентирования снимков используются на последующих процессах их обработки (ЦМР, ортофото, картографирование). Последние доработки технологии и ПО касаются составления проекта блока триангуляции по цифровому накладному монтажу, построения единого блока больших размеров по нескольким предварительно измеренным и уравненным смежным блокам, автоматизации процессов стереоскопического контроля результатов уравнивания, построения блока по залету, имеющему пропуски снимков, «дырки» внутри блока. Разработано программное обеспечение для получения фотоабрисов и координат опорных точек в согласованных с банком хранения форматах.

### 3.2. Получение цифровой модели рельефа

Технология получения цифровой информации о рельефе для ортотрансформирования, создания высотной части ЦТК и ЦТП базируется на стереоскопической обработке снимков. При стереоскопическом сборе рельефа используется автоматизированный, интерактивный или ручной режимы, либо их сочетания. Последние доработки технологии и программного обеспечения касаются математического конструирования поверхности на основе сетки треугольников TIN, что позволяет более адекватно представлять рельеф картографируемой территории по сравнению с использованием регулярной сетки. Повышена надежность автоматической корреляции изображений стереопары для идентификации одноименных участков местности при ориентировании снимков и сборе цифровой информации по стереопаре снимков.

### 3.3. Получение ортофото

Технология ортотрансформирования снимков на ЦФС предназначена для получения цифровых ортофотопланов и ортофотокарт по материалам аэрокосмического фотографирования. При этом обрабатываются как стереоскопические, так и одиночные аэро или космические снимки (черно-белые, цветные или спектрзональные) центральной и нецентральных проекций. Последние доработки технологии и программного обеспечения касаются создания ортофото в пакетном режиме на триангуляционный блок с автоматизацией процессов смены снимков блока, выбора фрагментов мозаики со снимков, их сшивки, выравнивания плотностей, нарезки на требуемые листы. Реализовано создание ортофото с «отмывкой» рельефа, автоматическая генерация и использование ориентированных ортоизображений файлов TIFW.

### 3.4. Сбор цифровой информации для создания ЦТК и ЦТП

Технология сбора цифровой информации о контурах базируется на обработке стереопары, одиночного снимка или ортоизображения с одновременным дешифрированием и семантическим кодированием объектов. При сборе применяется классификатор объектов и связанные с ним библиотеки топографических условных знаков и шрифтов, используемые при создании и обновлении топокарт и планов соответствующих масштабов. В процессе сбора

цифровой информации по фотограмметрической модели местности происходит наполнение базы топографических данных.

Последние доработки технологии и программного обеспечения касаются добавления новых функций и шаблонов сбора, автоматизации процедуры сводки номенклатурных листов цифровых топографических карт, автоматизированного создания многострочных и «сложных подписей», присвоению слою более одного условного знака, вставки в карту растровых изображений, текстовых и OLE-документов, значений параметров вида  $P [ N ]$  в таблице шаблонов.

### 3.5. Обновление ЦТК и ЦТП

Технология обновления ЦТК предполагает приведение контурной части содержания карты в полное соответствие со снимками нового залета и устранение обнаруженных отдельных ошибок в изображении форм рельефа. Обновление выполняется по стереоскопическим или одиночным аэро и космическим снимкам центральной и нецентральной проекции или по фотопланам, составленным по этим снимкам. Последние усовершенствования ПО и технологии касаются обновления карт по их растровым копиям без предварительной векторизации, ортогонализации объектов обновляемой карты, автоматизированного ввода координат контурных точек объектов обновляемой карты в качестве опорных для внешнего ориентирования снимков, добавления полупрозрачных слоев для обновления растровых карт и планов, пересчета координат из WGS-84 в СК-42 (СК-95) и обратно, вставки растровых изображений из проекта триангуляции, ввода формул в качестве вещественных параметров.

### 3.6. Получение ЦТК методом автоматизированной генерализации

Создание топографических карт каждого масштаба методом стереотопографической съемки требует больших затрат, в связи с чем топографические карты масштабов 1:50 000 и мельче создаются методом картосоставления, как производные карт более крупных масштабов. Центром «Сибгеоинформ» разработана и интегрирована в ЦФС технология преобразования топографических карт (планов) из крупных масштабов в более мелкие методом автоматизированной генерализации. Последние разработки в этом плане направлены на согласование используемого при генерализации информационного обеспечения ЦТК.

### 3.7. Контроль качества ЦИ и конвертирование в форматы ГИС

Непременным условием успешного выполнения процессов создания и обновления ЦТК и ЦТП является проведение системы организационно-технических и технологических мер, направленных на контроль качества создаваемых ЦТК и исправление их содержания в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду картографической продукции. Технология контроля качества цифровых карт и планов включает этап нахождения ошибок и этап их исправления в автоматическом, интерактивном и ручном режимах.

После прохождения контроля качества ЦИ с использованием соответствующих конверторов передается в форматы пользователей этой

информации. Для этого разработаны конверторы импорта/экспорта в форматы распространенных систем (MapInfo, ArcView, Microstation, AutoCAD). Цифровая информация может быть представлена также в растровых форматах tif, bmp и wmf.

Разработаны также полнофункциональные конверторы ЦТК из формата интегрального файла в формат ЦФС, а также из ЦФС в ГИС “Панорама” (для ЦТК базовых масштабов).

### 3.8. Подготовка ЦТК к изданию

Технология подготовки ЦТК к изданию включает картографическое издательское редактирование, разделение информационных слоев ЦТК на полиграфические слои в соответствии с цветовой нагрузкой, получение комплекта печатных пластиков. В этой технологии в отличие от традиционной отсутствуют утомительные и низко производительные ручное гравирование и «мокрые» процессы, сопутствующие получению гравировальных основ - «синек». Компьютерные редактирование и подготовка к изданию в несколько раз повышают производительность по сравнению с процессами традиционной технологии, освобождают исполнителей от тяжелого ручного труда создания расчлененных пластиков.

Усовершенствования технологии и ПО касаются автоматизации формирования рамок и зарамочного оформления топографических карт масштабов 1:10000 – 1:200000, повышения картографического качества ЦТК за счет маскирования отдельных элементов условных знаков, более качественного отображения линейно ориентированных условных знаков типа «мост», «плотина», штриховки площадных объектов, формирования криволинейных подписей, условных знаков объектов, выражаемых в масштабе карты, сохранения ориентировки условных знаков и подписей при развороте карты, эффективного поиска объектов ЦТК и их характеристик. Реализована возможность установки толщин линий до сотых долей мм, а размеров шрифтов до десятых долей мм.

### 4. Расширение возможностей ЦФС

Все эти годы непрерывно совершенствуются программное обеспечение ЦФС и технологии его использования. Это позволяет расширить технологические возможности и область использования системы. В частности добавлены модули и процедуры:

- Обработки наземных геодезических измерений;
- Обработки наземных снимков для целей архитектуры, маркшейдерии, строительства и решения других задач;
- Картографирования по космическим сканерным изображениям;
- Использования навигационной спутниковой системы в сочетании с отображаемой на экране цифровой информацией о местности для решения транспортных, навигационных и других задач;
- Соединения с объектами цифровой карты мультимедийных приложений (аудио, видео, фото);
- Вставки в карту растровых изображений и текстовых блоков (таблиц);

- Трехмерного преобразования карты;
  - Информационно-поисковой системы.
5. Виды продукции, получаемой на ЦФС

В результате обработки аэрокосмической информации на ЦФС создается продукция, отвечающая требованиям потребителей различных направлений и уровней. Этой продукцией могут являться:

- Цифровые векторные и растровые топографические карты и планы всего масштабного ряда;
- Топографические карты, отвечающие по оформлению требованиям издательского оригинала;
- Цифровая информация о местности (модели местности) на заданную территорию, отвечающую требованиям различных ГИС в части трехмерности, повышенной информативности и т.д.;
- Цифровые ортофотопланы, ортофотокарты, тематические карты с растровыми изображениями.

Кроме этого, создаются и другие дополнительные виды продукции, например: кадастровые планы, координаты и абрисы геодезических точек полевой подготовки снимков и точек фотограмметрического сгущения, цифровые изображения снимков с записанными для них элементами внешнего и внутреннего ориентирования, цифровые ортоизображения в общепринятом международном формате и др.

© С.С. Нехин, Г.А. Зотов, 2005

УДК 528.91:681.2

П.К. Шитиков

ПО «Инжгеодезия», Новосибирск

# **ОПЫТ РАБОТЫ ПО «ИНЖГЕОДЕЗИЯ» ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КАРТОСОСТАВЛЕНИЯ. ТРЕБОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА К ТЕХНОЛОГИЯМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ**

Решением проблемы автоматизации процесса создания топографических карт методом составления по материалам более крупных масштабов на стадии производства, производственное объединение «Инженерная геодезия» вплотную занимается второй год.

В силу сложившихся обстоятельств в качестве базовой приняли программу Нева, которая включает некоторый инструментарий, позволяющий упростить процесс генерализации. Однако в таком виде программа практически не позволяет заметно автоматизировать процесс, а может служить лишь средством облегчающим процедуру генерализации в интерактивном режиме, и не более того. К такому выводу пришли наши специалисты, выполняющие работу по генерализации в среде Нева. Возможно применение данной программы, как составной части технологии, разработанной непосредственно для выполнения генерализации, позволит существенно автоматизировать этот процесс, но на сегодня такой разработки у нас нет. Другие известные сегодня графические программы также не позволяют сколь

либо успешно решать поставленную задачу. Все они, в лучшем случае, позволяют всего лишь упростить процесс в интерактивном режиме.

В свете изложенного любые разработки направленные на автоматизацию процесса заслуживают внимания. Осознавая высокую сложность проблемы считаем, что даже если уровень автоматизации составит около 30- 40%, такую технологию уже можно предлагать к использованию в производстве, если затраты на подготовку исходной информации к процедуре автоматической генерализации хотя бы не превышают полученный от автоматизации выигрыш. Исходя из такого рода соображений, в объединении в текущем году приступили к проведению пробной эксплуатации технологии разработанной в центре «Сибгеоинформ», которая базируется на использовании программного комплекса Digital. Поскольку работа еще не завершена, делать окончательные выводы рано. По полученным первым результатам сделаны следующие **выводы:**

- Разработка заслуживает внимания, и мы будем продолжать ее опытную производственную эксплуатацию;
- Для дальнейшего совершенствования технологии требуется согласовать информационное обеспечение программ генерализации и Digital, а также совершенствовать программу Digital.

Задача разработки технологии с хорошими характеристиками должна решаться комплексно. Невозможно решить эту задачу, взяв какую-либо используемую сегодня в производстве программу, как заверченный продукт, и пытаться на ее основе построить очень хорошую технологию. Для создания технологии высокого уровня нужны базовые программы также очень высокого уровня. Однако сегодня мы имеем то что имеем, и ждать, пока появятся технологии, позволяющие автоматизировать процесс генерализации на уровне 80% и более, с небольшими затратами на подготовку исходной информации, по-видимому бесперспективно. В то же время традиционная технология составления по картам более крупного масштаба себя изжила, и возврата к ней не может быть. Остается использовать те разработки, которые уже имеются или появятся в ближайшее время и учиться максимально использовать все возможности, которые они предоставляют. Таков на сегодня наш подход к решению означенной задачи.

© П.К. Шитиков, 2005

## **СОЗДАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ В ПРОГРАММЕ РАСТРОВОЙ ГРАФИКИ ADOBE PHOTOSHOP**

Тематические карты – это наиболее обширная и разнообразная категория карт природных и общественных (социальных и экономических) явлений, их сочетаний и комплексов, поэтому программы по их составлению должны иметь большие возможности по созданию сложных, нестандартных, художественных картографических знаков.

Создание карт на компьютере предполагает использование специального программного обеспечения. Его можно условно разделить на четыре группы:

1. Растровые графические программы общего назначения;
2. Векторные графические программы общего назначения;
3. Картографические блоки геоинформационных систем;
4. Специализированные картографические программы, входящие в состав

программно-аппаратных картоиздательских комплексов, предназначенных для картографических производств.

Программы растровой графики имеют ряд достоинств при разработке тематических карт:

- Пиксели, сливаясь друг с другом, образуют непрерывную смену тона, что позволяет создавать реалистические изображения с эффектом освещения и перспективной глубиной;
- Средствами растровой графики можно имитировать различные графические техники;
- Простота ввода и вывода изображения.

Недостаток программы – в ограниченном разрешении. Поскольку битовый рисунок состоит из фиксированного количества пикселей, разрешение изображения зависит от размера, в котором изображение распечатывается. В распечатке небольшого размера пиксели маленькие и разрешение высокое; распечатка большого размера увеличивает пиксели и снижает разрешение. Единственный способ справиться с подобной ситуацией – увеличить число пикселей в изображении, что, однако, влечёт за собой увеличение объёма файла изображения.

На первом этапе производится сканирование основного картографического материала. Затем, производится сшивка в программе Adobe Photoshop. Как и любой редактор изображений, Photoshop специализирована для внесения в него изменений. Программа позволяет ретушировать и подвергать спецэффектам изображение, переносить детали одного изображения на другое, вносить текст, менять соотношение цветов и добавлять цвет в образы, выполненные в оттенках серого. Можно также создавать новые изображения. Средства Photoshop совместимы с графическими планшетами, что даёт возможность создавать вполне художественные представления.

На этом же этапе разрабатываются условные знаки тематического содержания. Растровые графические программы, как правило, не

комплектуются готовыми наборами знаков, однако пользователь имеет возможность сохранять созданные им знаки в виде библиотек символов или в виде обычных файлов используемой программы. Растровые графические программы имеют гораздо больше возможностей, по сравнению со специализированными картографическими программами и картографическими блоками геоинформационных систем, по созданию картографических знаков. Можно выделить некоторые возможности и приемы, использование которых позволяет существенно ускорить и упростить процесс построения условных знаков, а также повысить их качество.

При создании знаков, локализованных в пунктах, применяются следующие основные приёмы:

- Использование в качестве элементов знака элементарных графических объектов;
- Использование в качестве элементов знака символов некоторых специальных шрифтов;
- Использование преобразований для изменения формы и положения графических объектов;
- Привязка географических объектов к сетке с заданным шагом по горизонтали и вертикали для точного взаимного размещения элементов знака;
- Группировка графических объектов;
- Выравнивание, распределение и упорядочивание графических объектов;
- Использование операций пересечения, объединения и вычитания над множествами.

Способами создания линейных знаков являются: выбор цвета, толщины и шаблона штрихов. Цвет линии можно задавать, пользуясь любой из цветовых моделей, предусмотренных программой (RGB, CMYK, HSB и другие). Специфические возможности по созданию линейных знаков произвольного рисунка видны на примере инструмента «кисть» (brush). «Кисть» имеет 12 параметров настройки, что позволяет более достоверно имитировать традиционные живописные инструменты. В качестве шаблона допускается использовать любые растровые изображения.

Средства создания площадных знаков – это заливка цветом, заполнение шаблоном и градиентная заливка. Заливка цветом является самым простым способом, здесь необходимо задать только цвет заливки, пользуясь любой из доступных цветовых моделей. Инструмент «заливка цветом» позволяет создавать площадные знаки, различающиеся по светлоте и цвету. Шаблон представляет собой растровое изображение, обычно прямоугольной формы; которое укладывается внутри области наподобие плитки. Применение инструмента «заполнение шаблоном» позволяет создавать площадные знаки, различающиеся по внутренней структуре. Способ градиентной заливки представляет собой модификацию способа заливки цветом, в которой используется не постоянный цвет, а изменяющийся по тому или иному закону.



Градиентная закрашка используется при создании художественных знаков и, в частности, для придания элементам знака объемности.

На следующем этапе производится составление элементов общегеографического и тематического содержания по слоям, т.е. создаётся шаблон карты с иерархией слоёв и стилей. Составление элементов содержания по слоям очень удобно, так как позволяет легко редактировать изображение и быстро получать необходимую информацию.

Заключительным этапом создания карты является её печать на лазерном принтере. В результате получается композитное изображение, т.е. полноценное изображение, передающее все особенности исходного. Большинство цветных изображений печатаются как комбинация четырёх красителей - голубого, пурпурного, жёлтого и чёрного. Однако Photoshop позволяет добавлять заранее смешанные красители, называемые технологическими цветами. Большинство их выходит за рамки цветовой модели CMYK; в результате количество доступных цветов увеличивается. Помимо этого Photoshop позволяет добавлять канал комбинированного цвета к любому изображению.

На кафедре картографии и геоинформатики СГГА вышеописанным способом создана учебная стенная карта Алтайского края с элементами историко-культурного наследия.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Востокова А.В. Оформление карт. Компьютерный дизайн [Текст] / А.В. Востокова, С.М. Кошель, Л.А. Ушакова. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 288 с.
2. Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов [Текст] / А.М. Берлянт. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.

© Ю.В. Гаврилов, О.В. Горожанкина, 2005

УДК 528.91

*В.В. Носырев*

ФГУП «Забайкальское АГП», Чита

#### **ОПЫТ РАБОТЫ ФГУП «ЗАБАЙКАЛЬСКОЕ АГП» ПО КАРТОСОСТАВЛЕНИЮ И ПОДГОТОВКЕ К ИЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ (ЦТК) ГОСУДАРСТВЕННОГО МАСШТАБНОГО РЯДА 1: 25 000 – 1: 500 000 НА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ» (ЦФС)**

ФГУП «Забайкальское АГП» в 2002 году приступила к изучению и освоению аппаратно-программного комплекса ЦФС разработки ЦНИИГАиК по картосоставлению и подготовке к изданию цифровых топографических карт на масштабный ряд от 1:25 000 до 1:500 000 по объектам госзаказа. За истекший период нашим предприятием выполнено и отправлено на картфабрику 355 листов карт масштаба 1:25 000, 45 листов – масштаба 1:50 000, 12 листов – масштаба 1:100 000, 3 листа – масштаба 1:200 000, 2 листа – масштаба 1:500 000.

Этапы создания и обновления ЦТК масштаба 1:25 000:

1. Сканируем совмещенные издательские оригиналы карт масштаба 1:25 000 на широкоформатном картографическом сканере Cougar 25;

2. Ориентируем растр карты в программе Models: а) Набиваем координаты углов рамки карты в блокноте и загружаем в опору; б) Выполняем внешнее ориентирование раstra карты.

3. Открываем шаблон классификатора и условных знаков карты масштаба 1:25 000 в программе Digitals, разработанный ЦНИГАиК, и доработанный специалистами нашего предприятия; шаблоны на все масштабы дорабатывались специалистами нашего предприятия;

4. Подгружаем растр карты;

5. Создаем ЦТК путем векторизации по классификатору и условным знакам масштаба 1:25 000;

Порядок создания:

а) Гидрография;

б) Контур;

в) Заливки площадные (лес, низкорослая растительность, пашни, степь и т.д.);

г) Рельеф.

6. Обновляем ЦТК по аэро- или космическим снимкам: а) Космический снимок центральной проекции, отсканирован на фотограмсканере СКФ-ЦМ разработки ЭОМЗ с точностью 8 мк; б) Плано-высотное обоснование взято с карт более крупного масштаба. Выполнялась привязка и уравнивание снимка в подпрограмме Models; б) Обновление карты выполняем по контурам.

7. Редактируем, навешиваем рамку и зарамочное оформление, выполняем просмотр и контроль; а) за основу зарамочного оформления берем разработку ЦНИИГАиК, доработанное специалистами нашего предприятия; б) редакторский контроль выполняется как в цифровом, так и в бумажном виде, автоматический контроль пока не доработан.

8. Подготавливаем ЦТК к изданию, создаем слои по цветам печати: а) гидрография; б) контур; в) рельеф; г) маска лес + низкорослая растительность; д) заливка дорог + сетка кварталов; е) черный совмещенный.

9. Создаем PS – файлы;

10. Выводим позитивы на фотонаборном автомате ESRM Stingray 63;

11. Проводим дополнительный редакторский контроль позитивов карты;

12. Отправляем позитивы на картфабрику.

Создание ЦТК масштаба 1:50 000:

1. В программе Digitals соединяем 4 листа обновленной ЦТК масштаба 1:25 000 без зарамочного оформления;

2. Экспортируем в формат \*.bmp;

3. Ориентируем полученный растр по той же технологии, что и масштаб 1:25 000;

4. Открываем шаблон классификатора и условных знаков ЦТК 1:50 000 в программе Digitals;

5. Подгружаем полученный растр карт масштаба 1:25 000;

6. Делаем картосоставление с одновременной генерализацией, используя классификатор, условные знаки и руководство для масштаба 1:50 000;

7. Навешиваем рамку и зарамочное оформление;

8. Выполняем контроль и просмотр;

9. Выполняем подготовку к изданию по той же технологии, что и для масштаба 1:25 000.

**Создание и составление ЦТК масштабов 1:100 000 и 1:200 000** проводим по той же технологии, что и для масштаба 1:50 000. Используем шаблоны классификатора и условных знаков для этих масштабов. Для масштаба 1:200000 дополнительно создается справка о местности и схема грунтов.

**Создание и составление ЦТК масштаба 1:500000** производим из 9 карт масштаба 1:200000. Разработали шаблон классификатора и условных знаков, за основу приняли шаблон ЦТК масштаба 1:200 000. Технология создания и составления ЦТК масштаба 1:500 000 отличается от других масштабов составлением рельефа. Из-за сложности в составлении рельефа высокогорных районов (переходная шкала – 100 м), отсутствия на экране монитора общего обзора всех форм рельефа в общей структуре орографии, по опыту ранее выполненных работ, было принято решение использовать старую технологию.

По шкале сечения поднимаем и интерполируем вручную горизонтали на синих копиях, далее склеиваем листы и сканируем на картографическом широкоформатном сканере Cougar 25. Ориентируем в программе MODELS, составляем рельеф с одновременной векторизацией в масштабе 1:500 000. Позитив отмывки рельефа оставили старый, слой гипсометрической окраски цифровали по-новому. Рамку и зарамочное оформление также разрабатывали самостоятельно. Остальные этапы создания, составления и подготовки к изданию не отличаются от предыдущих масштабов.

По опыту работы нашего предприятия, представленного в этом докладе, можно сделать вывод, что аппаратно-программный комплекс имеет как преимущество перед традиционным карт составлением государственного масштабного ряда, так и недостатки, которые, можно со временем устранить.

Недостатки:

- Нет общего обзора при составлении карт мелкого масштаба 1:200 000, 1:500 000;

- Недостаток технических указаний по созданию цифровых топографических карт государственного масштабного ряда, множество условных знаков приходится дорабатывать самим, по опыту работы в программе ПАНОРАМА существует редакционно-технические указания по правильному описанию каждого условного знака;

- Некоторые условные знаки стали более трудоемкими, например отрисовка скал, по инструкции скалы отрисовываются сложной конфигурацией разработанной еще для старой технологии гравирования, в некоторых программах этот условный знак является площадным;

- При переводе слоев ЦТК в формат PS ограничены фактические размеры карт 450x500 см;

- Не все используемые топошрифты созданные для ЦТК без искажений переходят в PS формат;

– Недоработан редакционный контроль ЦТК в электронном виде, очень много ручных настроек;

Преимущества:

– Улучшение условий труда;  
– Уменьшение времени создания, составление и подготовки к печати ЦТК;  
– Есть предпосылки для автоматической генерализации ЦТК от масштаба 1:50 000 до 1:500 000.

Предложения:

– Пересмотреть подход к условным знакам для ЦТК;  
– Рассмотреть изменения шрифтов совместимых с программным обеспечением ПЭВМ;  
– Изменить подход к отображению форм рельефа (заменить отмывку на аналог цифровой отмывки).

© В.В. Носырев, 2005

УДК 528.91:681.2

Ю.А. Комосов

ПКО «Картография», Москва

Е.Н. Латина

ООО «УНИИНТЕХ», Москва

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КАРТОСОСТАВЛЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «НЕВА»**

Рассмотрим процессы составления на примере технологии составления карт масштаба 1: 50 000.

Подготовительные работы

В подготовительные работы входят:

– Редакционно-подготовительные работы;  
– Проверка цифровых карт базового масштаба с помощью пакета *0\_Проверка*;  
– Создание новой цифровой карты;  
– Подготовительные работы с помощью пакета *1\_SOST\_подготовка*.

Перед началом работы с цифровой картой, необходимо проверить исходную цифровую карту. Топологическое согласование, правильная семантика является залогом корректной работы различных программ и выбора фильтрами требуемых объектов.

Опорные пункты, важнейшие ориентиры

При создании карты масштаба 1: 50 000 по картам масштаба 1: 25 000 опорных пунктов, как правило, больше, чем требуется по цензу, поэтому основная задача составления опорных пунктов сводится к удалению излишних точек. Все точки опорной сети можно классифицировать по степени значимости и начинать удаление лишних точек с наименее значимых. Задача классификации выполняется автоматически с помощью пакета *1\_SOST\_опора*, а отбор точек производится вручную оператором с помощью фильтров данного пакета, которые объединяют точки с различными степенями значимости.

Гидрография и гидротехнические сооружения

Составление гидрографии рекомендуем выполнять в следующем порядке:

1. Подготовительные работы (анализ, разгрузка, фильтрация).
2. Составление водоемов (береговая линия морей, озера, водохранилища, пруды, сооружения для сбора воды, выражающиеся в масштабе карты).
3. Составление речной сети (реки в одну и две линии с промежутком 0,3 и 0,5 мм, реки, выражающиеся в масштабе карты, постоянные и пересыхающие, а также подземные и пропадающие участки рек в одну и в две линии, реки и ручьи по наледи).
4. Составление каналов и канав (в одну и две линии, а также выражающиеся в масштабе карты, строящиеся каналы, подземные и пропадающие участки каналов в одну или две линии, морские каналы, выражающиеся в масштабе карты, а также сухие канавы в одну, две линии и выражающиеся в масштабе карты).
5. Составление характеристик гидрографии (характеристики рек, каналов, в том числе сухих).
6. Составление водопроводов, источников.
7. Составление объектов на водотоках (водопады, плотины, шлюзы и пороги, акведуки).
8. Составление объектов судоходства (молы и причалы, набережные).
9. Составление объектов прибрежной полосы (береговые отрасли и мели, берега скалистые и обрывистые (с пляжем и без пляжа), берега опасные и осыпающиеся, скопление плавника и водорослей).
10. Составление переправ (перевозы и броды).
11. Отбор объектов, близко расположенных друг к другу. Объекты, не выражающиеся в масштабе карты, показываются с отбором, расстояние между ними должно быть не менее 0,2 мм. Расстояние между всеми объектами гидрографии (линейными, площадными, точечными) не должно быть меньше 0,2 мм, за исключением объектов, которые должны иметь общую метрику, например, плотины, береговые линии, урезы и др.
12. Составление рельефа дна и навигационных опасностей (изобаты, отметки глубин, острова, выражающиеся и не выражающиеся в масштабе).

Составление гидрографии и решение поставленных задач осуществляется с помощью пакетов:

31 *\_SOST\_гидрогр* – пункт 1

32 *\_SOST\_водоем* – пункт 2

33 *\_SOST\_реки* – пункты 3, 4, 5

34 *\_SOST\_гидротех* – пункты 6 -12

В технологии принята попытка автоматической классификации рек и водоемов по отношению друг к другу. В водоемах различают: исток, сток, проток и изолированный. В реках выделяют: основное русло, приток, проток, рукав, исток, сток. На основе принадлежности к той или иной группе для объектов применяют различные подходы и цензы отбора.

Задача по обобщению береговой линии водоемов и рек, выражающихся в масштабе карты, проводится оператором вручную.

Рельеф

Составление рельефа производится с помощью пакета 4\_SOST\_рельеф. Пакет включает в себя автоматические программы и наборы фильтров для ручной обработки и проверки рельефа. Пакет состоит из следующих команд: фильтрация горизонталей, перекодировка горизонталей, перевод площадного рельефа, обработка рельефа, бергштрихи.

Некоторые этапы составления рельефа не отражены в пакете, такие как обработка лавовых потоков, оползни и другие редко встречающиеся формы рельефа. Поэтому, если на листе встречаются такие микроформы их необходимо составлять без использования пакета.

Приведение кода горизонталей цифровой карты базового масштаба 1 : 25 000 в соответствующие коды для ЦК масштаба 1 : 50 000 при смене сечения рельефа производится автоматически и легко настраивается на любое требуемое сечение рельефа командой «Перекодировка горизонталей».

А вот обобщение горизонталей и разрядка дополнительных горизонталей проводится вручную оператором. Автоматизировать этот процесс на сегодняшний день не представляется возможным. Одна из проблем обобщения горизонталей на цифровой карте состоит в том, что на экране компьютера сложно оценить степень обобщения рельефа, т.к. при увеличении масштаба изображения не видно общей ситуации, а при масштабе экранного изображения соответствующей масштабу карты невозможно работать с объектами.

#### Населенные пункты

Составление населенных пунктов выполняется с помощью пакета 5\_SOST\_НП, который состоит из следующих команд: анализ НП; разгрузка; улицы; города ; малые города; села; строения вне НП; привязка домов.

Задачи, поставленные при составлении НП (см. выше) решаются частично автоматически, но с обязательной проверкой и доработкой результатов работы программы оператором, и, конечно, основной отбор и обобщение объектов проводится оператором учитывая в комплексе другие объекты промышленности, дорог, гидрографии и растительности.

#### Промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты

Изображение промышленных, сельскохозяйственных и социально – культурных объектов отрабатывается одновременно с изображением населенных пунктов. Но ряд объектов обрабатывается уже после составления НП, например, промышленные зоны находящиеся вне НП, места добычи полезных ископаемых открытым способом и др. По традиционной технологии линии связи и электропередачи, нефтепроводы и газопроводы обычно показываются после отработки изображения дорожной сети [7, п.167]. В связи с использованием в качестве исходного картографического материала цифровые карты, мы уже имеем в наличии всю дорожную сеть, генерализация которой не значительна и почти не касается дорог. Поэтому составление ЛЭП, линий связи и различных трубопроводов, а также согласование их с дорожной сетью может производиться, в отличие от традиционной технологии составления, на данном этапе.

Составление промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов производится с помощью пакета 6\_SOST\_промышл.,

который состоит из следующих команд: перекодирование; стадионы; ЛЭП, проверка.

Пакет позволяет автоматизировать процесс расстановки столбов и стрелок ЛЭП.

#### Дорожная сеть и дорожные сооружения

Ширина условных знаков дорог, как правило, во много раз превышает их ширину на местности, выраженную в масштабе карты. Так, знак шоссе общей шириной 0,6 мм на топографических картах масштабов 1:50 000, 1:200 000 и 1:1000 000 превышает их ширину в натуре, равную в среднем 10 м, соответственно в 3,12,60 раз. Такое преувеличение, во-первых, затрудняет передачу на карте небольших изгибов дороги, во-вторых, вызывает необходимость смещения изображения других объектов, расположенных рядом с дорогой. В ряде случаев сдвигаются сами дороги, если они близко идут одна к другой или прилегают к объекту, который нельзя смещать, например, к берегу реки, озера или моря.

Составления дорожной сети производится с помощью пакета 7\_SOST\_дороги, который включает в себя следующие команды: железные дороги; знаки заполнения; дороги; насыпи и выемки; мосты; придорожные сооружения.

Программы и фильтры пакета помогают оператору выявить объекты, переходящие во внесмасштабные условные знаки и произвести отбор близкорасположенных объектов.

#### Растительный покров и грунты

Составление растительного покрова и грунтов производится с помощью пакета 8\_SOST\_растит, который включает в себя следующие команды: обобщение; растительность 1 тип; растительность 2 тип; просеки; искусственные насаждения; полосы леса и кустарника; кустарники; деревья; болота; знаки заполнения.

Так как в различных типах местности (лесистая – тип 1, малолесистая – тип 2) применяются различные цензы по отбору объектов, то в технологии предусмотрено 2 команды, связанные с отбором растительности.

Расстановка знаков заполнения площадной растительности выполняется после этапа составления подписей. Это связано с тем, что программа автоматически расставляет знаки заполнения, и подписи являются для программы помехой, куда она не поставит знак. Объекты, имеющие свободное заполнение знаками, заполняются вручную, например, кустарники.

После составления растительности необходимо провести топологическое согласование объектов, проверить карту на пересечения и самопересечения с помощью пакета 0\_проверка.

#### Составление границ и ограждений

Принципы составления и генерализации границ и ограждений полностью соответствуют традиционной картографии. В цифровой карте требуется согласовать линии границ с объектами на карте, в случае если объекты, по которым проходят границы были генерализированы (обобщены). Эта процедура не может быть автоматизирована, поэтому для составления границ и ограждений не было предусмотрено отдельного пакета.

## Обработка подписей

После составления карты при расстановке подписей необходимо решить следующие задачи:

- Удалить подписи, которые относились к объектам карты, удаленным при составлении.
- Удалить подписи, которые перекрывают важные объекты и не имеется возможности перенести эти подписи на другое место.
- Удалить подписи на объектах малой площади.
- Удалить подписи, которые относятся к малым по площади объектам, например, характеристики леса.
- Уменьшить (при необходимости) размер подписи собственных названий объектов;
- Сделать разрядку часто располагающихся подписей, например, характеристик леса;
- Разрядить подписи близкорасположенных объектов, имеющих одинаковые характеристики, например, глубину нескольких рядом расположенных ям;
- Развести подписи с объектами карты.

Для решения данных задач используется пакет *9\_SOST\_подпись*, который включает в себя набор фильтров для удобного поиска подписей карты, а также набор программ для уменьшения размера подписей. Пакет включает в себя набор таких команд: точки опоры и рельеф; гидрография, сухие русла; населенные пункты; пояснительные подписи и дороги; растительность; острова, мысы, рифы; заповедники; горы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гараевская Л. С. «Картография», Недра, М., 1971
2. Иванов П. А., Поспелов Е. М., Береснев Н. К., Кезлинг А. Б., Составление и редактирование карт, ВИА, М., 1975
3. Изменения и дополнения к руководству по картографическим и картоиздательским работам, ч. 1. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1: 25 000, 1: 50 000, 1: 100 000 РИО, М., 1987.
4. Изменения и дополнения к руководству по картографическим и картоиздательским работам, ч. 2. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1: 200 000, 1: 500 000. РИО, М., 1987.
5. Костриц И.Б., Иванов С.И., Зиневич Е.Г., Котиков Л.Л. «Картография», РИО ВТС, М., 1958.
6. Миронов Е.В., Подготовка к изданию топографических и обзорно-топографических карт, ВИМО СССР, М., 1964.
7. Основные положения по созданию и обновлению топографических карт масштабов 1: 10 000, 1: 25 000, 1: 50 000, 1: 100 000, 1: 200 000, 1: 500 000, 1: 1 000 000, РИО ВТС, М., 1984.
8. Руководство по картографическим и картоиздательским работам, ч. 1, РИО ВТС М., 1978
9. Руководство по картографическим и картоиздательским работам, ч. 2, РИО ВТС М., 1980



10. Условные знаки и образцы шрифтов для топографических карт масштабов 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, РИО ВТС, М., 1983

© Ю.А. Комосов, Е.Н. Латина, 2005

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПО СОЗДАНИЮ ЦИФРОВОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПО «ПАНОРАМА» ЦЕНТРОМ «УРАЛГЕОИНФОРМ»**

Современная политика на рынке геоинформатики в России определяется научно-методическими основами развития геоинформационных технологий, новейшим технологическим и программным обеспечением, качественными пространственными данными, в том числе и базовой цифровой картоснотой.

ФГУП «Уралгеоинформ» является фондодержателем цифровой топографической продукции на территорию Уральского федерального округа. В настоящий момент фонды предприятия содержат большие объемы цифровых топографических карт (далее ЦТК) М 1:10000 – 1:1000000, созданных в различных программных продуктах (Растр-2, Панорама, ИнГео, Нева, Mapinfo, ArcInfo, Geodraw, Digitals, MicroStation).

В связи с разрозненностью классификаторов, способов занесения и формирования накопленной цифровой картографической информации, возникла настоятельная необходимость унификации имеющихся электронных картматериалов.

Проект унификации геопространственных данных на территорию УрФО, разработанный ФГУП «Уралгеоинформ», включает в себя:

1. Создание Концепции единого геоинформационного пространства Уральского федерального округа на основе системного подхода к стандартизации цифровых топографических данных.
2. Создание нормативной документации, строго регламентирующей создание и обновление пространственных данных на территорию УрФО.
3. Усовершенствование организационно-технической схемы по созданию цифровой топографической продукции.

Системный подход к унификации пространственных данных предполагает наличие:

- Единого топологического геоинформационного пространства, наделенного логичностью атрибутивных данных, созданного строго в соответствии с разработанными документами «Правила цифрового описания картографических объектов» и «Структура геоданных»;
- Инвариантного (неизменного по отношению к изменяющимся внешним условиям) сквозного классификатора с доменной структурой, соответствующего нормативным документам и актам, с поддержкой внешних СУБД (связь с реляционной базой обеспечивается средствами BDE, ODBC);
- Средств быстрого конвертирования данных в различные форматы инструментальных геоинформационных систем без потерь информации с возможностью трансформации и реструктуризации таким образом, чтобы они соответствовали желаемой структуре и классификации;

- Технологии непрерывного обновления топографических и тематических источников пространственно-временной информации, что является одной из приоритетных задач Центра;
- Технологии и инструментов подготовки карт к изданию;
- Технологии и инструментов загрузки цифровой топографической основы в отраслевые и тематические ГИС.

Учитывая вышеописанные аспекты, было принято решение о разработке стандарта создания и хранения территориального цифрового картографического фонда. За основу был принят стандарт Роскартографии и классификационная структура данных, разработанная «ДАТА+», значительно модифицированная (часть данных упразднена, часть дополнена) в рамках нашего концептуального представления о геоинформационном пространстве на территорию УрФО.

В связи с многофункциональностью решаемых геоинформационных задач выбор программного продукта для накопления, хранения и обработки цифровых данных определился в пользу ГИС «Панорама».

В рамках проекта унификации составлена организационно-техническая схема ведения работ, разработаны нормативные документы и написано 16 дополнительных программных модулей для ПО «Панорама», с помощью которых значительно сокращаются трудозатраты на создание качественной цифровой картографической продукции, конвертирования и приведения данных к желаемой структуре.

Дополнительные программные модули:

- Реализованы в виде исполняемых файлов в формате EXE или в виде библиотек Dll, расширяющих функциональность программного продукта и динамически подключаемых ко всем существующим на сегодняшний момент версиям и модификациям «Панорамы» (PanEdit7.15-8.0, Map2000-20003, Gis Integracia, VectOr);
- Имеют защиту и встроенную справочную информацию;
- Приспособлены для работы с любым пользовательским классификатором;
- Оптимизированы под большой объем данных (районы работ).

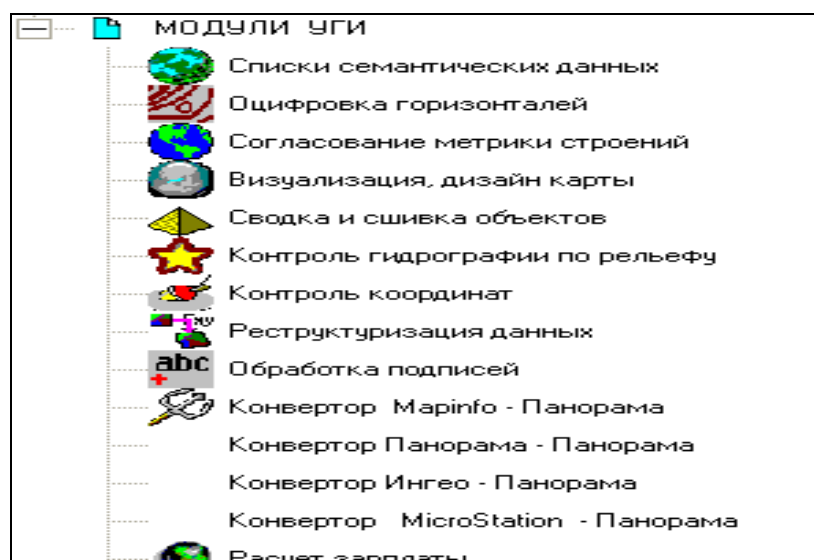


Рис. 1. Дополнительные программные модули, разработанные ФГУП «Уралгеоинформ» для ПО «Панорама»

В виду лимита на количество страниц данной публикации, предлагаем к рассмотрению неполное описание некоторых из них.

С подробным описанием программ можно ознакомиться, посетив официальный сайт Центра **[www.ugi.ru](http://www.ugi.ru)**.

#### 1. Модуль редактирования семантики Atribinfo.dll

Основное назначение модуля:

- Отображает всю необходимую информацию о слоях, считывает количество объектов и количество семантических данных, которые выдает в удобной для пользователя форме (списком);
- В модуле учтена возможность «поиска/замены» семантики объектов;
- Существует режим «редактирования/удаления/создания» семантики объектов;
- Интерактивное отображение на карте выбранного «объекта/группы объектов»;
- Включена возможность сортировки данных по любым из полей таблиц;
- Дружественный интерфейс и быстрота обработки больших массивов данных (реально 2 млн. объектов);
- Реализована функция получения общей информации на район работ (когда загружены полностью сотни НЛ);
- Включена статистическая обработка данных (статистика классификатора, карты, слоя, выбранного атрибута).

В поле «Слой» перечислены слои, находящиеся на карте (см. рис. 2). В поле «Типы объектов» перечисляются принадлежащие слою объекты и их количество. При выборе определенного типа объектов все семантические данные, присущие данному типу (коду), отображаются в правом окне программы. Наглядно для выявления ошибочно занесенных оператором данных, для определения опечаток в текстовых подписях, в цифровых

характеристиках, контроль отсутствия обязательных знаков препинания, неверной размерности и т.п.

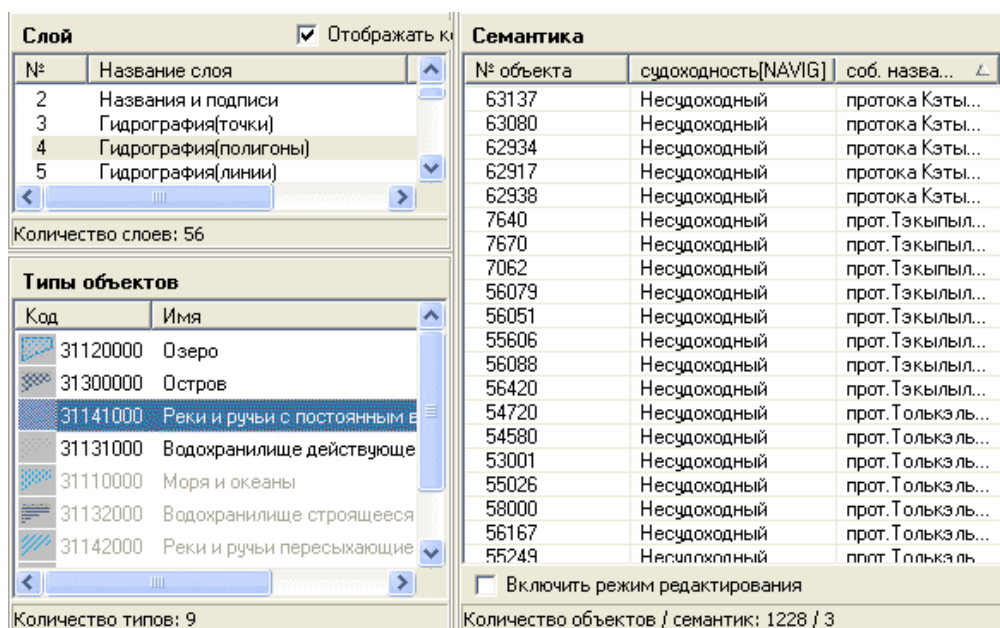


Рис. 2. Форма отображения статистических данных ЦТК

Для отображения на карте объекта с интересующей характеристикой достаточно двойного нажатия по атрибуту, тем самым вызывается стандартное окно «выбор объекта» со всеми присущими ему функциями.

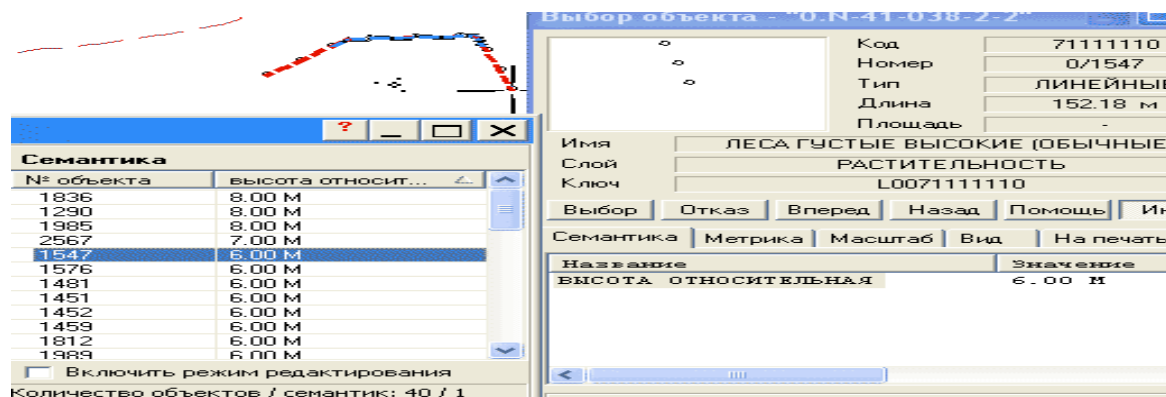


Рис. 3. Вызов стандартного окна ПО "Панорама" из модуля Atribinfo.dll

### Режим «Поиск/Замена»

Поиск и замена данных осуществляется по всем полям, включая поля TCODE.

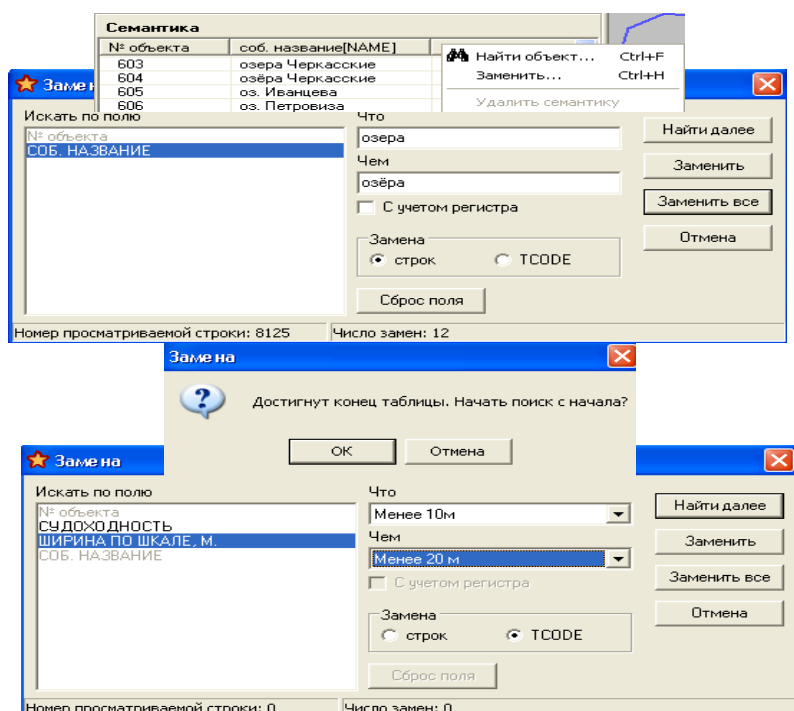


Рис. 4. Работа модуля Atribinfo.dll в режиме «Поиск/Замена»

#### Режим «Редактирование»

Возможность редактирования предусмотрена как изменение строкового содержания, занесение нового значения из классификационного списка и массовое редактирование через режим замены.

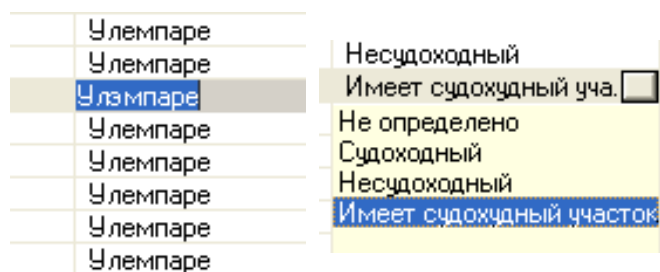


Рис. 5. Работа модуля Atribinfo.dll в режиме «Редактирование»

#### Режим «Район работ»

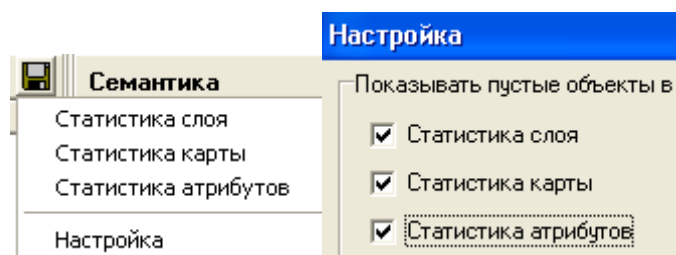
Программа работает с районом работ, отображая, на каком конкретно листе находится интересующая информация:

| № объекта | № листа ▾ | собст. название[NAME] |
|-----------|-----------|-----------------------|
| 2268      | 53        | кордон Источное       |
| 2263      | 53        | охотн.база Янтыков    |

Рис. 6. Работа модуля Atribinfo.dll в режиме «Район работ»

Режим «Статистика»

Включена статистическая обработка данных (статистика классификатора, карты, слоя, выбранного атрибута):



Реализовано сохранение документов в форматах TXT и DOC.

*Дата печати: 21.01.2005, карта О.Р-42-07*

| Значение семантики        | Количество |
|---------------------------|------------|
| [Не имеют семантику]      | 424        |
| Блочная кустовая станция  | 40         |
| Газокомпрессорная станция | 2          |
| Дожимная насосная станция | 112        |
| Кустовая насосная станция | 24         |

## 2. Конверторы данных «Панорама» - Mapinfo, ИнГео, ArcGis, MicroStation

7 модулей для быстрой конвертации, реструктуризации и модификации данных, оптимизированные под районы работ с возможностью сохранения всех настроек в \*.ini

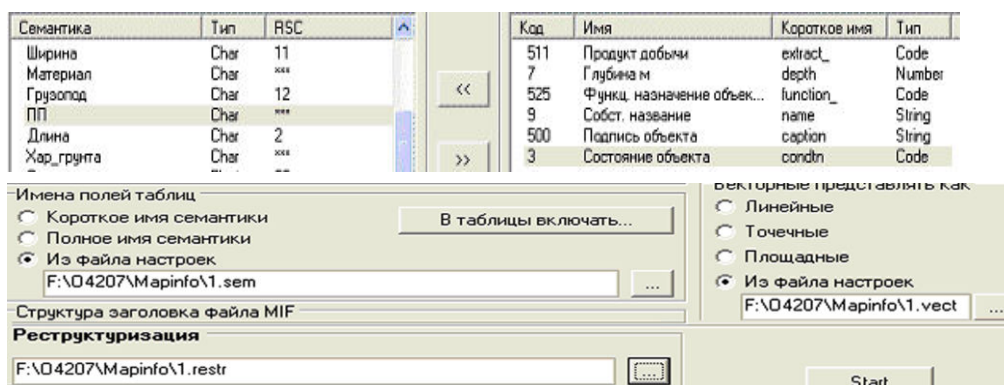


Рис. 7. Стандартный вид рабочего окна, используемый в конверторах данных

Благодаря разработанной технологии унификации, достигнуто существенное уменьшение трудозатрат на обновление топографических и тематических источников пространственных данных, на модификацию информации под желаемую структуру заказчика, значительно возросло качество цифровой картографической продукции.

© С.В. Серебряков, Ж.Л. Черкасова, О.Л. Анисимова, 2005

**ИТОГИ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ, РАЗРАБОТАННОЙ В ЦЕНТРЕ «СИБГЕОИНФОРМ»**

Важнейшее свойство топографических карт как образно-знаковых моделей действительности состоит в возможности непосредственно обозреть и изучать явления земной оболочки в любых её пределах, охватывающих район, область, страну. Оно основано на использовании масштаба и передаче картографируемых явлений в генерализованном виде.

Государственный стандарт ГОСТ 21667-76 «Картография. Термины и определения» определяет картографическую генерализацию как отбор и обобщение изображаемых на карте объектов соответственно назначению и масштабу карты и особенностям картографируемой территории.

В настоящее время вся территория России обеспечена топографическими картами масштабов от 1:25 000 до 1:1 000 000. В соответствии со схемой периодичности обновления топографических карт базовых масштабов на территорию Российской Федерации выполняется планомерное обновление топографических карт. Одной из первоочередных производственных задач является внедрение и освоение цифровых технологий изготовления и обновления топографических карт по материалам аэрокосмических съёмок. Одной из наиболее известных цифровых многофункциональных систем, используемых для создания и обновления топографических карт, является цифровая фотограмметрическая станция ЦФС (Москва, ЦНИИГАиК).

Учитывая широкое распространение в отрасли ЦФС, предназначенной для создания и обновления топографических карт и планов всего масштабного ряда, в центре «Сибгеоинформ» в 2004 - 2005 годах разработана технология автоматизированной Генерализации в рамках ОКР 02.251 «Разработка технологии получения цифровых карт масштабов 1:50 000- 1:100 000 по цифровым картам масштаба 1:25 000 на ЦФС».

В соответствии с указанием руководителя Федерального агентства геодезии и картографии, ряду предприятий отрасли (центру «Сибгеоинформ», ПО «Инжгеодезия», Восточно - Сибирскому АГП, Красноярскому АГП, Новгородскому АГП и Верхневолжскому АГП) было поручено проведение опытной эксплуатации технологии автоматизированной Генерализации на базе центра «Сибгеоинформ».

Цель опытных работ заключалась в проверке работоспособности технологии, проведении предварительной оценки экономической эффективности и готовности технологии для дальнейшей эксплуатации в производственных условиях.

Опытная эксплуатация проводилась специалистами отдела цифрового картографирования и фотограмметрии центра «Сибгеоинформ», с опытом выполнения работ по созданию ЦТК и ЦТП масштабов 1:10 000- 1:100 000 в ПО «Панорама» и «АРМ-Растр», но не имеющих опыта работы в программной среде ЦФС и картосоставлении.



Для выполнения работ было оборудовано два рабочих места, на которых установлено следующее техническое оборудование (ПЭВМ) в составе:

- Процессор- Celeron / 600 МГц;
- Оперативная память- 256 Мб;
- Жесткий диск- 20 Гб.

На ПЭВМ было установлено следующее программное и информационное обеспечение:

- Операционная система Windows 2000;
- Программное обеспечение ЦФС (по версии ЦФС от 11.01.2005 г.), с системой контроля качества (СКК);
- Программа ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ в виде исполнительных модулей;
- Программа Torowin 3,0 версия от 9 февраля 2005 г.;
- Программа редактирования цензов;
- Конвертор;
- База данных цензов масштаба 1:50 000.

Предоставлена следующая нормативно- техническая документация:

- «Цифровая фотограмметрическая система ЦНИИГАИК. Руководство оператора», Москва 2004 г.;
- «Технологическая инструкция», 257 058 9.00044. И2.2, центр «Сибгеоинформ», 2004 г.;
- «Программа Генерализация. Руководство оператора», SU 589.257 085 4.00334 34, центр «Сибгеоинформ», Новосибирск, 2004 г.;
- «Правили сбора цифровой информации на ЦФС для использования в автоматизированной генерализации ЦТК масштабов 1:25 000- 1:100 000 (редакция 2)», 257 085 9,00044.000 И5.2, центр «Сибгеоинформ», Новосибирск, 2004г.

Из-за отсутствия производственных материалов масштаба 1:25 000, собранных в среде ЦФС в центре «Сибгеоинформ», была сделана заявка на получение производственного материала из Красноярского АГП. В качестве исходного материала были получены цифровые топографические карты на 8 НЛ масштаба 1:25 000, собранные в программной среде ЦФС в формате DMF (по версии ЦФС от 01.06.2004г.), средней категории сложности - 3,5.

В процессе опытной эксплуатации технологии автоматизированной генерализации проведено обучение специалистов работе в программном обеспечении ЦФС и ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ, выполнены следующие виды работ:

1. Входной контроль НЛ ЦТК масштаба 1:25 000;
2. Подготовительные работы для создания производного НЛ ЦТК масштаба 1:50 000 в автоматическом режиме, включающие в себя:
  - Подготовку РТУ для создания производного НЛ ЦТК масштаба 1:50 000;
  - Исправление ошибок на НЛ ЦТН масштаба 1:25 000, выявленных при входном контроле;
  - Перекодировка классификатора ЦТК масштаба 1:25 000, собранных в программной среде ЦФС, с помощью таблиц соответствия объектов и

характеристик программного обеспечения технологии автоматической генерализации;

- Сводка и сшивка исправленных 4 НЛ ЦТК масштаба 1:25 000 с изменёнными кодами объектов и характеристик.

3. Процесс автоматической генерализации, т.е. автоматическое преобразование исправленных 4 НЛ ЦТК масштаба 1:25 000 с изменёнными кодами объектов и характеристик в один НЛ ЦТК масштаба 150 000.

4. Интерактивная доработка автоматически созданного одного НЛ ЦТК масштаба 1:50 000 до составительского оригинала;

5. Контроль и приёмка составительского оригинала НЛ масштаба 1:50 000.

ЦТК масштаба 1:25 000, планируемые для проведения автоматизированной генерализации, должны быть подготовлены в соответствии с документом «Правила сбора цифровой информации на ЦФС для использования в автоматизированной генерализации ЦТК масштабов 1:25 000 - 1:100 000», выполнены в том классификаторе, который используется для проведения генерализации, проверены по системе контроля качества ПО ЦФС и приняты отделом технического контроля.

Время, затраченное на исправление ошибок и недоработок исходного материала, составило 42% от общего количества времени.

Специалисты, выполняющие работы по автоматизированной генерализации, должны обладать навыками работы в ПО ЦФС, ПО ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ, картосоставлении, знать нормативные и методические материалы.

Время на обучение специалистов при проведении опытной эксплуатации составило 14% от общего времени, затраченного на создание одного НЛ масштаба 1:50 000.

При проверке работоспособности программы ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ выявлены ошибки, требующие устранения разработчиками программного обеспечения. Устранение ошибок позволит сократить время на интерактивную доработку НЛ масштаба 1:50 000 в среднем на 10%.

Кроме того, необходимо отметить недостатки программного обеспечения ЦФС:

- При проведении контроля качества не формируется протокол ошибок, с пометкой уже исправленных ранее, вынесенных в отдельный сохраненный файл.

- При интерактивном редактировании объектов средствами ЦФС для ускорения работы и удобства оператора необходимо дополнить редактор следующими функциями:

- Добавить «горячую» клавишу с функцией удаления точки;
- Добавить функцию «замены участка метрики»;
- Упростить функцию создания внутреннего контура объекта;

– При создании внутреннего контура на объектах, имеющих заполнение (например, луговая растительность, сплошные заросли кустарников и др.), убрать с площади внутри контура заполняющие значки.

Исходя из вышесказанного, видно, что 56 % времени, затраченного на создание 1 НЛ ЦТК масштаба 1:50 000 до составительского оригинала, использовалось на устранение недоработок исходного материала и обучение специалистов.

Подводя итоги опытной эксплуатации необходимо отметить, что при соблюдении всех требований к исходному материалу, подготовке специалистов, устранении замечаний программного обеспечения ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ и доработке ПО ЦФС, технология автоматизированной генерализации, разработанная в центре «Сибгеоинформ», работоспособна и готова для выполнения производственных задач во всех заинтересованных предприятиях отрасли. Убеждена, что технология автоматизированной генерализации со временем займет достойное место среди разнообразия автоматизированных технологий по созданию и обновлению ЦТК.

© И.В. Осинцева, 2005

УДК 528.91

И.В. Колоколова

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

## **АВТОМАТИЧЕСКИЙ И ИНТЕРАКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ТЕХНОЛОГИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ**

Под качеством ЦТК понимается совокупность свойств, обуславливающих её пригодность удовлетворить определённые потребности в соответствии с назначением ЦТК.

Для оценки качества ЦТК определяют количественные и качественные показатели и сопоставляют их с заданными (нормативными).

К количественным показателям относятся:

а) Полнота ЦТК:

- Полнота и правильность заполнения формуляра;
- Полнота объектового состава;
- Полнота характеристик объектов;

б) Точность ЦТК:

- Точность положения объектов ЦТК в плане относительно ИКМ;
- Точность положения горизонталей ЦТК в плане относительно ИКМ;

в) Правильность идентификации объектов ЦТК:

- Правильность определения кодов объектов;
- Правильность определения характеристик объектов;

г) Логическая согласованность структуры и представления объектов ЦТК:

- Соответствие формату ЦТК;
- Соответствие системе классификации и кодирования цифровой картографической информации;

- Соответствие правилам цифрового описания картографической информации.

К качественным показателям относятся:

а) Назначение ЦТК:

- По назначению ЦТК являются государственной цифровой топографической основой;

б) Происхождение ЦТК:

- Характеристики исходного картографического материала, на основе которого получена цифровая картографическая информация;

- Описание фактических этапов преобразования информации из ИКМ в ЦТК.

Происхождение ЦТК характеризует достоверность информации, в т.ч. правильность сведений, даваемых картой на определённую дату. Все изменения, внесённые в ЦТК относительно ИКМ, должны быть отражены при описании качества ЦТК. При описании использования ЦТК указывается, для каких целей она использовалась, что характеризует её потребительское качество.

Значения характеристик и показателей качества ЦТК определяются методами интерактивного или автоматического контроля.

Технология автоматизированной генерализации по ЦТК, собранным в программной среде ЦФС, состоит из следующих этапов:

1. Входной контроль ЦТК;
2. Подготовительные работы;
3. Автоматическая генерализация;
4. Интерактивное редактирование ЦТК производного масштаба;
5. Контроль и приёмка созданного НЛ ЦТК.

Контроль информации выполняется на различных этапах создания цифровой карты.

1. Входной контроль включает следующие виды работ:

- Анализ исходных данных и сбор дополнительных (справочных) материалов;

- Подготовка редакционно-технических указаний;

- Визуальный контроль.

Систематизация исходных цифровых топографических данных и их общая оценка производятся на предмет отбора данных, удовлетворяющих определённым требованиям: формат представления, цифровое описание топографических объектов, используемый классификатор, полноценность объектового состава.

Подготовка РТУ служит для обеспечения правильного проведения работ, связанных с формированием картографической модели цифровой карты производного масштаба и включает в себя:

- Оценку обеспеченности имеющейся цифровой топографической информации на территорию;

- Анализ объектового состава с точки зрения способности обеспечить требования, предъявляемые к элементам содержания карты производного масштаба;
- Подбор справочных материалов, определение степени и способов их использования;
- Изучение характеристик местности по имеющимся материалам, выявление важных объектов, ориентиров, магистральных улиц, характера застройки кварталов и др. Данных для обработки РТУ;
- Определение параметров автоматизированной генерализации;
- Определение списка элементов содержания, которые должны присутствовать на карте производного масштаба.

При визуальном контроле проверяется содержание номенклатурного листа ЦТК на соответствие требованиям инструкции «Правила сбора цифровой информации на ЦФС для использования в автоматизированной генерализации ЦТК».

## 2. Подготовительные работы

Исходные данные для проведения автоматизированной генерализации формируются в системе сбора данных цифровой информации средствами ЦФС, представлены в формате DMF и подготовлены в соответствии с технологической инструкцией. Особое внимание уделяется метрической согласованности объектов.

На этапе подготовительных работ выполняется проверка логической целостности цифровых топографических объектов и контроль исходной ЦТК перед началом автоматической генерализации.

Проверка логической целостности производится ПО ЦФС и включает в себя проверку топологической целостности объектов. В случаях обнаружения ошибок выполняется редактирование метрики объектов или формирование дополнительных (например, осевые линии улиц).

ПО «Digital» выявляет не все ошибки, влияющие на качество генерализации, поэтому после объединения, сводки, сшивки листов ЦТК, установления габаритов, параметров и цензов карты производного масштаба необходимо провести контроль средствами программы ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ. Для этого производится запуск программы *верификация*, создаётся протокол выявленных ошибок. Не исправленные программой ошибки исправляются вручную средствами ПО ЦФС. Программа запускается до полного исправления ошибок.

## 3. Автоматическая генерализация.

Исходные цифровые данные, прошедшие этап контроля и редактирования передаются в систему автоматической генерализации.

## 4. Интерактивное редактирование ЦТК производного масштаба.

Интерактивному редактированию подлежит файл, полученный после автоматической генерализации. Для визуального контроля полноты объектового состава, правильности описания и местоположения объектов рекомендуется

получить графические копии карт исходного и производного масштабов средствами ЦФС.

В интерактивном режиме выполняются проверки:

- Правильность присвоения объектам кодов, характеристик и значений характеристик,
- Наличие и правильность формирования обязательных характеристик,
- Правильность отображения объектов в топографических условных знаках, соответствующих масштабу создаваемого НЛ ЦТК,
- Соответствие собственных названий и пояснительных подписей объектов заданным кодам шрифтов.

В соответствии с требованиями существующих нормативных документов и редакционно-технических указаний выполняется редактирование по отдельным элементам ЦТК:

а) Опорные (геодезические) пункты и отметки высот;

Выполняется отбор пунктов государственной геодезической сети, отметок высот.

б) Гидрография и гидротехнические сооружения;

Выполняется сглаживание «зубчатых» участков рек, корректность преобразования, отбор урезов воды, характеристик рек.

в) Населённые пункты;

Выполняется анализ ширины улиц, увеличиваются полосы застроенных частей в кварталах, корректируется метрика и местоположение строений, а также границы населённых пунктов.

г) Промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты;

Выполняется отбор строений на территории промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов, отбор ЛЭП и линий связи, подписей их характеристик.

д) Дорожная сеть и дорожные сооружения;

Выполняется корректировка автоматического сглаживания метрики, сохранение общих точек при пересечении, редактирование придорожных сооружений, отбор насыпей и выемок вдоль дорог, редактирование их изображения на застроенной части.

е) Рельеф;

Выполняется корректировка автоматического сглаживания метрики горизонталей, устраняется «зубчатость» участков, отбор бергштрихов, подписей горизонталей, исключаются разрывы горизонталей при переформировании площадной гидрографии в линейные объекты.

ж) Растительный покров и грунты;

Производится отбор и обобщение отдельных элементов растительности (отдельно расположенных деревьев, кустов и т.д.), корректируются внутренние контуры растительности, метрика и семантика просек.

з) Границы и ограждения;

Проверяется сохранность государственных границ, их окраски, проводится отбор ограждений, границ чётко выделяемых территорий.

и) Сводка со смежными листами;

Карта производного масштаба должна быть сведена по всем сторонам рамки со смежными листами.

Оформление рамок листов карт выполняется в автоматическом режиме в соответствии с образцами, приложенными к таблицам условных знаков.

Контроль и приёмка созданного НЛ ЦТК.

После интерактивного редактирования вновь выполняется контроль логической целостности цифровых топографических объектов в ПО ЦФС.

Получение ЦКИ и графической копии является одним из главных средств контроля процесса генерализации. ЦКИ и графическую копию проверяют на полноту, достоверность, правильность генерализации всех элементов содержания карты, точность графического расположения всех объектов, соответствия нормативным документам, относящимся к производному масштабу карты.

© И.В. Колоколова, 2005

УДК 528.91:681.2

С.В. Колосков, Т.А. Хлебникова, С.А. Ковалева

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

## **ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Одним из основных научно-технических направлений центра “Сибгеоинформ” (Роскартографии) является разработка и совершенствование технологии автоматизированной генерализации.

Технология автоматизированной генерализации (далее Технология) позволяет по исходным масштабам ЦТК и ЦТП (1:500, 1:2 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:100 000), получать цифровые топографические карты и планы производных масштабов, и логически поделена на пять частей, которые перечислены в таблице. В таблице приведены данные (масштабы, форматы) исходных ЦТК и ЦТП, и соответствующие им данные для производных ЦТК, ЦТП.

Таблица

| Часть<br>Технологии | Исходные ЦТК, ЦТП |                    | Производные ЦТК, ЦТП  |          | Год завершения |
|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|----------|----------------|
|                     | Формат            | Масштаб            | Формат                | Масштаб  |                |
| 1                   | АИС ГК 2          | 1:500              | АИС ГК 2              | 1:1000   | 2002 г.        |
|                     |                   |                    | АИС ГК 2<br>DMF (ЦФС) | 1:2 000  | 2002 г.        |
| 2                   | АИС ГК 2          | 1:2 000<br>1:5 000 | АИС ГК 2              | 1:10 000 | 2002 г.        |
|                     | DMF (ЦФС)         | 1:2 000<br>1:5 000 | DMF (ЦФС)             | 1:1 0000 | 2002 г.        |

|   |                             |           |                               |                       |                         |
|---|-----------------------------|-----------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 3 | ОФИФ                        | 1:10 000  | ОФИФ<br>АИС ГК 2<br>DMF (ЦФС) | 1:25 000              | 2001 г.                 |
| 4 | ОФИФ                        | 1:25 000  | ОФИФ<br>ОФИФ                  | 1:50 000<br>1:100 000 | 2000 г.                 |
|   | DMF (ЦФС)<br>ГИС «Панорама» | 1:25 000  | DMF (ЦФС)                     | 1:50 000<br>1:100 000 | 2004 г.<br>июль 2005 г. |
| 5 | ОФИФ                        | 1:100 000 | ОФИФ<br>АИС ГК 2              | 1:200 000             | 2001 г.                 |

Технология разработана в соответствии с требованиями действующих в Роскартографии нормативных документов (НД) по созданию и обновлению топографических карт и включает:

- Информационное обеспечение;
- Программное обеспечение;
- Комплект программной и технологической документации.

Поскольку описание Технологии дано в докладе [1] настоящего сборника, здесь ограничимся перечислением основных процессов.

Технология включает следующие основные этапы:

1. Подготовительные работы, контроль и редактирование исходных данных.
2. Автоматическая генерализация.
3. Контроль и редактирование результатов генерализации.
4. Выдача результатов генерализации.

По перечисленным в таблице масштабам опытная эксплуатация проводилась только по Части 2 Технологии. В период с мая по август 1999 г. в соответствии с договором в МАГП была проведена опытная эксплуатация по получению топографических планов городов в цифровом и графическом виде масштабов 1:5 000 и 1:10 000 по цифровым топографическим планам масштаба 1:2 000. При этом использовалась технология генерализации, разработанная ранее и завершённая в декабре 1997г. По остальным, перечисленным в таблице масштабам технологии, опытной эксплуатации не проводились.

Работы по опытной эксплуатации технологий по получению ЦТК масштабов 1:50 000, 1:100 000 по ЦТК масштаба 1:25 000, и получению ЦТП масштаба 1:5 000 по масштабу 1:2 000, проводились в центре "Сибгеоинформ" в 2002-2003 гг. за счет собственных средств.

В результате проведенных работ получено:

- 4 НЛ ЦТК масштаба 1:50 000 (в формате ОФИФ) по ЦТК масштаба 1:25 000 (формат ОФИФ);
- 1 НЛ ЦТК масштаба 1:100 000 (в формате ОФИФ) по ЦТК масштаба 1:25 000 (формат ОФИФ);
- 1 НЛ 1:200 000 (в формате ОФИФ) по ЦТК 1:100 000 (формат ОФИФ);
- 6 НЛ масштаба 1:50 000 – на разных стадиях доработки.



В рамках хоздоговора 23.14 (ПриморАГП) выполнялась опытная эксплуатация технологии создания ЦТК 1:25 000 по ЦТП 1:2 000 - ЦТК 1:10 000. По исходным 34 НЛ масштаба 1:2 000 (формат АИС ГК 2) подготовлено 2НЛ масштаба 1:10 000, 0, 5 НЛ масштаба 1:25 000 (формат Нева).

Работы по опытной эксплуатации технологии в центре "Сибгеоинформ" были продолжены в 2004 году за счет собственных средств. В результате проведенных работ по исходным 8 НЛ ЦТК масштаба 1:25 000, (подготовленных на ЦФС в формате DMF) получено 2 НЛ ЦТК масштаба 1:50 000 (формат DMF).

По результатам даже небольшого объема выполненных работ, перечисленных выше, выявлены **следующие недостатки**:

1. Уровень автоматической генерализации по всем видам элементов содержания ЦТК и ЦТП менее запланированных по Техническому заданию 60%.

2. После выполнения процесса генерализации в автоматическом режиме необходим большой объем интерактивного редактирования цифровой информации.

Это вызвано следующими **нерешенными в настоящее время проблемами**.

1. Информационное обеспечение технологий сбора АРМ РАСТР-2, ЦФС, АИС ГК2 ТороWin 3.0, средствами которых подготовлены исходные ЦТК, различно. Это вызывает необходимость использования конверторов, которые не обеспечивают полную передачу информации.

Существующая структура данных в ПО ЦФС при отборе объектов не позволяет выполнить правильно автоматическую генерализацию.

Пример - Линии электропередачи и опора ЛЭП не имеют общих точек. Отсутствие связи приводит к тому, что после автоматической генерализации при удалении ЛЭП останется опора.

2. В существующих ГОСТ изложены общие требования, которые носят рекомендательный характер. Отсутствие единого классификатора и правил сбора при подготовке цифровой продукции (исходной, производной)- ЦТК, ЦТП, ЦММ приводит к тому, что содержание ЦТК, ЦТП, ЦММ на одну и ту же территорию в двух разных предприятиях различаются.

3. Исходная ЦТК (ЦТП) являет собой частично цифровую модель топографической карты, привязанную к масштабу и морально устаревшим условным знакам, и только частично - цифровую модель местности. Последняя свободна от понятия масштаба.

4. В ноябре 2002 г. завершена разработка таблиц цензов по отбору топографических объектов для использования в автоматизированной Генерализации. Таблицы цензов по отбору составлены согласно действующим условным знакам и особенностями объектов, которые встречаются на картах Роскартографии. Принципы структуры информационного обеспечения ЦФС другие.

5. Алгоритмы, реализованные в ПО технологии Генерализация не полностью исследованы и не отработаны должным образом для конкретных масштабов. Работы в рамках НИР не проводились.

Предложения:

1. Разработать отраслевой нормативный документ, содержащий классификатор, правила ввода подготовки цифровой продукции - ЦММ, ЦТК (ЦТП).

2. Согласовать информационное обеспечение ЦФС с информационным обеспечением технологии Генерализации.

3. В плане НИОКР на 2006г. предусмотреть НИР, где разработать модель данных для генерализации:

– Отработать необходимые алгоритмы преобразования объектов при генерализации;

– В составе информационного обеспечения выполнить формализованное описание критериев и цензов для отбора топографических объектов.

4. Организовать связи (информационные, программные) с другими технологиями или программными средами по созданию и обновлению цифровых карт и планов, подготовке карт и планов к изданию и созданию ГИС.

5. Продолжить работы по модернизации и совершенствованию технологии Генерализация.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. С. В. Колосков, Т. А. Хлебникова. Обзор технологий автоматизированной генерализации при картографировании, разработанных в центре «Сибгеоинформ».

© С.В. Колосков, Т.А. Хлебникова, С.А. Ковалева, 2005

УДК 528.93

С.В. Колосков, Т.А. Хлебникова

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

#### **ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ, РАЗРАБОТАННЫХ В ЦЕНТРЕ «СИБГЕОИНФОРМ»**

**Генерализация** – отбор и обобщение, изображаемых на карте объектов соответственно назначению и масштабу карты и особенностям картографируемой территории (ГОСТ 21667-76. Картография. Термины и определения).

**Автоматическая генерализация** - все операции в процессах получения, преобразования, передачи и распределения информации, выполняющее ПЭВМ по заданной программе (БСЭ).

**Автоматизированная генерализация** - генерализация цифровой картографической информации, выполняемая на ПЭВМ в диалоговом режиме (ГОСТ 28 441-99. Картография цифровая. Термины и определения).

**Составление карты** – изготовление оригинала карты, состоящее из построения математической основы, нанесения содержания по картматериалам с его генерализацией и закрепления картографического изображения (ГОСТ 24667-76. Картография. Термины и определения).

**Составительский оригинал карты** – оригинал карты, изготовленный в результате составления, на котором элементы содержания нанесены соответственно требованиям редакционных документов (ГОСТ 2166-76).

Основным итогом нескольких последних лет деятельности предприятий Роскартографии стало создание фондов цифровых топографических карт (ЦТК)

мелких масштабов на территорию страны, средних масштабов – на регионы. В тоже время предприятия и геоинформационные центры в рамках хоздоговорных работ по заказам земельных комитетов выполняют цифровые топографические планы (ЦТП), цифровые ортофотопланы масштабов 1: 500 - 1: 5000. При этом процессы и методы создания ЦТК, ЦТП совершенствуются.

Одним из основных научно-технических направлений центра “Сибгеоинформ” (Роскартографии) является разработка и совершенствование технологии автоматизированной генерализации.

Технология автоматизированной генерализации (далее Технология) позволяет по исходным масштабам ЦТК и ЦТП (1:500, 1:2 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:100 000), получать цифровые топографические карты и планы производных масштабов, и логически поделена на пять частей, которые перечислены в таблице. В таблице приведены данные (масштабы, форматы) исходных ЦТК и соответствующие им данные для производных ЦТК, ЦТП.

*Таблица*

| Часть<br>Технологии | Исходные ЦТК, ЦТП           |                  | Производные ЦТК, ЦТП          |                     | Год<br>завершения       |
|---------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|
|                     | Формат                      | Масштаб          | Формат                        | Масштаб             |                         |
| 1                   | АИС ГК 2                    | 1:500            | АИС ГК 2                      | 1:1000              | 2002 г.                 |
|                     |                             |                  | АИС ГК 2<br>DMF (ЦФС)         | 1:2000              | 2002 г.                 |
| 2                   | АИС ГК 2                    | 1:2000<br>1:5000 | АИС ГК 2                      | 1:10000             | 2002 г.                 |
|                     | DMF (ЦФС)                   | 1:2000<br>1:5000 | DMF (ЦФС)                     | 1:10000             | 2002 г.                 |
| 3                   | ОФИФ                        | 1:10000          | ОФИФ<br>АИС ГК 2<br>DMF (ЦФС) | 1:25000             | 2001 г.                 |
| 4                   | ОФИФ                        | 1:25000          | ОФИФ<br>ОФИФ                  | 1:50000<br>1:100000 | 2000 г.                 |
|                     | DMF (ЦФС)<br>ГИС «Панорама» | 1:25000          | DMF (ЦФС)                     | 1:50000<br>1:100000 | 2004 г.<br>июль 2005 г. |
| 5                   | ОФИФ                        | 1:100000         | ОФИФ<br>АИС ГК 2              | 1:200 000           | 2001 г.                 |

Технология представляет собой совокупность производственных процессов, математических методов, вычислительных программ, технических средств, организационных положений. Критериями эффективности функционирования Технологии являются: уменьшение стоимости ЦТК по сравнению с методом непосредственного цифрования или создания ЦТК методом генерализации «вручную», повышение производительности труда, т.е.

уменьшение материальных затрат и времени на создание ЦТК единицы продукции.

Технология разработана в соответствии с требованиями действующих в Роскартографии нормативных документов (НД) по созданию и обновлению топографических карт и включает:

- Информационное обеспечение;
- Программное обеспечение;
- Комплект программной и технологической документации.

Информационное обеспечение технологии автоматизированной генерализации использует отраслевые нормативные документы (руководства, наставления, условные знаки), классификаторы топографической и картографической информации, правила цифрового описания объектов и таблицы цензов по отбору топографических объектов масштабов 1:500 – 1:200000.

Технология включает следующие основные этапы:

1. Подготовительные работы, контроль и редактирование исходных данных;
2. Автоматическая генерализация;
3. Контроль и редактирование результатов генерализации;
4. Выдача результатов генерализации.

Подготовительный этап предусматривает:

- - редакционно-подготовительные работы;
- - конвертирование исходной цифровой топографической информации в оперативную базу данных генерализации (программа ТороWin 3.0, свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610259 от 21 января 2004 г.; далее ТороWin), её контроль и редактирование;
- - сводку и сшивку исходных ЦТК.

Основные стадии автоматизированной генерализации:

- Ввод и установка начальных параметров программы генерализации;
- Последовательная генерализация объектов в классификационных слоях (в соответствии с приоритетами);

Этап контроля и редактирования результатов генерализации предусматривает:

- Контроль результатов автоматической генерализации;
- Оценку полноты автоматической генерализации;
- Редактирование цифровых данных после процесса генерализации в интерактивном режиме средствами графического редактора программы.

Подготовка к выводу результатов автоматизированной генерализации:

- Формирование файла ЦТК производного масштаба на номенклатурный лист в заданном формате;
- Формирование ЦТК для выдачи бумажной копии, соответствующей по содержанию составительскому оригиналу;
- Формирование рамочного и зарамочного оформления НЛ.

Исходными данными для производных цифровых топографических карт и планов масштабов, перечисленных в таблице, являются ЦТК (ЦТП) соответствующего масштаба в формате системы сбора, например ПО Digital ЦФС - (DMF). Информация исходной ЦТК должна отвечать установленным требованиям и правилам сбора цифровой топографической информации для цели автоматизированной генерализации, определённым в документе, например для ЦТК, подготовленных на ЦФС - «Правила сбора цифровой информации на ЦФС для использования в автоматизированной генерализации ЦТК масштабов 1:25000 - 1:100000» (257 085 9.00044.000 И5).

Генерализация выполняется отдельно по группам объектов, имеющим общую семантику и тип локализации в пределах классификационного слоя. При этом параллельно осуществляется взаимное согласование метрики обрабатываемых объектов с объектами, принадлежащими другим классификационным слоям. Используется отдельная генерализация объектов, составляющих контурную часть ЦТК и объектов рельефа.

Обработка каждого объекта и их групп производится на основе использования заранее составленных формализованных правил и цензов, которые определяют механизм обработки объектов, используя для этого заранее определенные специально разработанные (выполняющие соответствующие действия) процедуры и функции.

В процессе отработки технологии выявились некоторые особенности. При автоматическом анализе исходных данных и их преобразовании, при разработке алгоритмов и процедур автоматического отбора объектов и выполнения интерактивного редактирования ЦТК (ЦТП), полученных после завершения автоматической генерализации, необходимо наличие конкретизированных таблиц по цензам показа для каждого топографического объекта на картах и планах всего масштабного ряда.

В центре «Сибгеоинформ», по заказу Роскартографии разработаны «Таблицы цензов по отбору объектов при составлении карт масштабов в автоматизированной генерализации» на картах и планах масштабов от 1:500 до 1:200 000 (далее - Таблицы цензов). Таблицы цензов включены в состав документации Технологии по каждому масштабу и содержат конкретные числовые цензы показа на каждый топографический объект карты или плана.

На основе Таблиц цензов разработан интерфейс для настройки (изменения) формализованных правил и цензов, в зависимости от редакционных указаний и характера местности составляющей ЦТК.

Интерфейс предусматривает следующие режимы работы:

- Заполнение и редактирование базы данных описательной части правил и цензов генерализации. Ввод числовых значений цензовых условий действующих «по умолчанию» для конкретного масштаба (служебный режим);
- Редактирование числовых значений цензовых условий заданных «по умолчанию» по редакционным указаниям, определённых особенностями характера местности и специальной нагрузкой ЦТК (режим настройки параметров автоматической генерализации).

– Использование программы и её базы данных (в виде таблиц) в качестве информационно-справочной системы по правилам и цензам автоматической генерализации, как на этапе подготовительных работ, так и на этапе контроля и редактирования результатов автоматической генерализации. При этом предусматривается осуществлять поиск необходимой информации, как по номеру условного знака, так и по семантике объекта ЦТК.

Конвертирование ЦТК (ЦТП) исходных цифровых топографических данных осуществляется из следующих внешних систем сбора:

– Автоматизированная система создания цифровых топографических карт масштабов 1:10 000 – 1:1 000 000 (АРМ Растр-2, НИИПМК, г. Нижний Новгород); в формате INF;

– Цифровая фотограмметрическая станция (ЦНИИГАиК, г. Москва); в формате DMF;

– ГИС «Панорама»; в формате SXF;

– Программный комплекс ТороWin 3.0; в обменном формате АИС ГК 2.

Учитывая широкое распространение ЦФС в отрасли (более 400 рабочих мест) для создания и обновления топографических карт и планов всего масштабного ряда в центре разработана технология генерализации ЦТК, ЦТП на ЦФС. В последней настройка параметров автоматизированной генерализации и запуск процесса автоматической генерализации включены в пользовательский интерфейс ПО Digital's ЦФС.

Следует сказать, что данная технология является результатом интеграции программного обеспечения ЦФС Digital's и программы ТороWin 3.0. В состав информационного обеспечения ЦФС входят: Классификатор картографической информации, формат ввода и обработки данных, обменный формат передачи информации. Структура классификатора, принятая для использования в ЦФС, заимствована из Автоматизированной системы создания цифровых топографических карт масштабов 1:10 000 - 1:100 000 (АРМ Растр-2, НИИПМК).

Информационным обеспечением программы ТороWin 3.0 является Классификатор технологический топографической информации для использования в автоматизированных системах, в основе которого лежит классификатор [1]. Для совместимости классификаторов разработан конвертор, работающий в пакетный режим. В функции конвертора входит не только передача цифровой графической информации, но и гибкая настройка совместимости классификаторов (классы объектов, их свойства, характеристики и т.д.).

Создаваемая технология должна обеспечить увеличение производительности труда на этапах создания ЦТК, ЦТП производных масштабов, заменив ручную технологию генерализации автоматизированной, а также, исключив процессы непосредственного цифрования карт требуемых масштабов путем замены их процессом автоматизированного составления на основе цифровых данных более крупного масштаба.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классификатор топографической информации (Информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1: 500, 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000, 1:10 000). – М., 1986.

© С.В. Колосков, Т.А. Хлебникова, 2005

УДК 528.91:681.2

С.В. Колосков

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦТК, ЦТП МЕТОДОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ**

Основным итогом нескольких последних лет деятельности предприятий Роскартографии стало создание фондов цифровых топографических карт (ЦТК) мелких масштабов на территорию страны, средних масштабов – на регионы. В тоже время предприятия и центры геоинформации в рамках хоздоговорных работ по заказам земельных комитетов выполняют цифровые топографические планы (ЦТП), цифровые ортофотопланы масштабов 1: 500 - 1: 5 000. При этом процессы создания ЦТК, ЦТП совершенствуются.

Одним из основных научно-технических направлений центра “Сибгеоинформ” (Роскартографии) является разработка и совершенствование технологии автоматизированной генерализации.

Технология автоматизированной генерализации позволяет по исходным масштабам ЦТК и ЦТП (1:500, 1:2000, 1:10000, 1:25000, 1:100000), получать цифровые топографические карты и планы производных (более мелких) масштабов.

Технология разработана в соответствии с НД отрасли и включает:

- Информационное обеспечение;
- Программное обеспечение;
- Комплект программной и технологической документации.

Автоматизированная генерализация производится в соответствии с требованиями действующих в Роскартографии нормативных документов по созданию и обновлению топографических карт.

Одной из основных проблем автоматизированной генерализации является проблема формализации процесса картографической генерализации в целом (получение модели производного масштаба). Т.е. не автоматизация отдельных действий картографа-составителя, а насколько это возможно, исключить из процесса генерализации действий картографа, которые, как правило, носят субъективный характер.

Для этого была разработана **модель автоматизированной генерализации** цифровых топографических карт, которая инкапсулировала в себе ЦТК и методы автоматической генерализации.

Другой проблемой автоматизированной генерализации является проблема **формализации структуры данных** исходной ЦТК, поскольку структура ЦТК, как правило, не содержит информации, необходимой для автоматической генерализации, а представлена в виде последовательного и, как правило, не структурированного списка объектов.

Для формализации структуры исходной ЦТК используется подсистема **распознавания структуры данных**. Функцией этой подсистемы является идентификация объектов ЦТК или их совокупностей, их пространственные отношения (определение топологических отношений) и определение степени важности (приоритетов). На процесс распознавания структуры воздействуют управляющие параметры - масштаб производной карты, особенности территории и т. д.

**Формализация функций** автоматической генерализации заключается в определении типов процессов генерализации для получения информационных структур на основании управляющих параметров. Определены пять основных типов процессов: отбор картографических объектов, обобщение количественных характеристик, обобщение качественных характеристик, геометрическая генерализация и замена отдельных объектов их собирательными значениями. Эти процессы составляют библиотеку функций и определяют характерный для них набор формальных параметров.

**Библиотека правил и цензов генерализации** хранит установленные правила и цензы, используя для этого несколько видов формализованных структур описания этих данных. Например, структура, реализующая процесс отбора и исключения строится по принципу: код объекта - формализованная запись критериев отбора, обобщения и условий их применения - параметры критерия отбора (обобщения).

**Подсистема формирования решений** представляет собой информационную структуру, интерфейс которой позволяет:

- Оценивать истинность того, либо иного утверждения, записанного в формализованном виде в библиотеке правил и цензов;
- Прийти к решению будет ли присутствовать объект на создаваемой ЦТК (функция отбора и исключения);
- Определить вид модификации геометрической части описания объекта, выбрать необходимую функцию из библиотеки функций автоматической генерализации и определить новый вид формализованного описания семантики объекта.

На этапе **выполнения процесса** автоматической генерализации исходная ЦТК и информационные структуры обрабатываются подготовленными операциями в требуемом порядке и конвертируются в ЦТК производного масштаба, которая по необходимости, передаётся в систему **отображения данных** для получения графической копии ЦТК.

© С.В. Колосков, 2005

УДК 528.91

С.П. Нефедов

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

## **ГИС-ПРИЛОЖЕНИЯ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ЦЕНТРЕ «СИБГЕОИНФОРМ»**

В центре «Сибгеоинформ» разработаны и реализованы следующие проекты ГИС:



1. Типовая муниципальная геоинформационная система (земельный, имущественный и градостроительный кадастры). Использованы цифровые топографические карты масштабов 1:500, 1:2000, 1:5000, 1:10000.

2. Электронная база данных автомобильных дорог федерального значения на территорию Российской Федерации. Использованы цифровые топографические карты масштабов 1:7 500 000, 1:1 000 000, и карты-схемы городов масштаба 1:25 000.

3. Геоинформационная система недвижимости Новосибирской области. Использованы цифровые топографические карты и планы масштабов 1:200 000, 1:10 000 - 1:25 000, 1:2 000.

4. Разработка опытного образца автоматизированного рабочего места ТИГГН на основе ГИС-технологий. Использованы цифровые топографические карты масштабов 1:200 000, 1:2 000 – 1:25 000.

Кроме этого, в центре разработаны программы - конверторы геоинформации из подсистем сбора фотограмметрическими станциями (формат DMF), ПАНОРАМА (формат SXF), РАСТР2 (формат ОФИФ) и F20. А также реализованы программные средства преобразования координат из одной системы координат в другую, в частности из местной системы координат в государственную систему координат (ГСК) и обратно, из условной системы координат 1963 года в ГСК и обратно, из равнопромежуточной конической проекции в ГСК и обратно. Дополнительно к средствам преобразования координат, разработан модуль восстановления проекции по картографической сетке.

Основой всех проектов ГИС является базовая разработка центра «Сибгеоинформ» **Многофункциональная адаптируемая геоинформационная система (МАГИС).**

МАГИС находится в непрерывном развитии при разработке ГИС-приложений по хоздоговорам с другими организациями.

В настоящее время МАГИС используется в Камчатском ФГУ, Администрации НСО, МВД Сибирского округа.

© С.П. Нефедов, 2005

УДК 528.91

С.П. Нефедов, С.В. Ковалевская

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

## **ИТОГИ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ АРМ ТИГГН**

Центром «Сибгеоинформ» с 2003 г. по заказу Роскартографии разрабатывается автоматизированное рабочее место ТИГГН (АРМ ТИГГН) на основе ГИС-технологий, которое позволит максимально автоматизировать деятельность инспектора ТИГГН в условиях использования современных компьютерных и информационных технологий. В 2004 г. завершена разработка первой подсистемы «Работа с материалами и данными геодезического фонда».

На информационном уровне подсистема состоит из баз пространственных и непространственных данных геодезических пунктов и баз пространственных и непространственных топографических данных масштаба 1:200 000.

База данных геодезических пунктов подсистемы АРМ ТИГГН «Работа с материалами и данными геодезического фонда» представляет собой базу тематических данных, включающую информацию о геодезических пунктах, основанную на изданных каталогах геодезических пунктов, хранящихся в ТИГГН.

База пространственных данных топоосновы включает в себя полный набор ЦТК масштаба 1:200 000, покрывающих подведомственную территорию ТИГГН.

Подсистема АРМ ТИГГН «Работа с материалами и данными геодезического фонда» предоставляет следующие функциональные возможности:

- Ввод и хранение информации о геодезических пунктах из БД GeoBank (разработка ЦНИИГАиК);
- Формирование пространственных объектов схемы геодезической сети на основе введенных табличных данных о координатах геодезических пунктов;
- Пересчет координат геодезических пунктов по системам координат (ГСК, МСК, СК63), по зонам с выдачей результата в форме документа табличного вида;
- Выдачу платежно-расчетных документов за оказанные услуги по выдаче информации о геодезических пунктах и по пересчету координат;
- Выдачу сводной справочной информации по геодезическим пунктам на заданную территорию;
- Визуализацию схемы геодезической сети совместно с топографической основой с использованием ГИС-приложения;
- Оперативный поиск пространственных объектов, в частности, геодезических пунктов, по запросу на местоположение на территории (по близости к поименованному объекту топографической основы, на территории заданного радиуса или произвольной формы, по номенклатурной разграфке и т.д.);
- Вывод в картографическом виде выкопировки отдельного участка территории совместно со схемой геодезической сети;
- Осуществление пространственного анализа и логической переработки информации (определение расстояний между различными объектами, площадей, периметров и длин объектов, отношений примыкания, пересечения, вхождения объектов);
- Пространственное моделирование (конструирование и ввод в базу новых объектов).

В шести ТИГГН была проведена опытная эксплуатация подсистемы АРМ ТИГГН «Работа с материалами и данными геодезического фонда» (Дальневосточной, Северо-Кавказской, Верхневолжской, Тюменской, Московской и Западно-Сибирской). Эксплуатация проводилась в Западно-Сибирской и Тюменской ТИГГН на полном объеме информации, в остальных ТИГГН в объеме четырех каталогов геодезических пунктов с цифровой топографической основой на территорию контрольных каталогов, подготовленной на базе ЦТК Роскартографии масштаба 1:200 000.

Опытная эксплуатация проводилась в два этапа. На первом этапе (с июля по октябрь 2004 г.) в ТИГГН был выявлен ряд недостатков в программном обеспечении и рабочей документации подсистемы, а так же выработаны отдельные предложения по улучшению некоторых функций подсистемы. Замечания и предложения ТИГГН были направлены в адрес центра «Сибгеоинформ».

Основные замечания:

- Нюансы при инсталляции на ПЭВМ с различной конфигурацией Windows и СУБД Ms Access;
- Ошибка преобразования данных при вводе информации из GeoBank, связанная с жесткой привязкой к конкретному разделителю целой и дробной части в числах в обменном формате GeoBank;
- Ошибки при формировании схемы геодезической сети, связанные с ошибками оператора при вводе в GeoBank списка направлений на ориентирные пункты (дублирование направлений);
- Сложности с описанием в базе данных местных систем координат и координатных зон в СК-63 для выполнения пересчета координат.

Основные предложения:

- Включить дополнительно в подсистему функцию пересчета из СК-42 в МСК и обратно с учетом специфики задания параметров МСК;
- Сделать более гибкой работу с платежно-расчетными документами;
- Доработать эксплуатационную документацию до уровня подготовки специалистов инспекций, т.е. изложить технологические процессы более упрощенным языком.

Все замечания по работе подсистемы и по документации были исправлены в течение ноября-декабря 2004 года, так же было принято к реализации большинство предложений ТИГГН. В течение января 2005 года исправленная версия подсистемы была направлена в назначенные ТИГГН на повторные испытания.

Следует упомянуть об одной проблеме, с которой столкнулись некоторые ТИГГН при работе с подсистемой. Это установка на компьютерах системы защиты информации Касперского с заданием жестких ограничений на запуск макросов приложения ACCESS. С этой проблемой разобрались не сразу, но потом была составлена инструкция по установке менее жестких требований контроля и выслана всем заинтересованным ТИГГН.

При подготовке опытных образцов подсистемы для ТИГГН мы столкнулись с рядом трудностей при формировании топографических основ на территории, подведомственные ТИГГН, из ЦТК Роскартографии, которые предоставлялись в формате DDC. По технологии ввода информации из формата DDC во внутренний формат МАГИС выполняется промежуточное конвертирование из формата DDC в формат F20V конвертором «Госгисцентра» и далее из формата F20V во внутренний формат МАГИС конвертором центра «Сибгеоинформ». Конвертирование из формата DDC в формат F20V выполняется конвертором

«Госгисцентра» Ddc2hms.exe версии ноября 2000 года. Этот конвертор предоставлен нам в качестве **отраслевого**.

В процессе конвертирования отдельных ЦТК были выявлены серьезные ошибки, исключающие дальнейшее использование информации, а именно: соединение геометрии отдельных компонентов объектов в точках т.н. «прерываний», потеря ориентации в точечных ориентированных объектах, потеря отдельных объектов и целых тематических слоев. На запрос в Госгисцентр о предоставлении новой версии конвертора, нами был получен отказ, т.к. указанный конвертор больше не поддерживается. По ЦТК, полученным в формате Mif/Mid, также обнаружен ряд неточностей, требующих дополнительной работы по их устранению. В частности, также теряется ориентация точечных ориентированных условных знаков.

Все эти трудности с формированием топоосновы в ГИС-приложении делают практически невозможным ввод ЦТК силами самих ТИГГН. Такую работу для ТИГГН может выполнить только специализированная организация, выработавшая необходимые технологические приемы по корректному формированию пространственной информации из ЦТК в ГИС. С учетом того, что в качестве ГИС-оболочки используется МАГИС – разработка центра «Сибгеоинформ», а также с учетом опыта работ по формированию геоинформации на большие территории в МАГИС на основе ЦТК, целесообразно эту работу для ТИГГН выполнить центром «Сибгеоинформ».

По результатам проведения в ТИГГН опытной эксплуатации подсистемы АРМ ТИГГН «Работа с материалами и данными геодезического фонда» считаем:

- Подсистема готова к передаче во все инспекции для постоянной эксплуатации;

- Необходимым условием подготовки подсистемы к постоянной эксплуатации в ТИГГН является проведение центром «Сибгеоинформ» работ по формированию цифровых топографических основ на подведомственные ТИГГН территории, а так же авторское сопровождение и возможная адаптация к местным условиям с финансированием из средств Роскартографии или по отдельным договорам с территориальными инспекциями.

Стоимость работ по формированию цифровой топоосновы масштаба 1:200 000 и вводу информации о геодезических пунктах из БД GeoBank на сегодняшний день составляет 20-25 тыс. рублей. Кроме того, центр «Сибгеоинформ» готов выполнять работы по включению в подсистему цифровых топографических основ городов на базе ЦТП и ЦТК масштаба 1:10 000-1:25 000. Трудоемкость конвертирования информации из формата MID/MID или SXF – 5-7 тыс. руб. на один город.

© С.П. Нефедов, С.В. Ковалевская, 2005

УДК 65:528.9:681.2

В.И. Ляльков

Центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

## **ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕХОДУ НА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ**

В центре «Сибгеоинформ» разработана технология автоматизированной генерализации в рамках ОКР.02.251 «Разработка технологии получения цифровых карт масштабов 1:50 000-1:100 000 по цифровым картам масштаба 1:25 000 на ЦФС». Технология позволяет получать производные цифровые топографические карты (ЦТК) масштабов 1:50 000 и 1:100 000 используя ЦТК масштаба 1:25 000. Технологию автоматизированной генерализации возможно применять в программной среде Цифровой Фотограмметрической Станции (ЦФС), или как программный модуль с передачей данных для дальнейшей обработки в другие картографические системы.

Для сокращения трудозатрат и повышения эффективности использования технологии автоматизированной генерализации необходимо провести подготовку производственных подразделений предприятий, исходя из требований информационного, программного, технического, организационного и технологического обеспечения автоматизированной генерализации. Необходимо учитывать технологические наработки и программное обеспечение, применяемые в производстве на этапе создания ЦТК и этапе получения составительского и издательского оригиналов.

Информационное обеспечение технологии автоматизированной генерализации включает таблицы цензов, классификаторы топографических объектов и правила цифрового описания объектов. В производственных структурах предприятий используются коды классификаторов и правил цифрового описания топографических объектов систем сбора, ПО «Нева», программной среде ЦФС разных версий, и они, как правило, по разным причинам, не совпадают с кодами объектов и характеристик классификатора и правилами цифрового описания топографических объектов, применяемых в технологии автоматизированной генерализации. Для приведения соответствия кодов объектов и характеристик, собранных в программной среде ЦФС или ПО «Нева», и технологии автоматизированной генерализации, требуется перекодирование или создание конвертора. Поэтому необходимо, предварительно, при использовании технологии автоматизированной генерализации согласовать информационное обеспечение или создать конвертор, что позволит в дальнейшем сократить сроки подготовительных работ. После автоматической генерализации, на этапе подготовки издательских оригиналов используются шаблоны (точечных, линейных, площадных объектов и шаблоны зарамочного оформления), которые тоже могут иметь различия, что тоже требует согласования.

Согласование информационного обеспечения необходимо проводить при создании ЦТК базового масштаба 1:25 000, что позволит после сводки, сшивки 4 номенклатурных листов ЦТК провести их автоматическую генерализацию и создать ЦТК масштаба 1:50 000 или 1:100 000 с минимальными затратами в одном структурном подразделении предприятия.

Программная среда ЦФС и интегрированное в ней программное обеспечение технологии автоматизированной генерализации позволяет

производить на одном рабочем месте ЦФС все процессы: сбор, автоматическую генерализацию, подготовку к изданию. Программное обеспечение поставляется исполняемыми модулями и позволяет производить через Интернет обновление версий программы. ЦТК исходного и созданного масштабов необходимо хранить совместно с указанием версий программы и информационного обеспечения (коды объектов и характеристик, правила цифрового описания), что позволит унифицировать информационное обеспечение при последующем обновлении ЦТК.

Техническое обеспечение технологии автоматизированной генерализации должно включать:

- ПЭВМ в комплекте с ЦФС и процессором не менее Р-III,
- Плоттер с разрешающей способностью не менее 600 точек/дюйм для получения контрольно-графических копий.

Программное обеспечение автоматической генерализации выполняет в основном вычислительные операции. Рекомендуется применять ПЭВМ с процессором Р-1V (тактовая частота не менее 3 ГГц), оперативной памятью не менее 1 Гб (для ЦТК 6-10 категорий) и объемом свободного места на жестком диске не менее 500 Мб. Рекомендуется сервер, ПЭВМ и плоттер объединить в локальную сеть, что позволит эффективнее использовать вычислительные мощности.

Особенность организационного обеспечения технологии автоматизированной генерализации в том, что на одном рабочем месте выполняется полный цикл, начиная от сбора данных и заканчивая подготовкой к изданию, что требует привлечение специалистов: фотограмметристов имеющих опыт работы на ЦФС, картосоставителей, работающих с масштабами 1:25 000-1:50 000, редакторов и инспекторов ОТК. Необходимо привлекать специалистов с высшим образованием и высокой квалификацией, так как затраты на создание одного дорогостоящего рабочего места (ПЭВМ, средства вывода) значительны. Работы по автоматической генерализации должны выполняться в подразделении, выполняющем работы по картосоставлению.

При подготовке производственных структур предприятия по переходу на использование технологии автоматизированной генерализации необходимо принимать во внимание особенности данной технологии, информационного, программного, технического и организационного обеспечения.

© В.И. Ляльков, 2005

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Лесных И.В., Середович В.А., Карпик А.П. Проблемы геодезического обеспечения территорий в современных условиях .....                                                                                      | 3  |
| Лесных И.В., Жарников В.Б., Карпик А.П. Высшее геодезическое образование в Сибири.....                                                                                                                    | 5  |
| Günter Schmitt (Гюнтер Шмитт) Spectral analysis and optimization of geodetic networks(Спектральный анализ и оптимизация геодезических сетей) 11                                                           |    |
| Дьяков Б.Н., Родионова Ю.В. Вычисление и оценка точности грубых ошибок измерений .....                                                                                                                    | 17 |
| Жуков Б.Н. Роль, теория и практика геодезического контроля (ГК) технического состояния зданий и сооружений .....                                                                                          | 20 |
| Лесных И.В., Скрипников А.В. Автоматизация проектирования городских геодезических сетей с использованием спутниковых технологий .....                                                                     | 25 |
| Родионова Ю.В. Метод наложения графиков поправок – оптимальное решение проблемы поиска грубых ошибок измерений в геодезических построениях .....                                                          | 29 |
| Сапронов Е.М. Организация и структура геодезических работ на площадке АЭС в период расконсервации, реконструкции и достройки (на примере зарубежной АЭС).....                                             | 34 |
| Украинко В.М. Новые принципиальные подходы в создании геодезических методов и средств для обеспечения промышленных предприятий .....                                                                      | 39 |
| Иванов В.Г. Погрешности нивелирования I класса высотной основы России .....                                                                                                                               | 42 |
| Иванов В.Г. Величины и характер накоплений разностей $d$ в нивелирных ходах I класса при разделении их по климатическим зонам .....                                                                       | 48 |
| Ловягин В.Ф. Современное методологическое обеспечение ресурсосберегающей технологии оптимизации трасс инженерных сооружений по геодезическим данным .....                                                 | 53 |
| Середович В.А., Ферулев Д.А. Исследование существующих методов полевого кодирования .....                                                                                                                 | 56 |
| Середович В.А., Ферулев Д.А. Анализ двух съемок разных лет.....                                                                                                                                           | 60 |
| Жидов В.М. Применение спутниковой аппаратуры при съемке железнодорожных станций .....                                                                                                                     | 65 |
| Евстафьев О.В. SmartStation - новый полевой инструмент компании LEICA GEOSYSTEMS.....                                                                                                                     | 67 |
| Визгин А.А. Совершенствование методов разбивки транспортных сооружений .....                                                                                                                              | 70 |
| Дружинин М.Ю. TMS и GRP – специализированные измерительные системы для туннелей и железных дорог .....                                                                                                    | 72 |
| Стефаненко Н.И. Оценка состояния контакта бетонной плотины со скальным основанием по данным измерений осадок поперечными гидростатическими нивелирами (применительно к плотине Саяно-Шушенской ГЭС) ..... | 74 |

|                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Бардачевский Н.Н., Новиков И.С. Анализ тактических свойств горной местности на базе геоинформационных систем .....                                                                                               | 88  |
| Поляков А.А., Жерелина И.В., Стоящева Н.В. Геоинформационные технологии в проектировании водоохранных зон водных объектов: опыт и перспективы использования.....                                                 | 94  |
| Гопп Н.В., Назарюк В.М., Смирнов В.В. Возможности применения ГИС-технологий при идентификации эродированных почв Салаирского края.....                                                                           | 98  |
| Леонов А.Л. Технологии построения ГИС от ESRI И ДАТА+ .....                                                                                                                                                      | 103 |
| Куметаитене А. Анализ точности первоначальных данных, используемых в моделировании рельефа.....                                                                                                                  | 108 |
| Хорошилов В.С., Жежко Т.В. Проектирование модели реляционной базы данных в структуре информационной системы «Геодезические работы при монтаже технологического оборудования».....                                | 115 |
| Ким А.И. Применение ГИС-технологий для решения задач землеустройства и земледелия.....                                                                                                                           | 120 |
| Середович В.А., Сурнин Ю.В., Антонович К.М., Куликова Л.Г. Метрологическому полигону СГГА – 10 лет.....                                                                                                          | 122 |
| Прихода А.Г., Лапко А.П., Мальцев Г.И., Бунцев И.А. Технология геодезического обеспечения геофизических работ .....                                                                                              | 127 |
| Сурнин Ю.В. Определение астрономических, гравиметрических и геодезических трансформант гравитационного поля на локальном участке земной поверхности по спутниковым и традиционным геодезическим измерениям ..... | 132 |
| Гиенко Е.Г., Кузьмин В.И., Сурнин Ю.В. Некоторые результаты определения гравитационного поля на локальном участке земной поверхности по спутниковым, астрономо-геодезическим и гравиметрическим данным .....     | 136 |
| Елагин А.В. Связь глобальной Гринвичской системы координат с локальной системой координат конечного элемента.....                                                                                                | 141 |
| Кириченко Ю.А. Определение нормальных высот на территорию учебного геодезического полигона ИРГТУ по спутниковым измерениям .....                                                                                 | 144 |
| Скрипников А.В. Опыт реконструкции городской опорной геодезической сети в районах Крайнего Севера с использованием GPS-технологий .....                                                                          | 148 |
| Георг Вальдт Служба спутникового позиционирования геодезического управления Германии <b>SAPOS</b> <sup>®</sup> .....                                                                                             | 153 |
| Фролова Е.К. Использование тропосферных зенитных задержек для учета рефракции при обработке GPS-наблюдений .....                                                                                                 | 158 |
| Войтенко А.В., Куприянов М.С., Макаров А.А. Производственный опыт совместного применения электронного тахеометра и спутниковых GPS-приемников для передачи координат пунктов ГГС на вспомогательные пункты.....  | 162 |



|                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Рассказов А.С. Кинематический режим GPS/ГЛОНАСС: Достижения и перспективы .....                                                                                                                           | 165 |
| Буланов М.Ю., Конкин А.В., Щербаков В.В., Васеха В.Н. Разработка средств и методов диагностики автомобильных дорог .....                                                                                  | 170 |
| Евстафьев О.В. LEICA GS20 SURVEYOR Универсальное GPS решение для ГИС и геодезии .....                                                                                                                     | 174 |
| Торосян П.Р. Использование метода трансформирования при анализе горизонтальных движений земной коры .....                                                                                                 | 177 |
| Клепиков А.Н. О калибровке антенн GPS .....                                                                                                                                                               | 181 |
| Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш. Сингулярное разложение матрицы временных рядов изменения координат опорной точки GPS станции в Китае .....                                                                | 186 |
| Елагин А.В. Связь локальной и субпараметрической систем координат конечного элемента .....                                                                                                                | 189 |
| Середович В.А., Комиссаров Д.В. Состояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования .....                                                                            | 193 |
| Широкова Т.А., Комиссаров Д.В., Комиссаров А.В. Разработка конструктивной схемы тест-объектов и методики для исследования точности наземных лазерных сканеров .....                                       | 197 |
| Комиссаров А.В. Исследование лазерного сканера RIEGL LMS-Z360 .....                                                                                                                                       | 202 |
| Комиссаров Д.В., Иванов А.В. Обзор программных продуктов для обработки данных наземного лазерного сканирования .....                                                                                      | 205 |
| Комиссаров Д.В., Середович А.В. Применение наземных лазерных сканеров для решения научно-прикладных задач .....                                                                                           | 207 |
| Комиссаров Д.В., Дементьева О.А., Миллер Е.В. Особенности обработки результатов наземного лазерного сканирования в программном продукте CYCLONE .....                                                     | 210 |
| Середович А.В., Иванов А.В. Контроль геометрических характеристик элементов электрических машин методом лазерного сканирования .....                                                                      | 213 |
| Комиссаров Д.В., Миллер Е.В., Аверков М.А., Загородний В.В. Построение трехмерных моделей спортивных сооружений средствами лазерного сканирования (на примере Новосибирского биатлонного комплекса) ..... | 216 |
| Комиссаров Д.В., Середович А.В., Иванов А.В. Методика определения геометрических характеристик стальных цилиндрических резервуаров с использованием лазерного сканирования .....                          | 221 |
| Комиссаров Д.В., Середович А.В., Дементьева О.А. Технология топографической съемки промышленных объектов с применением наземного лазерного сканирования .....                                             | 225 |
| Сухорукова С.А. Применение ГИС-технологий при составлении карт очагов клещевого энцефалита .....                                                                                                          | 228 |
| Николаева О.Н., Ромашова Л.А. Об опыте проектирования серии экологических карт .....                                                                                                                      | 232 |
| Середович В.А., Касьянова Е.Л., Пошивайло Я.Г., Дмитриев Д.В. Создание атласа «Улицы Новосибирска для автомобилистов и пешеходов» ....                                                                    | 234 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Радченко Л.К., Топчилов М.А. К вопросу о классификации карт коммуникаций.....                                                                                                                                                                                                   | 237 |
| Владыкина А.В. Методика анализа эколого-экономической ситуации в Алтайском крае.....                                                                                                                                                                                            | 241 |
| Дышлюк С.С. Современный подход к проблеме картографирования устойчивости ландшафтов .....                                                                                                                                                                                       | 246 |
| Бугаевский Л.М., Подольская Е.С. Методика картографической генерализации населенных пунктов, гидрографии и дорожной сети на обзорно-топографических картах.....                                                                                                                 | 249 |
| Василькова Н.Ф. Анализ действующих требований к отображению топографических объектов местности, применительно к созданию цифровых топографических карт и их графическому выводу .....                                                                                           | 254 |
| Зотов Г.А., Мительман Е.Я., Нехин С.С., Серегина Л.В. Унификация информационного обеспечения ЦФС – ГИС «Панорама» .....                                                                                                                                                         | 256 |
| Нехин С.С., Зотов Г.А. Современные технологии создания и обновления цифровых карт на ЦФС ЦНИИГАиК .....                                                                                                                                                                         | 261 |
| Шитиков П.К. Опыт работы по «Инжгеодезия» по применению технологий автоматизированного картосоставления. Требования современного производства к технологиям автоматизированной генерализации ....                                                                               | 266 |
| Гаврилов Ю.В., Горожанкина О.В. Создание тематических карт в программе растровой графики ADOBE PHOTOSHOP .....                                                                                                                                                                  | 268 |
| Носырев В.В. Опыт работы ФГУП «ЗАБАЙКАЛЬСКОЕ АГП» по картосоставлению и подготовке к изданию цифровых топографических карт (ЦТК) государственного масштабного ряда 1: 25 000 – 1: 500 000 на программно-аппаратном комплексе «Цифровая фотограмметрическая станция» (ЦФС) ..... | 270 |
| Комосов Ю.А., Лапина Е.Н. Состояние и перспективы автоматизированного картосоставления в программном комплексе «НЕВА» .....                                                                                                                                                     | 273 |
| Серебряков С.В., Черкасова Ж.Л., Анисимова О.Л. Усовершенствование организационно-технической схемы по созданию цифровой топографической продукции с помощью ПО «Панорама» центром «Уралгеоинформ».....                                                                         | 278 |
| Осинцева И.В. Итоги опытной эксплуатации технологии автоматизированной генерализации, разработанной в центре «Сибгеоинформ» .....                                                                                                                                               | 284 |
| Колоколова И.В. Автоматический и интерактивный контроль качества в технологиях автоматизированной генерализации .....                                                                                                                                                           | 287 |
| Колосков С.В., Хлебникова Т.А., Ковалева С.А. Технология автоматизированной генерализации. Проблемы и пути повышения уровня автоматизации .....                                                                                                                                 | 291 |
| Колосков С.В., Хлебникова Т.А. Обзор технологий автоматизированной генерализации при картографировании, разработанных в центре «Сибгеоинформ» .....                                                                                                                             | 294 |

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Колосков С.В. Основные научно-технические принципы решения при<br>разработке технологии получения ЦТК, ЦТП методом<br>автоматизированной генерализации..... | 298 |
| Нефедов С.П. ГИС-приложения, разработанные в центре «Сибгеоинформ»<br>.....                                                                                 | 300 |
| Нефедов С.П., Ковалевская С.В. Итоги опытной эксплуатации первой<br>очереди АРМ ТИГГН.....                                                                  | 301 |
| Ляльков В.И. Подготовка производственных структур предприятия по<br>переходу на технологии автоматизированной генерализации.....                            | 304 |